Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Лимнологический институт Сибирского отделения
Российской академии наук

Limnological Institute Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Иркутская областная государственная универсальная научная библиотека им. И. И. Молчанова-Сибирского

Molchanov-Sibirsky Irkutsk Regional State Multipurpose Scientific Library



ISBN 978-5-9624-2403-3

VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЕРЕЩАГИНСКАЯ БАЙКАЛЬСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

8–14 сентября 2025 г., г. Иркутск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ И СТЕНДОВЫХ СООБЩЕНИЙ

VIII INTERNATIONAL VERESHCHAGIN BAIKAL CONFERENCE

8–14 September 2025, Irkutsk, Russia

ABSTRACTS

УДК 556.55(282.256.341)(063)
ББК 26.222.6(2Р-4Ир)л0
В31

Рецензенты:
А. Г. Королева, канд. биол. наук, *Н. В. Максимова*, канд. биол. наук,
Ю. П. Сапожникова, канд. биол. наук

VIII Международная Верещагинская Байкальская конференция, 8–14 сентября 2025 г., г. Иркутск, Россия : тезисы докладов и стендовых сообщений / ЛИН СО РАН. – Иркутск : Издательство ИГУ, 2025. – 1 электронный оптический диск (CD-ROM). – Заглавие с этикетки диска.

ISBN 978-5-9624-2403-3

Международная Байкальская Верещагинская конференция в память о выдающемся российском ученом Г. Ю. Верещагине, организаторе и руководителе комплексных широкомасштабных исследований оз. Байкал имеет богатую историю и проводится Лимнологическим институтом СО РАН с 1989 г. каждые пять лет. 2025 год является знаковым для начала исследований на оз. Байкал: 100 лет назад начала работу Байкальская экспедиция Академии наук СССР, в которой под руководством Г. Ю. Верещагина приняли участие К. И. Мейер, Т. Б. Форш, Н. П. Предтеченский, И. П. Сидорычев, Е. Перфильев, В. Н. Сукачев, Н. А. Коновалов, В. А. Поварницын, П. В. Тихомиров, Е. В. Иванов и другие исследователи. Эта работа, проведенная в 1925 г. и в последующие годы, позволила получить уникальные данные об экосистеме оз. Байкал. Помимо секционных докладов в рамках Конференции будут представлены пленарные доклады, а также лекции ведущих ученых мира в рамках Байкальской школы молодых ученых (БШМУ-2025), которая также предполагает практические занятия на базе центров коллективного пользования ЛИН СО РАН (при участии компании «Синтол») по ДНК-генотипированию, демонстрацию работы генетического анализатора «Нанофор 05» и работу над проектами с наставниками. В рамках Конференции также пройдет Школьная секция для учащихся 6–11-х классов, выполняющих научно-исследовательскую работу под руководством педагогов. В дополнение к представленной программе будет проведен семинар «Инновации в сфере ихтиологии: от теории к практике». Совместно с Байкальским музеем СО РАН планируется презентация книги из серии «Исследователи Байкала» – «Лаборатория гидрологии и гидрофизики ЛИН СО РАН: 70 лет изучения Байкала». Лучшие статьи будут опубликованы в специальных выпусках международных рецензируемых журналов: *Journal of Great Lakes Research* (WoS и Белый список, Q1, Scopus, РИНЦ) и *Limnology and Freshwater Biology* (Scopus, Q4, РИНЦ).

Every five years, since from 1989, Limnological Institute has been hosting the International Vereshchagin Baikal Conference, dedicated to the memory of G. Yu. Vereshchagin, an outstanding Russian scientist, an initiator of comprehensive large-scale studies at Lake Baikal. The year 2025 is significant for the beginning of research on Lake Baikal: 100 years ago, the Baikal Expedition of the USSR Academy of Sciences began its work, led by G. Yu. Vereshchagin, K. I. Meyer, T. B. Forsh, N. P. Predtechensky, I. P. Sidorychev, E. Perfil'ev, V. N. Sukachev, N. A. Konovalov, V. A. Povarnitsyn, P. V. Tikhomirov, E. V. Ivanov and other researchers took part. This field work, carried out in 1925 and in the following years, made it possible to obtain unique data on the ecosystem of Lake Baikal. Besides session presentations, plenary reports and Baikal School of Young Scientists (BSYS-2025) are held within the framework of the Conference. BSYS-2025 includes practical classes on DNA Genotyping at the Collective Instrumental Center of Limnological Institute SB RAS (with the participation of Sintol Company), a demonstration of the Nanofor 05 genetic analyzer, and work on projects with mentors. In addition, the traditional School Section will be organized for schoolshildren in grades 6–11, who carry out research work under guidance of teachers. In addition, the workshop «Innovations in ichthyology: from theory to practice» is held during the Conference. The book «Laboratory of Hydrology and Hydrophysics of LIN SB RAS: 70 Years of Studying Baikal» will be presented at the Conference in collaboration with Baikal Museum SB RAS. Best papers will be published in special issues of international peer-reviewed journals: *Journal of Great Lakes Research* (WoS, Scopus, Q1) и *Limnology and Freshwater Biology* (Scopus, Q4).

Контактная информация:

664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, а/я 278
Лимнологический институт СО РАН
Секретарь Конференции: Сапожникова Ю. П.
Рабочий телефон: +7 (3952) 42-26-95
Мобильные телефоны:
+7 914-950-960-4, +7 911-704-66-06
Факс: +7 (3952) 42-54-05
Адрес Конференции в интернете:
http://lin. irk.ru/8vbc/ru/
E-mail: vconference@mail.ru

Contact Information:

664033 3, Ulan-Batorskaya St., P. O. Box 278
Limnological Institute SB RAS
Conference Secretary: Yulia Sapozhnikova
Office: +7 (3952) 42-26-95
Mobile phones:
+7 914-950-96-04, +7 911-704-66-06
Fax: +7 (3952) 425-405
Conference address on the Internet:
http://lin. irk.ru/8vbc/en/
E-mail: vconference@mail.ru

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ/ SPONSORS

ООО «Компания Технополь»
Technopol Company

ООО «НПФ Синтол»
Sintol Company

ООО «СибЛабСервис»
SibLabService

ОАО «Российские железные дороги»
Russian Railways

ФГБНУ «Байкальский музей Сибирского отделения Российской академии наук»
Baikal Museum SB RAS

ООО «Аквариум Байкальской нерпы»
Baikal Seal Aquarium

Автономная некоммерческая организация «РОДНИК»
Autonomous non-profit organization «RODNIK»

Байкальский международный кинофестиваль «Человек и Природа»
Baikal International Film Festival «People and Environment»

СОДЕРЖАНИЕ

РЫБЫ И ДЕСЯТИНОГИЕ РАКООБРАЗНЫЕ РЕКИ ДАХОНГ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК КАТТЬЕН, ВЬЕТНАМ) 28
Аблязов Э. Р., Статкевич С. В., Чыонг Ба Хай

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДИАТОМОВОЙ ВОДОРОСЛИ *ELLERBECKIA ARENARIA* В ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН 30
Абрамова К. И.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС ПРЕСНОВОДНОГО КУРШСКОГО ЗАЛИВА 32
Александров С. В.

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ И ПОТРЕБЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЗООПЛАНКТОНОМ В ПРЕСНОВОДНОЙ ЛАГУННОЙ ЭКОСИСТЕМЕ КУРШСКОГО ЗАЛИВА 34
Александров С. В., Семенова А. С.

ЧУЖЕРОДНЫЙ ВИД *PARAMYSIS LACUSTRIS* В РЕКАХ БЕЛАРУСИ: ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ 36
Александрович П. Е., Липинская Т. П.

КОЛЛЕКЦИЯ ТИПОВОГО МАТЕРИАЛА ЭНДЕМИЧНЫХ БАЙКАЛЬСКИХ ОСТРАКОД (OSTRACODA, PODOCOPIDA) ИЗВЕСТНОГО УЧЕНОГО-БАЙКАЛОВЕДА Г. Ф. МАЗЕПОВОЙ КАК ОСНОВА ИХ ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ РЕВИЗИИ 38
Алексеева Т. М., Чимитдоржиева И. О., Криворотkин Р. С., Тимошкин О. А.

ОСОБЕННОСТИ СУЛЬФАТРЕДУКЦИИ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ В ЗОНЕ РЕЧНОЙ БЕРЕГОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ 40
Андреева Д. В., Кондратьева Л. М.

ЧУДЕСНАЯ СЕТЬ ЗАДНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ (ЛАСТ) БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ 42
Аникиенко И. В., Рядинская Н. И.

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О МОРФОМЕТРИИ И ТЕРМОДИНАМИКЕ ТРЁХ ГОРНЫХ ОЗЁР В ЦЕНТРЕ ЧУКОТСКОГО НАГОРЬЯ 44
Анисимова Л. А., Маркевич Г. Н., Горин С. Л., Зленко Д. В., Есин Е. В.

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ПЛАСТИКОВ НА БАЙКАЛЬСКИХ БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ *BENEDICTIA BAICALENSIS* (GERSTFELDT, 1859) 46
Анненков В. В., Даниловцева Е. Н., Пальшин В. А., Зелинский С. Н., Клименков И. В., Судаков Н. П., Воробьёва А. Н., Максимова Н. В.

ОБНАРУЖЕНИЕ *GYMNODINIUM BAICALENSE* И *APOCALATHIUM EURYCEPS* ПОДОБНЫХ ДИНОФЛАГЕЛЛЯТ В ОЗЕРАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ 48
Анненкова Н. В.

ОСНОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОЛИВА МАЛОЕ МОРЕ ОЗ. БАЙКАЛ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА СИГОВЫХ РЫБ 50
Аношко П. Н., Шевелева Н. Г., Макаров М. М.

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В ЮЖНОМ БАЙКАЛЕ: НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ 52
Асламов И. А., Ермишина В. Е., Ляпидевский В. Ю., Чесноков А. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ 54
Асламов И. А., Гнатовский Р. Ю., Блинов В. В., Жданов А. А

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ 56
Асламов И. А., Макаров М. М., Шиховцев М. Ю., Гнатовский Р. Ю., Федотов А. П.

ПРИБРЕЖНО-МОРСКИЕ ВОДНО-БОЛОТНЫЕ БИОМОРФОЛИТОСИСТЕМЫ, ИХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЙ И СОЦИО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ 58
Афанасьев В. В., Фаустова А. Б.

ПОКАЗАТЕЛИ ЗАРАЖЕННОСТИ МЕТАЦЕРКАРИЯМИ *OPISTHORCHIS FELINEUS* КАРПОВЫХ РЫБ В БАССЕЙНЕ СРЕДНЕЙ ОБИ 60
Бабкин А. М., Бабкина И. Б., Симакова А. В., Соловьев М. Я. А.

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ БАЙКАЛЬСКОЙ ГУБКИ LUBOMIRSKIA BAIKALENSIS 62
Баженов Б. Н., Шабалина О. В., Адушинова Д. М., Ханаев И. В., Никонова А. А.

ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ, АЛЬДЕГИДЫ И СТЕРИНЫ ГЛУБОКОВОДНОЙ БАЙКАЛЬСКОЙ ГУБКИ *BAIKALOSPONGIA MARTINSONI* EFREMOVA, 2004 64
Базарсадуева С. В., Раднаева Л. Д., Тараскин В. В., Никитина Е. П., Коновалова Л. А., Тулохонов А. К.

МОНИТОРИНГ ПОПУЛЯЦИИ БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ 66
Базов А. В., Базова Н. В., Петерфельд В. А., Кушнарёв С. В.

ПРОБЛЕМНАЯ СИСТЕМАТИКА БАЙКАЛЬСКИХ ВЕСЛОНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ РОДА *CANTHOCAMPTUS* (HARPACTICOIDA, COPEPODA) 69
Бакашкина А. С., Голубев М. А., Фефилова Е. Б., Алексеева Т. М.

ТЕНДЕНЦИИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ СРОКОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕСЕННЕГО ТЕРМОБАРА В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA5-LAND 70
Барт А. А., Стребкова Е. А., Цыденов Б. О., Трунов Н. С., Деги Д. В

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЯДА МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТУНКИНСКОЙ ДОЛИНЫ (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ, РОССИЯ) 72
Батранина И. О., Карнаухов Д. Ю., Хадеева Е. Р., Лавникова А. В., Ермолаева Я. К., Бирицкая С. А., Минчева Е. В., Купчинский А. Б.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДЛЕДНЫХ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ 74
Башенхаева М. В., Захарова Ю. Р., Галачьянц Ю. П., Петрова Д. П., Ханаев И. В., Макаров М. М., Лихошвай Е. В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД 76
Башкурова А. С.

УЛЬТРАСТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОГЕНЕЗА И ДЕГРАДАЦИИ ЛИПИДНЫХ КАПЕЛЬ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ 78
Бедошвили Е. Д., Неврова Е. Л., Лихошвай Е. В.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ В МИКРОБНОМ СООБЩЕСТВЕ БАЙКАЛЬСКИХ ГУБОК 80
Беликов С. И., Панова Ю. А., Черногор Л. И.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ БАЙКАЛА 2023–2024 ГГ. 82
Белкин И. В., Шиховцев М. Ю., Потапова Е. В., Асламов И. А., Моложникова Е. В.

НАКОПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА 84
Белкина Н. А.

СОСТОЯНИЕ ЗАПАСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫСЛА РЕЧНЫХ РАКОВ В КУЙБЫШЕВСКОМ И НИЖНЕКАМСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ 85
Белорусцева С. А., Северов Ю. А.

БЕНТОСНЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ КАК ПРОДУЦЕНТЫ ПАРАЛИТИЧЕСКИХ ТОКСИНОВ МОЛЛЮСКОВ В ОЗ. БАЙКАЛ 87
Белых О. И., Краснопеев А. Ю., Тихонова И. В., Сороковикова Е. Г., Кузьмин А. В., Потапов С. А., Федорова Г. А.

ЧЕШУЙЧАТЫЕ ЗОЛОТИСТЫЕ ВОДОРОСЛИ ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРСКОГО КАСКАДА ГЭС 88
Бессудова А. Ю.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ПОЛУОСТРОВА КАРГА ОЗ. БАЙКАЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GOOGLE EARTH ENGINE 90
Болданова Е. В.

ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ОЗ. БАЙКАЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GOOGLE EARTH ENGINE 92
Болданова Е. В.

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ В ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ТРЁХ ГЛУБОКОВОДНЫХ ОЗЁР ЭВЕНКИИ (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ) 94
Болобанщикова Г. Н., Рогозин Д. Ю.

ПОИСК ГЕНОВ ИММУННОГО ОТВЕТА В ТРАНСКРИПТОМЕ КАМЕННОЙ ШИРОКОЛОБКИ *PARACOTTUS KNERII* 97
Борвинская Е. В., Дроздова П. Б., Помазкин В. К., Широкова Ю. А., Индосова Е. Б., Тимофеев М. А., Гурков А. Н.

АКВАКУЛЬТУРА ДЕСЯТИНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ В МИРЕ И РОССИИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ 99
Борисов Р. Р., Кряхова Н. В., Воробьева Л. В.

ВЕСЕННИЙ ФИТОПЛАНКТОН БОГУЧАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2024 Г. 101
Бузевич В. В., Марченков А. М., Галачьянц Ю. П., Таничев А. И., Фирсова А. Д.

ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ФОРМИРОВАНИИ АУТИГЕННЫХ СИДЕРИТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ 103
Букин С. В., Ломакина А. В., Погодаева Т. В., Воробьева С. С., Земская Т. И., Крылов А. А.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДИКИ ОТБОРА ПРОБ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕНТОСНЫХ МАКРОБЕСПОЗВОНОЧНЫХ КАМЕНИСТОЙ ЛИТОРАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ 105
Букшук Н. А., Максимова Н. В., Морозов А. А., Непокрытых А. В., Рожкова Н. А., Тимошкин О. А.

ДЛИННОЦЕПОЧЕЧНЫЕ АЛКЕНОНЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ (ЮГ СИБИРИ) КАК БИОМАРКЕРЫ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ 107
Бульхин А. О., Зыков В. В., Рогозин Д. Ю., Бояндин А. Н., Безрукова Е. В.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗООБЕНТОСА НИЗОВЬЕВ Р. СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ ЗА ЗИМНИЙ (ПОДЛЁДНЫЙ) ПЕРИОД 2024–2025 ГГ. 109
Бурмагин М. В., Матвеев Н. Ю.

РАЗНООБРАЗИЕ ВИРУСОВ В МОЛЛЮСКАХ, НАСЕЛЯЮЩИХ РАЗНЫЕ ГЛУБИНЫ ОЗ. БАЙКАЛ 111
Бутина Т. В., Максимова Н. В., Кучер К. М., Усов С. В., Горев В. А., Букин Ю. С.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ 113
Былина Т. С., Жигульский В. А.

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАРАСТАЕМОСТИ ОТЧЛЕНЁННЫХ ЗАЛИВОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ 115
Валиев В. С., Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Александрова А. Б., Хасанов Р. Р.

СОСТАВ И СТРУКТУРА ФАУНЫ ХИРОНОМИД ОЗ. ИМАНДРА 117
Валькова С. А.

АККУМУЛЯЦИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ КРОВОСОСУЩИХ КОМАРОВ РОДА *AEDES* В ОКРЕСТНОСТЯХ Г. ТОМСКА (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ, РОССИЯ) 119
Вареницина А. А., Симакова А. В., Дёрова А. В., Франк Ю. А.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРОВ СВЕТА НА РАЗВИТИЕ ЭМБРИОНОВ СИГОВЫХ РЫБ В УСЛОВИЯХ АКВАКУЛЬТУРЫ 121
Вахтеева Е. А., Королева А. Г., Яхненко В. М., Епифанцев А. А., Потапов С. А., Чансю Тянь, Сянь Ли, Глызина О. Ю., Асламов И. А., Пальшин В. А., Суханова Л. В., Сапожникова Ю. П.

ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ВОЛН ТЕПЛА НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ И ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТАБОЛИЗМА МАССОВЫХ ВИДОВ АМФИПОД ЛИТОРАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ 123
Верещагина К. П., Седова С. С., Кондратьева Е. С., Шатилина Ж. М., Индосова Е. Б., Тимофеев М. А.

ГАЗЫ И ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ИХ СВЯЗЬ С НЕФТЯНОЙ СИСТЕМОЙ 125
Видищева О. Н., Соловьева М. А., Ахманов Г. Г., Калмыков А. Г., Хлыстов О. М.

ФИТОПЛАНКТОН РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМОВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА 127
Винокурова Г. В.

ПОКАТНАЯ МИГРАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ОМУЛЯ В РЕКЕ СЕЛЕНГЕ 129
Воронов М. Г.

КОСТНЫЙ ОСТОВ СРЕДНЕГО УХА БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ 131
Вохидов Х. Х. угли., Рядинская Н. И., Аникиенко И. В.

ПЛОДОВИТОСТЬ ПЛОТВЫ *RUTILUS RUTILUS* В РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ 133
Вялкова Е. А., Шаталин В. А., Завгородняя О. А., Дорогин М. А., Митяев Е. М., Интересова Е. А.

РАЗНООБРАЗИЕ ВИРУСОВ В ГУБКАХ *LUBOMIRSKIA BAIKALENSIS* 135
Гавриленко К. Д., Букин Ю. С., Горев В. А., Ханаев И. В., Бутина Т. В.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОЦЕНОЗОВ В РАЗНОТИПНЫХ ЗАРОСЛЯХ МАКРОФИТОВ ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ОЗЁР И ПРУДОВ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ 137
Гаврилко Д. Е., Сарапкин А. Ю., Бубнов В. А., Жихарев В. С., Золотарева Т. В.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЕНИСЕЙСКОГО ОСЕТРА 139
Гайденок Н. Д., Пережилин А. И.

СООБЩЕСТВА МИКРОЭУКАРИОТ ЮЖНОГО БАЙКАЛА И ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРСКОГО КАСКАДА В ИЮНЕ 2024 ГОДА ПО ДАННЫМ МЕТАБАРКОДИРОВАНИЯ 141
Галачьянц Ю. П., Петрова Д. П., Марченков А. М., Налимова М. А.

ДИНАМИКА И ВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ КИСЛОТООБРАЗУЮЩИХ ИОНОВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ: ОСОБЕННОСТИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА В 2011–2020 ГГ. 143
Галушин Д. А., Громов С. А.

ВЛИЯНИЕ ПРОТАТРАНОВ НА ОПЛОДОТВОРЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ИКРЫ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ 145
Гамаюнов Е. Л., Воробьева А. Н., Суханова Л. В., Чебунин Р. Ю.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОГРАФОВ ПОЛЕЗНОГО ПРИТОКА В ОЗ. БАЙКАЛ И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ 147
Гасан В. С., Абасов Н. В., Осипчук Е. Н., Бережных Т. В.

ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОЕ И ПРИРОДООХРАННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ОЗЕРА НУМТО (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ) 149
Глазунов В. А., Николаенко С. А

БАКТЕРИООБРАСТАНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО И ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: ИТОГИ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА 151
Глинская Е. В., Голубев Д. М., Тарасюк А. К., Глинская О. С., Воронин М. Ю.

БАЙКАЛЬСКАЯ ГУБКА *LUBOMIRSKIA BAICALENSIS* В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ 153
Глызина О. Ю., Ицкович В. Б., Белых Л. И.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ РАЗНЫХ РАЗМЕРНЫХ ФРАКЦИЙ НА СТАНЦИЯХ ЮЖНОГО БАЙКАЛА 155
Голобокова Л. П., Ходжер Т. В., Лопатина И. Н., Маринайте И. И., Оболкин В. А., Онищук Н. А., Чебунина Н. С.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ СКРИНИНГ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ НЕЛЬМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВЫЖИВАЕМОСТИ ИНДУЦИРОВАННОГО ТРИПЛОИДНОГО ПОТОМСТВА 157
Голотин В. А., Лютиков А. А., Вылка М. М., Костюничев В. В.

БАКТЕРИООБРАСТАНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО И ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ БАЛАКОВСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: ИТОГИ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА 159
Голубев Д. М., Глинская Е. В., Тарасюк А. К., Глинская О. С., Воронин М. Ю.

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИДОВОГО КОМПЛЕКСА *TUBIFEX TUBIFEX* (O. F. MÜLLER, 1774) 161
Голубев М. А., Марченко Ю. В., Батурина М. А., Бакашкина А. С.

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ДДЗЗ К МОНИТОРИНГУ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ 162
Голубец Д. И., Рэчилэ Д. Г., Миловидова И. В., Ермолаева Я. К., Бирицкая С. А., Лавникова А. В., Масленникова М. А., Карнаухов Д. Ю.

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ ОМУЛЯ НА РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ АКВАТОРИЯХ О. БАЙКАЛ 163
Гончаров С. М., Кравченко Ю. Н., Попов С. Б., Ключарева Н. Г.

МАКРОФИТЫ ПРЕСНОВОДНОГО КУРШСКОГО ЗАЛИВА В ЭВТРОФНЫХ УСЛОВИЯХ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 166
Горбунова Ю. А., Александров С. В.

ЭСТУАРИЙ РЕКИ ПРЕГОЛИ КАК БИОФИЛЬТР БИОГЕННОГО СТОКА 168
Горбунова Ю. А., Александров С. В., Двоеглазова Н. В.

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОБИОМА, АССОЦИИРОВАННОГО С БАЙКАЛЬСКИМ МОЛЛЮСКОМ, НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МЕТАГЕНОМНОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ 170
Горев В. А., Бутина Т. В., Букин Ю. С.

ПРИБРЕЖНАЯ ЗОНА – ОБЪЕКТ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ 172
Горшков А. Г., Кустова О. В., Изосимова О. Н., Григорьева Т. А., Максимова Н. В., Федотов А. П.

АНАЛИЗ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ С ПОМОЩЬЮ АССОЦИИРОВАННЫХ С ХОЗЯИНОМ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ 174
Горшкова А. С., Мальник В. В., Тимошкин О. А.

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ И ВОДЫ УСТЬЕВ ПРИТОКОВ ЮЖНОГО БАЙКАЛА 175
Гребенщикова В. И., Гордеева О. Н.

СООТНОШЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ ФОСФОРНОЙ НАГРУЗКИ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ 177
Гречушникова М. Г., Ломова Д. В., Пуклаков В. В.

ЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОАЗИСАХ АНТАРКТИКИ (СТАНЦИИ БЕЛЛИНСГАУЗЕН, РУССКАЯ И НОВОЛАЗАРЕВСКАЯ) 179
Гузева А. В., Лапенков А. Е.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АДСОРБЦИИ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА РАЗНЫХ ТИПОВ МАКРОФИТАМИ ОЗЕРА БАЙКАЛ 181
Гулигуев А. Т., Рубан К. К., Солодкова А. А., Кодатенко И. Д., Кондратьева Д. С., Бирицкая С. А., Карнаухов Д. Ю.

РАСТВОРЕННЫЙ КИСЛОРОД И ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ В ДОЛГОСРОЧНОМ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА 182
Гусева М. А., Петрова Т. Н.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЦВЕТЕНИЯ ПОДМОСКОВНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ 184
Даценко Ю. С.

АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ОЗ. БАЙКАЛ В ПЕРИОД ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В СИБИРИ 186
Дементьева А. Л., Жамсуева Г. С., Заяханов А. С., Ходжер Т. В., Цыдыпов В. В., Бальжанов Т. С., Стариков А. В.

НЕРЕСТОВОЕ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ФОРМЫ ПОВЕДЕНИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ ДЛИННОКРЫЛОЙ ШИРОКОЛОБКИ COTTOCOMEPHORUS INERMIS (JAKOWLEW, 1890) (SCORPAENIFORMES, COTTOIDEI) 187
Дидоренко С. И., Этингова А. А., Мюге Н. С., Барминцева А. В., Купчинский А. Б.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОХРАНЕНИЯ ЖИВЫХ ЭКЗЕМПЛЯРОВ БАЙКАЛЬСКИХ ГЛУБОКОВОДНЫХ РЫБ ПОДОТРЯДА COTTOIDEI ПРИ ОТЛОВЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ 190
Дидоренко С. И., Этингова А. А., Мюге Н. С., Барминцева А. В., Купчинский А. Б.

СЕЗОННАЯ И ВЕРТИКАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В РАЙОНЕ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА В 2021–2022 ГГ. 193
Дмитриева О. А., Семенова А. С

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ 195
Дмитриева О. А., Семенова А. С.

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СВЕЧЕНИЯ АНГАРСКОЙ ВОДЫ 197
Добрынин В. И.

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ 199
Домышева В. М., Сакирко М. В.

БОЛЬШИЕ И МАЛЕНЬКИЕ ГЕНОМЫ АМФИПОД БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА 201
Дроздова П. Б., Тэльнес Е. В., Озерова Ю. Э., Саранчина А. Е., Тимофеев М. А

ФИЛОГЕНИЯ РОДОВ *SENECELLA* JUDAY, 1923 И *ORTHOCYCLOPS* FORBES, 1897 (COPEPODA) С ФРАГМЕНТИРОВАННЫМИ АРЕАЛАМИ 203
Дубовская О. П., Майор Т. Ю.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА 205
Дудакова Д. С., Анохин В. М., Дудаков М. О.

БИОАККУМУЛЯЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, АКТИВНОСТЬ МЕТАЛЛОФЕРМЕНТОВ И ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС БАЙКАЛЬСКОЙ ГУБКИ *LUBOMIRSKIA BAIKALENSIS* 207
Дылгерова С. Д., Пашкова Г. В., Чуйко Г. М., Сизов Н. С., Юдин А. В., Ханаев И. В., Никонова А. А.

СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА ПРИБРЕЖНЫХ ВОД СЕВЕРНОГО БАЙКАЛА ПО СОДЕРЖАНИЮ ОБЩЕГО АЗОТА И ОБЩЕГО ФОСФОРА 209
Елецкая Е. В., Тимошкин О. А., Томберг И. В.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ БАКТЕРИЙ В МАЛЫХ СОЛЕНЫХ ОЗЕРАХ ЮГО-ЗАПАДА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ 211
Енова Ю. А., Коноводова Е. А., Накоскин А. Н., Козлов О. В.

РАЗНООБРАЗИЕ ФИТОПЛАНКТОНА КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ (СРЕДНИЙ УРАЛ) 213
Еремкина Т. В., Корбут Д. Е., Ярушина М. И.

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОГО И ХОЛОДНОГО СВЕТА МАЛЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ НА ПОВЕДЕНИЕ АМФИПОДЫ *EULIMNOGAMMARUS CYANEUS* (DYBOWSKY, 1874) 215
Ермолаева Я. К., Карнаухов Д. Ю., Пастухова Ю. А., Варакина Е. Д., Сидоров С. М., Сидорова А. И., Масленникова М. А., Зилов Е. А.

ВЛИЯНИЕ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА 217
Ельчининова О. А., Кузнецова О. В., Двуреченская С. Я., Кудачинова А. А., Дементьева О. К.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ АДАПТАЦИИ И ОСТРОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССА У СИГОВЫХ РЫБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАНСКРИПТОМНОГО И ЭПИГЕНОМНОГО АНАЛИЗОВ 219
Епифанцев А. А., Королева А. Г., Сидорова Т. В., Суханова Л. В., Глызина О. Ю., Вахтеева Е. А., Толстикова Л. И., Черезова В. М., Сапожникова Ю. П.

АНАЛИЗ DE NOVO МУТАЦИЙ *CYPRINUS CARPIO* ПРИ ХИМИЧЕСКОМ МУТАГЕНЕЗЕ И ТЕПЛОВОМ СТРЕССЕ 221
Ефименко Б. Э., Кузьмин А. В., Гунбин К. В., Мюге Н. С., Попадьин К. Ю.

СОВРЕМЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ РЕК БАССЕЙНА ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ 223
Ефимова Л. Е., Льюмменс Е. О., Ефимов В. А.

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР КАРЕЛИИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ 225
Ефремова Т. В., Пальшин Н. И., Здоровеннов Р. Э., Здоровеннова Г. Э., Богданов С. Р., Кравченкова Т. Г., Смирнов С. И.

ДИНАМИКА СЛУЧАЕВ ВЫСОКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ В 2015–2024 ГГ. 226
Жадановская Е. А., Громов С. А.

ВЛИЯНИЕ МИКРОПЛАСТИКА НА ПАРАМЕТРЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВЕТВИСТОУСОГО РАЧКА *MOINA MACROCOPA* 228
Задереев Е. С., Лопатина Т. С., Хорошко К. В., Яскеляйнен Д. Д.

РОЛЬ ХИМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СОСУЩЕСТВОВАНИИ ПЛАНКТОННЫХ РАКООБРАЗНЫХ 230
Задереев Е. С., Прокопкин И. Г.

EPISCHURA ИЛИ *EPISCHURELLA*? ТЕСТИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ 232
Зайдыков И. Ю., Суханова Л. В., Шевелева Н. Г., Щербаков Д. Ю., Наумова Е. Ю.

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЗАПАСА БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ 234
Западаева Н. Г., Бобырев А. Е., Михайлов А. И.

МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА КУЛТУКСКОГО ПОДЗЕМНОГО РЕЗЕРВУАРА, РАСПОЛОЖЕННОГО В ЗОНЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ (БАЙКАЛЬСКАЯ РИФТОВАЯ ЗОНА) 236
Захаренко А. С., Букин С. В., Асламов И. А., Сакирко М. В., Чебыкин Е. П., Рассказов С. В., Земская Т. И.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПСИХРОТРОФНОГО ВИОЛАЦЕИН ПРОДУЦИРУЮЩЕГО ШТАММА *JANTHINOBACTERIUM* SP. ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ЕГО АЛЬГИЦИДНОЕ ДЕЙСТВИЕ НА ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ 238
Захарова Ю. Р., Бедошвили Е. Д., Федорова Г. А., Башенхаева М. В., Марченков А. М., Петрова Д. П.

ЛИДАРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПОЛЕЙ НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В ПЕРИОД КОРАБЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В АВГУСТЕ 2023 г. 240
Заяханов А. С., Жамсуева Г. С., Ходжер Т. В., Цыдыпов В. В., Дементьева А. Л., Бальжанов Т. С., Стариков А. В.

МЕТОДИКИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ОЗЕРАХ 242
Здоровеннов Р. Э., Новикова Ю. С., Пальшин Н. И., Богданов С. Р., Здоровеннова Г. Э.

ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ И СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В МАЛОМ ОЗЕРЕ КАРЕЛИИ В ГОДОВОМ ЦИКЛЕ 244
Здоровеннова Г. Э., Здоровеннов Р. Э., Новикова Ю. С., Богданов С. Р., Пальшин Н. И., Ефремова Т. В., Смирнов С. И.

МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА В ОСАДКАХ РИФТОВОГО ОЗЕРА БАЙКАЛ 246
Земская Т. И., Букин С. В., Черницына С. М., Ломакина А. В., Павлова О. Н.

ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР – ОТЧЛЕНЕННЫХ ЗАЛИВОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 248
Зиганшин И. И., Иванов Д. В., Хасанов Р. Р., Мухаметзянова Л. К.

ГЕМОЦИТЫ БАЙКАЛЬСКИХ АМФИПОД: НОВЫЕ ДАННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛЕТОЧНОГО ИММУННОГО ОТВЕТА 249
Золотовская Е. Д., Назарова А. Н., Арбузова Г. А., Дроздова П. Б., Тимофеев М. А.

ОСОБЕННОСТИ ИХТИОФАУНЫ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ 22 БАССЕЙНОВ РЕК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ (БАССЕЙНЫ БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ, 1972–2024 ГГ. ИССЛЕДОВАНИЙ) 251
Зубова Е. М., Кашулин Н. А., Терентьев П. М., Иванченко Р. О., Мелехин А. В.

ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИИ ЗАПАДНО-КАРЕЛЬСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ НА ОСНОВЕ КЛАДОЦЕРНОГО АНАЛИЗА 253
Ибрагимова А. Г., Селезнев Д. Г., Субетто Д. А., Котов А. А.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ 255
Иванов В. Г., Синюкович В. Н., Мизандронцев И. Б., Асламов И. А.

АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЯГКОГО НЕБА БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ 257
Иконникова Д. Р., Рядинская Н. И., Аникиенко И. В.

МНОГОЛЕТНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА СЯМОЗЕРА В УСЛОВИЯХ РАЗНОФАКТОРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 259
Ильмаст Н. В., Кучко Я. А.

ВОЗРАСТ И РОСТ ЛЕЩА *ABRAMIS BRAMA* В РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ 261
Интересова Е. А., Сукнев Д. Л., Шаталин В. А., Дорогин М. А., Зайцев В. Ф.

ПОЭТАПНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЛАГИАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ: ТЕХНОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ 263
Казазаева А. В.

НЕСООТВЕТСТВИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КОЛЬЧАТЫХ ЧЕРВЕЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ 265
Кайгородова И. А.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПИЯВОК РОДА *CYSTOBRANCHUS* DIESING (HIRUDINEA, PISCICOLIDAE) В ПРИБАЙКАЛЬЕ 267
Кайгородова И. А., Дзюба Е. В.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ НА ЮЖНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ БАЙКАЛА ПО ИХ НАКОПЛЕНИЮ В ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ 269
Калугина О. В., Маринайте И. И., Горшков А. Г.

ОЦЕНКА ВИРУЛЕНТНОСТИ ВИРУСА ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОГО ПОЛИЭДРОЗА СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА (DSCPV-1) НА ГЕМОЦИТАХ АМФИПОД 272
Калюжная О. В., Борвинская Е. В., Назарова А. А., Золотовская Е. Д., Тимофеев М. А., Мартемьянов В. В.

КЛЕТОЧНАЯ КУЛЬТУРА ГОНАД КАМЕННОЙ ШИРОКОЛОБКИ *PARACOTTUS KNERII* (DYBOWSKI, 1874) 274
Калюжная О. В., Борвинская Е. В., Щапова Е. П., Тимофеев М. А.

К ВОПРОСУ О БИОРАЗНООБРАЗИИ ТОЛСТИХИНСКОГО ТЕРМАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА (БАРГУЗИНСКАЯ ДОЛИНА, РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ) 276
Карнаухов Д. Ю., Лавникова А. В., Ермолаева Я. К., Бирицкая С. А., Минчева Е. В., Купчинский А. Б.

СООБЩЕСТВА ГИДРОБИОНТОВ КАРЬЕРНЫХ ОЗЕР ЧЕРЕМХОВСКОГО РАЙОНА (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ) 277
Карнаухов Д. Ю., Лавникова А. В., Ермолаева Я. К., Бирицкая С. А., Минчева Е. В., Купчинский А. Б.

ВЛИЯНИЕ ВЕСЕННЕГО ТЕРМОБАРА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В ОЗ. ДОЛГОЕ (БЕЛАРУСЬ) 278
Карпаева А. Ю., Суховило Н. Ю., Власова Д. Б., Цыденов Б. О.

ЗАОЗЕРЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ КАК ИНДИКАТОР ИНТЕНСИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА АРГА (ДЕЛЬТА РЕКИ ЛЕНЫ) 280
Картозия А. А.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ *PARACOTTUS KNERII* (TELEOSTEI; PERCIFORMES; COTTIDAE) ОЗЕРА БАЙКАЛ НА ОСНОВЕ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ И ЯДЕРНЫХ МАРКЕРОВ 281
Кирильчик С. В., Богданов Б. Э., Тетерина В. И.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ КАК ИНСТРУМЕНТ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ЭКОДНК БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ 283
Кирильчик С. В., Черезова В. М., Тетерина В. И., Макаров М. М., Аношко П. Н., Суханова Л. В., Дзюба Е. В.

СОСТОЯНИЕ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОГО ГОМЕОСТАЗА В ТКАНЯХ, СВЯЗАННЫХ С РЕГЕНЕРАЦИЕЙ РАКОВИНЫ У ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ 285
Кладченко Е. С., Челебиева Э. С., Гостюхина О. Л., Лавриченко Д. С., Богачева Е. А.

СТИМУЛ-ЗАВИСИМАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ АКТИНОВЫХ МИКРОФИЛАМЕНТОВ В ВЕРШИНАХ ОБОНЯТЕЛЬНЫХ РЕЦЕПТОРНЫХ НЕЙРОНОВ 287
Клименков И. В., Судаков Н. П.

ВИДОВОЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА ЗООПЛАНКТОНА БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) 289
Климова Н. Б.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ВОЗРАСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЫБ ОЗ. БАЙКАЛ 291
Князев А. С., Зоркальцев В. И.

МОЛЛЮСКИ ПОДСЕМЕЙСТВА SPHAERIINAE (BIVALVIA: SPHAERIIDAE) В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ: ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ 293
Коваленкова М. В., Бабушкин Е. С., Ромашова А. К., Макаренко В. П.

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ЧИСЛО ХРОМОСОМ ЭНДЕМИЧНОЙ БАЙКАЛЬСКОЙ ТИХОХОДКИ *BERTOLANIUS MARKEVICHII* (BISEROV, 1992) (EUTARDIGRADA, EOHYPSIBIIDAE 295
Коваленкова М. В., Медвежонкова О. В., Ромашова А. К., Натяганова А. В.

К ВОПРОСУ О СООБЩЕСТВАХ ЗООПЛАНКТОНА МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ПРИМОРСКОГО ХРЕБТА (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ) 296
Кодатенко И. Д., Лавникова А. В., Карнаухов Д. Ю., Слепченко А. С., Башкирцев А. В., Рэчилэ Д. Г., Олимова А. Б., Саловаров К. В., Ермолаева Я. К.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ ПРИ ЗАКАЧКЕ СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ 297
Кожевников Е. В., Турбаков М. С., Рябоконь Е. П., Гузев М. А., Иванов З. Г.

СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ ДНК-ШТРИХКОДОВ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ 298
Колосова К. А., Майор Т. Ю.

ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ БАЙКАЛЬСКИХ ЛИТОРАЛЬНЫХ АМФИПОД ВИДОВ *EULIMNOGAMMARUS CYANEUS* (DYBOWSKY, 1874) И *GMELINOIDES FASCIATUS* (STEBBING, 1899) ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ 300
Кондратьева Д. С., Карнаухов Д. Ю., Лавникова А. В., Голубец Д. И., Кульбачная Н. А., Соломка А. Н., Бирицкая С. А., Ермолаева Я. К.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЛИТОРАЛЬНЫХ И ГЛУБОКОВОДНЫХ АМФИПОД ОЗЕРА БАЙКАЛ К УФ-ИЗЛУЧЕНИЮ 302
Кондратьева Е. С., Гурков А. Н., Ржечицкий Я. А., Шатилина Ж. М., Тимофеев М. А.

СЕЗОННЫЕ ТРЕНДЫ И ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ РУЧЕЙНИКОВ *APATANIA CRYMOPHILA* В БРИОФАУНЕ Р. ЕНИСЕЙ 304
Коновалова Д. А., Андрущенко С. В., Зотина Т. А.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДЕ ОЗЕРА КОТОКЕЛЬ (ВОСТОЧНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ) 306
Коновалова Л. А., Базарсадуева С. В., Никитина Е. П., Тараскин В. В., Гармаев Е. Ж.

РЕСНИЧНЫЕ ЧЕРВИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 308
Коргина Е. М.

ТЕЛОМЕРНАЯ БИОЛОГИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ КОТТОИДНЫХ РЫБ ОЗЕРА БАЙКАЛ 309
Королева А. Г., Вахтеева Е. А., Епифанцев А. А., Кирильчик С. В., Тетерина В. И., Суханова Л. В., Яхненко В. М., Небесных И. А., Ханаев И. В., Сапожникова Ю. П.

ВЕРОЯТНОСТЬ ВЛИЯНИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ НА ГИБЕЛЬ РЫБ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ БЕЛАРУСИ 311
Костоусов В. Г., Апсолихова О. Д., Попиначенко Т. И.

РАЗНООБРАЗИЕ ДОННОЙ ФАУНЫ В ПОНИЖЕНИЯХ РЕЛЬЕФА СКЛОНА В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЗОНЕ У ЗАПАДНОГО БОРТА ЮЖНОЙ КОТЛОВИНЫ ОЗ. БАЙКАЛ 313
Кравцова Л. С., Кучер К. М., Коваленкова М. В., Тупикин А. Е., Кабилов М. Р., Асламов И. А.

БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ БИОТЕСТЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОЧВЫ, ВОДНОЙ И ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ 315
Кратасюк В. А., Есимбекова Е. Н., Оюн А. М., Колосова Е. М., Чуяшенко Д. Е., Мучкина Е. Я., Сутормин О. С.

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИКРОТУРБЕЛЛЯРИЙ (PLATYHELMINTHES, RHABDITOPHORA) МЯГКИХ ГРУНТОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ДАГАРСКОЙ ГУБЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ 317
Криворoткин Р. С., Алексеева Т. М., Тимошкин О. А.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОЗЕРНЫХ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ 319
Ксенофонтова М. И.

ТЕПЛОВОЙ СТРЕСС КАК ФАКТОР ОЧИЩАЮЩЕГО ОТБОРА В АКВАКУЛЬТУРЕ НА ПРИМЕРЕ ОБЫКНОВЕННОГО КАРПА (*CYPRINUS CARPIO*) 321
Кузьмин А. В., Балашов Д. А., Виноградов Е. В., Ефименко Б. Э., Мюге Н. С., Попадьин К. Ю.

СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ И ПРОМЫСЛА ПРЕСНОВОДНОЙ ГУБКИ БАДЯГИ В ВОДОЕМАХ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРИОД 2010–2024 ГГ. 323
Кулик Н. В., Белорусцева С. А.

ИСТОРИЯ ЭКСПЕДИЦИЙ КИБ НА НЕГАТИВАХ 1916–1930 гг. ИЗ СОБРАНИЯ БМ СО РАН 325
Купчинский А. Б., Бухарова И. Г.

ОЗЁРА ЛАВИННОГО ВЫБИВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. ГОНАЧХИР, ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ) 327
Кюль Е. В., Гедуева М. М., Гузиев Х. Ю., Корчагина Е. А., Нирова З. С.

МОРЕННЫЕ ОЗЁРА И ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ 329
Кюль Е. В., Гедуева М. М., Корчагина Е. А., Нирова З. С., Байдаев З. Р., Джаппуев Д. Р.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛКИЛБЕНЗОЛСУЛЬФОНАТОВ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ СО ЛЬДА ОЗЕРА БАЙКАЛ В 2022 Г. МЕТОДОМ ВЭЖХ-УФ 332
Кялундзюга Е. О., Ханаев И. В., Никонова А. А.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЩИПОВОК СЕМЕЙСТВА COBITIDAE БАССЕЙНОВ РЕК ДНЕПР И ПРИПЯТЬ БЕЛАРУСИ 334
Левина К. Б., Гайдученко Е. С.

СТРУКТУРА ЖИВОГО И МЕРТВОГО ЗООПЛАНКТОНА В МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ОЗЕРАХ ХАКАСИИ 336
Лемешева А. А.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА КОТОКЕЛЬ (ВОСТОЧНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ) 338
Леонова Г. А., Мальцев А. Е., Кривоногов С. К.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОД РЕКИ МЗЫМТА В РАЗНЫЕ ФАЗЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА, ЧЕРНОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИИ 340
Лесникова П. С., Захарихина Л. В.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИНВАЗИЙ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ БЕЛАРУСИ 342
Липинская Т. П., Семенченко В. П.

ИСТОРИЯ АЛЬГОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ 344
Лихошвай Е. В.

РАЗНООБРАЗИЕ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ОСАДКАХ РИФТОВОГО ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА 346
Ломакина А. В., Погодаева Т. В., Иванов В. Г., Колесников П. М., Смирнова Д. К., Ковешников М. И., Романова Н. С., Кириллов В. В., Земская Т. И.

СЕЗОННАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РТУТИ В АТМОСФЕРЕ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ И НАД ОЗЕРОМ БАЙКАЛ 348
Луцкин Е. С., Ходжер Т. В.

ОПЫТ ИНДУЦИРОВАННОЙ ТРИПЛОИДИЗАЦИИ СИГОВЫХ РЫБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ 350
Лютиков А. А., Голотин В. А., Вылка М. М., Костюничев В. В.

РТУТЬ В ХВОЕ ГОЛОСЕМЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗ. БАЙКАЛ 352
Ляпина Е. Е.

БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ХВОЕ ГОЛОСЕМЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗ. БАЙКАЛ 354
Ляпина Е. Е., Перегудина Е. В

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗНООБРАЗИЯ ЗООПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ С ПОМОЩЬЮ ДНК-МЕТАБАРКОДИРОВАНИЯ И МИКРОСКОПИИ 356
Майор Т. Ю., Галачьянц Ю. П., Федотов А. П.

ВЛИЯНИЕ ФОСФАТОВ И СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА НА СТЕПЕНЬ ТРОФНОСТИ ГОРОДСКИХ ОЗЕР 358
Макаров В. Н.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА НАГУЛЬНОЙ ПОПУЛЯЦИИ БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ, СРАВНЕНИЕ С КЛАССИЧЕСКИМ ТРАЛОВО-АКУСТИЧЕСКИМ УЧЕТОМ 360
Макаров М. М., Дзюба Е. В., Аношко П. Н.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ НОВО-ИРКУТСКОЙ ТЭЦ В РЕГИОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ 363
Макухин В. Л., Латышева И. В., Синюкович В. Н.

СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В ГИДРОБИОНТАХ В РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ КРЫМА 365
Малахова Л. В., Малахова Т. В., Статкевич С. В., Чеснокова И. И., Куршаков С. В., Карпова Е. П.

МИНЕРАЛЫ ФОСФОРА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ОТ ПОЗДНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА ДО ГОЛОЦЕНА 367
Малов В. И., Страховенко В. Д., Субетто Д. А., Белкина Н. А.

ОЦЕНКА СКОРОСТЕЙ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА ДОННЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ МАЛЫХ ОЗЁР ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ 369
Малов Г. И., Страховенко В. Д., Овдина Е. А., Малов В. И.

СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ СОЛЗАНСКОГО ПОЛИГОНА БЦБК 371
Мамонтов А. А., Мамонтова Е. А.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ И ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В АТМОСФЕРЕ НА СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА В Г. ИРКУТСКЕ 373
Маринайте И. И., Потемкин В. Л.

МУЛЬТИПЛИЦИРОВАННЫЕ БЕЛКИ ТРАНСПОРТА КРЕМНИЯ 374
Марченков А. М.

НЕКОТОРЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ В ОЗЕРАХ СОЛЕНОЕ И ХАНКА (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ) 376
Матросова И. В., Лавренова Д. Ю.

СРАВНЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ И АБСОЛЮТНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ С ПОМОЩЬЮ МЕТАБАРКОДИНГА И МИКРОСКОПИИ 378
Михайлов И. С., Букин Ю. С., Фирсова А. Д., Петрова Д. П., Лихошвай Е. В.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ОРУДИЙ ОТБОРА ПРОБ ГАММАРИД В ВОДОЕМАХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ В 2024 ГОДУ 379
Митителло А. В., Пастушенко У. В., Гуров В. В.

ЗИМНИЙ ПЛАНКТОН И БЕНТОС ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА (АЛТАЙ, РОССИЯ): ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И ОБИЛИЯ В ПОДЛЕДНЫЙ ПЕРИОД 382
Митрофанова Е. Ю., Ковешников М. И., Крылова Е. Н.

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА ОБВОДНЕННОГО КАРЬЕРА ЯНТАРНЫЙ (КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ) 384
Моисеенко В. В., Семенова А. С.

СИНХРОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ: АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ 386
Моложникова Е. В., Шиховцев М. Ю., Оболкин В. А., Ходжер Т. В.

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО СЕЛЬДИ-ЧЕРНОСПИНКИ (*ALOSA KESSLERI* KESSLERI GRIMM, 1887) В Р. ВОЛГЕ В 2015–2024 ГГ. 388
Муханова Р. С., Власенко С. А., Фомин С. С.

ПОКАЗАТЕЛИ КЛЕТОЧНОГО ИММУННОГО ОТВЕТА БАЙКАЛЬСКИХ АМФИПОД ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПАРАЗИТИЧЕСКИХ ПИЯВОК *BAICALOBDELLA TORQUATA* 390
Назарова А. А., Мутин А. Д., Скафарь Д. Н., Гурков А. Н., Тимофеев М. А.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ЕРША БАЛОНА *GIMNOCEPHALUS BALONI* (HOLCIK & HENSEL, 1974) В ВОДОТОКАХ ЮГО-ВОСТОКА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ 392
Назарчук О. А.

НЕКЛАССИЧЕСКАЯ КОНЪЮГАЦИЯ У БАЙКАЛЬСКОЙ НИТЧАТОЙ ВОДОРОСЛИ СПИРОГИРЫ 394
Натяганова А. В., Порошина А. А., Клименков И. В, Кулакова Н. В., Букин Ю. С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ЭПИФИТНЫХ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ CYSTOSEIRA CRINITA В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ Г. СОЧИ 396
Наумова Е. А., Рогожина Е. В., Горбунова Т. Л., Захарихина Л. В., Лесникова П. С., Черненко С. П.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗНЫХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ ПЕЛАГИЧЕСКОЙ АМФИПОДЫ *MACROHECTOPUS BRANICKII* 398
Наумова Е. Ю., Зайдыков И. Ю., Макаров М. М.

ФАУНА СВОБОДНОЖИВУЩИХ НЕМАТОД (NEMATODA) ОЗЕРА БАЙКАЛ В СРАВНЕНИИ С ФАУНАМИ ДРУГИХ ДРЕВНИХ ОЗЕР 400
Наумова Т. В., Гагарин В. Г.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ В РАЙОНЕ ВЛИЯНИЯ БЦБК (ЮЖНЫЙ БАЙКАЛ) 402
Непокрытых А. В., Букшук Н. А., Томберг И. В., Широкая А. А., Зайцева Е. П., Тимошкин О. А.

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭКОЛОГИИ ЭНДЕМИЧНЫХ РУЧЕЙНИКОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ 404
Непокрытых А. В., Трибой Т. И.

КОРМОВАЯ БАЗА И ПИТАНИЕ ЛИЧИНОК БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ ПОСОЛЬСКОГО СОРА ОЗ. БАЙКАЛ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД 2024 Г. 406
Неронова С. Ю., Шевелёва Н. Г.

ИТОГИ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ 408
Нецветаева О. Г., Ходжер Т. В.

ПОТОКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ (CH4, CO2) С ПОВЕРХНОСТИ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ 410
Никитин О. В., Степанова Н. Ю., Аухадеев Т. Р., Латыпова В. З.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ В ЭКОТОКСИКОЛОГИИ: КАК ПАРАМЕТРЫ ОБРАБОТКИ ВИДЕО ВЛИЯЮТ НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ (НА ПРИМЕРЕ *DAPHNIA MAGN*А) 412
Никитин О. В., Насырова Э. И., Степанова Н. Ю., Латыпова В. З.

КАРТИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ «ЦВЕТЕНИЯ» ФИТОПЛАНКТОНА В КУЙБЫШЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ПО ДАННЫМ SENTINEL-2 414
Никитин О. В., Степанова Н. Ю., Кузьмин Р. С., Латыпова В. З.

ВЛИЯНИЕ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ПОПУЛЯЦИИ РЫБ 416
Никитенко А. И., Горячев Д. В., Артеменков Д. В., Жернаков И. А., Смирнов А. А.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПОЙМЕННОГО ОЗЕРА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ОБИ 418
Никиткина Э. Г., Воробьёв Р. С., Лущаева И. В., Коханенко А. А.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТАЦИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ РЫБЫ И ВТОРИЧНОГО РЫБНОГО СЫРЬЯ 420
Никифорова А. П.

ОЦЕНКА СТРАТЕГИЙ РАЗМНОЖЕНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ *HYDRA VULGARIS* НА ОСНОВЕ ML-АНАЛИЗА ЧАСТОТ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ МАРКЕРОВ 422
Николаева Т. А., Порошина А. А., Щербаков Д. Ю.

ПОДХОДЫ К КОЛИЧЕСТВЕННОМУ АНАЛИЗУ АСПАВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФХМА, ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ СТАНДАРТЫ 424
Никонова А. А., Тактоев Д. М.

НАКОПЛЕНИЕ И ВЫСВОБОЖДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ БИОМАССЫ УРУТИ (*MYRIOPHYLLUMSPICATUM*) В РЕКЕ ЕНИСЕЙ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 426
Новицкая (Анищенко) Ю. Д., Анищенко О. В., Иванова Е. А., Колмакова А. А.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КРИТИЧЕСКИЕ АНТРОПОГЕННЫЕ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА 428
Новоселов А. П., Болотов И. Н.

К ВОПРОСУ О РОЛИ АТМОСФЕРЫ В ПОСТУПЛЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ЭКОСИСТЕМУ ОЗЕРА БАЙКАЛ 430
Оболкин В. А., Нецветаева О. Г.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: РОЛЬ БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ 432
Овдина Е. А., Страховенко В. Д., Малов Г. И., Малов В. И.

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ В ПРИТОКАХ ЮЖНОГО БАЙКАЛА (ЗАЛ. ЛИСТВЕННИЧНЫЙ 434
Онищук Н. А., Ходжер Т. В.

КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ КАК ИНДИКАТОР ИЗМЕНЧИВОСТИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ 435
Осипов Э. Ю., Осипова О. П.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ ОЗЕРА БАЙКАЛ 437
Осипова О. П., Домбровская Н. С.

РЫБЫ РОДА *COTTUS* В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БЕЛАРУСИ: РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ФИЛОГЕОГРАФИЯ 438
Охременко Ю. И., Полетаев А. С., Ризевский В. К., Звездин А. О., Колотей А. В., Комаровский Р. А., Гайдученко Е. С.

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ И ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В МАЛОМ ЛЕСНОМ ОЗЕРЕ 440
Пальшин Н. И., Богданов С. Р., Здоровеннова Г. Э., Ефремова Т. В., Здоровеннов Р. Э.

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ГАЗОБМЕН CO_2 И CH_4 В СИСТЕМЕ «АТМОСФЕРА – ВОДА» НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ 442
Панченко М. В., Пестунов Д. А., Домышева В. М., Сакирко М. В., Шамрин А. М., Шмаргунов В. П., Иванов В. Г.

РАЗНООБРАЗИЕ МШАНОК БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА 443
Перетолчина Т. Е., Ситникова Т. Я.

ДИНАМИКА ВОЗРАСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОМАССЫ ЕНИСЕЙСКОГО ОСЕТРА 445
Пережилин А. И., Гайденок Н. Д.

БАЛАНС ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПО АКВАТОРИИ ОЗ. БАЙКАЛ В ВЕСЕННИЙ И ЛЕТНИЙ ПЕРИОДЫ 2024 ГОДА 447
Пестунов Д. А., Панченко М. В., Домышева В. М., Сакирко М. В., Шамрин А. М., Шмаргунов В. П., Иванов В. Г.

ИНТЕРКАЛИБРОВКА ПАРОФАЗНОГО И ЭКВИЛИБРАТОРНОГО МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТАНА В ВОДЕ 448
Пестунов Д. А., Панченко М. В., Шамрин А. М., Шмаргунов В. П., Иванов В. Г

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ 449
Пестунов И. А., Мамаш Е. А., Иргит А. А., Асламов И. А., Сакирко М. В., Чурилова Т. Я.

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ *EULIMNOGAMMARUS VERRUCOSUS* ЗАПАДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ 451
Петунина Ж. В., Букин Ю. С., Романова Е. В., Юдинцева А. В

АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ В ПОПУЛЯЦИЯХ *GMELINOIDES FASCIATUS* ОЗЕРА БАЙКАЛ 453
Петунина Ж. В., Ван Ю., Букин Ю. С.

ПОДВОДНАЯ РАЗГРУЗКА НАЗЕМНОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА КОТЕЛЬНИКОВСКИЙ (ГУБА ГОРЯЧИНСКАЯ ОЗ. БАЙКАЛ) 455
Погодаева Т. В., Онищук Н. А., Иванов В. Г., Кучер К. М., Черницына С. М., Наумова Т. В., Ситникова Т. Я.

ЙОД В ПОРОВЫХ ВОДАХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРЕСНОВОДНОГО ГЛУБОКОВОДНОГО ОЗЕРА БАЙКАЛ 456
Погодаева Т. В., Онищук Н. А., Хабуев А. В., Хлыстов О. М.

ИЗМЕНЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РЫБ КИЖСКИХ ШХЕР ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА: РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА 458
Погосян В. Р., Коваленко В. Н.

ВЛИЯНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА ФИКОБИЛИПРОТЕИНОВ НА ВЗРОСЛЫХ ТИХООКЕАНСКИХ УСТРИЦ (*MAGALLANA GIGAS*) 460
Подольская М. С., Ткачук А. А., Парфенов В. В., Кухаерва Т. А., Андреева А. Ю.

ВСТРЕЧАЕМОСТЬ *PLEUROXUS DENTICULATUS* BIRGE, 1879 (CLADOCERA: CHYDORIDAE) В ВОДОЕМАХ СЕВЕРА ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ (СРЕДНЕЕ ПОВОЛЖЬЕ) 462
Подшивалина В. Н., Шевелева Н. Г.

РЕДКИЕ И ИСЧЕЗАЮЩИЕ ВИДЫ РЫБ В ВОДОТОКАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НАРОЧАНСКИЙ» (БЕЛАРУСЬ) 464
Полетаев А. С., Куницкий Д. Ф., Равко А. В., Углянец А. А.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ СИГОВ ЮЖНОЙ СИБИРИ 466
Политов Д. В., Бочкарёв Н. А., Матвеев А. Н., Тувшинжаргал Н., Суханова Л. В.

ОЗЕРНОЕ МЕСТООБИТАНИЕ ЛИЧИНОК МИНОГИ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ» 468
Полякова Н. В., Генельт-Яновская А. С., Зеленковский П. С., Кучерявый А. В.

НОВАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НИША *PARAPHAEOSPHAERIA SPORULOSA*: ТАКСОНОМИЯ, ФИЛОГЕНИЯ И ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ 469
Полякова М. С., Пудовкина Т. А., Бедошвили Е. Д., Минчева Е. В

ОСОБЕННОСТИ СВЯЗОЧНОГО АППАРАТА ПЛЕЧЕВОГО И ЛОКТЕВОГО СУСТАВОВ БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ 471
Помойницкая Т. Е., Рядинская Н. И.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕПРОДУКТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ DAPHNIIDAE С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДИВИДУАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ И МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ МАРКЕРОВ 473
Порошина А. А., Николаева Т. А., Щербаков Д. Ю.

КОЛЬЦЕВЫЕ REP-КОДИРУЮЩИЕ ОДНОЦЕПОЧЕЧНЫЕ (CRESS) ДНК ВИРУСЫ В МЕТАГЕНОМАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ 474
Потапов С. А., Гладких А. С., Белых О. И.

ТРОПИЧЕСКИЕ НОЧИ И ЖАРКИЕ ДНИ В РАЙОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ – ПРИЗНАКИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ 476
Потемкина Т. Г.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ОЗЕР ОСТРОВА БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ 478
Прилуцкая Н. С., Климов С. И., Морева О. Ю., Чупакова А. А., Воробьева Т. Я.

АНТИМИКРОБНЫЕ БЕЛКИ И ПЕПТИДЫ КАК МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ РЕГУЛЯЦИИ ПАРАЗИТО-ХОЗЯИННЫХ ОТНОШЕНИЙ В СИСТЕМЕ «ЦЕСТОДЫ – ПРЕСНОВОДНЫЕ РЫБЫ» 480
Рогожин Е. А., Фролова Т. В., Извекова Г. И.

АКТИВНОСТЬ БАКТЕРИЙ-ДЕСТРУКТОРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЗОНЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТОПОЧНЫМ МАЗУТОМ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ 481
Рогожина Е. В., Наумова Е. А., Захарихина Л. В., Бехтерев В. Н., Горбунова Т. Л., Лесникова П. С., Керимзаде В. В., Черненко С. П.

ОЗЕРА ЭВЕНКИИ КАК СВИДЕТЕЛИ ТУНГУССКОЙ КАТАСТРОФЫ 1908 ГОДА 483
Рогозин Д. Ю., Назарова Л. Б., Фролова Л. А., Сырых Л. С., Болобанщикова Г. Н., Дарьин А. В.

РАЗНЫЕ СКОРОСТИ ЭВОЛЮЦИИ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ ГЕНОМОВ БАЙКАЛЬСКИХ АМФИПОД 485
Романова Е. В., Букин Ю. С., Юдинцева А. В., Щербаков Д. Ю.

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ РОДСТВО И ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СТАТУС *VALVATA* SPP. (GASTROPODA, HETEROBRANCHIA) В ПРИБАЙКАЛЬЕ 487
Ромашова А. К., Натяганова А. В., Коваленкова М. В.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ БАЙКАЛЬСКОГО СЕТНОГО ЗООПЛАНКТОНА ЗА 80 ЛЕТ НАБЛЮДЕНИЙ НА «ТОЧКЕ № 1» 489
Русановская О. О., Демидова А. А., Ржепка Т. П., Пислегина Е. В., Шимараева С. В., Тимофеев М. А., Зилов Е. А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ УЧЁТА ЗООПЛАНКТОНА В МОНИТОРИНГЕ БАЙКАЛА 491
Русановская О. О., Орешков С. С., Тимофеев М. А.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА БАКТЕРИОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ С ДОБАВЛЕНИЕМ МИКРОЦИСТИНА-LR 493
Рымарева Е. А., Тихонова И. В., Медведева Н. Г., Кузикова И. Л., Зайцева Т. Б., Краснопеев А. Ю., Потапов С. А., Сороковикова Е. Г., Белых О. И.

ПОПУЛЯЦИИ СУДАКА *SANDER LUCIOPERCA* (L.) В РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМАХ КАРЕЛИИ 495
Савосин Д. С., Коваленко В. Н., Савосин Е. С.

СООТНОШЕНИЕ ФОРМ ФОСФОРА В ВОДЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ 497
Сакирко М. В., Домышева В. М.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТРАНСКРИПТОМИКА КАК КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ АДАПТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ БАЙКАЛЬСКИХ РОГАТКОВИДНЫХ РЫБ К ОБИТАНИЮ В РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НИШАХ 499
Сапожникова Ю. П., Королева А. Г., Сидорова Т. В., Вахтеева Е. А., Епифанцев А. А., Яхненко В. М., Потапов С. А., Кирильчик С. В., Суханова Л. В., Небесных И. А., Ханаев И. В.

АНАЛИЗ ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АМФИПОД *EULIMNOGAMMARUS MARITUJI* В БАЙКАЛЬСКОМ БАССЕЙНЕ 501
Саранчина А. Е., Говорухина Е. Б., Романов Н. А., Филиппов А. В., Тимофеев М. А., Дроздова П. Б.

ВЫЯВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ 503
Семенов М. Ю., Маринайте И. И., Голобокова Л. П., Ходжер Т. В.

ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВИСЛИНСКОЙ ЛАГУНЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ 505
Семенова А. С., Дмитриева О. А.

ВЛИЯНИЕ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ НА ПАРАМЕТРЫ КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ В КУРШСКОМ И КАЛИНИНГРАДСКОМ ЗАЛИВАХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ 507
Семенова А. С., Ульянова М. О., Муратова А. А., Дмитриева О. А.

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОБОСОБЛЕННОСТЬ ЛОКАЛЬНОГО ЭНДЕМИКА *NEOCOTTUS THERMALIS*, АССОЦИИРОВАННОГО С ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ ПОЛЕМ В БУХТЕ ФРОЛИХА, ОЗ. БАЙКАЛ 509
Сиделева В. Г., Мюге Н. С., Анненкова Н. В., Жидков З. В.

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИВЕРГЕНЦИЯ МЕЖДУ ВИДАМИ *PARACOTTUS* В ОЗ. БАЙКАЛ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВИДА, ВСЕЛИВШЕГОСЯ В Р. АБАКАН, ПРИТОК Р. ЕНИСЕЙ 511
Сиделева В. Г., Мюге Н. С., Жидков З. В.

СОСТОЯНИЕ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ РАЙОНА КИЖСКИЕ ШХЕРЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В ПОДЛЕДНЫЙ ПЕРИОД 513
Сидорова А. И., Зобкова М. В., Фомина Ю. Ю., Сластина Ю. Л., Сидоров С. М.

ИЗУЧЕНИЕ ПСИХРОФИЛЬНЫХ ПИГМЕНТООБРАЗУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ВОДОЕМОВ ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ 5515
Симухина Э. Ю., Башенхаева М. В., Захарова Ю. Р.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕРА БАЙКАЛ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД 517
Синюкович В. Н., Латышева И. В., Вологжина С. Ж., Лощенко К. А., Макухин В. Л.

ТРОФИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ НА НЕДАВНО ОБНАРУЖЕННОМ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ БИОТОПЕ С ДИФФУЗНОЙ ЭМИССИЕЙ МЕТАНА 519
Ситникова Т. Я., Кияшко С. И., Тетерина В. И., Букин Ю. С., Иванов В. Г., Ханаев И. В., Кучер К. М., Кирильчик С. В., Кравцова Л. С., Максимова Н. В.

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АНОМАЛИЯХ В ТАКСОЦЕНОЗАХ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ЗОНАХ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ И НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЛАНДШАФТОВ НА ПОДВОДНОМ СКЛОНЕ ОЗ. БАЙКАЛ 521
Ситникова Т. Я., Наумова Т. В., Погодаева Т. В., Кучер К. М., Иванов В. Г., Ковалевская А., Механикова И. В., Кравцова Л. С., Онищук Н. А., Тетерина В. И., Лунина О. В., Максимова Н. В.

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ПИГМЕНТЫ ФИТОПЛАНКТОНА КАК ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КИЖСКИХ ШХЕР ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА 523
Сластина Ю. Л.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА КИЖСКИХ ШХЕР ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА 525
Смирнова В. С., Сластина Ю. Л., Зобкова М. В.

АНАЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ МИКРОБНЫМ СООБЩЕСТВОМ ДОННЫХ ОСАДКОВ ОЗ. БАЙКАЛ В ТЕРМОФИЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ 527
Смирнова Д. К., Изосимова О. Н., Горшков А. Г., Земская Т. И., Павлова О. Н.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ВОДЕ ОЗЕРА ГЛУБОКОГО (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ) 529
Соколов Д. И., Терешина М. А., Ерина О. Н.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ОСАДКАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ (ПРОЕКТ CLASS@BAIKAL) 531
Соловьева М. А., Ахманов Г. Г., Видищева О. Н., Хлыстов О. М.

НАХОЖДЕНИЕ МИКРОПЛАСТИКА В ГРУНТЕ ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ 533
Солодкова А. А., Рубан К. К., Гулигуев А. Т., Слепченко А. С., Башкирцев А. В., Бухаева Л. Б., Бирицкая С. А., Карнаухов Д. Ю.

ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ГЕРБИЦИДОВ АТРАЗИНА И ГЛИФОСАТА НА ФИТОПЛАНКТОННОЕ СООБЩЕСТВО ЧЕРНОГО МОРЯ 534
Соломонова Е. С., Шоман Н. Ю., Акимов А. И.

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ТОКСИГЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЦИАНОБАКТЕРИЙ РОДА *DOLICHOSPERMUM* В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ 536
Сороковикова Е. Г., Федорова Г. А., Кузьмин А. В., Тихонова И. В., Найданова Я. А., Белых О. И.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИТОКА РАСТВОРЕННОГО МЕТАНА ПО РАЗЛОМУ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ КОТЛОВИНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ 538
Сорокоумова Я. В., Расторгуев А. В.

ПЛОТВА (*RUTILUS RUTILUS* SENSU LATO) В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БЕЛАРУСИ: УТОЧНЕНИЕ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИПЛЕКС-ПЦР 540
Сосна А. В., Гайдученко Е. С.

ВИДОВОЙ СОСТАВ РАКООБРАЗНЫХ РЕКИ ВАМ КО (ВЬЕТНАМ) 542
Статкевич С. В., Аблязов Э. Р., Ку Нгуен Динь

ФАУНА ДЕСЯТИНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ БАССЕЙНА РЕКИ ЧЕРНОЙ (КРЫМ) 544
Статкевич С. В., Чеснокова И. И., Аблязов Э. Р.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ 546
Степанов П. М., Гайдукова Е. В., Батмазова А. А.

КРЕМНЕЗЁМ В САПРОПЕЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ ОЗЕР, РАСПОЛОЖЕННЫХ В РАЗНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ЗОНАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ 548
Страховенко В. Д., Овдина Е. А., Малов Г. И., Малов В. И., Даниленко И. В.

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА КАЧЕСТВО РЕК РП. ЛИСТВЯНКА 550
Суслова М. Ю., Кан Г. В., Марченко А. Э., Онищук Н. А., Белых О. И.

ТЕПЛОВЫЕ ВОЛНЫ НА УЧАСТКАХ АКВАТОРИИ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД ЛЕТНЕГО ПРОГРЕВА 552
Суторихин И. А., Кириллов В. В., Приймак Г. А., Соловьев В. А.

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ В СЕВЕРНОЙ КОТЛОВИНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ LANDSAT 8,9 554
Сутырина Е. Н., Андреев Ф. М., Черкасова А. О.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ И ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ КАРАСЕЙ *CARASSIUS* SPP. БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ И МОНГОЛИИ 556
Тетерина В. И., Цэнд-Аюуш Д., Аюушсурен Ч., Тувшинжаргал Н., Суханова Л. В., Богданов Б. Э.

ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ЭВТРОФИРОВАНИЕ МАЛЫХ ОЗЕР В ПРЕДЕЛАХ Г. МОСКВЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА 558
Терешина М. А., Ерина О. Н., Соколов Д. И., Хазанова К. П.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ЧИСЛЕННОСТЬ ГОЛОМЯНОК (*COMEPHORUS*, COMEPHORIDAE) В ТОЛЩЕ ВОДЫ БАЙКАЛА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД НА ОСНОВЕ ЛОВОВ ГОЛОМЯНКОВЫМИ ЛОВУШКАМИ 560
Тетерина В. И., Яхненко М. С., Мамонтов А. А., Мамонтов А. М.

МАКРОЗООБЕНТОС В РАЙОНАХ ЗАХОРОНЕНИЯ ДОННОГО ГРУНТА В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА 562
Тимофеева М. А., Жигульский В. А., Былина Т. С., Солодов А. А.

МИКРОПЛАСТИК В ИХТИОФАУНЕ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА 564
Тихонова Д. А., Зарипова К. М., Коваленко В. Н.

ЦИАНОБАКТЕРИИ В ПЛАНКТОНЕ И ОСАДКАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ 566
Тихонова И. В., Федотов А. П., Краснопеев А. Ю., Сороковикова Е. Г., Потапов С. А., Кан Г. В., Небесных Ю. Р., Суслова М. Ю., Ломакина А. В., Кабилов М. Р., Ли С., Белых О. И.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКШН-КАМЕР ДЛЯ АНАЛИЗА ОБИЛИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗООПЛАНКТОНА 568
Толомеев А. П., Задереев Е. С., Дроботов А. В., Яскеляйнен Д. Д.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНЫХ ВОД ЗАПЛЕСКОВОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ 570
Томберг И. В., Елецкая Е. В.

СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ И ВОДЕ ПРИТОКОВ НА ТЕРРИТОРИИ БАЙКАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА 572
Томберг И. В., Нецветаева О. Г.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕКИ ВЕРХНЕЙ АНГАРЫ И ЕЕ ПРИТОКОВ 574
Томберг И. В., Степанова О. Г., Суслова М. Ю., Воробьева С. С.

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ (НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА БОЛЬШОЙ УШКАНИЙ) 576
Томберг И. В., Бондаренко Н. А., Непокрытых А. В., Широкая А. А., Гула М. И., Мальник В. В., Криворотькин Р. С., Алексеева Т. М., Тимошкина Е. М., Зайцева Е. П., Елецкая Е. В., Тимошкин О. А.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА В БАЙКАЛЕ 578
Троицкая Е. С., Шимараев М. Н., Асламов И. А.

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСТВОРЕННЫХ ФОРМ УГЛЕРОДА В ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ КОНТИНУУМЕ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД 580
Трудова Н. С., Чупакова А. А., Чупаков А. В., Широкова Л. С.

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ НА ФИЛЬТРАЦИЮ И МИГРАЦИЮ КОЛЛОИДОВ 582
Турбаков М. С., Кожевников Е. В., Рябоконь Е. П., Гузев М. А., Иванов З. Г.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭКСПРЕСС МОНИТОРИНГА ФИТОПЛАНКТОНА С ПРЯМЫМ ПОДСЧЕТОМ КЛЕТОК В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ И НА ЧИСТЫХ КУЛЬТУРАХ 583
Тюрнев И. Н., Цыбекмитова Г. Ц., Титова Л. А., Захарова Ю. Р., Тихонова И. В., Асламов И. А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАБЕНОВ В ВОДЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОМАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ 585
Федорова Г. А., Корнева Е. С., Кустова О. В., Кузьмин А. В., Троицкая Е. С.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ *HARPACTICOIDA* (COPEPODA, CRUSTACEA) ОЗЕРА БАЙКАЛ 587
Фефилова Е. Б., Голубев М. А., Бакашкина А. С., Новиков А. А., Алексеева Т. М.

В. В. МЕНШУТКИН – ОСНОВОПОЛОЖНИК ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ЛИМНОЛОГИИ 588
Филатов Н. Н., Минина Т. Р.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА СТОМАТОЦИСТ ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В ИРКУТСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ И МАЛЫХ РЕКАХ, ВПАДАЮЩИХ В Р. АНГАРУ 2023–2024 ГГ. 590
Фирсова А. Д.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕСЕННЕГО ФИТОПЛАНКТОНА БРАТСКОГО И УСТЬ-ИЛИМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРСКОГО КАСКАДА 592
Фирсова А. Д., Бессудова А. Ю., Галачьянц Ю. П., Бузевич В. В., Ширшова В. К., Марченков А. М., Лихошвай Е. В.

СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА СЯМОЗЕРА 594
Фомина Ю. Ю.

ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ МЕЛКОВОДНОГО СИПА «МЕЛКИЙ», ОЗЕРО БАЙКАЛ 596
Хлыстов О. М., Макаров М. М., Асламов И. А., Иванов В. Г., Хачикубо А., Минами Х., Манаков А. Ю.

К ОЦЕНКЕ СОВРЕМЕННОГО ХИЧЕСКОГО БАЛАНСА КОМПОНЕНТОВ ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ 598
Ходжер Т. В., Домышева В. М., Голобокова Л. П., Нецветаева О. Г., Сакирко М. В., Онищук Н. А., Сороковикова Л. М., Томберг И. В., Синюкович В. Н.

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ СВОЕОБРАЗИЕ КРАЕВЫХ ПОПУЛЯЦИЙ НЕРКИ (*ONCORHYNCHUS NERKA*) АЗИИ 600
Хрусталева А. М.

ФИЛОГЕОГРАФИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСЛЕЛЕДНИКОВОГО РАССЕЛЕНИЯ НЕРКИ (*ONCORHYNCHUS NERKA*) В АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ АРЕАЛА 602
Хрусталева А. М.

ОТ ФОТОННЫХ СТРУКТУР ДО МИКРОМЕХАНИКИ: ЧТО МОЖЕТ РАССКАЗАТЬ КРЕМНЕЗЕМ ДИАТОМЕЙ 604
Цветинович Ю., Горин Д. А.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ 606
Цветова Е. А., Пененко В. В.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЛАЧНОСТИ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ПЛАНКТОНА В ОЗ. ДОЛГОЕ (БЕЛАРУСЬ) РАННЕЙ ВЕСНОЙ 608
Цыденов Б. О., Суховило Н. Ю., Деги Д. В., Барт А. А., Трунов Н. С., Луценко А. В., Власова Д. Б., Карпаева А. Ю.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ НА ОПОРНОЙ СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ «БОЯРСКИЙ» В 2024 Г. 609
Цыдыпов В. В., Жамсуева Г. С., Заяханов А. С., Дементьева А. Л., Бальжанов Т. С., Стариков А. В.

СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ САЖИ И ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ НА ЛЬДУ ЮЖНОГО БАЙКАЛА 610
Чебунина Н. С., Нецветаева О. Г.

КЛЕТОЧНЫЕ РЕАКЦИИ ЗЕЛЕНОЙ ПАРАЗИТИЧЕСКОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ *COCCOMYXA PARASITICA* R. N. STEVENSON & G. R. SOUTH, 1974 В УСЛОВИЯХ ОСМОТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ 612
Челебиева Э. С., Лавриченко Д. С., Богачева Е. А., Кладченко Е. С.

IN VITRO АНАЛИЗ ДНК-ТРАНСПОЗОНОВ DTSSA4 У БАЙКАЛЬСКИХ СИГОВЫХ РЫБ 614
Черезова В. М., Майор Т. Ю., Сидорова Т. В., Сапожникова Ю. П., Королева А. Г., Суханова Л. В.

ГЕНОМ БЕСЦВЕТНОЙ СЕРНОЙ БАКТЕРИИ *THIOPLOCA* SP., ОБИТАЮЩЕЙ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ 615
Черницына С. М., Букин С. В., Земская Т. И.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРБИКУЛ *CORBICULA JAPONICA* ИЗ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ РЕК БАССЕЙНА ЯПОНСКОГО МОРЯ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ) В МОНИТОРИНГЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ 617
Чернова Е. Н., Прозорова Л. А., Богатов В. В.

АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХРЯЩЕЙ НОСА У БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ (*PUSA SIBIRICA* GMELIN, 1788) В ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ 619
Шарипова У. Р., Рядинская Н. И.

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ ВЕЩЕСТВ В НЕБОЛЬШОМ РАВНИННОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ 621
Шашуловская Е. А., Мосияш С. А.

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ ДЕЛЬТЫ Р. СЕЛЕНГИ 623
Ширеторова В. Г., Базарсадуева С. В, Никитина Е. П., Нимбуева Н. Б., Тараскин В. В.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗ. КОТОКЕЛЬ (ВОСТОЧНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ) 624
Ширеторова В. Г., Никитина Е. П., Базарсадуева С. В., Нимбуева Н. Б., Тараскин В. В., Гармаев Е. Ж.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ 626
Ширеторова В. Г., Никитина Е. П., Нимбуева Н. Б., Тараскин В. В.

ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ РАЗНООБРАЗИЯ АКРОЛОКСИД (MOLLUSCA: GASTROPODA) БАЙКАЛА 628
Широкая А. А., Солдатенко Е. В., Петров А. А., Анохин Б. А.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ 631
Шиховцев М. Ю., Оболкин В. А., Тюрнев И. Н., Бердашкинова О. И., Моложникова Е. В.

ГИДРОГЕЛЕВЫЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ И ВНУТРЕННИХ СРЕД ГИДРОБИОНТОВ 633
Щапова Е. П., Ржечицкий Я. А., Тимофеев М. А., Гурков А. Н.

БАТИМЕТРИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ АМФИПОД ОЗЕРА БАЙКАЛ 635
Юдинцева А. В., Романова Е. В., Букин Ю. С.

МЕЖПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТОЧЕЧНЫХ МУТАЦИЙ В АНТИКОДОНАХ тРНК У БАЙКАЛЬСКИХ ЭНДЕМИЧНЫХ АМФИПОД 637
Юдинцева А. В., Романова Е. В., Петунина Ж. В., Букин Ю. С.

ВЛИЯНИЕ МИКРОПЛАСТИКА НА ПАРАМЕТРЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВЕТВИСТОУСЫХ РАКООБРАЗНЫХ 639
Яскеляйнен Д. Д., Задереев Е. С.

ИЗУЧЕНИЕ ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ БАЙКАЛЬСКИХ ЭНДЕМИЧНЫХ ГУБОК *L. BAIKALENSIS* 641
Яхненко А. С., Букин Ю. С., Ханаев И. В., Бондарь Е. И., Ицкович В. Б.

ИЗУЧЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО *ПОТЕНЦИАЛА CYTOBACILLUS PSEUDOCEANISEDIMINIS* ИЗ ГЛУБОКОГО ПОДЗЕМНОГО МИНЕРАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА 643
Яхненко А. С., Тарасов К. А., Кравченко Е. В.

ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ КОТТОИДНЫХ РЫБ (PERCIFORMES: COTTIDAE) БАЙКАЛА С ПОМОЩЬЮ БАРКОДИНГ МАРКЕРА COI 644
Яхненко А. С., Ханаев И. В., Тетерина В. И., Богданов Б. Э., Кирильчик С. В., Дзюба Е. В.

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КРОВИ КОТТОИДНЫХ РЫБ ОЗЕРА БАЙКАЛ 645
Яхненко В. М., Сапожникова Ю. П., Королева А. Г., Небесных И. А., Епифанцев А. А., Вахтеева Е. А., Ханаев И. В.

DETECTION OF VIRUSES IN A NATURAL RESERVOIR BASED ON NUCLEOTIDE SEQUENCE ANALYSIS 647
Astahova E. M., Cheremiskina A. A., Buryak G. A., Safatov A. S., Agafonov A. P.

ASSESSMENT OF A FRESHWATER ECOSYSTEM SURFACE WATERS QUALITY BY GENETIC MARKERS OF MODEL TEST-OBJECT 649
Avalyan R. E., Aroutiounian R. M., Atoyants A. L.

NEW RECORDED SPECIES OF MACROMYCETES IN THE BAIKAL BASIN 651
Burenbaatar G., Altantsetseg Kh., Ulambayar T.

FEATURES OF THE FORMATION OF AQUATIC MICROALGAE COMMUNITIES IN HYDROLOGICALLY DIFFERENT AQUATIC ECOSYSTEMS OF ARMENIA 654
Hambaryan L., Esoyan S., Mkrtchyan A., Igityan H., Poniewozik M.

ECOLOGICAL AND BIOGEOCHEMICAL STUDIES IN THE BUREYA RESERVOIR IN THE AREA OF A GIANT LANDSLIDE 655
Kondratyeva L. M., Litvinenko Z. N., Andreeva D. V.

FORMATION OF TOXIC COMPOUNDS IN GROUNDWATER DURING MICROBIAL TRANSFORMATION OF PHENANTHRENE 657
Litvinenko Z. N., Kondratyeva L. M.

GEOCHEMISTRY OF BIOGENIC ELEMENTS IN PORE WATERS OF BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL LAKES (SOUTH OF WESTERN SIBERIA) 659
Maltsev A. E., Leonova G. A.

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF HYDROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF YOUNG FLOODED QUARRIES IN THE PREGOLYA RIVER BASIN 661
Moiseenko V. V., Tsupikova N. A., Sevostianova E. A., Fedorov L. S

MODERN APPROACHES TO ASSESSING FISH PRODUCTIVITY IN NATURAL WATER BODIES 663
Plaksina M. P.

STUDY OF LOCAL AND NON-LOCAL SOURCES OF BIOAEROSOLS 665
Safatov A. S., Andreeva I. S., Astahova E. M., Buryak G. A., Lapteva N. A., Moshkin A. D., Olkin S. E., Ohlopkova O. V., Reznikova I. K.

GAMMARUS LACUSTRIS SARS, 1863 IS PHYLOGENETICALLY HOMOGENEOUS IN EAST SIBERIAN WATER BODIES WITH DIFFERENT MINERALIZATION 667
Shirokova Y. A., Cherkashina S. A., Shchapova E. P., Rzhechitskiy Y. A., Mutin A. D., Zolotovskaya E. D., Shadrin N. V.

ONE MORE EURASIAN ACANTHOCYCLOPS SPECIES OF ROBUSTUS-GROUP (COPEPODA: CRUSTACEA) FOUND IN NORTH AMERICA 669
Sukhikh N., Mayor T., Alekseev V.

ZOOPLANKTON AND MEIOBENTHOS FROM WATER BODIES IN THE BASINS OF PUTORANA PLATEAU LARGE LAKES (RUSSIA): TAXOCENES STRUCTURE IN RELATION TO ALTITUDINAL GRADIENT 670
Trukhan M. A., Chertoprud E. S., Novichkova A. A., Garibian P. G.

SPRING BIRDS DIVERSITY IN THE KHURKH RIVER VALLEY, NORTHEAST MONGOLIA 671
Tsegmid N., Oyuntuya Sh., Orgilbold M.

BIRDS OF LAKE BOONTSAGAAN (MONGOLIA) 674
Tsegmid N., Kestutis Cepenas, Nacharkin G. A., Khiliinchuluun S., Baasansuren S

TRANSFORMATION OF THE ECOSYSTEM OF THE SOUTH-EASTERN PART OF THE SIWASH BAY (SEA OF AZOV) UNDER THE CONDITIONS OF LONG-TERM SALINITY CHANGE 676
Zaripova K. M., Soloveva O. V., Burdiyan N. V., Guseva E. V., Alemov S. V.

SPERMATOGENESIS FEATURES IN FLIER *CENTRARCHUS MACROPTERUS*（FAMILY CENTRARCHIDAE 678
Zhou Q., Zhukova K. A.

УДК 597.2/.5:595.384

РЫБЫ И ДЕСЯТИНОГИЕ РАКООБРАЗНЫЕ РЕКИ ДАХОНГ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК КАТТЬЕН, ВЬЕТНАМ)

Э. Р. Аблязов[1,2,3]*, С. В. Статкевич[2,3], Чыонг Ба Хай[3]

[1]Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
(Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33)
[2]Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН
(Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова)
[3]Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр № 3
(Вьетнам, Хошимин, ул. 3/2, 10 квартал)
**Автор для переписки: e_ablyazov@mail.ru*

Аннотация. Впервые проведены исследования видового состава рыб и десятиногих ракообразных р. Дахонг национального парка Каттьен (Вьетнам). Идентифицированы 9 видов рыб и 7 видов ракообразных, 4 из которых являются эндемиками Вьетнама. Виды *Caridina uminensis* Đăng & Đỗ, 2007, *Macrobrachium lanchesteri* (De Man, 1911), *Macrobrachium cf. mieni* Dang, 1975, *Macrobrachium sintangense* (De Man, 1898) и *Neolarnaudia botti* Türkay & Naiyanetr, 1987 отмечены для парка впервые.

Ключевые слова: Дахонг, Национальный парк Каттьен, рыбы, десятиногие ракообразные, видовое разнообразие

Национальный парк Каттьен – один из крупнейших заповедников на юге Вьетнама, который был организован в 1978 г. для сохранения разнообразия уникальных природных экосистем. В 2001 г. включен в список Всемирного наследия ЮНЕСКО, став 411-м биосферным заповедников. Гидрологическая сеть Парка включает крупную р. Донгнай – вторую по величине в южной части Вьетнама. Также на охраняемой территории имеются небольшие речки и ручьи, большая часть которых пересыхает во время сухого сезона, и постоянные водоемы в виде озер и болот. Информации о фауне гидробионтов водных объектов Парка опубликовано немного. Есть сведения о видовом составе рыб [Fish ... , 2019] с территорий, сопряженных с заповедником. Также известно о двух видах десятиногих ракообразных [Đăng, Hồ, 2005; Le, 2006].

Биологический материал собирали в 2024–2025 гг. на территории национального парка в р. Дахонг, один из притоков р. Донгнай. В работе использовались нетравмирующие орудия лова – сачки с размерами входного отверстия 30×30, 45×25 см и диаметром ячеи от 0,1 до 0,5 см, донные ловушки (типа верши). После установления видовой принадлежности все особи в живом виде выпускались в среду обитания. Названия видов приведены согласно современной классификации [WoRMS, 2025; Catalog … , 2025].

За период исследований, проведенных в р. Дахонг, отмечено 7 видов десятиногих ракообразных и 9 видов рыб (табл.).

Таблица. Таксономический состав гидробионтов р. Дахонг

	Десятиногие ракообразные	**Красная книга МСОП**
	Atyidae De Haan, 1849	
1	*Caridina uminensis* Đăng & Đỗ, 2007	DD
	Palaemonidae Rafinesque, 1815	
2	*Macrobrachium talaiense* Le, 2006	-
3	*Macrobrachium lanchesteri* (De Man, 1911)	LC
4	*Macrobrachium mieni* Dang, 1975	LC
5	*Macrobrachium sintangense* (De Man, 1898)	LC
	Gecarcinucidae Rathbun, 1904	
6	*Somanniathelphusa triangularis* Đăng & Đỗ, 2005	DD

Окончание табл.

	Десятиногие ракообразные	Красная книга МСОП
	Potamidae Ortmann, 1896	
7	*Neolarnaudia botti* Türkay & Naiyanetr, 1987	DD
	Рыбы	
	Cyprinidae Rafinesque, 1815	
1	*Barbodes rhombeus* (Kottelat, 2000)	LC
2	*Laubuka siamensis* Fowler, 1939	DD
3	*Osteochilus microcephalus* (Valenciennes, 1842)	LC
4	*Rasbora paviana* Tirant, 1885	LC
5	*Systomus orphoides* (Valenciennes, 1842)	-
	Clariidae Bonaparte, 1846	
6	*Clarias cf. batrachus* (Linnaeus, 1758)	LC
	Osphronemidae van der Hoeven, 1832	
7	*Trichopodus trichopterus* (Pallas, 1770)	LC
	Channidae Fowler, 1934	
8	*Channa gachua* (Hamilton, 1822)	LC
9	*Channa striata* (Bloch, 1793)	LC

По результатам таксономической инвентаризации р. Дахонг не выделяется высоким видовым разнообразием гидробионтов, однако она играет важную роль в качестве нерестилища и нагульного пространства для молоди рыб и креветок. Ихтиофауна р. Дахонг включает типичных представителей пресноводных водоемов данного региона, которые отмечены в различных фаунистических сводках для Южного Вьетнама и Камбоджи. Среди ракообразных отмечен достаточно высокий уровень эндемизма. К эндемичным видам Вьетнама относятся креветки *C. uminensis* и *M. talaiense*, крабы *S. triangularis* и *N. botti*. Десятиногие ракообразные *C. uminensis, M. lanchesteri, M. mieni, M. sintangense* и *N. botti* отмечены для фауны парка впервые.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках темы Эколан Э-3.6 (Задача 3), государственного задания № 124022400148-4 для Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН.

Список литературы

Catalog of Fishes: Genera, Species, References / eds. Fricke R., Eschmeyer W. N., Van der Laan R. URL: www.researcharchive.calacademy.org.Version 03/2025

Đăng N. T., Hồ T. H. One new genus and two new species of potamid freshwater crabs from the southern part of Vietnam // Tap Chi Sinh Hoc [= Journal of Biology]. 2005. Vol. 27, N 1. P. 1–7. (in Vietnamese)

Fish composition in Dong Nai biosphere reserve in Vietnam / T. T. Nguyen, L. N. Nguyen, B. Q. Lam [et al.] // The Journal of Agriculture and Development. 2019. Vol. 18, N 6. P. 30–37. DOI: 10.52997/jad.5.06.2019

Le T. B. A new freshwater prawn species of the genus Macrobrachium Bate (Decapoda, Caridea, Palaemonidae) from South Vietnam // Journal of Biology. 2006. Vol. 28, N 1. P. 5–7. DOI: 10.15625/0866-7160/v28n1.824

WoRMS: World Register of Marine Species. URL: https://www.marinespecies.org (дата обращения: 11.03.2025).

УДК 582.261.1

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДИАТОМОВОЙ ВОДОРОСЛИ *ELLERBECKIA ARENARIA* В ВОДОЕМАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

К. И. Абрамова*

Институт экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан
(Россия, 420087, Казань, ул. Даурская, 28)
**Автор для переписки: kseniaiv@yandex.ru*

Аннотация. По современным данным стенотермный холодолюбивый вид диатомовой водоросли *Ellerbeckia arenaria* обитает в единственном водоеме Республики Татарстан – в солоноватом карстовом оз. Большое Голубое. Частота встречаемости вида характеризуется как «очень редкий вид». Средой ее обитания в озере являются мелководья с илистым дном, придонные слои воды с зарослями бентосной харовой водоросли *Chara contraria* и коряжистыми биотопами.

Ключевые слова: *Ellerbeckia arenaria,* солоноватое карстовое озеро, оз. Большое Голубое, Республика Татарстан

Республика Татарстан расположена на востоке Восточно-Европейской равнины, в месте слияния двух рек – Волги и Камы, богата водными объектами (более 4000 рек, 7000 озер и прудов). Большинство озер являются пойменными по происхождению и имеют гидрокарбонатный тип воды. Особо известными водоемами являются солоноватые карстовые озёра, располагающиеся в государственном природном заказнике «Голубые озёра» и находящиеся в нескольких километрах от г. Казани. Система озёр представлена Малым, Проточным и Большим водоемами. Отличительные свойства озёр – усиленный водообмен, сульфатно-гидрокарбонатный класс воды, высокая минерализация [Щербаковские … , 2019]. Особенности геологического строения (наличие пучин), гидрохимического состава, аквамариновый цвет воды, постоянная низкая температура (7,5 °С), высокая прозрачность, целебные свойства ила, присутствие редких и особо-охраняемых видов животных и растений позволяют отнести их к уникальным водоемам [Уникальные … , 2001].

В оз. Большом Голубом в мелководных участках, в зарослях бентосной харовой водоросли *Chara contraria* и в придонных слоях воды с коряжистыми биотопами обитает крупная диатомовая водоросль *Ellerbeckia arenaria* (Moore ex Ralfs) Crawford. В настоящее время в республике это единственное известное местообитание данного вида. За последние два столетия эллербекия песчаная в озере встречена в период 1938–1939 и 2017–2021 гг. Частота встречаемости ее в озере характеризует как «очень редкий вид» [Абрамова, Токинова, 2022].

По литературным сводкам *El. arenaria* (ранее известная под синонимом *Melosira arenaria*) – литорально-бентосный, стенотермный холодолюбивый вид [Анциферова, 2000], обитающий в олиготрофных и мезотрофных алкалинных водоемах [Определитель … , 2016]. Крупноклеточная центрическая диатомея относится к древним по происхождениям таксонам и редко встречается в современной альгофлоре [Электронно-микроскопические … , 2017]. Предпочитает щелочные (алкалинные) воды с повышенной минерализацией, встречается в солоноватых водах, оптимально развивается при низких температурах.

По распространению *El. arenaria* в водоемах России вид встречается в Северо-Западном (в водоемах Карелии, в Онежском озере, в водоемах Кольского п-ва, в озёрах Карельского перешейка), Приволжском (в Камском водохранилище), в Сибирском (оз. Байкал, оз. Котокель, в Телецком озере, в минеральных источниках Горного Алтая), в Дальневосточном (в прибрежных экосистемах Тауйской губы Охотского моря, в лососевых озёрах Корякского нагорья Камчатки) федеральных округах [Науменко, 2007; Харитонов, Силин, 2007; Генкал, Беляева, 2011; Генкал, Чекрыжева, 2011; Комулайнен, 2011; Каган, 2012; Чекрыжева, 2012; Генкал, Куликовский, Кузнецова, 2013; Генкал, Лепская, 2014; Романов, Ермолаева, 2014; Ниятбеков, 2015; Генкал, Денисов, 2016; Трифонова, Афанасьева, 2017; Ниятбеков, Баринова, 2018].

Список литературы

Абрамова К. И., Токинова Р. П. О находке *Ellerbeckia arenaria* (Bacillariophyta) в солоноватом карстовом озере (Среднее Поволжье) // Экология гидросферы. 2022. № 1 (7). С. 11–17. DOI: 10.33624/2587-9367-2022-1(7)-11–17

Анциферова Г. А. Перигляциальные диатомовые флоры неоплейстоцена центра Восточно-европейской равнины // Вестник Воронежского университета. 2000. № 9. С. 82–90.

Генкал С. И., Беляева П. Г. Диатомовые водоросли (*Centrophyceae*) Камского водохранилища (Россия) // Альгология. 2011. Т. 21, № 3. С. 312–324.

Генкал С. И., Денисов Д. Б. Центрические диатомовые (*Bacillariophyta*) озера Имандра (Кольский полуостров) // Ботанический журнал. 2016. Т. 101, № 10. С. 1133–1144.

Генкал С. И., Куликовский М. С., Кузнецова И. В. Материалы к флоре *Centrophyceae* (*Bacillariophyta*) озера Байкал (Россия) // Альгология. 2013. Т. 23, № 1. С. 3–17.

Генкал С. И., Лепская Е. В. Флора диатомовых водорослей Лососевых озер Корякского нагорья Камчатки // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и Северо-Западной части Тихого океана. № 35. С. 31–47.

Генкал С. И., Чекрыжева Т. А. Центрические диатомовые водоросли (Bacillariophyta, Centrophyceae) водоемов Карелии // Биология внутренних вод. 2011. № 1. С. 5–16.

Каган Л. Я. Диатомовые водоросли Евро-Арктического региона. Апатиты, 2012. 414 с.

Комулайнен С. Ф. Фитоперифитон рек Зеленого пояса Фенноскандинавии // Труды Карельского центра РАН. 2011. № 2. С. 35–47.

Науменко Ю. В. Водоросли минеральных источников Горного Алтая // Turczaninowia. 2007. Т. 10, № 1. С. 55–59.

Ниятбеков Т. П. О таксономических преобразованиях центрических диатомей (Bacillariophyta, Centrophyceae) водоемов Памира // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук. 2015. № 4 (192). С. 7–12.

Ниятбеков Т. П., Баринова С. С. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) термальных и минеральных вод Памира // Биота и среда. 2018. № 2. С. 5–23.

Определитель диатомовых водорослей России / М. С. Куликовский, А. М. Глущенко, С. И. Генкал, И. В. Кузнецова. Ярославль : Филигрань, 2016. 804 с.

Романов Р. Е., Ермолаева Н. И. Оценка вклада планктона в формирование седиментационного потока в озере Котокель (Восточное Прибайкалье) // Чтения памяти В. Я. Леванидова. 2014. Вып. 6. С. 574–584.

Трифонова И. С., Афанасьева А. Л. Изменение состава и биомассы летнего фитопланктона при втрофировании озер Карельского перешейка // Региональная экология. 2017. Т. 50, № 4. С. 44–52.

Уникальные экосистемы солоноватоводных карстовых озер Среднего Поволжья / под ред. А. Ф. Алимова, Н. М. Мингазовой. Казань : Казан. ун-та, 2001. 256 с.

Харитонов В. Г., Силин В. А. Химическая характеристика прибрежных экосистем Тауайской губы и таксономическое разнообразие населяющих их Bacillariophyceae // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2007. № 2. С. 83–94.

Чекрыжева Т. А. Таксономичекая и экологическая характеристика фитопланктона Онежского озера // Труды Карельского научного центра РАН. 2012. № 1. С. 56–69.

Щербаковские дисгармоничные озера / А. Т. Горшкова [и др.] Казань : Изд-во АН РТ, 2018. 98 с.

Электронно-микроскопические исследования в ИВЭП СО РАН / отв. ред. Е. Ю. Митрофанова. Барнаул : Пять плюс, 2017. 26 с.

УДК 574.52

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ТРОФИЧЕСКИЙ СТАТУС ПРЕСНОВОДНОГО КУРШСКОГО ЗАЛИВА

С. В. Александров

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
(Россия, 117997, Москва, Нахимовский просп., 36)
Балтийский федеральный университет им. И. Канта
(Россия, 236041, Калининград, ул. А. Невского, 14)
Автор для переписки: hydrobio@mail.ru

Аннотация. Куршский залив – крупнейшая лагуна Европы с пресноводными условиями. Проанализированы сезонная и многолетняя динамика гидрохимических условий (концентрации азота и фосфора), влияющих на биопродуктивность вод, и содержания хлорофилла «а» как показателя обилия фитопланктона и «цветения» воды. Сезонная динамика нитратов и фосфатов напрямую зависит от жизнедеятельности фитопланктона и поступления с речным стоком. Отмечено отсутствие летнего пика фосфатов, который ранее способствовал развитию цианобактерий. В последние годы наблюдается устойчивое состояние пониженного уровня «цветения» вод (хлорофилла «а»), что может быть результатом наступившего периода деэвтрофирования Куршского залива, обусловленного гидрохимическим условиями, в том числе динамикой фосфора.

Ключевые слова: хлорофилл, биогенные элементы, лагуна, деэвтрофирование

Куршский залив – крупнейшая лагуна Европы (площадь 1584 км^2, объем 6,2 км^3), соединенная с Балтийского морем узким проливом в северной части. Материковый сток (23 км^3/год) многократно больше притока с моря (5 км^3/год) и почти на всей акватории, включая всю российскую зону, наблюдаются условия (0,1–0,2‰), характерные для пресноводных неглубоких (средняя глубина 3,8 м) водоемов. Большая внешняя биогенная нагрузка, а также внутриводоемные процессы, связанные с накоплением органических соединений, вели к сильному эвтрофированию вод. В современный период биогенная нагрузка значительно снизилась, особенно по фосфору (до 1,5 тыс. т P/год, по сравнению с 5,4 тыс. т P/год в 1980–1993 гг., поступающих с р. Неман (95 % стока и 98 % водосборной территории) [Recent Trends … , 2018]. Летом и осенью наблюдалось массовое развитие цианобактерий («цветение» воды), усиливающееся климатическими изменениями (потеплением вод), оказывавшее неблагоприятное воздействие, особенно в прибрежной зоне [Александров, Смирнова, 2023]. Куршский залив относится к важнейшим рыбохозяйственным водоемам СЗФО России и имеет рекреационное значение (национальный парк «Куршская коса»).

В работе проанализированы современные гидрохимические условия (концентрации минеральных и органических форм азота и фосфора), влияющие на биологическую продуктивность вод, наряду с содержанием хлорофилла «а» как показателя обилия фитопланктона и «цветения» воды. Исследования выполнялись с марта по ноябрь 2024 г. на российской акватории (75 % лагуны), что позволило получить детальные сезонные и пространственные данные. Пробы отбирали на 7–9 точках на 2 горизонтах (поверхность, дно) и анализировались стандартными спекрофотометрическими методами. Для выявления общих закономерностей проведен сравнительный анализ данных за периоды 2007–2016 гг. и 2019–2024 гг. [Александров, 2010; Сташко, Александров, 2023].

Гидрохимические условия в лагунной системе Куршского залива в значительной степени определяются геоморфологическими и гидрологическими особенностями, включая мелководность, слабый водообмен с морем, преобладание в водном балансе речного стока. Сезонная динамика биогенных элементов в воде напрямую зависит от жизнедеятельности фитопланктона, условий минерализации воде и поступления с речным стоком. Небольшие глубины (3–5 м) способствуют перемешиванию вод, и близкие величины наблюдаются во всем столбе воды. Наибольшие концентрации фосфора фосфатов и азота нитратов наблюдались в зимний гидрологический период, снижаются в апреле-мае на 1–2 порядка в результате

интенсивного развития фитопланктона, оставаясь минимальными летом и осенью. Климатические условия (прогрев вод) могут оказывать влияние на длительность вегетации фитопланктона, что отразилось, в частности, на сохранении минимальные концентрации биогенов до поздней осени (ноябрь) 2024 г. Содержание аммонийного и нитратного азота, связанное с процессами разложения органического вещества, повышается в период половодья и после пиков развития фитопланктона весной и летом. По данным за 2019–2024 гг. произошли изменения в сезонной динамике фосфора фосфатов – летом отсутствует их максимум, который возможно был обусловлен поступлением из донных осадков и способствовал массовому развитию азотфиксирующих цианобактерий.

Согласно многолетним исследованиям Куршский залив характеризуется как высокопродуктивный водоем, с высокими величинами хлорофилла «а», особенно в период летнего развития цианобактерий и «цветения» воды. Сезонная динамика хлорофилла «а» как показателя обилия фитопланктона характеризуется 2 пиками: весной (март-апрель) и в летний гидрологический период (июль-сентябрь). Весенний пик связан с развитием диатомовых водорослей, летний – с массовым развитием цианобактерий («цветением» воды) при наибольшем прогреве (>20 ºС). В 2024 г. наблюдалась сходная сезонная динамика, но летний пик слабо превышал весенний, в отличие от периода 2007–2016-х гг. В 2007–2016 гг. концентрации хлорофилла «а» практически ежегодно летом превышали уровень (100 мг/м^3), соответствующий «гиперцветению» воды. В последние годы фитопланктон не развивался до «гиперцветения», в частности в 2024 г. средние для лагуны концентрации хлорофилла «а» в июле-августе были 43–51 мг/м^3. В среднем за 2024 г. концентрация хлорофилла «а» составила 35 мг/м^3, что соответствует пограничному состоянию между эвтрофным и гипертрофным уровнем [Hakanson, Boulion, 2001]. Ранее в лагуне наблюдалась большая межгодовая изменчивость (чередование лет) высокого обилия фитопланктона, в частности средняя за апрель-октябрь концентрация хлорофилла «а» варьировала 36–190 мг/м^3. Такие различия были связаны с неодинаковым летним прогревом вод, стимулирующим развитие цианобактерий. В современный период (2019–2024 гг.) впервые наблюдается устойчивое состояние пониженных концентраций хлорофилла «а» (<50 мг/м^3 за апрель-октябрь и летом). Такое состояние возможно отражает начало периода деэвтрофирования лагунной экосистемы Куршского залива, обусловленного гидрохимическим условиями, в том числе динамикой фосфора, на фоне сохранения интенсивного прогрева вод (особенно в 2024 г.).

Благодарности. Результаты исследований хлорофилла «а» получены в рамках государственного задания Минобрнауки России для БФУ им. И. Канта по программе консорциума «ОКЕАН: МОНИТОРИНГ И АДАПТАЦИЯ». Результаты исследований гидрохимических условий получены в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0025).

Список литературы

Александров С. В. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Вислинский и Куршский заливы). Калининград : АтлантНИРО, 2010. 227 с.

Александров С. В., Смирнова М. М. Влияние «цветения» воды на прибрежную зону Куршского залива Балтийского моря // Биология внутренних вод. 2023. № 6. С. 801–810.

Сташко А. В., Александров С. В. Особенности пространственного распределения гидрохимических показателей в Куршском заливе Балтийского моря в 2018–2022 годах // Водные биоресурсы и среда обитания. 2023. Т. 6, № 1. С. 48–61.

Hakanson L., Boulion V. V. Regularities in primary production, Secchi and fish yield and a new system to define trophic and humic state indices for lake ecosystems // Internat. Rev. Hydrobiol. 2001. Vol. 86. P. 23–62. DOI: 10.1002/1522-2632(200101)86:1<23::AID-IROH23>3.0.CO;2-4

Recent Trends (2012–2016) of N, Si, and P export from the Nemunas River Watershed: loads, unbalanced stoichiometry, and threats for downstream aquatic ecosystems / I. Vybernaite-Lubiene, M. Zilius, L. Saltyte-Vaisiauske [et al.] // Water. 2018. N 10. Art. 1178. DOI: 10.3390/w10091178

УДК 574.55

ПЕРВИЧНАЯ ПРОДУКЦИЯ И ПОТРЕБЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЗООПЛАНКТОНОМ В ПРЕСНОВОДНОЙ ЛАГУННОЙ ЭКОСИСТЕМЕ КУРШСКОГО ЗАЛИВА

С. В. Александров[1]*, А. С. Семенова[2,3]

[1]Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (Россия, 117997, Москва, Нахимовский просп., 36)
[2]Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 239029, Калининград, ул. Дм. Донского, 5)
[3]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (Россия,152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, 109)
**Автор для переписки: hydrobio@mail.ru*

Аннотация. Куршский залив – крупная лагуна, в которой интенсивно развиваются пресноводные виды фитопланктона и зоопланктона. По уровню первичной продукции и хлорофиллу соответствует высокоэвтрофному водоему. Наиболее интенсивное «цветение» воды прослеживалось до 2018 г., после чего произошло значительное снижение обилия (хлорофилла) и продукции фитопланктона, а также биомассы зоопланктона. Рассмотрены особенности сезонной и многолетней динамики продукции фитопланктона, биомассы и рациона зоопланктона по результатам исследований 2011–2022 гг. Наиболее эффективно первичная продукция потребляется весной, а летом в период развития цианобактерий наблюдается многократное снижение. Несмотря на уменьшение «цветения» воды в последние годы, отношение рациона зоопланктона к первичной продукции сохранялось достаточно стабильным как летом, так и в среднем за вегетационный период.

Ключевые слова: первичная продукция, «цветение» воды, зоопланктон, рацион

Первичная продукция, наибольший вклад в которую вносит фитопланктон, составляет основу последующих этапов биопродуктивности, особенно в высокоэвтрофных водоемах. Зоопланктон важнейший потребитель создаваемого фитопланктоном органического вещества, роль которого может варьировать в зависимости от уровня трофности водоема и состава планктона. В этом аспекте актуально изучение гипертрофных водоемов, функционирующих в неблагоприятных условиях эвтрофирования и «цветения» вод.

Куршский залив представляет собой крупную, закрытую, мелководную (площадь 1584 км^2, объем 6,2 км^3, глубина 3,8 м), преимущественно, пресноводную лагуну. Многолетнее эвтрофирование вод сопровождалось «цветением» воды при развитии цианобактерий, при котором отмечалось вторичное (биологическое) загрязнение, особенно прибрежной зоны.

В работе проанализированы результаты многолетних (2011–2022 гг.) исследований обилия (хлорофилл) и продукции фитопланктона, состава и количественного развития зоопланктона. Пробы отбирали преимущественно ежемесячно с марта/апреля по октябрь/ноябрь во всей российской зоне (75 % лагуны) на 6–10 стандартных точках на 3–5 горизонтах в столбе воды. Первичную продукцию определяли кислородной модификацией скляночного метода. Биомассу зоопланктона рассчитывали по размерной структуре и численности, рацион – как сумму продукции, трат на обмен и неусвоенной пищи для каждой размерной группы [Семенова, Александров, 2009]. Осредненные для столба воды данные по фитопланктону и зоопланктону получены с учетом средней глубины лагуны (3,8 м).

Куршский залив – один из самых высокопродуктивных водоемов в Европе, где длительный период мониторинга (с 1980-х гг.) наблюдалось интенсивное «цветение» воды за счет развития цианобактерий. В фитопланктоне доминируют пресноводные виды диатомовых водоросли и цианобактерий, характерные для эвтрофных водоемов и формирующие «цветение» воды [Дмитриева, Семенова, Казакова, 2024]. По уровню первичной продукции и обилию фитопланктона водоем соответствовал гипертрофному статусу. В 2001–2010 гг. первичная продукция фитопланктона была 373–668 гС/(м^2·год), а содержание хлорофилла «а» до 210 мг/м^3 [Александров, Горбунова, 2012]. Наиболее интенсивное развитие фитопланктона прослеживалось до 2018 г., в частности в 2011–2018 гг. концентрация хлорофилла «а» в августе/сентябре ежегодно достигали 105–475 мг/м^3, соответствуя «гиперцветению» вод

(> 100 мг/м^3). В последующий период (2019–2022 гг.) произошло резкое снижение уровня «цветения», хлорофилл «а» не превышал 70 мг/м^3. Уменьшение летнего обилия фитопланктона, снизило средние за безледный период величины вдвое (с 64 мг/м^{3}в 2011–2018 до 30 мг/м^{3}в 2019–2022 гг.). Также произошло уменьшение первичной продукции. В 2011–2018 гг. годовая первичная продукция составляла в среднем 534 гС/(м^2·год)) и была на 5 % выше, чем в среднем в предыдущее десятилетие, а в 2018–2022 гг. она уменьшалась на 30 % до 360 гС/(м^2·год)). Эта тенденция также прослеживается на среднесуточной за безледный период продукции (снизилась на 40 % до 1,13 гС/(м^3·год)).

Развитие зоопланктона в Куршском заливе определяется пресноводными видами веслоногих и ветвистоусых ракообразных и коловраток. Фильтраторы составляют более 90 % биомассы. Доминируют ветвистоусые ракообразные (*Daphnia galeata* и др.) характерные для эвтрофных водоемов. Их развитие определяет сезонную динамику зоопланктона и его роль в потреблении первичной продукции. Весной и в начале лета (май, июнь) зоопланктон достигает значительной биомассы (в среднем 7–8 г/м^3 в 2010–2022 гг.), рацион составляет (≈3 тыс. кал·м$^{-3}$·сут) и он может эффективно утилизировать фитопланктон, выедая 50–70 % его продукции. В период «цветения» воды (июль-август) биомасса зоопланктона снижалась (до 2–3 раз), одновременно с уменьшением рациона и доли используемой первичной продукции (до 10 %). В октябре при сохранении биомассы зоопланктона и снижении обилия цианобактерий, доля потребленной продукции фитопланктона возрастала (до 25–30 %). Потребление в Куршском заливе зоопланктоном до 2019 г. ~20–25 % первичной продукции отражало использование большей части органического вещества планктона через микробиальную петлю, что характерно для водоемов с массовым развитием цианобактерий.

В последующий период (2019–2022 гг.) наблюдались резкие межгодовые изменения структуры, численности, биомассы зоопланктона, которые, возможно, были результатом его адаптации к изменениям в структуре, обилии и продуктивности фитопланктона. В 2022 г. несмотря на минимальный уровень первичной продукции, соответствующий эвтрофным водам, количественное развитие зоопланктона и его рацион, достигли максимума. Значительное увеличение рациона, наряду с массовым развитием ветвистоусых ракообразных характеризует эффективное использование продукции фитопланктона (до 60–90 %) после прекращения «гиперцветения» воды. Произошедшие изменения, возможно, могут свидетельствовать о структурной перестройке в трофической сети Куршского залива в условиях начавшегося деэвтрофирования вод лагуной экосистемы.

Список литературы

Александров С. В., Горбунова Ю. А. Продукция фитопланктона и содержание хлорофилла в эстуариях различного типа // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2012. № 1. С. 90–98.

Дмитриева О. А., Семенова А. С., Казакова Е. Ю. Структура и динамика планктонных сообществ в прибрежной зоне Куршского залива Балтийского моря в 2017–2021 гг. в период цианобактериальных “цветений” воды // Биология внутренних вод. 2024. Т. 17, № 1. С. 22–42.

Семенова А. С., Александров С. В. Потребление первичной продукции зоопланктоном и использование его структурно-функциональных характеристик для оценки трофности водоема // Биология внутренних вод. 2009. № 4. С. 57–63.

УДК 574.587:595.36

ЧУЖЕРОДНЫЙ ВИД *PARAMYSIS LACUSTRIS* В РЕКАХ БЕЛАРУСИ: ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ

П. Е. Александрович *, Т. П. Липинская

Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам
(Беларусь, 220072, Минск, ул. Академическая, 27)
**Автор для переписки: pauline.alexandrovich@gmail.com*

Аннотация. Целью работы являлся анализ распространения и динамики численности чужеродного вида мизид *Paramysis lacustris* в реках Беларуси. Вид проник в белорусские реки из водохранилищ сопредельных территорий (Киевское, Каунасское), где был интродуцирован в середине XX в., а также из Вилейского водохранилища на территории Беларуси. Основу исследования составили многолетние данные мониторинга макрозообентоса рек Днепр, Припять и Неман с использованием стандартных методов отбора проб. Данные свидетельствуют об активном расселении вида по рекам, включая его уникальную способность продвигаться вверх по течению. Успешная натурализация объясняется высокой эврибионтностью вида, устойчивостью к гипоксии, способностью занимать свободные ниши.

Ключевые слова: Понто-Каспийские виды, мизиды, ракообразные, реки, водохранилища, *Limnomysis benedeni*

В фауне Республики Беларусь зарегистрировано три вида отряда Mysida, два из которых – *Limnomysis benedeni* (Czerniavsky, 1882) и *Paramysis lacustris* (Czerniavsky, 1882) – являются чужеродными. Их естественный ареал охватывает Чёрное, Азовское и Каспийское моря, включая дельты впадающих рек. Источником проникновения этих мизид в речные экосистемы Беларуси стали преднамеренные интродукции в крупные водохранилища сопредельных территорий в середине XX в. [Инвазионные … , 2022]. Исторически, в рамках программы по обогащению кормовой базы рыб лиманно-каспийской фауной, *P. lacustris* и *L. benedeni* были целенаправленно вселены в водохранилища юга СССР и Прибалтики в период 1947–1966 гг. [Гасюнас, 1963; Журавель, 1965]. Ключевыми «донорскими» водоемами стали: для рек Черноморского бассейна (Днепр, Припять) – Киевское водохранилище (для *P. lacustris* указан конкретный год вселения в водохранилище – 1966 г.), а для Балтийского бассейна (р. Неман) – Каунасское водохранилище (вселение обоих видов в 1961–1962 гг.). Впоследствии, вид *P. lacustris* был также интродуцирован в Вилейское водохранилище на территории Республики Беларусь (бассейн Немана) в 1986 г. Из этих водохранилищ мизиды начали активно расселяться естественным путем (преимущественно вниз по течению) и антропогенно (судоходством) [Инвазионные … , 2022].]. Целью данной работы являлся анализ распространения и динамики численности именно *Paramysis lacustris* в реках Беларуси на основе многолетних данных.

В работе использованы как собственные материалы, так и литературные и неопубликованные данные. Основу составили результаты многолетнего мониторинга макрозообентоса (период 2007–2019 гг.) на реках Днепр, Припять и Неман.

Первая документально подтвержденная регистрация *P. lacustris* в Беларуси произошла в 2006 г. в оз. Дрисвяты (водоем-охладитель Игналинской АЭС), причем к 2011–2012 гг. вид стал здесь многочисленным. В 2008 г. *P. lacustris* был впервые обнаружен в реках Днепр и Неман, а к 2016 г. его зафиксировали на новых участках р. Днепр – в районе городов Лоев, Речица и деревни Нижние Жары, что служит свидетельством активного расселения вида [Checklist … , 2009; Семенченко, Липинская, Макаренко, 2021]. В бассейн Немана вид проник из Каунасского водохранилища (Литва) . Примечательно, что, несмотря на совместное вселение с *L. benedeni* в 1961–1962 гг., выше г. Каунас (т. е. вверх по течению) распространился только *P. lacustris*, достигнув белорусской части реки к 2008 г. Этот факт указывает на уникальную для мизид способность *P. lacustris* к активному перемещению против течения, вероятно, связанную с реакцией на изменение условий среды или поиском свободных эколо-

гических ниш, а также его устойчивость к широкому диапазону температур и скоростей течения. В бассейн р. Свислочи (приток Березины, Днепр) вид расселился вниз по течению из Вилейского водохранилища, куда был интродуцирован в 1986 г. Известны также попытки интродукции *P. lacustris* в оз. Белое (Белоозёрск), водохранилище Юбилейное (Гродно) и водохранилище Маковза (д. Погребище) с целью обогащения кормовой базы, однако подтвержденных данных об их успешной натурализации в этих водоемах на данный момент нет (перс. сообщ. Байчорова В. М.).

Успешное распространение и закрепление *P. lacustris* в реках Беларуси объясняется комплексом его адаптивных черт. Вид демонстрирует выраженную эврибионтность, встречаясь в водоемах с различными типами донных грунтов (илистый, глинистый, песчаный) и среди зарослей макрофитов, а также способен выдерживать периоды пониженного содержания кислорода в воде. Важнейшим фактором его экспансии является высокая репродуктивная способность: количество генераций за сезон может варьировать от 3 до 5 в зависимости от условий среды. Такое быстрое воспроизводство обеспечивает стремительный рост локальных популяций и создает мощный импульс для расселения на новые территории, включая труднодоступные участки вверх по течению. Способность занимать свободные планктобентосные ниши в придонных слоях воды также способствует его натурализации в новых биотопах.

Список литературы

Гасюнас И. И. Акклиматизация кормовых для рыб беспозвоночных понто-каспийского происхождения в водоемах Литвы (бассейн Балтийского моря) // Акклиматизация животных в СССР : материалы конф. / под ред. А. И. Янушевич [и др.]. Алма-Ата : АН КазССР, 1963. С. 234.

Журавель П. А. Об акклиматизации фауны лиманно-каспийского типа в водохранилищах Украины // Гидробиологический журнал. 1965. Т. 1, № 3. С. 59–65.

Инвазионные процессы в водных экосистемах Беларуси / В. П. Семенченко [и др.]. Минск : Беларуская навука, 2022. 204 с.

Семенченко В. П., Липинская Т. П., Макаренко А. И. Скорость распространения чужеродных видов амфипод и мизид в основных реках Беларуси // Российский журнал биологических инвазий. 2021. Т. 14, № 2. С. 85–92.

Checklist of aquatic alien species established in large river basins of Belarus / V. P. Semenchenko [et al.] // Aquatic Invasions. 2009. Vol. 4, N 2. P. 337–347.

УДК 595.337

КОЛЛЕКЦИЯ ТИПОВОГО МАТЕРИАЛА ЭНДЕМИЧНЫХ БАЙКАЛЬСКИХ ОСТРАКОД (OSTRACODA, PODOCOPIDA) ИЗВЕСТНОГО УЧЕНОГО-БАЙКАЛОВЕДА Г. Ф. МАЗЕПОВОЙ КАК ОСНОВА ИХ ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ РЕВИЗИИ

Т. М. Алексеева[1]*, И. О. Чимитдоржиева[2], Р. С. Криворотkин[1], О. А. Тимошкин[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Иркутский государственный университет (Россия, 664011, Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5)
**Автор для переписки: atm171@mail.ru*

Аннотация. Работа посвящена рассмотрению коллекции эндемичных байкальских остракод, собранной Г. Ф. Мазеповой, с точки зрения актуальных зоологических правил и ее потенциала для морфологической ревизии группы. В коллекции лаборатории биологии водных беспозвоночных ЛИН СО РАН хранится 2310 синтипов, принадлежащих к 107 видам и подвидам (описанным Г. Ф. Мазеповой), а также 720 особей 35 видов и подвидов (описанных З. С. Бронштейном). Для пяти видов местонахождение типового материала не установлено, а для 17 видов типовой материал не был выделен.

Ключевые слова: остракоды, эндемики, типовой материал, мейобентос, Байкал

Озеро Байкал является уникальным очагом биоразнообразия остракод, здесь обитает более 160 эндемичных видов и подвидов [Мазепова, 2001]. Все это поразительное разнообразие было впервые исследовано выдающимися зоологами З. С. Бронштейном и Г. Ф. Мазеповой, которые сделали огромный вклад в альфа-таксономию байкальских остракод (основные работы: [Бронштейн, 1947; Мазепова, 1990]). К сожалению, все описания эндемичных таксонов значительно устарели и не соответствуют современным стандартам систематики, рисунки схематичны, описания кратки, многие конечности и половые придатки не имеют описания. В связи с этим диагнозы некоторых видов могут показаться неубедительными, а некоторые виды, напротив, явно объединяют нескольких морфологически близких видов [Karanovic, 2012]. Вся фауна байкальских остракод нуждается в морфологической ревизии, которая может быть проведена только при исследовании типового материала.

При первоописаниях З. С. Бронштейн и Г. Ф. Мазепова не обозначали типовой материал, но в 2001 г. вышла большая работа Галины Федотовны, в которой приведены подробные данные о типовом материале большинства байкальских эндемичных остракод [Мазепова, 2001]. Данная коллекция хранится в лаборатории биологии водных беспозвоночных Лимнологического института СО РАН, но есть ряд номенклатурных сложностей. Почти для всех видов указаны только паратипы и/или синтипы, а голотипы обозначены не были, что противоречит Международному кодексу зоологической номенклатуры [2004]. Для решения этого вопроса мы обратились к члену международной комиссии Международного кодекса зоологической номенклатуры, доктору Марку Грайгеру (Ph. D., Mark J. Grygier; National Museum of Marine Biology & Aquarium, Taiwan) за консультацией. Согласно его рекомендации, в соответствии с требованиями Кодекса, все обозначенные Г. Ф. Мазеповой (2001) «паратипы», для которых не указан голотип, должны рассматриваться в качестве синтипов (ст. 73.2), из их числа должен быть выбран лектотип (ст. 74.1), а остальные особи обозначены как паралектотипы (ст. 74.1.3). Практически все особи видов Г. Ф. Мазеповой являются синтипами. Обозначенные Галиной Федотовной «паратипы» и «синтипы» видов З. С. Бронштейна не являются типовыми, поскольку пробы с ними отобраны через десятилетия после публикации первоописаний. Экземпляры видов З. С. Бронштейна, имеющиеся в коллекции, являются просто особями, из числа которых могут быть выделены неотипы.

Всего в коллекционном фонде лаборатории биологии водных беспозвоночных хранится 2310 синтипов байкальских остракод, принадлежащих к 107 видам и подвидам. Для 35 видов и подвидов З. С. Бронштейна имеется 720 особей (не являющихся типовыми), которые точно определены Г. Ф. Мазеповой. Местонахождение типового материала пяти видов: *Candona alentovae*, Mazepova, 2010, *Candona baschkurovi*, Mazepova, 2010, *Candona microfossiliformis*, Mazepova, 2010, *Candona inaspecta*, Mazepova, 2010 и *Candona golubevi* Mazepova, 2010 не установлено. В первоописаниях верно обозначен типовой материал (выделены голотипы и паратипы) и указано на их хранение в коллекции лаборатории, но ни особей, ни записей о них не обнаружено. В коллекции отсутствует какой-либо материал по 17 эндемичным видам и подвидам [Мазепова, 2001]: *Candona larvaeformis* Bronstein, 1947, *Candona semilunaris semilunaris* Bronstein, 1930, *Candona intersita* Bronstein, 1947, *Fabaeformiscandona obtusa* (Bronstein, 1947), *Candona modesta* Mazepova, 1984, *Candona golubevi* Mazepova, 2010, *Pseudocandona valosiformis* Mazepova, 1990, *Cytherissa placida* Mazepova, 1990, *Cytherissa sernovi insularis* Mazepova, 1990, *Cytherissa interposita ushkani* Mazepova, 1990, *Cytherissa attenuata minor* Mazepova, 1990, *Cytherissa mirabilis* Bronstein, 1947, *Cytherissa crepera crepera* Mazepova, 1990, *Cytherissa crepera angustimarginata* Mazepova, 1990, *Cytherissa crepera magna* Mazepova, 1990, *Cytherissa parva confinis* Mazepova, 1990, *Cytherissa excelsiformis* Mazepova, 1990. Соответственно, ревизия фауны должна включать не только подробное изучение уникальной видовой коллекции, но и поиск особей редких видов в типовых местонахождениях.

Благодарности. Благодарим проф. М. Г. Грайгера (Ph. D., Mark J. Grygier; National Museum of Marine Biology & Aquarium, Taiwan), члена комиссии Международного кодекса зоологической номенклатуры за ценные консультации. Работа выполнена в рамках госбюджетного проекта № 0279-2021-0007 «Комплексные исследования прибрежной зоны озера Байкал: многолетняя динамика сообществ под воздействием различных экологических факторов и биоразнообразие; причины и последствия негативных экологических процессов».

Список литературы

Бронштейн З. С. Ostracoda пресных вод. Фауна СССР. Ракообразные. Т. 2. № 1. М. ; Л. : Изд-во Акад. наук СССР, 1947. 339 с.

Мазепова Г. Ф. Ракушковые рачки (Ostracoda) Байкала. Новосибирск : Наука, 1990. 472 с.

Мазепова Г. Ф. Остракоды (Ostracoda) // Аннотированный список фауны оз. Байкал и его водосборного бассейна. Новосибирск : Наука, 2001. Т. 1. С. 510–557.

Мазепова Г. Ф. Новые виды ракушковых рачков (Crustacea, Ostracoda, Podocopida, Candonidae) из озера Байкал // Аннотированный список фауны оз. Байкал и его водосборного бассейна. Новосибирск: Наука, 2011. Т. 2. С. 1255–1269.

Международный кодекс зоологической номенклатуры. Принят Междунар. союзом биол. наук: Вступает в силу с 1 янв. 2000 г. : Рус. пер. авторизован Междунар. комис. по зоол. номенклатуре / [пер. И. М. Кержнера]; Рос. акад. наук, Зоол. ин-т, Рос. ком. по зоол. номенклатуре, Междунар. комис. по зоол. номенклатуре. Изд. четвертое, второе, испр. изд. рус. пер. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2004. 223 с.

Karanovic I. Recent freshwater ostracods of the world. Crustacea, Ostracoda, Podocopida. Berlin-Heidelberg : Springer, 2012. 608 p.

УДК 556.31.15

ОСОБЕННОСТИ СУЛЬФАТРЕДУКЦИИ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ В ЗОНЕ РЕЧНОЙ БЕРЕГОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Д. В. Андреева*, Л. М. Кондратьева

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН
(Россия, 680000, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56)
**Автор для переписки: freckles2008@yandex.ru*

Аннотация. Сульфатредукция является важным биогеохимическим процессом в подземных водоносных горизонтах. Присутствие сероводорода в среде является маркером разрушения органических веществ в бескислородных условиях и активизации биогеохимических процессов. Исследование взаимодействия поверхностных и подземных вод и протекающих при этом биогеохимических процессов являются актуальными для оценки их влияния на санитарно-гигиенические характеристики питьевой воды. В работе рассматриваются результаты оценки содержания органических веществ, сероводорода и численности сульфатредуцирующих бактерий в подземных водах в зоне речной береговой фильтрации. Установлено, что активность процессов сульфатредукции в подземных водах существенно изменяется в пространстве и во времени. Максимальная численность сульфатредуцирующих бактерий сопровождалась активным образованием сероводорода в водоносном горизонте после весеннего снеготаяния на глубине 45 м в скважинах, расположенных на расстоянии 1500 м от берега; на расстоянии 50 м от берега качество воды существенно изменяется в верхнем водоносном горизонте в летне-осенний период, особенно после наводнений.

Ключевые слова: сульфатредукция, сульфатредуцирующие бактерии, органические вещества, подземные воды

В связи с глобальным загрязнением гидросферы и предотвращением экологических рисков во всем мире прослеживается тенденция переориентации питьевого водоснабжения населения с поверхностных источников (реки, озёра, водохранилища) на подземные воды. В подземных водах взаимосвязано происходят следующие биогеохимические процессы: аэробное окисление органических веществ (ОВ), денитрификация, восстановление марганца (IV) и железа (III), сульфатредукция [Sulfate … , 2012], метаногенез. В наших исследованиях в качестве показателя активности сульфатредукции было использовано содержание сероводорода (H_2S), накопление которого приводит к существенному изменению органолептических свойств подземных вод. Концентрация сероводорода в подземных водах зависит от содержания и состава ОВ [Кондратьева, Андреева, 2018], а также от присутствия специализированной эколого-физиологической группы микроорганизмов – сульфатредуцирующих бактерий (СРБ).

Массовую концентрацию сероводорода определяли фотометрическим методом с N,N-диметил-n-фенилендиамином на спектрофотометре SHIMADZU UV-3600 при $\lambda = 667$ нм (РД 52. 24. 450-2010). Численность культивируемых гетеротрофных бактерий (КГБ) в пробах воды определяли методом предельных разведений на рыбо-пептонном агаре (РПА), разбавленном в 10 раз (РПА:10). Аммонифицирующих бактерий (АМБ), участвующих в процессе аммонификации ОВ, выращивали на РПА. Для СРБ использовали среду Постгейта [Намсараев, Бархутова, Хахинов, 2006]. Численность выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ/мл). Суммарное содержание растворенных ОВ определяли при $\lambda = 254$ нм и выражали в виде спектрального коэффициента абсорбции (SAC_{254}, ед. абс.) [Kumar, 2006].

Содержание ОВ, сероводорода и численность СРБ в подземных водах в прибрежной зоне изменяется как в течение сезонов, так и по местоположению скважин. Максимальное разнообразие компонентов (ПАУ, фенолы и низкомолекулярные алканы) и высокое содержание ОВ наблюдается после весеннего снеготаяния и особенно после паводка, в скважинах, расположенных близко к берегу. Кроме того, большое сходство с речной водой по общему содержанию ОВ, определяемому спектрофотометрически по SAC_{254}, имеют подземные воды, отобранные на расстоянии 50 м от берега.

Речная вода в позднеосенний период характеризуется высокой численностью всех групп гетеротрофных микроорганизмов, включая СРБ. Это обусловлено высоким содержанием органических веществ растительного происхождения, поступающих с поверхностным стоком, а также низкой водностью. В скважинах близко расположенных к берегу (50–500 м) максимальная концентрация сероводорода зарегистрирована в нижнем водоносном горизонте в августе 2013 г. Во время катастрофического наводнения 2013 г. на р. Амур происходило снижение концентрации сероводорода и рост численности сульфатредуцирующих бактерий, что, вероятно, связано с поступлением поверхностных вод в водоносный горизонт, так как уровень поверхностных вод в период паводка поднимался на 3 м выше скважин [Кулаков, Андреева, 2016]. Кроме того, увеличение численности СРБ в поверхностных водах в районе г. Хабаровска в период наводнения 2013 г. было связано с изменением окислительно-восстановительных условий. При низком уровне воды в июне 2023 г. максимальное содержание сероводорода (0,062 мг/дм^3) зарегистрировано в нижнем слое водоносного горизонта в скважине, расположенной близко к берегу и в речной воде (0,021 мг/дм^3). Установлено, что независимо от местоположения скважин происходило закономерное увеличение концентрации сероводорода с глубиной.

Проведенные исследования сезонной динамики содержания сероводорода и ОВ, а также численности различных групп микроорганизмов в подземных водах свидетельствуют об их существенном различии в зависимости от места расположения скважины и глубины отбора образцов воды. Изменения качественного состава подземных вод на естественных биогеохимических барьерах зависят от активности сульфатредукции по слоям водоносного горизонта, микробиологических процессов трансформации органических веществ, поступающих с речным фильтратом. Согласно многолетним исследованиям состава подземных вод по химическим и микробиологическим показателям установлено, что для прогнозирования и устойчивого качества питьевых вод необходимо учитывать многофакторность взаимодействия речных и подземных вод, включая сезонное изменение гидрологического режима и характер распределения органических веществ по водоносному горизонту.

Список литературы

Кондратьева Л. М., Андреева Д. В. Влияние наводнения на реке Амур на динамику органических веществ в подземных водах // Водные ресурсы. 2018. Т. 45, № 6. С. 634–644.

Кулаков В. В., Андреева Д. В. Растворенные газы подземных вод Амуро-Тунгусского междуречья // Тихоокеанская геология. 2016. Т. 35, № 2. С. 83–93.

Намсараев Б. Б., Бархутова Д. Д., Хахинов В. В. Полевой практикум по водной микробиологии и гидрохимии. Методическое пособие. Улан- Удэ : Изд-во БГУ, 2006. 68 с.

Kumar S. Organic chemistry. Spectroscopy of organic compounds. Guru Nanak Dev University, 2006. 36 p.

Sulfate reduction in groundwater: characterization and applications for remediation / Z. Miao, M. L. Brusseau, K. C. Carroll [et al.] // Environmental Geochemistry and Health. 2012. Vol. 34. P. 539–550. DOI: 10.1007/s10653-011-9423-1

УДК 591.413:591.414

ЧУДЕСНАЯ СЕТЬ ЗАДНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ (ЛАСТ) БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ

И. В. Аникиенко *, Н. И. Рядинская

Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского
(Россия, 664038, Иркутская обл., пос. Молодежный, 1/1)
** Автор для переписки: babushcinai@mail.ru*

Аннотация. Цель исследования – изучить гистологическую структуру сосудов задних конечностей (ласт) байкальской нерпы. Кровеносное русло задних конечностей было изучено при помощи анатомического препарирования предварительно инъецированных монтажной пеной сосудов и гистологических методов исследования. Артерию сафена и плюсневые артерии оплетает чудесная артериальная сеть, сформированная мелкими анастомозирующими артериями. Гистологически rete mirabile задних конечностей (ласт) представлена сетью артерий и вен малого калибра, а также нервов, расположенных в соединительной ткани вокруг артерий большего диаметра.

Ключевые слова: чудесная сеть, артерии, вены, байкальская нерпа

Для водных млекопитающих, в том числе и представителей ластоногих, характерны следующие физиологические реакции на погружение: апноэ, брадикардия, периферическая вазоконстрикция и последующая гиперперфузия периферических тканей после выныривания [Scholander, 1940]. При этом мышцы, участвующие в локомоции тюленей, сохраняют аэробный метаболизм [Jobsis, Ponganis, Kooyman, 2001]. Возможно, этому способствуют сосудистые теплообменные анастомозы между венами задних ласт и венозными сплетениями тазовой полости, описанные Rommel S. A. с соавт. [1995] у хохлача, кольчатой нерпы, обыкновенного, длинномордого и гренландских тюленей. Также в ряде работ обсуждается наличие артерио-венозных шунтов в ластах тюленей, выполняющих роль венозных резервуаров оксигенированной крови [Hol, Blix, Myhre, 1975; Blix, Elsner, Kjekshus, 1983].

Отсутствие в доступной нам литературе данных о кровоснабжении ласт байкальской нерпы, предопределили цель настоящего исследования – изучить гистологическую структуру сосудов задних конечностей (ласт) байкальской нерпы.

Для исследования архитектоники сосудов ласт применяли анатомическое препарирование с предварительной инъекцией сосудов монтажной пеной. Для гистологического исследования фрагменты плюсны ласт байкальской нерпы разных возрастов фиксировали в 10 % нейтральном забуференном формалине. После проводки с использованием изопропанола ткань заливали в парафин. После нарезки на микротоме «МЗП-01 ТЕХНОМ» гистологические срезы окрашивали гематоксилином и эозином (обзорная окраска), по Вейгерту и Ван-Гизону (выявление волокон соединительных тканей), по Маллори (идентификация коллагеновых волокон) («БиоВитрум», Санкт- Петербург, Россия).

Артерия сафена и артерии плюсны отдают мелкие мышечные артерии, формирующие вокруг них артериальную чудесную сеть (rete mirabile) (рис., *a*). Артерии rete mirabile анастомозируют между собой и вливаются обратно в магистральные сосуды. За счет чудесной артериальной сети увеличивается сосудистая емкость ласт. Мы полагаем, данные сосуды могут играть важную роль, участвуя в регуляции кровотока в конечностях байкальской нерпы, в том числе и при погружении.

При гистологическом исследовании плюсны байкальской нерпы обнаружено, что плюсневая артерия относится к артериям мышечного типа (рис., *b*). Она имеет хорошо выраженную внутреннюю эластическую мембрану, мощный мышечный слой из гладких миоцитов и наружную эластическую мембрану. Адвентиция плюсневой артерии представлена плотно расположенными коллагеновыми волокнами, в ее наружном слое расположено множество мелких артерий.

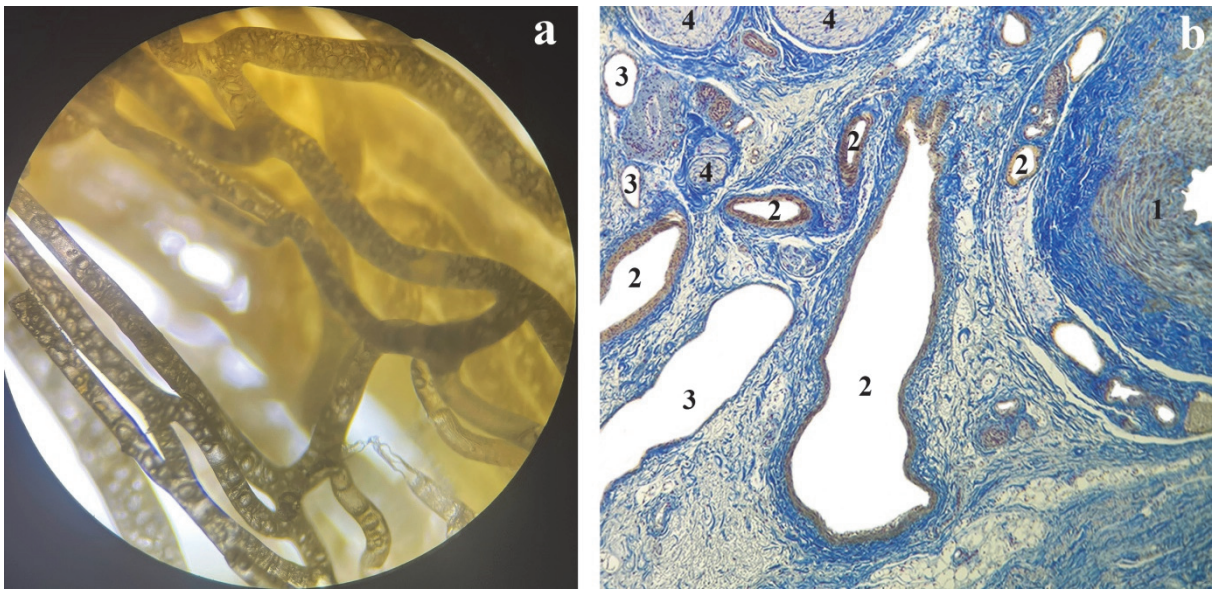


Рис. Чудесная сеть ласт байкальской нерпы: *a* – сосуды rete mirabile вокруг артерии сафена предварительно инъецированные монтажной пеной (увеличение × 40); *b* – rete mirabile плюсны: *1* – плюсневая артерия, *2* – мелкие артерии, *3* – мелкие вены, *4* – нервы (увеличение ×100)

В плотной неоформленной соединительной ткани плюсны расположено множество артерий и вен небольшого диаметра, сопровождающих плюсневую артерию. Медиа указанных артерий образована гладкими миоцитами, а адвентиция – плотно расположенными коллагеновыми волокнами. Стенка вен чудесной сети представлена интимой состоящей из эндотелия с подэндотелиальным слоем, медии представленной гладкими миоцитами, а также хорошо выраженной адвентиции. Рядом с сосудами расположено множество нервов.

Важно отметить, что rete mirabile, сопровождающая артерию сафена и плюсневые артерии задних конечностей байкальской нерпы, располагается подкожно. В связи с чем наиболее вероятное значение чудесной сети, располагающейся в задних конечностях байкальской нерпы, это участие в терморегуляции.

Список литературы

Blix A. S., Elsner R., Kjekshus J. K. Cardiac output and its distribution through capillaries and A-V shunts in diving seals // Acta Physiol Scand. 1983. Vol. 118, N 2. P. 109–116. DOI: 10.1111/j.1748-1716.1983.tb07250.x

Hol R., Blix A. S., Myhre H. O. Selective redistribution of the blood volume in the diving seal (*Pagophilus groenlandicus*) // Rapp. PV Reun. Cons. Int. Explor. Mer 1975. Vol. 169. P. 423–432.

Jobsis P. D., Ponganis P. J., Kooyman G. L. Effects of training on forced submersion responses in harbor seals // J Exp Biol. 2001. Vol. 204, N 22. P. 3877–3885. DOI: 10.1242/jeb.204.22.3877

Scholander P. F. 1940. Experimental investigations on the respiratory function in diving mammals and birds // Hvalradets Skrif 22: 1–131.

Venous structures associated with thermoregulation of phocid seal reproductive organs / S. A. Rommel, G. A. Early, K. A. Matassa [et al.] // Anat Rec. 1995. Vol. 243, N 3. P. 390–402. DOI: 10.1002/ar.1092430314.PMID:8579259

УДК 556.55

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О МОРФОМЕТРИИ И ТЕРМОДИНАМИКЕ ТРЁХ ГОРНЫХ ОЗЁР В ЦЕНТРЕ ЧУКОТСКОГО НАГОРЬЯ

Л. А. Анисимова[1]*, Г. Н. Маркевич[2], С. Л. Горин[1], Д. В. Зленко[2], Е. В. Есин[2]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 105187, Москва, Окружной проезд, 19)
[2]Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33)
**Автор для переписки: anisimova@vniro.ru*

Аннотация. Представлены результаты исследований озёр Южный Гытгыпильгын, Нотарэлягытгын и Гытгыльэнычкин, основанные на данных экспедиций в 2019 и 2020 гг. Все три озера являются глубоководными (средняя глубина 25 м и более), имеют вытянутую корытообразную котловину. Озёра различны по режиму уровня: в оз. Южный Гытгыпильгын – близок к режиму реки, в оз. Нотарэлягытгын похож на режим водохранилища, а оз. Гытгыльэнычкин отличает небольшое изменение уровня. По термодинамическому режиму все три озера оказались димиктическими. В период наибольшего прогрева температура воды в эпилимнионе прогревается до 8,4–9,9 °С, в гиполимнионе в это время температура равна 4,4–5,7 °С.

Ключевые слова: морфометрия, термодинамика, озеро, Чукотка

На Чукотке расположено множество озёр, представляющих интерес для географических и биологических наук. Однако суровость климата, удалённость озер, а также почти не развитая инфраструктура затрудняют исследования в этом регионе. Про озёра Чукотки известно мало, и только оз. Эльгыгытгын можно считать относительно изученным [Nolan, Brigham-Grette, 2007].

Летом 2019 и 2020 гг. под руководством Г. Н. Маркевича и Е. В. Есина при участии Д. В. Зленко, Е. Г. Руднева и Ф. Н. Шкиля на Чукотке состоялись масштабные исследования, посвященные проблеме расселения и эволюции ихтиофауны в горных озёрах этого региона. В связи с этим было обследовано 43 объекта. Помимо решения основных задач, были проведены и гидрологические наблюдения. В наибольшей степени ими были охвачены три озера: Южный Гытгыпильгын, Гытгыльэнычкин и Нотарэлягытгын. В настоящем докладе впервые представлены «гидрологические» результаты этой, без сомнения уникальной, экспедиции.

Исследуемые озёра расположены в пределах Чукотского нагорья, с преобладающими высотами 400–800 м и горными группами высотой 900–1200 м. В литологическом составе пород широко распространены глинистые сланцы и песчаники, в меньшей степени представлены известняки [Ресурсы … , 1969]. Всё нагорье расположено в зоне вечной мерзлоты. Верхний пояс гор занимает каменистая пустыня, ниже произрастают горно-лишайниковые тундры со скудной и низкорослой растительностью.

Исследуемые озёра имеют узкую и вытянутую форму – скорее всего, они, как и большинство других озёр горной части Чукотки, имеют ледниковое происхождение [Ресурсы … , 1969]. Озера Нотарэлягытгын и Гытгыльэнычкын относятся к бассейну р. Паляваам, а оз. Южный Гытгыпильгын – к бассейну р. Пегтымель.

Климат внутренних районов Чукотки резко континентальный и очень суровый. Среднегодовая температура воздуха ниже нуля. По данным реанализа ERA-5 за 2020 г., средняя температура воздуха в феврале составляла –31,6 °С, а в июле она была +12,3 °С. Годовая сумма осадков колеблется ок. 300 мм.

Исследования озёр выполняли в два этапа. Первый из них состоялся с 3 июля по 2 сентября 2019 г. – в это время были обследованы 43 озера, расположенных в горных районах Чукотки и на севере Камчатки. Экспедиция проводилась на вертолете Robinson R-44. На всех озёрах был проведен комплекс ихтиологических исследований. Помимо этого, на 36 озёрах были выполнены эхолотные промеры глубин (частичные или полные). В трёх озё-

рах – самых интересных с ихтиологической точки зрения (Южный Гытгыпильгын, Гытгыльэнычкин и Нотарэлягытгын) – на один год были установлены датчики температуры и давления воды. Во всех случаях датчики устанавливали на одну гирлянду (по 6–8 приборов через равные интервалы от дна к поверхности) в наиболее глубоком месте. Для этого использовали логгеры температуры ERG – T, а также давления и температуры ERG – TP (логгеры и ПО к ним разработаны и изготовлены Зленко Д. В.). Точность измерения температуры составила 0,01 °C, уровня – до 3 см. Логгеры записывали данные с периодичностью 10 мин. Пересчет измеренного гидростатического давления в уровень воды был сделан с использованием данных о приземном давление атмосферы в районе озер по реанализу ERA-5.

Второй этап работ состоялся летом 2020 г. (с 20 июля по 18 августа). Сначала были сняты логгеры, установленные в 2019 г., выполнено однократное гидрологическое зондирование озёр Нотарэлягытгын и Вылыгырыпын. Затем было обследовано оз. Эльгыгытгын: на нём был проведен большой комплекс ихтиологических исследований, а также несколько серий измерений гидрологическим зондом. Для зондирования использовался прибор RBR XRX-620, оснащённый датчиками глубины (точность ±0,05 %), температуры (±0,002 °C), электропроводности (±0,003 мкСм/см), мутности (±2 %), содержания кислорода (±2 %).

Анализ полевых данных позволил установить следующее. Все три озера относительно глубоководны (средняя глубина 25 м и более), имеют вытянутую корытообразную котловину. Озёра различны по режиму уровня. Озеро Южный Гытгыпильгын является проточным, поэтому его режим близок к режиму реки (с выраженным половодьем в период таяния снега, кратковременным повышением во время осенних дождей и квазистационарным низким уровнем в остальную часть года). В оз. Нотарэлягытгын режим уровня похож на таковой в водохранилище с сезонным регулированием стока (с быстрым набором уровня во время таяния снега и его длительной сработкой в оставшуюся часть года). Для оз. Гытгыльэнычкын характерны незначительные изменения уровня в течение года. Все три озера объединяет синхронное повышение уровня воды в июне, вызванное таянием снега на водосборе, а также кратковременный подъём уровня в начале сентября, по-видимому, вызванный дождевыми паводками. За рассматриваемый период колебания уровня озёр составили 1,03 м (оз. Южный Гытгыпильгын), 1,95 м (оз. Нотарэлягытгын) и 0,23 м (оз. Гытгыльэнычкын).

По своему термодинамическому режиму все три озера оказались димиктическими. Это было несколько неожиданно, поскольку по сведениям о находящемся в этом же районе оз. Эльгыгытгын [Nolan, Brigham-Grette, 2007] мы ожидали мономиксию. Для исследованных озёр характерно два периода перемешивания (весной и осенью), обратная стратификация зимой и прямая стратификация летом. В период наибольшего прогрева температура воды в эпилимнионе озер прогревается до 8,4–9,9 °C, в гиполимнионе в это время она равна 4,4–5,7 °C.

Вода озёр хорошо насыщена кислородом от поверхности до дна, то есть они являются холодными олиготрофными водоёмами. Электропроводность по всей толще низкая (менее 45мкСм/см), соответствует талым водам.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Фонда Президентских грантов (грант № 18-2-014937). Авторы выражают глубокую благодарность пилотам вертолётов Каменюку В. В. и Крошкину Г. А. за их профессионализм, труд, терпение и смелость. Отдельная благодарность Рудневу Е. Г. и Шкилю Ф. Н.

Список литературы

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л., 1969. 282 с.

Nolan M., Brigham-Grette J. Basic hydrology, limnology, and meteorology of modern Lake El'gygytgyn, Siberia //Journal of Paleolimnology. 2007. Vol. 37. P. 17–35.

УДК 632.64:678.7

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ПЛАСТИКОВ НА БАЙКАЛЬСКИХ БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ *BENEDICTIA BAICALENSIS* (GERSTFELDT, 1859)

В. В. Анненков *, Е. Н. Даниловцева, В. А. Пальшин, С. Н. Зелинский, И. В. Клименков, Н. П. Судаков, А. Н. Воробьёва, Н. В. Максимова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: annenkov@lin.irk.ru*

Аннотация. Проведено культивирование моллюсков *B. baicalensis* в присутствии флуоресцентно меченных наночастиц полистирола, поливинилхлорида или полиметилметакрилата диаметром 80–150 нм. Воздействие пластиков охарактеризовано с помощью методов световой и лазерной конфокальной микроскопии. Частицы нанопластика, проникая в организм моллюсков *B. baicalensis* с пищей, вызывают поражения пищеварительной железы. Концентрации 1–10 мг/мл действуют токсически, вызывая гибель моллюсков в рамках 1–5 мес. При концентрации нанопластика 0,01 мг/л, сопоставимой с его возможным содержанием в сильно загрязнённых водоёмах, выживаемость моллюсков в аквариуме за 9 мес. находилась на уровне контроля. Установлено, что проникающие в организм моллюсков частицы нанопластика уже на третьи сутки вызывают повышенную секрецию со стороны эпителиальных клеток пищеварительной железы, а к десятым суткам приводят к очаговым нарушениям нативной структуры пищеварительных трубочек, что на отдаленных сроках может существенно снижать их резистентность к действию факторов внешней среды.

Ключевые слова: брюхоногие моллюски, нанопластик, токсичность, флуоресцентные красители

Существование современного индустриального общества невозможно без интенсивного использования полимерных материалов. Пластики широко используются человеком в строительстве, машиностроении и в быту, что предопределяет множественность путей загрязнения ими водных экосистем. Изучение воздействия пластиковых частиц на живые организмы актуально для разработки мониторинговых и других природоохранных мероприятий, выработки стратегий развития промышленности, сельского хозяйства и здравоохранения. Высоко актуальным является изучение адаптивного потенциала организмов к таким загрязнениям. Особенности резистентности организмов, обитающих в уникально чистой байкальской воде, по отношению к нано- и микропластикам практически не изучены. Одним из перспективных объектов для таких исследований являются брюхоногие моллюски. Эксперименты по механической деструкции в воде (истиранию камнями) таких промышленных пластиков, как полистирол (ПС), поливинилхлорид (ПВХ) и полиметилметакрилат (ПММА) показали [Submicro- ... , 2021], что возможные концентрации нанопластиков в воде существенно ниже 0,01 мг/л. Данная работа посвящена изучению влияния наночастиц ПС (диаметр 154 нм), ПВХ (диаметр 83 нм) и ПММА (диаметр 150 нм) на байкальских брюхоногих моллюсков *Benedictia baicalensis* (Gerstfeldt, 1859).

Дисперсии флуоресцентно меченных наночастиц пластиков получали в соответствии с ранее разработанными методиками [Fluorescent … , 2020; Submicro- ... , 2021]. В качестве флуоресцентного красителя использовали специально синтезированный бензил 7-(диэтиламино)кумарин-3-карбоксилат, обеспечивающий свечение в синей и зелёной области, что позволяет отличать меченые частицы в присутствии хлорофилла и флуоресцирующих тканей моллюска, в частности, автофлуоресцирующей радулы.

Эксперименты по острой токсичности проводили при концентрации наночастиц 1 и 10 мг/л. Наблюдалось явное токсическое действие наночастиц, вызывающее гибель моллюсков в рамках 1 (10 мг/л) и 5 мес. (1 мг/л). Исследование с помощью эпифлуоресцентной микроскопии на образцах с ПС указывает на присутствие частиц нанопластика на стенках и в содержимом желудка, на кристаллическом стебельке, выполняющем ферментативную функцию в желудке, в кишечнике и фекалиях моллюсков. При концентрации 10 мг/л флуорес-

центные наночастицы отмечены и на поверхности ноги *B. baicalensis*. Можно отметить ассоциацию наночастиц с клетками диатомей и водорослей, являющихся пищей для моллюсков.

Длительные эксперименты при концентрации нанопластика, близкой к возможным в водоёмах (0,1 и 0,01 мг/л), продолжались в течение 9 мес., выживаемость моллюсков была на уровне контрольной группы. На четвертый-седьмой месяц эксперимента на стенки аквариума моллюсками были отложены яйцевые капсулы, что свидетельствовало о способности моллюсков к размножению. К концу эксперимента у особей из аквариумов с нанопластиком визуально отмечалось угнетенное поведение, они были малоактивны, лежали на дне аквариума кверху устьем.

В сравнении с контролем и литературными данными [Morphology ... , 2010; Landro, Teso, Arrighetti, 2019], уже на третьи сутки после воздействия нанопластика в пищеварительной железе моллюсков отмечалась повышенная секреция эпителиальными клетками, а к десятым суткам выявлялись участки дезинтеграции целостности пищеварительных трубочек. Кроме разрушенных пищеварительных трубочек, обнаруживаются также трубочки с резко уменьшенным объемом пищеварительной полости. При этом поперечные размеры самих трубочек в ряде случаев также выглядят сокращенными в объеме. Предполагается, что трубочки с суженным по размерам профилем могли возникнуть в результате их спастического сокращения, вызванного проникновением токсических компонентов нанопластика в начальные отделы пищеварительной железы. Такие спазмы гладких мышечных волокон, выявленные с помощью конфокальной микроскопии, могут иметь важное приспособительное значение, блокируя поступление опасных токсических агентов в трубочки пищеварительной железы. Вызванные нанопластиком локальные повреждения компонентов пищеварительной железы могут не только нарушать ее естественное функционирование, но и выступать в качестве очагов проникновения в организм различных инфекций, что, на отдаленных сроках может существенно снижать их жизнеспособность.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект 122012600070-9. Авторы благодарны ЦКП «Ультрамикроанализ» за предоставленное оборудование, а также И. В. Ханаеву и А. П. Федотову за сбор моллюсков.

Список литературы

Fluorescent nanoplastic particles: synthesis and influence on diatoms / V. A. Palshin, E. N. Danilovtseva, M. S. Strelova [et al.] // Limnology and Freshwater Biology. 2020. N 5. P. 1067–1072. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-5-1067

Landro S. M., Teso V., Arrighetti F. Morphology of the digestive gland of the marine panpulmonate limpet *Siphonaria lessonii*: A cytological, histochemical, and ultrastructural description // Journal of Morphology. 2019. N 280. P. 1475–1484. DOI: 10.1002/jmor.21043

Morphology of epithelial cells lining the digestive tract of the giant keyhole limpet, Megathura crenulata (Mollusca; Vetigastropoda) / G. G. Martin, T. Bessette, A. Martin [et al.] // Journal of Morphology. 2010. N 271. P. 1134–1151. DOI: 10.1002/jmor.10862

Submicro- and nanoplastics: how much can be expected in water bodies? / V. V. Annenkov, E. N. Danilovtseva, S. N. Zelinskiy [et al.] // Environmental Pollution. 2021. Vol. 278. Art. 116910. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.116910

УДК 575.86

ОБНАРУЖЕНИЕ *GYMNODINIUM BAICALENSE* И *APOCALATHIUM EURYCEPS* ПОДОБНЫХ ДИНОФЛАГЕЛЛЯТ В ОЗЕРАХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Н. В. Анненкова *

Институт цитологии РАН (Россия, 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий просп., 4)
**Автор для переписки: tasha.annenkova@gmail.com*

Аннотация. Для выявления динофлагеллят, развивающихся подо льдом в пресных озёрах, исследованы пробы фитопланктона озер Ильмень, Онежское, Ладожское и Отрадное. Во всех случаях обнаружены представители рода *Apocalathium*, являющиеся типичными для подледных экосистем. Кроме этого, в озёрах впервые найдены динофлагелляты, имеющие большое сходство с байкальским эндемиком *Gymnodinium baicalense*. В будущем предстоит выяснить, является ли этот вид космополитным или данная находка представляет собой комплекс близкородственных, *G. baicalense* подобных видов.

Ключевые слова: динофитовые, Ильмень, Онежское, Ладожское, Отрадное

Исследования арктических морей, а также Балтийского моря демонстрируют важность подледного развития фитопланктона, в частности динофлагеллят, для образования раннего источника первичной продукции в этих водоемах [An Arctic … , 2024]. Изучение подледных сообществ необходимо как для описания функционирования водоема в целом, так и для понимания адаптационных механизмов отдельных водорослей, обитающих в условиях низкой освещенности и пониженных температур. В отличие от морского, подледное цветение в пресной воде практически не изучено. Одним из исключений является оз. Байкал. В нем описано бурное цветение фитопланктона подо льдом, в том числе динофлагеллят *Gymnodinim baicalense* и комплекса видов рода *Apocalathium* [Annenkova, Hansen, Rengefors, 2020]. Примечательно, что упомянутые виды являются близкими потомками морских динофлагеллят. При этом виды *A. baicalense*, *A. aciculiferum*, *A. euryceps* и *A.* cf *malmogiense* входят в «видовую вилку», произошедшую от балтийской *A. malmogiense,* и (в первую очередь *A. aciculiferum*) выявлены в подледных цветениях в различных озёрах умеренной зоны. Напротив, *G. baicalense* является единственным потомком другого балтийского покорителя пресных вод, вида *G. corollarium,* и считается эндемиком Байкальского региона. Возможно, что это реликтовый вид, попавший в Байкал из Арктики через систему озер, существовавших в прошлом. Однако такая ситуация может быть связана и с малой изученностью подледного озерного планктона. Последнее особенно справедливо для рода *Gymnodinium,* так как он хуже панцирных динофлагеллят сохраняется в фиксированных пробах.

Нами проведен анализ проб планктона, отобранных в марте 2025 г. из-подо льда оз. Ильмень (Новгородская обл.) и крупных озер Ленинградской области и Карелии (Ладожское, Отрадное, Онежское). Онежское озеро олиготрофно (как и Байкал), Ладожское озеро было олиготрофным в недавнем прошлом, но сейчас скорее мезотрофно, а Отрадное и Ильмень – мезотрофные озёра, более того, Ильмень очень мелководен (средняя глубина 2 м) [Румянцев, Драбкова, Измайлова, 2015]. В исследованных озёрах найдены представители *Apocalathium*, причем в Онежском и Отрадном озёрах нами наблюдалось цветение *A. euryceps*, ранее описанного лишь для оз. Байкал и двух шведских озер. Более того, несмотря на разную трофность, во всех изученных водоемах подо льдом обнаружена динофлагелята, морфология которой согласно световой микроскопии идентична *G. baicalense* (рис.). Исключением является размер клеток: представители европейских популяций оказались мельче своих байкальских родственников. Возможно, такой гигантизм обусловлен специфическими условиями озера Байкал. Кроме этого, наши наблюдения за гимнодиниумами в культуре показывают, что их размеры значимо отличаются в зависимости от стадии жизненного цикла и плотности культуры. Расшифрованные фрагменты 28S рДНК (1206 п. н.) из 5 различных

клеток ильменьской популяции подтверждают очень близкое родство этой популяции как с байкальской линией, так и с балтийской *G. corollarium*. Согласно молекулярно-филогенетическому анализу наиболее близок к данной группе морской *G. aureolum*. При этом p-дистанция между ильменьским *Gymnodinium* sp. и *G. baicalense* составила 0,9 %, а между *ним* и *G. corollarium* 0,8 %, в то время как p-дистанция между *Gymnodinium* sp. из Ильменя и *G. aureolum* равнялась 15 %. В целом отличия в расшифрованной ДНК внутри исследуемой группы гимнодиниумов гораздо меньше, чем между ней и другими видами.

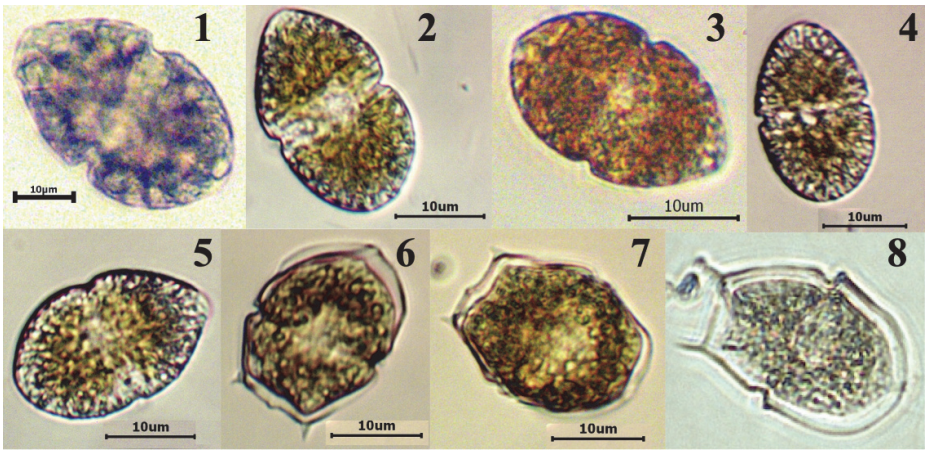


Рис. *G. baicalense* подобные динофлагелляты из: *1* – Байкала, *2* – Ильменя, 3 – Ладожского, *4* – Онежского, *5* – Отрадного. *A. euryceps* из: *6* – Онежского, *7* – Отрадного, *8* – Байкала. Световая микроскопия живых проб, за исключением *8* (фиксация в 70%-ном этаноле)

Полученный результат показывает, что считавшиеся редкими динофлагелляты *G. baicalense* и *A. euryceps* не настолько редки. В частности, впервые сообщается о развитии *G. baicalense* подобных динофлагеллят в озёрах северо-запада России. Это демонстрирует, что их подледное цветение в Байкале не уникально и возможно не только в олиготрофных, но и в мезотрофных озёрах. Предварительные результаты указывают на то, что *G. baicalense* не был занесен из Байкала в европейскую часть, а изначально обитал в ней. По-видимому, оба балтийских вида (*A. malmogiense* и *G. corollarium)* успешно преодолев различия в солености заселили широкий пласт разных озер, эволюционировав в новые, уже сугубо пресноводные виды (по нашим данным пресноводные представители этих групп не выживают при солености 3 ppt). В будущем предстоит выяснить вклад выявленных динофлагеллят в продуктивность подледного фитопланктона озер. Необходимо более полное генетическое исследование различных популяций гимнодиниумов, чтобы дать однозначный ответ, является ли данный вид космополитным или же произошло разделение на ряд близкородственных видов, как это случилось с видами рода *Apocalathium*. Согласно недавнему обзору [Speciation … , 2021], существует огромная нехватка конкретных исследований по видообразованию протистов. История *G. baicalense* может стать интересным и важным примером освоения территории динофлагеллятами в специфических холодноводных условиях и разной солености.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 25-24-00318.

Список литературы

Румянцев В. А., Драбкова В. Г., Измайлова А. В. Озера европейской части России. СПб. : ЛЕМА, 2015. 392 с.

An Arctic sea ice spring bloom driven and dominated by dinoflagellates – a harbinger of the future sea ice? / L. C. Lund-Hansen, E. Kobberup, L. Z. Jensen [et al.] // Frontiers in Marine Science. 2024. N 11. Art. :1377819. DOI: 10.3389/fmars.2024.1377819

Annenkova N. V., Hansen G., Rengefors K. Closely related dinoflagellate species in vastly different habitats – an example of a marine–freshwater transition // European Journal of Phycology, 2020. Vol. 55, N 4. P. 478–489. DOI: 10.1080/09670262.2020.1750057

Speciation across the tree of life / Hernández-Hernández T., Miller E. C., Román-Palacios C., Wiens J. J. // Biological Reviews. 2021. Vol. 96, N 4. P. 1205–1242. DOI: 10.1111/brv.12698

УДК 639.3.03(282.256.341)

ОСНОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОЛИВА МАЛОЕ МОРЕ ОЗ. БАЙКАЛ ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА СИГОВЫХ РЫБ

П. Н. Аношко*, Н. Г. Шевелева, М. М. Макаров

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: apn000@mail.ru*

Аннотация. Необходимость использования рыбохозяйственного потенциала пролива Малое Море в целях пополнения запасов сиговых рыб оз. Байкал, обусловлена необходимостью восстановления численности их популяций. Перспективными для вселения личинок являются высокопродуктивные мелководные заливы, общая площадь которых оценена в 25,7 км^2, объем 83,5 млн км^3. Площадь и объем глубоководных малопродуктивных заливов составляет 9,3 км^2 и 143,5 млн км^3 соответственно. Мелководные заливы позволяют в период с конца мая по конец июня получить 79 т рыбопродукции, глубоководные – 10 т. По нашим оценкам в заливы Малого Моря целесообразно вселять 160 млн шт. личинок сиговых видов рыб.

Ключевые слова: байкальский омуль, байкальский сиг, искусственное воспроизводство, приемная емкость

Проблемы снижения численности потребительски наиболее ценных видов рыб Байкала закономерно обострились в связи со снижением запасов основного промыслового вида – байкальского омуля, и последующего введением запрета на его промышленный и любительский лов. Это обусловлено повышением нагрузки любительского рыболовства на популяции, разрешенных к вылову видов рыб.

Восстановление запасов байкальского омуля посредством искусственного воспроизводства сопряжено с необходимостью повышения его эффективности. Как показала практика увеличение объемов искусственного воспроизводства должно базироваться на оценках приемной емкости прибрежно-соровой зоны оз. Байкал в районах выпуска личинок. Объемы искусственного воспроизводства превышающие оптимальные могут быть не только не эффективными, но и являться причиной снижения пополнения промышленного запаса.

Одной из текущих проблем является фактическое исчезновение популяции байкальского сига в проливе Малое Море, где он ранее являлся традиционным объектом рыболовства. Биомасса маломорской популяции оценивались в 150–170 т. В последнее десятилетие он практически не фиксируется в уловах при осуществлении рыболовства как в научно-исследовательских и контрольных целях, так и при осуществлении любительского рыболовства. Естественное восстановление популяции возможно в результате миграции особей из других мест обитания, в т. ч. популяции Чивыркуйского залива. Однако этот процесс может занять неопределенно длительное время.

Необходимость использования рыбохозяйственного потенциала Малого Моря в целях пополнения запасов сиговых рыб оз. Байкал, обусловлена необходимостью восстановления численности их популяций и ограниченностью приемной емкости прибрежно-соровой зоны озера, которая по приблизительным оценкам составляет менее 10 % площади акватории озера и не сопоставима с ним по объему.

Перспектива восстановление запасов сига посредством искусственного воспроизводства в течение 5–10 лет имеет объективные основания. К этим основаниям относится возможность отлова в Чивыркуйском заливе достаточного количества производителей и то, что технология искусственного воспроизводства сиговых видов рыб отработана и принципиально не отличается для видов семейства.

Для целей искусственного воспроизводства, в качестве перспективных, были определены 5 заливов наибольших по площади (табл.). Из них три мелководных высокопродуктивных

и два глубоководных малопродуктивных. На основе данных по составу и продуктивности зоопланктона бала оценена возможная рыбопродукция и приемная емкость для личинок сиговых рыб.

В проливе М. М. отмечены как высокопродуктивные заливы (Мухор, Куркутский, Хужир-нугайский), так и малопродуктивные (Загли, Хул). По количественным показателям биомассы зоопланктона (в мае 180–200 мг/м^3, в июне 400–505 мг/м^3) зал. Мухор характеризуется как а-олиготрофный тип, при этом биомасса ракообразных (Bcrus/Brot) от 6 до 30 раз превышает биомассу коловраток. В мало продуктивных заливах (Загли, Хул) биомассы зоопланктона даже в августе колебались от 110–220 мг/м^3, что соответствует ультраолиготрофным водоемам. При этом биомасса ракообразных превышает таковую коловраток от 4 до 60 раз.

Таблица. Морфологическая и продукционная характеристика заливов Малого Моря

Залив	Площадь, км^2	Средняя (максимальная) глубина, м	Объем, млн м^3	Продукция молоди*, тонн	Количество личинок, млн шт.
Мухор	15,5	3,4 (6,0)	54,9	52	95
Куркутский	4,2	2,9 (6,5)	12,8	12	22
Хужир-Нугайский	6,0	2,5 (6,2)	15,8	15	27
Всего:	**25,7**		**83,5**	**79**	**145**
Загли	4,0	11,8 (32,8)	48,1 (28,0**)	4	7
Хул	5,3	17,8 (35,8)	95,4 (43,1**)	6	10
Всего:	**9,3**		**143,5 (71,1**)**	**10**	**17**

* – продукция молоди байкальского омуля в заливах Малого Моря в течение 1-го месяца роста,
** – только с учетом глубин менее 10 м.

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что приемная емкость заливов Малого Моря составляет около 160 млн шт. для личинок сиговых видов рыб. При этом использование малопродуктивных заливов позволяет увеличить рыбопродукцию менее чем на 15 %. В перспективе на 7 лет, ежегодное зарыбление позволит увеличить численность байкальского омуля на 16 млн. экз и биомассу на 1,7 тыс. тонн. А ежегодное зарыбление личинками байкальского сига в количестве 2,5 млн шт. позволит в течение 7 лет достичь его естественной численности 0,25 млн экз. и биомассы 80 тонн. Несмотря на то что байкальский омуль является общеизвестным брендом Байкала, байкальский сиг всегда представлял большую ценность на потребительском рынке. Основные нерестилища и места нагула данного вида находятся на акваториях Малого Моря и Чивыркуйского залива в границах национальных парков, что накладывает особую ответственность на руководство организаций ООПТ за сохранение в естественном состоянии их популяций как уникальных эндемичных объектов животного мира, а также компонентов естественных экологических систем и биоразнообразия.

Благодарности. Работа выполнена в рамках тем государственного задания № 0279-2022-0004 и № 0279-2021-0007.

УДК 532.592

ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В ЮЖНОМ БАЙКАЛЕ: НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

И. А. Асламов[1], В. Е. Ермишина[2,3], В. Ю. Ляпидевский[2], А. А. Чесноков[2]*

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН
(Россия,630090, Новосибирск, просп. Лаврентьева, 15)
[3]Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134)
**Автор для переписки: chesnokov@hydro.nsc.ru*

Аннотация. В водоемах с температурной стратификацией наблюдаются внутренние волны, представляющие собой возмущения поля плотности и распространяющиеся вдоль пикноклина. Систематическое изучение этого явления в южной части оз. Байкал недавно начато на создаваемом ЛИН СО РАН гидрофизическом полигоне с распределенной системой донных станций, позволяющих регистрировать параметры внутренних волн и прибрежных течений. Представлены первые результаты натурных наблюдений внутренних волн в Южном Байкале в августе – сентябре 2024 г., показывающие высокую интенсивность, широкий диапазон и значительные амплитуды волн в термоклине. С использованием многослойных длинноволновых уравнений выполнено моделирование динамики внутренних волн большой амплитуды и сейшевых колебаний. Показано, что предлагаемые модели корректно описывают основные особенности наблюдаемых волновых процессов.

Ключевые слова: внутренние волны, многослойные течения, длинноволновые модели, натурные измерения, Байкал

Внутренние волны возникают в стратифицированных по плотности водоемах и являются одним из эффективных механизмов передачи энергии от атмосферы к океану. В океане внутренние волны являются объектом интенсивных исследований в течение многих десятилетий [Helfrich, Melvill, 2006]. В настоящее время разворачивается систематическое исследование особенностей генерации и распространения внутренних волн в крупных озёрах [Hutter, 2012]. Хотя структура внутренних волн в открытых и замкнутых водоемах аналогична, источники их генерации могут различаться. Так, в шельфовой зоне моря основным источником внутренних волн является прилив, а в озёрах, наряду с непосредственным ветровым воздействием, источником колебаний являются внутренние сейши [Особенности … , 2023].

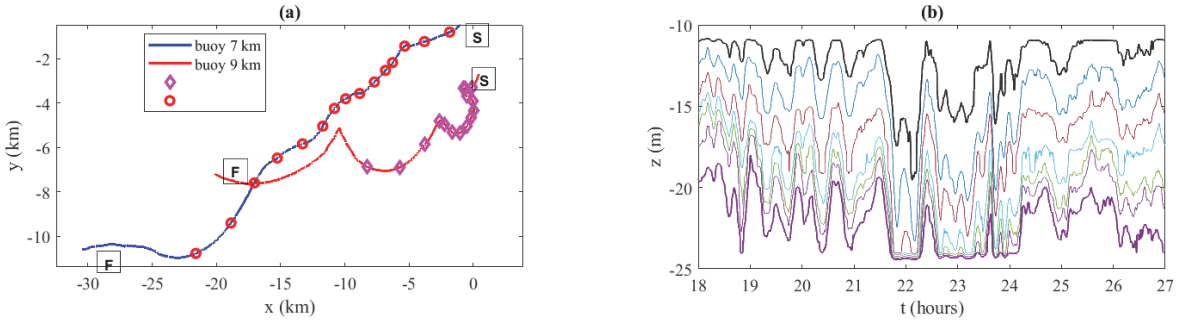


Рис. 1. Регистрация внутренних волн дрейфующими буями с термокосами:
(*a*) траектории дрейфа станций; (*b*) фрагмент записи деформации изотерм

Впервые детальная структура внутренних волн в приповерхностном слое в Южном Байкале была зарегистрирована в летний период 2012 г. с использованием термокос, расположенных на свободно дрейфующих буях. На рис. 1, *a* показаны траектории двух дрифтеров в течение полутора суток (маркерами отмечено положение станций каждые два часа). На рис. 1, *b* изображен фрагмент записи деформации изотерм (температура меняется от 5 до 12 ºС) в приповерхностном 25-метровом слое при прохождении внутренних волн в течении

нескольких часов на одной из термокос. Графики наглядно показывают наличие значимых течений в приповерхностном слое, а также наличие интенсивных внутренних волн.

В 2024 г. началось создание гидрофизического полигона ЛИН СО РАН для систематического исследования параметров внутренних волн и прибрежных течений в присклоновой области в Южном Байкале. Первые результаты измерений внутренних волн в августе – сентябре 2024 г. показывают высокую интенсивность и широкий диапазон периодов внутренних волн большой амплитуды, распространяющихся в летнем термоклине. На рис. 2 показаны синхронизированные по времени фрагменты деформации изотерм, зарегистрированных на автономных донных станциях, расположенных на глубине 13 и 34 м, соответственно. Крутой склон дна Байкала в районе полигона приводит к тому, что, несмотря на небольшое расстояние между станциями (порядка 30 м), волновая картина течений в литоральной области и в окрестности склона существенно различна.

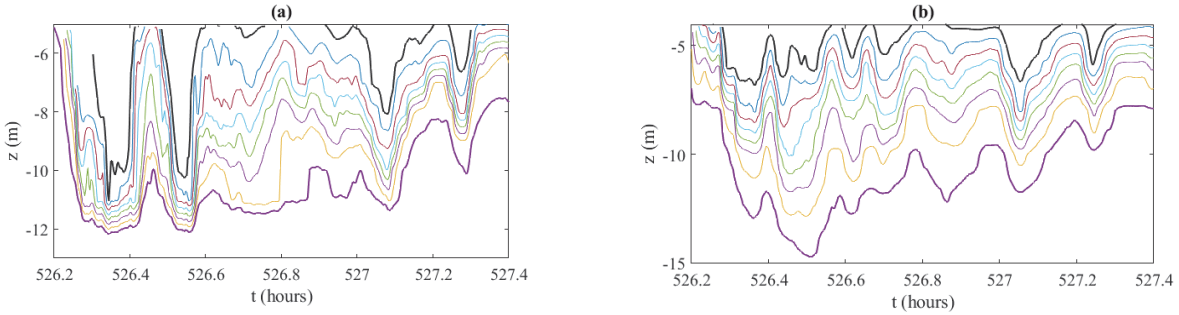


Рис. 2. Эволюция изотерм на двух автономных станциях, расположенных на глубине 13 м (*a*) и 34 м (*b*)

Многослойные модели мелкой воды, верифицированные сравнением с лабораторными экспериментами [Chesnokov, Ermishina, Liapidevskii, 2023], успешно применяются для описания нелинейных внутренних волн в шельфовой зоне приливного моря [Моделирование … , 2022; Особенности ... , 2023]. Крутые склоны прибрежной части оз. Байкал требуют совершенствования математических моделей трансформации внутренних волн при выходе на берег.

Благодарности. Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2024-533 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития (проект «Фундаментальные исследования Байкальской природной территории на основе системы взаимосвязанных базовых методов, моделей, нейронных сетей и цифровой платформы экологического мониторинга окружающей среды»).

Список литературы

Моделирование нестационарных гидрофизических процессов на шельфе Японского моря / В. Ю. Ляпидевский, Ф. Ф. Храпченков, А. А. Чесноков, И. О. Ярощук // Известия РАН. МЖГ. 2022. № 1. С. 57–68. DOI: 10.31857/S0568528122010066

Особенности трансформации нелинейных внутренних волн на шельфе и в глубоком озере / В. В. Кириллов, В. Ю. Ляпидевский, И. А. Суторихин, Ф. Ф. Храпченков // Известия РАН. МЖГ. 2023. № 6. С. 121–131.

Chesnokov A. A., Ermishina V. E., Liapidevskii V. Yu. Strongly non-linear Boussinesq-type model of the dynamics of internal solitary waves propagating in a multilayer stratified fluid // Phys. Fluids. 2023. Vol. 35, N 7. Art. 076605. DOI: 10.1063/5.0151928

Helfrich K. R., Melville W. K. Long Nonlinear Internal Waves // Ann. Rev. Fluid Mech. 2006. Vol. 38. P. 395–425. DOI: 10.1146/annurev.fluid.38.050304.092129

Hutter K. Nonlinear Internal Waves in Lakes. Heidelberg : Springer Berlin, 2012. DOI: 10.1007/978-3-642-23438-5

УДК 556.5(282.256.341)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

И. А. Асламов *, Р. Ю. Гнатовский, В. В. Блинов, А. А. Жданов

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
** Автор для переписки: ilya_aslamov@bk.ru*

Аннотация. Проведенное исследование геострофических течений в навигационный период 2024 г. показало их соответствие циклоническим макроциркуляциям, становление которых происходило постепенно от лета к осени. В июне из-за слабых температурных градиентов течения были слабыми и неустойчивыми. По мере прогрева озера в июле течения усиливались, достигая максимума в сентябре. В южной котловине, благодаря более высокой температуре воды, наблюдались бóльшие скорости течений, чем в Среднем и Северном Байкале. У восточного берега Байкала течения были в 1,5–3 раза сильнее, чем у западного, в то время как у западного они проникали в более глубоки слои. К октябрю, с понижением температуры воды, скорости течений затухали, но распространялись на бóльшие глубины. В зонах интенсификации течений направления дрейфа дрифтеров и рассчитанных геострофических течений совпадали, а скорости перемещений были близки к геострофической составляющей. При удалении от берегов, преобладали дрейфовые течения, формирующиеся под действием касательного напряжения ветра, и отклоняющиеся примерно на 50–90º вправо от его направления. При отсутствии значимых ветров с устойчивым направлением преобладала инерционная составляющая течений.

Ключевые слова: Байкал, горизонтальный водообмен, геострофические течения, дрифтерные эксперименты

Настоящая работа посвящена исследованию геострофической составляющей течений в оз. Байкал в период открытой воды и её сравнению с данными дрифтерных экспериментов. Для расчета геострофических течений применялся динамический метод, основанный на определении градиента динамической высоты между станциями вертикального разреза, описанный подробно Фоминым [Fomin, 1964]. Для расчета плотности воды использовался программный пакет TEOS-10 [IOC, SCOR … , 2010], адаптированный к условиям Байкала.

Расчеты геострофических течений были выполнены на основе материалов четырёх экспедиций 2024 г. с использованием данных CTD-зондирований водной толщи, усреднённых по горизонтам с шагом 2 м. Течения рассчитывались на шести поперечных разрезах через озеро: Маритуй – Солзан, Листвянка – Танхой, Кадильный – Мишиха, Ухан – Тонкий, Елохин – Давша и Байкальское – Турали. Сравнение рассчитанных геострофических течений 2024 г. со среднемноголетними направлениями течений на поверхности оз. Байкал в теплый период показало, что направление геострофических течений в большинстве случаев соответствовало циклонической циркуляции с наибольшей устойчивостью в сентябре. В июне, вскоре после схода льда, из-за слабой стратификации и малых температурных градиентов течения были слабыми и неустойчивыми. Исключение составил участок в районе мыса Лиственничный, где сохранились значимые течения, зародившиеся ещё в подлёдный период. В июле, с увеличением температуры воды и обострением температурных контрастов, отмечался рост геострофических течений, особенно у юго-восточного берега с более пологим склоном. Течения достигали максимальных значений в сентябре, особенно в более прогретой южной котловине Байкала. А к октябрю, по мере постепенного охлаждения воды, скорости геострофических течений ожидаемо снижались, но наблюдалось их проникновение на большие глубины, преимущественно у северо-западного берега.

Вертикальная структура течений также демонстрировала сезонную трансформацию. Весной, вследствие интенсивной конвекции вызываемой прогревом воды в процессе перехода от обратной температурной стратификации к гомотермии, геострофические течения не превышали 3 мм/с, проникая, при этом, до 70 м у северо-западного берега и до 40 м у юго-восточного. Июль отличался самой незначительной глубиной распространения геострофических течений, со скоростями до 4–9 см/с отмечавшимися не глубже 4 м от поверхности. К сентябрю, вслед за уже отмеченным выше значительным усилением приповерхностных те-

чений, существенно увеличивается и глубина их распространения. И, как следствие, скорости более 0,5 см/с наблюдались на глубинах до 30–40 м. С последующим снижением скоростей геострофических течений в октябре, процесс их заглубления продолжается, имея более выраженный характер у северо-западного берега.

Особое внимание в работе уделено проведению дрифтерных экспериментов и сравнению траекторий с расчётными геострофическими течениями. Для этого были разработаны и изготовлены дрифтеры – автономные буи с якорем-парусом и отслеживанием координат по системам глобального позиционирования. Буи запускались в разных районах Байкала (на разрезах Маритуй – Солзан, Елохин – Давша и у пос. Листвянка) в июле, августе и сентябре 2024 г. Проведенные эксперименты подтвердили, что формирование макроциркуляционных ячеек в оз. Байкал происходит постепенно от лета к осени. Так, в июле течения в ячейках слабые и под действием ветров буи могут менять направления на противоположные. В августе-сентябре течения усиливаются и циркуляционные ячейки становятся более устойчивы. При этом в зонах интенсификации течений движения дрифтеров уже слабо зависят от скорости ветра и, в основном, определяются циклонической циркуляцией с небольшим вкладом инерционной составляющей. Становится возможным перемещение буев против ветра. При удалении от берегов, начинают преобладать дрейфовые течения, формирующиеся под действием касательного напряжения ветра и отклоняющиеся примерно на 50–90º в право от его направления. При отсутствии значимых ветров с устойчивым направлением преобладают инерционные течения и дрифтеры совершают классические круговые движения. В целом направления рассчитанных геострофических течений, как правило, совпадало с направлением дрейфа буёв, а скорости их перемещения в зонах интенсификации течений в большинстве экспериментов были близки к геострофической составляющей.

Таким образом, сочетание расчетов геострофических течений с наблюдением за траекториями дрифтеров позволило получить достоверную картину сезонной трансформации динамики горизонтального перемещения водных масс, выявить зоны интенсификации течений и уточнить структуру циркуляционных ячеек.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников лаборатории гидрологии и гидрофизики ЛИН СО РАН за полученные в экспедициях материалы наблюдений. Исследование выполнено в рамках гос. темы ЛИН СО РАН 0279-2021-0004.

Список литературы

Fomin L. M. The dynamic method in oceanography. Elsevier Oceanographic Series 2, 1964. 212 p.

IOC, SCOR and IAPSO. The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission. Manuals and Guides 56. UNESCO (English) – 2010. URL: http://teos-10.org/pubs/TEOS-10/Manual.pdf (дата обращения: 01.05.2025).

УДК 556.5(282.256.341)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

И. А. Асламов[1]*, М. М. Макаров[1], М. Ю. Шиховцев[1,2], Р. Ю. Гнатовский[1], А. П. Федотов[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Институт динамики систем и теории управления им. В. М. Матросова СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134)
** Автор для переписки: ilya_aslamov@bk.ru*

Аннотация. В работе обсуждается развитие цифровой системы экологического мониторинга оз. Байкал, основанной на сети автоматических станций и уникальном научном оборудовании. Система обеспечивает непрерывное наблюдение за ключевыми параметрами экосистемы озера, что критически важно в условиях наблюдающихся климатических изменений и растущей антропогенной нагрузки.

Ключевые слова: Байкал, цифровой мониторинг, гидрофизика, качество воды, качество воздуха

Озеро Байкал, являющееся крупнейшим резервуаром пресной воды на планете, требует постоянного комплексного мониторинга за экологическим состоянием. Лимнологический институт СО РАН выступает ведущей научной организацией, осуществляющей систематические наблюдения за физико-химическими, гидрологическими и биологическими параметрами озера. В условиях современных вызовов, связанных с изменением климата и увеличивающейся антропогенной нагрузки, цифровизация мониторинга становится критически важной задачей для обеспечения эффективного контроля за состоянием экосистемы озера.

В лаборатории гидрологии и гидрофизики ЛИН СО РАН с 2005 г. организована и успешно функционирует группа специалистов, занимающаяся разработкой и изготовлением уникального научного оборудования для автоматизации научных исследований. Например, для детального изучения высокочастотных (до 1 Гц) колебаний уровня оз. Байкал разработаны и установлены по акватории озера автоматические гидрометеорологические станции, часть из которых были дополнены измерителями гидрохимических и гидрооптических параметров качества воды. Для изучения процессов, связанных с нарастанием ледового покрова и теплообмена на границе вода-лед изготовлены автоматические ледовые комплексы. Для организации непрерывного мониторинга характеристик водной толщи была разработана и изготовлена термопрофилирующая система онлайн мониторинга деятельного слоя оз. Байкал на базе глубоководного нейтринного телескопа Baikal-GVD. Для исследования пространственного распределения метеорологических и гидрофизических параметров по акватории озера разработан автоматический комплекс для проведения непрерывных измерений с борта научно-исследовательского судна. Комплекс включает спутниковый компас для точного определения ориентации в пространстве, скорости и направления движения судна и расчета соответствующих поправок в показания ультразвукового анемометра. Разработан автономный измеритель вертикального распределения гидрофизических параметров (позволяющий измерять вертикальное распределение температуры и освещенности в водной толще, а также уровень воды и интенсивность волнения) и другие научные приборы.

В марте 2022 г. в Лимнологическом институте СО РАН был открыт центр интерактивного мониторинга оз. Байкал и байкальской природной территории (БПТ). Центр представляет собой качественно новый этап в развитии системы автоматических наблюдений, объединяющий данные с различных датчиков и измерительных станций ЛИН СО РАН в единую информационную систему. Центр обеспечивает мониторинг основных параметров экосистемы с временным интервалом от единиц секунд до нескольких минут, что представляет революционный переход от сезонных экспедиционных исследований к непрерывному цифровому

наблюдению. По состоянию на 2025 г. сеть цифрового мониторинга ЛИН СО РАН включает следующее оборудование:

- Автоматические гидрометеорологические станции (АГМС), измеряющие набор основных метеопараметров, включая приходящую солнечную радиацию, а также уровень озера, температуру воды и проходящее в воду солнечное излучение, установленные на оз. Байкал в пос. Листвянка, пос. Б. Коты, пос. Танхой, пос. Узуры, о. Ушканий, мыс Елохин и т/б Хакусы.
- АГМС установленные на реках Иркут, Селенге и Баргузин, отслеживающие основные метеопараметры и уровень воды.
- В ходе расширения системы мониторинга за пределы БПТ, АГМС дополнительно были установлены на оз. Арахлей (Забайкальский край), оз. Телецкое (респ. Алтай) и оз. Хубсугул (Северная Монголия).
- Станции мониторинга атмосферного аэрозоля ($PM_{2,5}$, PM_{10}), установленные в г. Иркутск, пос. Патроны, пос. Листвянка, пос. Бугульдейка, пос. Танхой и пос. Давша.
- Станции мониторинга газового состава атмосферы (измерение концентраций O_3, SO_2, H_2S, NO_2, NO, CO, CO_2) совмещенные с метеостанциями и установленные в г. Иркутске, пос. Листвянка, пос. Танхой и пос. Давша.
- Глубоководные буйковые станции с распределенными по вертикали датчиками температуры воды, скорости и направления течений и растворенного кислорода.
- Мобильный судовой комплекс для изучения горизонтальных полей распределения метеорологических и гидрофизических параметров по акватории оз. Байкал.

В настоящее время в лаборатории гидрологии и гидрофизики ведется разработка и развертывание первого пресноводного гидрофизического полигона для исследования процессов тепло-массообмена в присклоновой зоне оз. Байкал. Создание прибрежного гидрофизического полигона позволит проводить детальное изучение поверхностных и внутренних инерционно-гравитационных волн, а также развития прибрежных апвеллингов не только в периоды летней стратификации (с большими градиентами температур), но и в периоды близкие к гомотермии, а также подо льдом. Высокое пространственное и временное разрешение датчиков позволит в дополнение исследовать процессы конвекции и турбулентности, а также развитие термических баров в оз. Байкал.

Таким образом, цифровая система мониторинга Лимнологического института находится на этапе активного развития и модернизации. Созданная инфраструктура автоматических станций, внедрение технологий беспроводной передачи данных, обработки, анализа и оперативной визуализации поступающей информации формируют фундамент для перехода к качественно новому уровню экологического мониторинга оз. Байкал. Данные мониторинга будут необходимы для разработки и верификации численных моделей озера и в совокупности, обеспечат эффективную, научно обоснованную поддержку прогнозированию изменений и сохранению уникальной экосистемы оз. Байкал для будущих поколений.

Благодарности. С 2020 по 2024 г. работы проводились в рамках проекта Министерства науки и высшего образования РФ «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории». С 2024 г. работы продолжаются в рамках гранта № 075-15-2024-533 «Фундаментальные исследования Байкальской природной территории на основе системы взаимосвязанных базовых методов, моделей, нейронных сетей и цифровой платформы экологического мониторинга окружающей среды». Авторы выражают глубокую признательность участникам коллаборации Baikal-GVD за предоставленную инфраструктуру и всестороннюю поддержку при выполнении работ в районе нейтринного телескопа.

УДК 551.435.3(551.583; 330.15)

ПРИБРЕЖНО-МОРСКИЕ ВОДНО-БОЛОТНЫЕ БИОМОРФОЛИТОСИСТЕМЫ, ИХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЙ И СОЦИО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

В. В. Афанасьев[1,2]*, А. Б. Фаустова[1]

[1]Сахалинский государственный университет
(Россия, 693008, Южно-Сахалинск, Коммунистический просп., 33)
[2]Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН
(Россия, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б)
**Автор для переписки: vvasand@mail.ru*

Аннотация. Биогеоморфологические морфогенетические системы – особый тип геоморфологических систем, развитие которых определяет биогеоценоз – природная система функционально взаимосвязанных живых организмов и компонентов окружающей их абиотической среды, характеризующаяся определенным энергетическим состоянием, типом и скоростью обмена веществом и информацией. Пресноводные и морские гидро-биогеоморфологические системы характеризующиеся «накопительным» биогеохимическим типом литогенеза предоставляют ценные экосистемные услуги, такие как связывание углерода, очистка воды, защита побережья и формирование новых территорий. При решении задач управления прибрежными водно-болотными угодьями путем их ускоренного программируемого формирования предусматривается слияние разнородных гидро-биогеоморфологических систем; поглощение и трансформация существующих и возникновение на их месте природно-антропогенных систем с унаследованными, или природоподобными свойствами и структурой.

Ключевые слова: прибрежно-морское осадконакопление, марш, приливные илистые осушки, связывание углерода, карбоновая ферма

Марши представляют собой заболоченные экосистемы приливных зон, доминируют на защищенных берегах и окраинах эстуариев в широком диапазоне климатических условий (от субарктических до тропических), но наиболее распространены в умеренных широтах. Прибрежно-морские водно-болотные угодья являются, вероятно, наиболее эффективными системами биосеквестрации на планете, и именно донное и торфяно-глеевое осадконакопление маршей и илистых осушек морских эстуарно-лагунных геосистем откроет новые возможности решения проблемы сокращения выбросов ПГ [Carbon ... , 2018; Global-change ... , 2019; Jorge, Bernal, 2018].

К 2100 г. средний уровень океана может увеличиться по разным оценкам на 20–180 см. Экосистемы соленых маршей могут противостоять повышению уровня моря: растительность маршей захватывает осадок, поступающий со стороны моря, что позволяет растениям лучше развиваться и способствовать, в свою очередь, еще более быстрому накоплению осадков и органических веществ. Этот процесс является основным фактором, позволяющим экосистемам маршей не отставать от подъема уровня моря. Скорости накопления осадков на территориях маршей лежат в диапазоне 0,07–4,2 см/год (sediment accretion rate – SAR) и превышают скорость подъема Мирового океана на 45 % исследованных территорий. Одновременно с накоплением осадков происходит захоронение углерода в почвах маршей. Скорость аккумуляции углерода в почвах маршей может быть выше, чем в мангровых почвах, и 50 раз превосходит этот параметр для лесных континентальных экосистем. В настоящее время данные о площадях побережий, занятых маршами, скоростях накопления осадков и аккумуляции углерода остаются оценочными, значительные территории побережий практически не изучены.

На основе прямых полевых наблюдений, лабораторных исследований и анализа данных ДДЗ дана оценка количественных параметров органогенной седиментации прибрежно-морских водно-болотных угодий (ПМВБУ). Определена базовая линия ПМВБУ Сахалинской области, которая составляет 0,8–1,0 млн тн/год в эквиваленте CO_2 Получены результаты, впервые описывающие аккумуляцию углерода в маршевых почвах зоны умеренного климата под растительными сообществами с доминированием родов Triglochin и Carex. Современное накопление осадков в почвах маршей протекает с большой скоростью, в среднем 2,1 см·год-

1, сопровождаясь интенсивной аккумуляцией углерода, в среднем 720 гС·м-2·год-1. Найденные значения скоростей аккумуляции углерода в несколько раз выше глобальной средней скорости, рассчитанной для почв маршей – 244,7 г С м-2 год-1 [Ouyang, Lee, 2014], но не превышают известных максимальных значений – 1713 г С м-2 год-1 [Global ... , 2003]. Первые современные, качественные, воспроизводимые данные измерения газообмена (LI-7810) торфяно-глеевых почв маршей и донных отложений, полученные впервые в России на прибрежно морском водно-болотном карбоновом полигоне показали, что эмиссия метана на низких маршевых уровнях в 50–100 раз ниже, чем на высоких уровнях ПМВБУ, заливаемых морской водой только при штормовых нагонах. Кроме теоретического значения, установленные закономерности имеют выраженный прикладной аспект. Результатом исследований является разработка методологии реализации климатического проекта № 0024 «Поглощение углекислого газа из атмосферы, накопление, трансформация и долгосрочное захоронение органического углерода на прибрежноморских водно-болотных угодьях» (совместно с ИГКЭ им. Израэля). На примере защиты маршевых берегов Набильского залива представлена концепция проекта карбоновой фермы. Природно-климатическая составляющая решения проблемы защиты ПМВБУ от размыва реализуется по четырем направлениям. Во-первых, это предотвращение инструментально подтвержденной эмиссии парниковых газов при разрушении маршевых торфяников. Во-вторых, и это основная часть, речь идет о поглощении углекислого газа из атмосферы, накоплении, трансформации и долгосрочном захоронении органического углерода на прибрежно-морских водно-болотных угодьях в результате формирования илистых осушек и почв маршей. Ну и наконец, самая пока экзотическая часть – формирование каркаса илистых осушек и маршей из продукции лесопромышленных предприятий. Выполнены лабораторные и натурные эксперименты по определению предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов, выделение которых возможно при реализации данного решения. Геоботанические исследования показали наличие общих видов маршевой растительности для ПМВБУ умеренного, субарктического и арктического поясов, что открывает очень серьезные перспективы для природно-климатической деятельности на ПМВБУ в Арктике.

Список литературы

Carbon budget of tidal wetlands, estuaries, and shelf waters of Eastern North America / R. G. Najjar, M. Herrmann, R. Alexander [et al.] // Global Biogeochemical Cycles. 2018. Vol. 32, N 3. P. 389–416. DOI: 10.1002/2017GB005790

Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils / G. L. Chmura, S. C. Anisfeld, D. R. Cahoon, J. C. Lynch // Global Biogeochem. Cycles. 2003. Vol. 17, N 4. Art. 1111. DOI: 10.1029/2002GB001917

Global-change controls on soil-carbon accumulation and loss in coastal vegetated ecosystems / A. C. Spivak, J. Sanderman, J. L. Bowen [et al.] // Nature Geoscience. 2019. Vol. 12, N 9. P. 685–692. DOI: 10.1038/s41561-019-0435-2

Ouyang X., Lee S. Y. Updated estimates of carbon accumulation rates in coastal marsh sediments // Biogeosciences. 2014. Vol. 11. P. 5057–5071. DOI: 10.5194/bg-11-5057-2014

Villa J. A., Blanca B. Carbon sequestration in wetlands, from science to practice: An overview of the biogeochemical process, measurement methods, and policy framework // Ecological Engineering. 2018. N 114. P. 115–128. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2017.06.037

УДК 576.89:597(571.16)

ПОКАЗАТЕЛИ ЗАРАЖЕННОСТИ МЕТАЦЕРКАРИЯМИ *OPISTHORCHIS FELINEUS* КАРПОВЫХ РЫБ В БАССЕЙНЕ СРЕДНЕЙ ОБИ

А. М. Бабкин *, И. Б. Бабкина, А. В. Симакова, М. Я. А. Соловьев

Национальный исследовательский Томский государственный университет
(Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 36)
**Автор для переписки: babkin.alex1983@yandex.ru*

Аннотация. Данное многолетнее исследование зараженности карповых рыб метацеркариями *Opisthorchis felineus* в бассейне Средней Оби (Томская область), показало, что основные виды подвержены заражению. Заражены как аборигенные, так и чужеродные виды. Наибольшая зараженность отмечена для язя, ельца, линя и верховки. Впервые отмечена зараженность уклейки в исследованном регионе.

Ключевые слова: карповые рыбы, *Opisthorchis felineus*, описторхоз, Средняя Обь, Томская область

Крупнейший в мире очаг описторхоза связан с Обь-Иртышским бассейном. Неблагополучными по описторхозу являются практически все территории, примыкающие к этому бассейну. Томская область занимает одно из лидирующих мест по зараженности населения кошачьей двуусткой [О состоянии … , 2017].

В Обь-Иртышском бассейне основными носителями метацеркарий кошачьей двуустки являются карповые рыбы – преимущественно объекты промышленного и любительского лова: язь, елец и плотва [Бочарова, 2007; Описторхоз … , 2007; Пельгунов, 2012; Характеристика ... , 2008; Opisthorchiasis ... , 2017]. Наряду с этим происходит расширение круга хозяев-носителей метацеркариев *O. felineus* в результате интродукции карповых рыб из других водных бассейнов России, не встречавшихся ранее на территории Сибири.

Поскольку проблема описторхоза все еще остается одной из актуальных и социально значимых в Томской области, несмотря на принимаемые меры профилактики, мониторинговые исследования зараженности карповых рыб метацеркариями *O. felineus* – важнейшая часть в борьбе и профилактике описторхоза.

Цель исследования – оценка зараженности карповых рыб метацеркариями *O. felineus* и их роли в циркуляции очага описторхоза в бассейне Средней Оби.

Ежегодный мониторинг на водоемах Томской области за период с 2016 по 2024 г., позволил обследовать 9 наиболее значимых видов рыб. Общее количество обследованных на паразитологический анализ составило 1825 экз. (табл.).

В бассейне Средней Оби рыбы семейства карповые Cyprinidae представлены 14 видами, что составляет около 32 % от всего видового разнообразия рыб. До середины XX в. отмечалось всего 10 видов (язь, елец, плотва, карась серебряный, карась золотой, линь, пескарь, гольян речной, гольян озерный, гольян Чекановского), в результате активной хозяйственной деятельности видовой состав пополнился 4 чужеродными для данного бассейна видами (сазан, лещ, уклейка, верховка). Промысловые виды карповых (язь, елец, лещ, плотва, карась), составляют до 70 % от общего годового вылова. Эти же виды являются и наиболее часто используемыми в питании человека [Abundance … , 2021].

Среднемноголетняя зараженность карповых рыб значительно варьировала у разных видов. Так, наиболее зараженным оказался язь, во всех исследованных нами водоемах на протяжении ряда лет экстенсивность инвазии составляла 100 %. На втором месте по уровню зараженности елец в среднем зараженность 81,6 %, в отдельные годы также могла достигать 100 %. Интересно отметить, что зараженность язя и ельца начиная с начала 2000-х гг. значительно возросла [Бочарова, 2007]. Из непромысловых видов наиболее заражены линь (89,6 %) и верховка (41,5 %).

Таблица. Средние показатели зараженности рыб в бассейне Средней Оби (2016–2024 гг.)

Вид	ЭИ, %		ИИ, экз/особь				ИО, экз/особь		Кол-во зараженных	Всего
	M	m	M	m	Мин	Макс	M	m		
Промысловые										
Язь	100,0	0,0	52,6	5,0	2	270	52,6	5,0	74	74
Елец	81,6	1,4	15,5	1,4	1	428	12,7	1,1	669	820
Плотва	6,9	1,6	5,1	1,1	1	19	0,3	0,1	17	246
Лещ	2,9	1,3	2,6	0,8	1	5	0,08	0,03	5	173
Непромысловые										
Линь	89,3	5,8	11,2	3,0	1	67	10,0	2,8	25	28
Верховка	41,5	4,2	4,3	1,1	1	61	1,8	0,5	56	135
Уклейка	6,3	1,4	7,7	5,2	1	95	0,5	0,3	18	287
Гольян	17,1	6,4	2,5	1,3	1	9	0,4	0,3	6	35
Пескарь	11,1	6,0	1,0	0,3	1	2	0,2	0,1	3	27

Примечание: *M* – среднее, *m* – стандартная ошибка среднего.

Также следует отметить, что до настоящего периода не была отмечена зараженность таких чужеродных видов как лещ и уклейка [Бочарова, 2007]. Нами впервые отмечена невысокая зараженность этих видов в 2016 г. Однако в 2020 г. наблюдалась значительна зараженность уклейки (более 50 %), причем индивидуальная интенсивность инвазии достигала 95 метацеркарий/особь, чего так же ранее не отмечалось.

Таким образом, наши исследования показали, что в бассейне Средней Оби, ситуация по зараженности рыб остается неблагоприятной, уровень зараженности увеличился как у рыб аборигенов, так и у чужеродных видов рыб.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSWM-2024-0006).

Список литературы

Бочарова Т. А. Возбудитель описторхоза и другие мышечные паразиты карповых рыб бассейна нижней Томи. Томск : Изд-во Том. гос. ун-та ,2007. 66 с.

О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 г. : гос. докл. М. : Федер. служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018. 268 с.

Описторхоз, меры борьбы и профилактика / Т. А. Бочарова, А. В. Шихин, Т. Н. Полторацкая, Т. М. Панкина. Томск : Изд-во ТГУ, 2007. 48 с.

Пельгунов А. Н. Проблемы описторхоза и дифиллоботриоза в нижнем течении Иртыша // Российский паразитологический журнал. 2012. № 3. С. 68–73.

Характеристика очагов описторхоза юга Западной Сибири / С. В. Карпенко, А. И. Чечулин, Н. И. Юрлова [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2008. № 5. С. 675–680.

Abundance of *Opisthorchis felineus* Metacercariae in cyprinid fish in the middle Ob River basin (Tomsk region, Russia) / A. V. Simakova, N. Chitnis, I. B. Babkina [et al.] // Food and waterborne parasitology. 2021. N 22. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.fawpar.2021.e00113

Opisthorchiasis in Western Siberia: Epidemiology anddistribution in human, fish, snail, and animal populations / N. I. Yurlova, E. N. Yadrenkina, N. M. Rastyazhenko [et al.] // Parasitology international. 2017. Vol. 66, N 4. P. 355–364. DOI: 10.1016/j.parint.2016.11.017

УДК 574.24

АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ БАЙКАЛЬСКОЙ ГУБКИ *LUBOMIRSKIA BAIKALENSIS*

Б. Н. Баженов[1], О. В. Шабалина[1], Д. М. Адушинова[1, 2], И. В. Ханаев[2], А. А. Никонова[2]*

[1]Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2] Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: alenaxis@list.ru*

Аннотация. Эндемичные ветвистые губки *Lubomirskia baikalensis*, населяющие оз. Байкал, являются важным экологическим звеном, выполняя функцию фильтраторов в прибрежной зоне. Массовая гибель этих организмов, зафиксированная с 2011 г., требует установления причин. Учитывая полученные ранее данные об окислительном стрессе *L. baikalensis* важным представляется анализ их антиоксидантной активности этих организмов. В работе впервые предложены техники пробоподготовки и анализа антиоксидантной активности экстрактов пресноводной ветвистой губки. Показана связь антиоксидантной активности с состоянием губок и степенью их поражения. Оценены средние значения активности внешне здоровых (0,0117±0,0006, n = 10), больных (от 0,0174±0,0008 до 0,0257±0,0012, n = 17) и мертвых (0,0061±0,0003, n = 4) особей губки. Внутрилабораторная прецизионность определения антиоксидантной активности оценена коэффициентом вариации V = 10,4 %.

Ключевые слова: антиоксидантная активность, АОА, *Lubomirskia baikalensis*, ABTS, Trolox Assay, Байкал

Озеро Байкал является самым глубоким и древним озером мира. В прибрежной зоне озера, несмотря на ее малую площадь (3,4 % от общей площади), содержится > 98 % всего разнообразия донных обитателей, среди которых важное экологическое место занимают губки (Porifera) [Toxic ... , 2023]. Прибрежная зона наиболее подвержена антропогенному воздействию, что может приводить к стрессовым ситуациям среди водных организмов. С 2011 г. отмечена массовая гибель губок по всему периметру озера [Toxic ... , 2023]. Причина заболевания пока не установлена. Ранее нами было показано, что ветвистые эндемичные губки *Lubomirskia baikalensis*, отобранные в районе крупных населенных пунктов, испытывают окислительный стресс, вызванный действием свободных радикалов [Toxic ... , 2023]. Кроме того, вервые отмечена очень низкая антиоксидантная активность (АОА) губок *L. baikalensis* в диапазоне от 0,00031 до 0,00077 ТЭ с ингибированием I (%) от 0,0059 до 0,0160, что до 100 раз ниже, чем для морских видов. При этом АОА рассчитывали на сухой вес губки, включая скелет, который, согласно своей химической структуре, не должен обладать антиоксидантной активностью [Toxic ... , 2023]. Целью данной работы является подбор оптимальных условий экстракции фракции веществ с антиоксидантной активностью из губок *L. baikalensis* и анализа АОА методом спектрофотометрии с использованием подхода Trolox Assay.

Губки хранили до анализа в морозильной камере при –70°С. Непосредственно перед анализом губки размораживали, разрезали на сегменты и путем квартования и сокращения промежуточных проб отбирали лабораторную пробу массой 5 г. Биомассу клеток губки отжимали, скелет промывали дистиллированной водой, которую объединяли с биомассой. Разбавленный раствор клеточной биомассы помещали в пластиковые пробирки и отбирали навески массой ~0,10 до 0,20 г. Влажность оценивали гравиметрически. Подготовку проб проводили при температуре от +2 до +4°С. Экстракцию фракции веществ с АОА из биомассы губок проводили этанолом (250 мкл единожды) и ацетоном (250 мкл дважды) в ультразвуковой ванне с рабочей частотой 40 кГц в течение 10 мин. Экстракты объединяли и центрифугировали при 12000 об/мин в течение 3 мин. Измерения АОА вели с учетом точного объема экстракта. Для определения антиоксидантной активности относительно тролокса использовали значения суммарной антиоксидантной активности (АОА) биомассы клеток пресноводной губки *Lubomirskia baikalensis* и ее эндосимбионтов в целом. В день анализа рабочий раствор АБТС$^{\bullet+}$ разбавляли в растворе ацетон/этанол 1/1 до значения оптической плот-

ности 0,70±0,02 при 730 нм. Поглощение измеряли на спектрофотометре ПЭ-5300В (ООО «ЭКРОСХИМ», Санкт-Петербург) при комнатной температуре в кварцевых кюветах (L = 1 см). Рабочий раствор $ABTS^{\bullet+}$ помещали в кювету и добавляли 20 мкл экстракта губки с известной концентрацией. Измерения оптической плотности проводили каждые 4 мин до тех пор, пока значение поглощения не станет ≤0,2 опт. ед.

Показано, что экстракция только этанолом может приводить к занижению результатов на 20–45 %. При проведении двухэтапной экстракции (этанол и ацетон) отмечена хорошая наилучшая степень извлечения аналитов с АОА (>90 %). Отмечена стабильность получаемых экстрактов на протяжении всего процесса анализа, которая сохранятся до трех дней.

В работе проанализировано 33 особи губок (n = 34). Каждую пробу готовили в двух повторностях из двух независимых параллельных навесок. Для всех проб АОА варьировалась в диапазоне от 0,00159±0,00008 до 0,03977±0,00190 ТЭ. Минимальные значения АОА найдены для мертвых особей (n = 4), максимальные – для больных (n = 20). Для визуально здоровых особей со свежим запахом (n = 9) значения АОА были близки и оценены средним значением 0,0117±0,0006 ТЭ (рис.). К сомнительным особям были отнесены губки внешне зеленого цвета, но с затхлым запахом, мелкими темными вкраплениями, или отличающиеся более светлой окраской, к больным – особи с явными поражениями, темными коричневыми, розовыми или черными пятнами. Таким образом, впервые получены количественные характеристики АОА биомассы губок *Lubomirskia baikalensis*. Отмечена четкая зависимость повышения АОА у больных губок, что указывает на наличие стресса, и снижение АОА у мертвых особей, что является показателем необратимых изменений в организме.

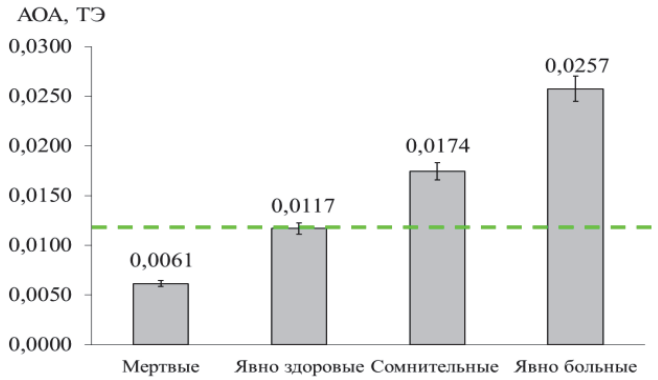


Рис. Уровни антиоксидантной активности у условно здоровых, больных и мертвых особей байкальской губки *Lubomirskia baikalensis*

Благодарности. Исследование выполнено в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ № 0279-2021-0005 «Исследование трансформации водоемов и водотоков Восточной Сибири...».

Список литературы

Toxic Effect of Anionic Surfactants on Freshwater Sponge Lubomirskia baikalensis and Its Endosymbiotic Microalgae Chlorella sp. / A. A. Nikonova, I. B. Mizandrontsev, B. N. Bazhenov [et al.] // Diversity. 2023. Vol. 15. Art: 77. DOI: 10.3390/d15010077

УДК 577.115.3:639.21

ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ, АЛЬДЕГИДЫ И СТЕРИНЫ ГЛУБОКОВОДНОЙ БАЙКАЛЬСКОЙ ГУБКИ *BAIKALOSPONGIA MARTINSONI* EFREMOVA, 2004

С. В. Базарсадуева[1]*, Л. Д. Раднаева[1,2], В. В. Тараскин[1], Е. П. Никитина[1], Л. А. Коновалова[1], А. К. Тулохонов[1]

[1]Байкальский институт природопользования СО РАН
(Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)
[2]Бурятский государственный университет им. Д. Банзарова
(Россия, 670000, Улан-Удэ, ул. Смолина, 24а)
**Автор для переписки: bselmeg@gmail.com*

Аннотация. Впервые изучен состав жирных кислот, альдегидов и стеринов глубоководной байкальской губки *Baikalospongia martinsoni*. Установлено, что суммарное содержание жирных кислот составляет 44,8 %, стеринов – 45,4 % и альдегидов – 9,8 %. Основными жирными кислотами являлись длинноцепочечная демоспонгиевая гексакозатриеновая 26:3(5,9,17) (40,34 % от суммы ЖК), тетракозеновая 24:1(15) (11,24 %), гексадекадиеновая 16:2(9,12) (9,73 %) и пальмитолеиновая 16:1(9) (9,42 %) кислоты. Суммарное содержание бактериальных разветвленных жирных кислот составило 5,4 % от суммы ЖК. В отличие от ранее изученных видов байкальских губок, основным альдегидом являлся октадеценаль 18:1(9)а с содержанием 9,64 %. Доминирующими стеринами были холестерин и β-ситостерол с содержанием 38,48 % и 35,29 % от суммы стеринов соответственно.

Ключевые слова: *Baikalospongia martinsoni*, Байкал, жирные кислоты, стерины, глубоководные пресноводные губки

Фауна губок оз. Байкал представлена 15 эндемичными и 5 космополитными видами. Эндемичные губки относятся к семейству Lubomirskiidae, включающему в себя четыре рода [Ефремова, 2001], среди которых губка *Baikalospongia martinsoni* является одним из редких видов [Анализ … , 2023]. Максимальная зарегистрированная глубина обитания этой губки составляла 150 м [Ефремова, 2001], однако использование глубоководных обитаемых аппаратов «МИР» позволило расширить знания о его вертикальном распределении до 840 м [Stable … , 2016]. По губкам *B. martinsoni* проведено лишь несколько исследований, которые касаются описания морфологии и краткой экологической характеристики [Ефремова, 2001; Endemic ... , 2017], а также состава стабильных изотопов [Stable ... , 2016]. В настоящей работе впервые представлено исследование профиля жирных кислот, альдегидов и состава стеринов общих липидов *B. martinsoni*.

Глубоководные байкальские губки *B. martinsoni* (N = 5) были отобраны в июле-августе 2010 гг. в глубоководной зоне оз. Байкал (мыс Турка) на глубине 284–305 м с использованием глубоководных обитаемых аппаратов «МИР» во время Международной научной экспедиции «МИРы на Байкале». Образцы хранились при температуре –25 °С и были проанализированы в течение 7 дней после отбора.

Выделение липидных компонентов тканей губок осуществляли с использованием методики прямого метанолиза, подробно описанной ранее [First data ... , 2021]. Качественный анализ основывался на сравнении времен удерживания и полных масс-спектров соответствующих чистых соединений с использованием библиотеки данных NIST14. L и стандартных смесей FAME (Fatty Acid Methyl Esters) и BAME (Bacterial Acid Methyl Esters) (CP Mix, Supelco, Bellefonte, PA, USA) и индивидуальных стеринов (холестерин и β-ситостерол (Sigma Aldrich)). Остальные стерины были идентифицированы путем сравнения их масс-спектрометрических профилей с данными библиотеками NIST и Wiley и были подтверждены путем сравнения их ключевых фрагментов массы с теми, которые уже были описаны в литературе.

Всего было идентифицировано 46 соединений в смеси общих липидов *B. martinsoni*. Профиль жирных кислот характеризовался линейными насыщенными, разветвленными

насыщенными и ненасыщенными, мононенасыщенными (МНЖК) и полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК). Суммарное содержание стеринов составило 45,4 %, полиненасыщенных ЖК – 24,6 %, мононенасыщенных ЖК – 13,1 %, альдегидов – 9,8 %, линейных насыщенных и разветвленных ЖК – 4,7 и 2,4 % соответственно.

Среди идентифицированных ЖК линейные насыщенные ЖК составляли 10,5 % от общего содержания ЖК. Стеариновая 18:0 (4,62 % от суммы ЖК) и пальмитиновая 16:0 (2,88 %) кислоты были основными среди линейных ЖК. Всего обнаружено 8 разветвленных насыщенных жирных кислот (i- и ai с C15, C17, C19, i20:0 и метил-замещенные 9Me-14:0) и 2 разветвленные ненасыщенные ЖК (7Me-16:1(6) и 14-Me-16:1(9)), содержание которых составило 5,4 % от общего содержания ЖК. Сумма МНЖК в *B.* martinsoni составила 29. 1 % от общего содержания ЖК, при этом основными МНЖК были тетракозеновая 24:1(15) (11,24 %) и пальмитолеиновая 16:1(9) (9,42 %) кислоты. Среди ПНЖК обнаружено 7 ЖК, причем доминирующая демоспонгиевая гексакозатриеновая 26:3(5,9,17) кислота составила 40,34 % от общего содержания ЖК. Второй основной ПНЖК была гексадекадиеновая 16:2(9,12) *с* содержанием 9,73 отн. %

В составе общих липидов обнаружены и идентифицированы два ненасыщенных альдегида – октадеценаль 18:1(9)a и октадекадиеналь 18:2(9,12)a. Следует отметить, что содержание первого составило 9,64 %, тогда как второго – лишь 0,12 % от суммы всех компонентов.

В глубоководных губках *B. martinsoni* обнаружено 8 стеринов, при этом доминирующими являлись холестерин и β-ситостерол с содержанием 38,48 и 35,29 % от суммы всех стеринов соответственно.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания Байкальского института природопользования СО РАН. Благодарим научного сотрудника ЛИН СО РАН Букшук Н. А. за помощь в определении видовой принадлежности исследуемых губок.

Список литературы

Ефремова С. М. Губки // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. Т. 2. Кн. 1. Новосибирск : Наука, 2001. С. 177–190.

Анализ биоразнообразия байкальских губок Lubomirskiidae в районах с различным уровнем антропогенной нагрузки / В. Б. Ицкович, Н. А. Букшук, А. М. Соколова [и др.] // XXI век. Техносферная безопасность. 2023. Т. 8, № 4. С. 346–359. DOI: 10.21285/2500-1582-2023-4-346-359

Endemic Lake Baikal sponges from deep water. 2: Taxonomy and Bathymetric Distribution / Itskovich V. B., Kaluzhnaya O. V., Veynberg E., Erpenbeck D. // Zootaxa. 2017. Vol. 4236, N 2. DOI: 10.11646/zootaxa.4236.2.8

First data on lipids and microorganisms of deepwater endemic sponge *Baikalospongia intermedia* and sediments from hydrothermal discharge area of the Frolikha Bay (North Baikal, Siberia) / L. D. Radnaeva, S. V. Bazarsadueva, V. V. Taraskin, A. K. Tulokhonov // Journal of Great Lakes Research. 2020. Vol. 46. P. 67–74. DOI: 10.1016/j.jglr.2019.09.021

Stable isotope signatures and distribution of deepwater sponges in Lake Baikal / T. Sitnikova, S. Kiyashko, N. Bukshuk [et al.] // Hydrobiologia. 2016. Vol. 773. P. 11–22. DOI: 10.1007/s10750-016-2674-1

УДК 639.21:639.2.05

МОНИТОРИНГ ПОПУЛЯЦИИ БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

А. В. Базов [1]*, Н. В. Базова [2], В. А. Петерфельд [1], С. В. Кушнарёв [1]

[1]Байкальский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, ул. Улан-Удэ, Хахалова, 4б)
[2]Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН (Россия, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)
**Автор для переписки: abazoff@yandex.ru*

Аннотация. Рассматриваются в ретроспективном плане различные виды мониторинговых работ, позволяющие определить состояние популяции байкальского омуля с 1938 г. по настоящее время: анализ статистики уловов, контроль уровня воспроизводства, траловые съёмки оз. Байкал, сбор данных из промысловых уловов, контрольные обловы и акустические съёмки оз. Байкал. Кроме того, рассмотрены методы определения состояния запаса байкальского омуля до введения в 2017 г. запрета на промышленный лов омуля, в условиях запрета на лов, даны рекомендации о проведении необходимых учетных работ в будущем при выходе из режима моратория.

Ключевые слова: байкальский омуль, мониторинг, тралово-акустическая съёмка, разведка запасов

Байкал – уникальное озеро, включенное в Список всемирного наследия ЮНЕСКО. Обитающий в водах озера байкальский омуль *(Coregonus migratorius)* – наиболее значимый из промысловых видов рыб, и количественная оценка его запасов является важнейшей задачей российской рыбохозяйственной науки.

Цель настоящей работы – провести ретроспективный обзор мониторинговых наблюдений, проводившихся с целью анализа состояния популяции байкальского омуля, дать рекомендации для проведения подобных исследований в будущем. Мониторинг включает систему регулярных наблюдений за состоянием запасов, воспроизводством, а также хозяйственным использованием данного вида водных биоресурсов.

За весь период исследований (с 1938 г.) проведены разные виды мониторинговых работ, включающие все этапы онтогенеза – от инкубации икры на нерестилищах до промыслового вылова омуля и его возврата в нерестовую реку для размножения. Наблюдения за разными этапами начинали в разные годы, многие из них продолжаются и в настоящее время:

1. Статистика официального вылова омуля. Несмотря на существование рыбного промысла на Байкале в течение 350 лет, исчерпывающие данные по динамике уловов отсутствуют. Учет выловленной рыбы до 1924 г. практически отсутствовал, в 1924–1937 гг. появляются первые неполные данные, и только лишь с 1938 г. ведется статистическая база данных по официальному вылову байкальского омуля. Кроме официального вылова, с 1995 г. БайкалНИРО проводит работы по определению т. н. ННН-вылова (незаконный, несообщаемый и нерегулируемый промысел).

2. Контроль за уровнем естественного воспроизводства включает учёт численности производителей, заходящих в основные нерестовые реки (Селенга, Верхняя Ангара, Большая Речка), обследование речных нерестилищ и учёт скатывающихся в весенний период в Байкал личинок омуля. Численность нерестовых стад является одним из условий, потенциально определяющих уровень воспроизводства, и проводится, начиная с осеннего периода 1965 г. В р. Селенге с 1984 г. проводятся ежегодные съёмки нерестилищ омуля, целью которых является выяснение распределения икры по различным участкам нерестилищ, определение фонда отложенной икры, а также её выживаемости в течение инкубационного периода [Bazov, Bazova, Frolova, 2024]. Покатная миграция личинок байкальского омуля относится к одним из жизненно важных этапов его постэмбрионального развития. Сроки и протяженность покатной миграции, а также гидрологические условия обусловливают выживаемость и условия нагула популяции на разных этапах первого года жизни. Учет скатывающихся личинок проводится с весеннего периода 1966 г.

3. Для установления возрастной и расовой структуры байкальского омуля в 1975–2008 гг. проводились *траловые съёмки* оз. *Байкал* в основных районах нагула омуля по стандартизированным разрезам.

4. Оценка расовой, размерно-возрастной структуры и биологических параметров нагульных стад омуля. Сбор сведений из промысловых орудий лова включал массовые промеры и проведение биологического анализа. Работы проводились во время летнего промысла омуля в 1986–2017 гг. С введением моратория на промышленный лов омуля в 2018 г. сбор биопромысловых данных прекращен.

5. *Контрольные обловы в основных рыбопромысловых районах*. В условиях запрета на промышленный лов с 2021 г. во всех основных рыбопромысловых районах проводятся контрольные обловы нагульного омуля промысловым неводом. Количество ловов ограничено, после взятия проб улов выпускается.

6. Гидроакустические съемки. Для оценки динамики запасов омуля с 2021 г. проводятся гидроакустические съемки. Вначале съемки выполнялись в двух основных районах, где ранее велся основной промысел: Селенгинское мелководье и Северный Байкал. В дальнейшем, в 2022–2023 гг. районы исследований были расширены и дополнительно исследованы акватории Малого моря и Баргузинского залива. В 2024 г. выполнена масштабная и подробная гидроакустическая съемка запасов байкальского омуля в пределах всей акватории оз. Байкал.

Историю оценки состояния запаса байкальского омуля можно разделить на два периода.

Первый период («прошлое») охватывает большой промежуток времени: период интенсивного промысла (1938–1968 гг.), первый запрет на лов (1969–1975 гг.), научно-промысловая разведка состояния запасов (1976–1981 гг.), экспериментальный промышленный лов (1982–1986 гг.), лимитированный промышленный лов (1987–2017 гг.). Второй период («настоящее») отражает текущее состояние популяции байкальского омуля, главным содержанием которого является депрессия его запасов и второй запрет на лов, установленный с осени 2017 г. Начало следующего этапа определения запаса байкальского омуля, которое можно будет назвать «будущее» будет зависеть от скорости восстановления популяции байкальского омуля.

«Прошлое». Высокоинтенсивный лов, не ограниченный лимитом, превышал продукционные возможности популяций омуля, а зарегулирование уровня озера плотиной Иркутской ГЭС усугубило последствия нерационального ведения промысла [Совершенствование … , 1984], что привело к первому запрету на лов омуля в 1969–1975 гг.

После окончания запрета Л. Ф Калягиным была разработана методика определения запасов байкальского омуля и ведения научно-обоснованного промысла [Совершенствование … , 1984]. Для расчетов использовались следующие данные мониторинговых работ: количество личинок омуля, скатывающихся с естественных нерестилищ и выпускаемых рыбоводными заводами, возрастная структура байкальского омуля и данные по среднему вылову на промусилие трала, полученные в ходе траловой съемки оз. Байкал. Данный метод применялся до 2000 г. К 2000 г. были набраны биопромысловые данные, что позволило осуществлять оценку запасов при помощи когортного анализа. С 2000 г. стал проводиться виртуально-популяционный анализ по классической схеме с определением численности и коэффициентов промысловой смертности поколений в различные годы промысла [Gulland, 1965; Schumacher, 1970].

«Настоящее». С 1 октября 2017 г. на Байкале был введён второй запрет на промышленный лов омуля, связанный со снижением его запасов. Начиная с 2018 г. с прекращением промысла информационное обеспечение оценки запасов байкальского омуля является проблематичным, так как информация из основного источника ихтиологических сведений, а именно промысловые уловы, используемая в расчётах, отсутствует.

Для сохранения возможности дальнейшего применения многолетней биолого-промысловой информации при прогнозировании состояния запаса байкальского омуля был использован имеющийся индекс численности, позволяющий восполнить дефицит промысло-

вой информации и связать между собой новые и ранее собранные данные, а именно: для анализа были привлечены многолетние данные по численности покатных личинок из основных нерестовых рек. Численность пополнения байкальского омуля соотносили с промысловой численностью групп, которую рассчитывали по когортной модели TISVPA за период промысла 1995–2017 гг. [Васильев, 2001].

«Будущее». Используя опыт выхода из первого запрета, считаем возможным и необходимым начать проведение комплексной научной разведки запасов байкальского омуля с 2026 г. а именно: учёт количества личинок, скатывающихся с естественных нерестилищ, а также выпускаемых рыбоводными заводами. Для установления внутрипопуляционой, возрастной структуры, созревания, распределения нагульных стад омуля проводить гидроакустическо-траловую съёмку по всей акватории озера с определением среднего вылова на промусилие трала. Полученные данные будут анализироваться и корректироваться по результатам разведывательно-промышленного неводного лова (предлагается работа в промысловом режиме по одному закидному неводу в каждом промысловом районе), а также по результатам учёта численности нерестовых стад.

Список литературы

Васильев Д. А. Когортные модели и анализ промысловых биоресурсов при дефиците информационного обеспечения. М. : ВНИРО, 2001. 110 с.

Совершенствование организации промысла омуля в бассейне озера Байкал / Л. Ф. Калягин, Г. А. Афанасьев, А. А. Войтов [и др.] // Вопросы развития рыбного хоз-ва в бассейне оз. Байкал : сб. науч. тр. ГосНИИОРХ. 1984. Вып. 211. С. 49–59.

Bazov A. V., Bazova N. V., Frolova N. L. Distance of the Spawning Migration of Baikal Omul *Coregonus migratorius* (Salmonidae: Coregoninae) in the Selenga River (Lake Baikal Basin) // Journal of Ichthyology. 2024. Vol. 64, N 3. P. 480–495.

Gulland J. A. Estimation of mortality rates // Ann. to Report Arctic Fishery Working Group ICES, C. M. 1965. Vol. 3. 9 p.

Schumacher A. Bestimmung der Fischereilichen Sterblichkeit bein Kabeljaubestand vor Westgrönland. Ber. Dt. Wiss. Komm. Meeresforsch. 1970. N 21. H. 1–4. P. 248–259.

УДК 595.34:575

ПРОБЛЕМНАЯ СИСТЕМАТИКА БАЙКАЛЬСКИХ ВЕСЛОНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ РОДА *CANTHOCAMPTUS* (HARPACTICOIDA, COPEPODA)

А. С. Бакашкина[1,2]*, М. А. Голубев[1,2], Е. Б. Фефилова[1], Т. М. Алексеева[3]

[1]Институт биологии Коми научного центра УрО РАН
(Россия, 167982, ГСП 2, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28)
[2]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
(Россия, 167001, Сыктывкар, Октябрьский просп., 55)
[3]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: sashabakashkina@gmail.com*

Аннотация. В оз. Байкал зарегистрировано пять эндемичных видов гарпактикоид рода *Canthocamptus* Westwood. Для уточнения их систематики нами выполнен байесовский анализ, основанный на интегрированных данных: морфологических признаках самцов и самок, структуре молекулярно-генетических маркеров COI, ITS1 и 18S. Полученные результаты являются основанием для пересмотра таксономии байкальских *Canthocamptus*, а именно сведения вида *Canthocamptus bulbifer* в младший синоним *Canthocamptus latus*.

Ключевые слова: Байкал, эндемичные виды, молекулярно-генетические маркеры, морфологические признаки, байесовский анализ

Согласно недавней ревизии голарктического рода *Canthocamptus* [Novikov, Sharafutdinova, 2022], в Байкале обитает пять эндемичных для озера его представителей. Изучение филогенетического разнообразия байкальских гарпактикоид на основании анализа гена COI показали [Evaluating ... , 2024], что все эти виды образуют отдельную генетическую группу с хорошим разделением на виды. Исключение составили морфологические виды *C. latus* Borutzky и *C. bulbifer* Borutzky. Целью наших исследований был комплексный анализ байкальских видов рода *Canthocamptus* для уточнения его таксономии. Изучено 66 морфологических признаков внешнего строения самцов и самок, генетические исследования включали сравнение особей по генам COI, ITS1 и 18S. В результате анализа байесовского филогенетического дерева, построенного на основании всех этих данных, нами сделаны следующие заключения. *Canthocamptus latus* и *C. bulbifer* следует свести в синонимы и рассматривать как один полиморфный вид с высоким уровнем генетического разнообразия. Самостоятельность других байкальских видов была подтверждена. Из них *C. verestschagini* Borutzky и *C. longifurcatus* Borutzky, ранее относимые к подроду *Canthocamptus* (*Baikalocamptus*), проявили себя как недавно обособленные разные виды.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы госзадания Института биологии Коми НЦ УрО РАН (рег. номер 125013101229-9) и при частичном финансировании гранта РНФ 22-24-00030.

Список литературы

Evaluating the effectiveness of DNA barcoding for genetic identification of Canthocamptidae (Harpacticoida, Copepoda) of Lake Baikal / E. Fefilova, A. Novikov, E. Popova [et al.] // Zoological Systematics. 2024. Vol. 49, N 4. P. 285–298. DOI: 10.11865/zs.2024402

Novikov A., Sharafutdinova D. Revision of the genus *Canthocamptus* (Copepoda: Harpacticoida) with a description of a new species from the Lena River Delta (North-eastern Siberia) // European Journal of Taxonomy. 2022. Vol. 826. P. 33–63. DOI: 10.5852/ejt.2022.826.1833

УДК 551.526.8

ТЕНДЕНЦИИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ СРОКОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕСЕННЕГО ТЕРМОБАРА В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА ERA5-LAND

А. А. Барт, Е. А. Стребкова, Б. О. Цыденов*, Н. С. Трунов, Д. В. Деги

Томский государственный университет (Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 36)
**Автор для переписки: tsydenov@math.tsu.ru*

Аннотация. На основе данных реанализа ERA5-Land изучена многолетняя динамика сроков возникновения весеннего термобара в 3 котловинах оз. Байкал. Обработка данных реализована на платформе Google Earth Engine с помощью её API для языка программирования Python. Результаты исследования свидетельствуют о сдвиге дат прогрева воды до 4 °C в строну более ранних сроков. В период с 1950 по 2024 г. средняя скорость сдвига для южной и средней котловин составила 0,15 сут/год, а для северной – 0,12 сут/год.

Ключевые слова: климатический реанализ, ERA5-Land, термобар, температура максимальной плотности, Байкал

Наблюдаемое с середины 1970-х гг. глобальное изменение климата проявляется в разных точках Земного шара, но в отдельных областях (у берегов Антарктиды и на юге Тихого океана [Доклад … , 2025] носит менее заметный характер. Согласно [Хакимов, Мирзохонов, Мирзохонова, 2007] увеличение температуры в Северном полушарии с 1976 по 2002 г. составило +2,39°/100 лет. В результате этого происходит нарушение цикличности многолетней и сезонной динамики функционирования экологических систем [Акимов, 2021], сдвиг фаз развития годового цикла у биоты [Соловьев, Шихова, Бусыгин, 2011] и т. д.

Настоящая работа направлена на анализ многолетней динамики сроков возникновения термобара (природного явления, представляющего собой узкую зону погружения вод в районе температуры максимальной плотности) в южной, средней и северной котловинах оз. Байкал в период весеннего прогревания по данным реанализа ERA5-Land.

Рассмотрены все 3 котловины оз. Байкал: южная (51,469° N 104,775° E, губа Мамай), средняя (52,709° N 107,739° E, губа Таланка) и северная (55,664° N 109,931° E, Дагарская губа). В период с 1950 по 2024 г. для выбранных в котловинах точек для каждого года определены дни, когда температура поверхности озера становилась больше 4 °C. В качестве сведений о поверхностной температуре использовались данные климатического реанализа ERA5-Land, разработанного Европейским центром среднесрочных прогнозов (ECMWF) в рамках программы Copernicus Climate Change Service (C3S). Набор данных содержит в себе глобальную информацию о наземном климате с высоким пространственным и временным разрешением. Выгрузка данных реализована на основе платформы Google Earth Engine с использованием её API для языка программирования Python. Из всего набора данных в исследовании участвовала переменная lake mix-layer temperature (K) за весь исторический период. Линейные тренды построены по методу линейной регрессии.

Сроки формирования весеннего термобара от года к году могут сильно варьироваться. По данным реанализа ERA5-Land даты прогрева вод до температуры максимальной плотности с 1980 по 1981 г. в губе Мамай сдвинулись на 17 сут (с 20 июня до 3 июня), в губе Таланка – на 14 сут (с 27 июня до 13 июня), а в Дагарской губе (рис.) – на 15 сут (с 15 июля до 30 июня). Таким образом, наблюдается тенденция более раннего возникновения термобара в оз. Байкал.

Температура воды достигает 4 °C в губе Мамай, Таланка и Дагарская во временном диапазоне 26 мая (2007 г.) – 20 июня (1966 и 1980 гг.), 10 июня (2007 г.) – 29 июня (1954, 1969, 1974, 1977 и 1983 гг.) и 26 июня (2011 г.) – 16 июля (1969 г.) соответственно.

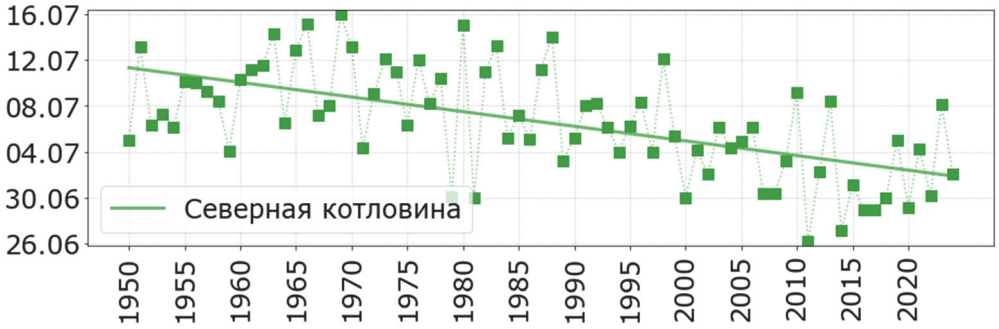


Рис. Динамика достижения температуры воды 4 °С в Дагарской губе (северная котловина оз. Байкал)

Согласно линейному тренду для южной и средней котловин оз. Байкал средняя скорость сдвига (в строну более ранних сроков) за 75 лет равна 0,15 сут/год, а для северной – 0,12 сут/год. Наибольшее отклонение от среднего составило +12,5 сут (2023 г.), – 9 сут (1981 г.) и ±7,5 сут (в 1979 и 1981 гг. в меньшую сторону и в 1980 и 1988 гг. в большую сторону) в южной, средней и северной котловинах соответственно.

Важно заметить, что формирование термобара в Байкале происходит крайне неоднородно и на его сроки могут влиять не только широтные факторы, но и крупные притоки [The distribution ... , 1996] и морфометрические особенности [Шимараев, 1977] водоема.

На основе результатов исследования можно заключить следующее. Даты формирования весеннего термобара в оз. Байкал могут сильно варьироваться от года к году. Однако выявлена общая тенденция более раннего возникновения термобара во всех трех котловинах озера. По данным реанализа ERA5-Land в период с 1950 по 2024 г. в губе Мамай (южная котловина), Таланка (средняя котловина) и Дагарская (северная котловина) вода прогревалась до температуры максимальной плотности во временном интервале 26 мая – 20 июня, 10 июня – 29 июня и 26 июня – 16 июля соответственно.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-71-10020, https://www. rscf.ru/project/23-71-10020/.

Список литературы

Акимов Л. М. Тенденции изменения термического режима на аридных и сопредельных территориях европейской части России в летний период // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27, № 4. С. 3–12. DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-3-12

Доклад об особенностях климата на территории РФ за 2024 год. М., 2025.

Соловьев А. Н., Шихова Т. Г., Бусыгин Е. И. Влияние погодно-климатических аномалий 2010 года на состояние растений средних широт востока Русской равнины // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. 2011. № 4. С. 8–20.

Хакимов Ф. Х., Мирзохонов О. В., Мирзохонова С. О. Тенденция изменения температуры воздуха на Западном Памире в аспекте глобального потепления климата // Доклады АН Респ. Таджикистан. 2007. Т. 50, № 9–10. С. 776–785.

Шимараев М. Н. Элементы теплового режима озера Байкал / ред. Афанасьев А. Н. Новосибирск : Наука, 1977. 147 с.

The distribution of diatoms near a thermal bar in Lake Baikal / Y. V. Likhoshway, A. Ye. Kuzmina, T. G. Potyemkina [et al.] // J Great Lakes Res. 1996. Vol. 22, N 1. P. 5–14. DOI: 10.1016/S0380-1330(96)70929-2

УДК 574.5

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЯДА МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТУНКИНСКОЙ ДОЛИНЫ (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ, РОССИЯ)

И. О. Батранина[1,2], Д. Ю. Карнаухов[1,2]*, Е. Р. Хадеева[2,3], А. В. Лавникова[2], Я. К. Ермолаева[2], С. А. Бирицкая[2], Е. В. Минчева[2], А. Б. Купчинский[2]

[1] Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл., пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
[2] Иркутский государственный университет
(Россия, 664025, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[3]Институт географии СО РАН им. В. Б. Сочавы
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1)
**Автор для переписки: karnauhovdmitrii@gmail.com*

Аннотация. В работе произведено сравнение ряда минеральных источников Хонгор-Уула. Проведенное сравнение показало отсутствие различий между источниками по гидрохимическому составу, однако, выявило различия по физико-химическим параметрам. Анализ сообществ зообентоса показал, что исследованные источники относятся к диптероидному хирономидному типу.

Ключевые слова: Байкальский регион, макрозообентос, минеральные источники, Тункинская долина, Хонгор-Уула

Уникальность биоразнообразия Байкальского региона, кроме непосредственно оз. Байкал, определяется также и биоразнообразием окружающих озеро экосистем [Плешанов, Тахтеев, 2008]. При этом стоит отметить, что в Байкальском регионе зарегистрировано значительное количество термальных и минеральных источников, которые, в свою очередь, формируют резерваты как теплолюбивых, так и холодолюбивых организмов.

Несмотря на существующие исследования термальных и минеральных источников, многие аспекты их экологии, включая структуру макрозообентоса, остаются недостаточно изученными. Целью настоящей работы являлось сравнительное исследование гидрохимического состава, физико-химических параметров и таксономического разнообразия макробеспозвоночных минеральных источников Хонгорульской группы.

Минеральные источники Хонгорульской группы находятся в долине р. Харагун. Данные источники являются холодными с высоким содержанием железа. По химическому составу источники данной группы определяются как сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциево-магниевые [Физико-химическая … , 2018].

В рамках данного исследования измерение физико-химических параметров и отбор проб проводили 26.06.2024. На источниках Желудочный, Общеукрепляющий, Кишечный, источник 1 (бывший Глазной) были измерены: pH, температура, концентрация растворенного кислорода, ОВП, минерализация, электропроводность. Кроме того, на этих же источниках были отобраны пробы для гидрохимического анализа. На источниках Желудочный и источник 1 (бывший Глазной) были взяты пробы зообентоса. Данные пробы отбирали с помощью бентометра (S = 0,017 м^2). В дальнейшем пробы были обработаны по стандартной методике. Анализ полученных данных производили в программной среде RStudio.

Сравнение данных гидрохимического анализа с помощью критерия Краскела – Уоллиса показало отсутствие статистически значимых различий между данными источниками. В свою очередь, сравнение значений физико-химических параметров критерием Краскела – Уоллиса (и далее тестом Данна с поправкой Холма) выявило статистически значимые различия между Желудочным источником с Общеукрепляющим (p = 0,003) и с источником 1 (бывшим Глазным) (p = 0,01) (рис.).

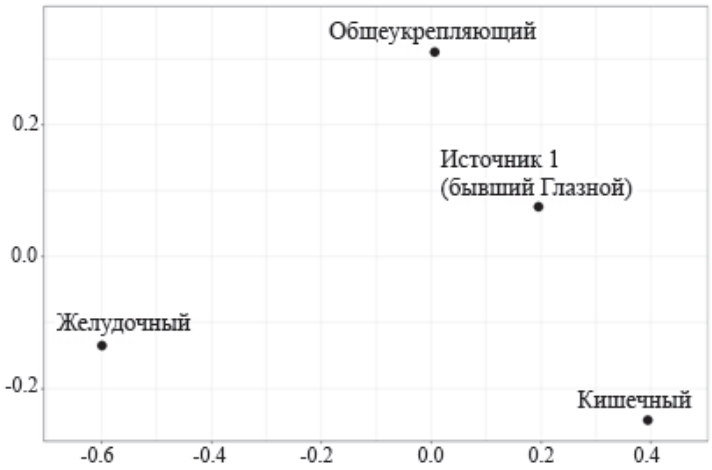


Рис. Сопоставление физико-химических параметров ряда источников методом многомерного шкалирования (использовалась дистанция Брея – Кёртиса)

Обработка проб зообентоса показала наличие трех групп макробеспозвоночных в источнике 1 (бывший Глазной) и двух групп в источнике Желудочный (табл.). Сравнение полученных данных показало, что сообщества достоверно различаются (X-squared = 163,14, df = 2, p-value < $2{,}2 \cdot 10^{-16}$).

Таблица. Представленность различных групп макробеспозвоночных в двух источниках Хонгорульской группы

№	Источник	Группы гидробионтов		
		Chironomidae (l)	Oligochaeta	Tipulidae (l)
1	Источник 1 (быв. Глазной)	190±27 экз./м^2	16±16 экз./м^2	16±16 экз./м^2
2	Желудочный	79±16 экз./м^2	143±143 экз./м^2	0

Исследованные источники характеризуются диптероидным хирономидным типом зообентоса [Тахтеев, 2018]. Выявленные различия в физико-химических параметрах и мозаичное распределение сообществ указывают на необходимость дальнейшего изучения их биоразнообразия с целью понимания механизмов формирования бентосных комплексов в условиях вариабельной среды.

Благодарности. Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 121032900077-4 «Экологическая диагностика изменений некоторых элементов биогеоценозов территории Восточной Сибири».

Список литературы

Физико-химическая характеристика низкотемпературных вод Тувы и Бурятии / Е. Ц. Дамбинова, С. А. Дартай-оол, Е. С. Кашкак, Т. Г. Банзаракцаева, Э. В. Данилова // Актуальные проблемы исследования этноэкологических и этнокультурных традиций народов Саяно-Алтая : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. Кызыл : Изд-во ТувГУ, 2018. С. 158–159.

Плешанов А. С., Тахтеев В. В. Рефугиумы в Байкальской Сибири как резерваты уникального биоразнообразия // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. 2008. № 1. С. 358–370.

Тахтеев В. В. Классификация источников Байкальского региона по сообществам макробеспозвоночных // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2018. № 2. С. 225–236.

УДК 574.58

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДЛЕДНЫХ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

М. В. Башенхаева*, Ю. Р. Захарова, Ю. П. Галачьянц, Д. П. Петрова, И. В. Ханаев, М. М. Макаров, Е. В. Лихошвай

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: maria.bashenkhaeva@gmail.com*

Аннотация. Озера, расположенные в северных и умеренных широтах, могут быть покрыты льдом в течение длительных периодов. Подо льдом создается среда обитания, отличная от периода открытой воды, характеризующаяся низкой температурой и пониженной освещенностью. В работе исследованы бактериальные сообщества на границе раздела «лед – вода» (SI) и в водной толще (0–25 м) подо льдом (UW) в пелагической зоне по всей акватории оз. Байкал. Структура сообществ оценивалась с помощью метабаркодирования фрагментов гена 16S рРНК. Сообщества UW были богаче, чем SI, и отличались по таксономической структуре. Выявлено, что доступные градиенты ресурсов на нижней границе льда более жестко ограничены, и таксоны должны быть адаптированы таким условиям среды. Пространственная неоднородность сообществ SI отражает более динамичные условия на границе раздела фаз «лед – вода» и большую гомогенность параметров среды обитания в водной толще зимой.

Ключевые слова: бактериальные сообщества, метабаркодинг 16S рРНК, разнообразие, Байкал, ледовый период

Около 12 % площади мирового океана в Арктике и Антарктике покрыто льдом, кроме того, большинство водоемов в умеренных и северных широтах сезонно покрываются льдом. Такая сезонная динамика и длительное воздействие низких температур и слабого солнечного освещения сильно влияют на биологическую активность живых организмов и целых экосистем в этих регионах. Озеро Байкал, самое глубокое пресноводное озеро в мире, полностью покрыто льдом с января по май. Учитывая, что протяженность озера с юго-запада на северо-восток составляет 636 км [Галазий, 1993], все процессы, как гидрологические, так и биологические, происходят неравномерно в южной, средней и северной частях озера, что должно влиять на различие в составе сообществ. Целью данной работы была характеристика бактериальных сообществ на границе «лед – вода» и в подледной воде (0–25 м) пелагиали оз. Байкал во всех трех котловинах.

Пробы были отобраны в ледовый период в 2022 г. на 14 станциях в пелагиали оз. Байкал и на 1 станции в проливе Малое Море. Образцы подледных сообществ (SI), расположенных на границе раздела фаз «лед – вода», были отобраны водолазами с помощью шприцов. Пробы сообществ подледной воды (UW) отобраны с глубин 0, 5, 10 и 25 м с помощью батометра Нискина и объединены в интегральный образец. Биоразнообразие и структуру сообществ оценивали методом метабаркодирования V3–V4 фрагментов гена 16S рРНК. Гидрофизические и гидрохимические показатели воды были измерены для разных экотопов, а также проведен анализ структуры сообществ фитопланктона [High abundance… , 2025].

Сравнительный анализ бактериальных сообществ в пелагиали оз. Байкал в ледовый период выявил различия в структуре и разнообразии сообществ SI и UW, обусловленные разницей в физико-химических параметрах этих экотопов. На границе раздела фаз «лед–вода» доминировали представители филума *Bacteroidota*, род *Flavobacterium*; а в сообществах подледной воды преобладали *Actinomycetota*, род *Ilumatobacter*. По данным индекса Chao1 SI сообщества были менее богатыми (94–283), по сравнению с UW (127–352), что может свидетельствовать о том, что доступные градиенты ресурсов на нижней поверхности льда более жестко ограничены, т. е. таксоны должны быть адаптированы к обитанию в данных условиях. По результатам бета-разнообразия бактериальные сообщества на границе «лед – вода» сильнее различались в разных котловинах в отличие от более однородных сообществ подледной воды (рис.). Пространственное распределение сообществ бактерий по котловинам

озера было также неравномерным, сообщества северной котловины сильнее отличались по составу от сообществ южной и средней котловины. Полученные данные расширяют представления о разнообразии и обилии микроорганизмов в ледовый период в крупнейшем пресноводном озере мира.

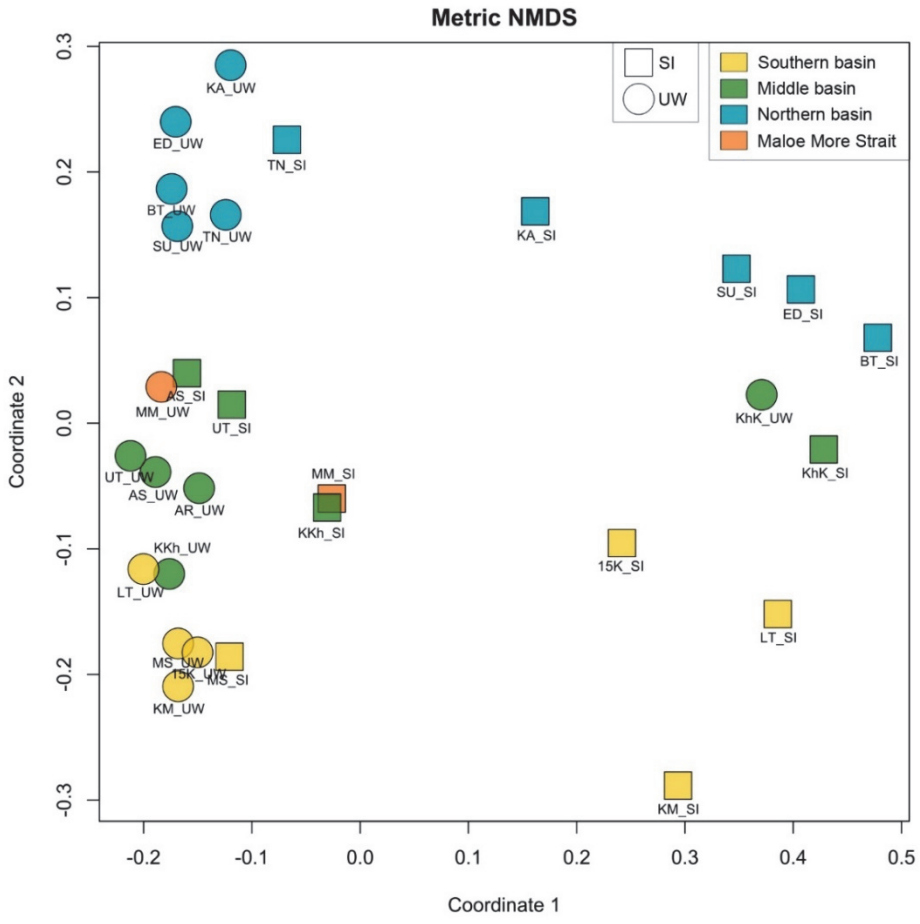


Рис. NMDS плот распределения бактериальных подледных сообществ на основе индекса Брея – Кертиса. Данные получены методом метабаркодирования V3–V4 фрагментов гена 16S рРНК

Благодарности. Работа выполнена при поддержке проекта Минобрнауки РФ № 121032300224-8, проекта № 121032300186-9. Работа проводилась с использованием оборудования ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ.

Список литературы

Галазий Г. И. Атлас озера Байкал / Роскартография. М., 1993.

High abundance and diversity of flagellates under ice cover in Lake Baikal revealed by microscopy and metabarcoding / M. V. Bashenkhaeva [et al.] //Journal of Great Lakes Research. 2025. Vol. 51. Art. 102545.

УДК 504.43:771.712

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА КОНТРОЛЯ И МОНИТОРИНГА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

А. С. Башкурова *

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН
(Россия, 680000, Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65)
**Автор для переписки: stasikutka@yandex.ru*

Аннотация. На основании данных отчета ИВЭП ДВО РАН по мониторингу подземных вод в 2024 г., был проведен расчет интегральных индексов. Образцы воды были взяты из скважин, расположенных на разном расстоянии от берега и уровне воды в русле реки. При применении методики расчета индекса загрязнения (ИЗВ) отобраны приоритетные показатели: органические вещества, ионы железа и сероводород и др., эти же показатели применимы и для расчета интегрального показателя качества воды (ИКВ). В ходе мониторинга обнаружено, что из-за затопления поймы происходит изменение загрязнения речной воды (РВ) в ноябре, что свидетельствует о пролонгированном эффекте разбавления концентраций некоторых приоритетных показателей.

Ключевые слова: мониторинг, подземные воды, индекс качества воды, индекс загрязнения воды

Введение. Правительством Российской Федерации утверждены основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 г., одной из главных задач которой является разработка нормативно-правовой базы внедрения и применения стратегической экологической оценки для проектов, планов и программ, реализация которых может оказать воздействие на окружающую среду [Экологический … , 2022]. Целью работы является совершенствование методики расчета для мониторинга качества природной воды.

Объекты и методы. Объектом исследований являются речная вода и прилегающие к ней подземные воды. Для определения экологической обстановки в водных объектах взята методика [Расчет … , 2010] где определяется индексы качества (ИКВ) и загрязнения воды (ИЗВ).

Результаты и обсуждение. В ходе мониторинга подземных вод в 2013 г. [Кондратьева, Уткина, Кулаков, 2019] были сделаны выводы, что, рассчитывая ИКВ необходимо определять приоритетные показатели, как и для ИЗВ. Потому что, для этого интегрального коэффициента используется органолептические характеристики. Однако с их помощью сложно оценить качество вод. В данном мониторинге необходимо ввести условную величину, которая отвечает за ПДК органических веществ.

Для расчета интегральных индексов отобраны следующие приоритетные показатели такие как: железо, марганец, сероводород, фенолы, органические вещества (по SAC_{254} который определяется в соответствии со стандартом DIN 38404-3:2005-07), аммоний –ион. Данные расчета ИКВ и ИЗВ приведены в таблице.

Таблица. Мониторинг качества и загрязнения поверхностных и подземных вод за 2024 г.

Место отбора проб	Март				Август				Ноябрь			
	ИКВ	Кл.	ИЗВ	Кл.	ИКВ	Кл.	ИЗВ	Кл.	ИКВ	Кл.	ИЗВ	Кл.
РВ	3,41	3	1,62	4	3	3	1,490	3	3,77	3	0,971	2
к1-1	2,69	3	15,5	7	2,64	3	12,94	7	2,64	3	11,45	7
к1-3	3,23	3	17,5	7	2,93	3	12,69	7	2,54	4	11,58	7
к2-2	3,23	3	19,9	7	3,03	3	15,39	7	2,61	3	14,46	7
к3-1	3,23	3	10,6	7	3,16	3	11,15	7	3,16	3	10,47	7
к3-2	3,23	3	18,6	7	3,03	3	15,93	7	3,03	3	15,04	7
к3-3	3,13	3	18,1	7	2,59	4	14,61	7	2,72	3	12,77	7

Примечания: к1-1, к1-3, к2-2, к3-1, к3-2, к3-3 – скважины из которых отбирались подземные воды.

При расчетах ИКВ не заметны изменения класса качества подземных вод. Однако обнаружен пролонгированный эффект уменьшения концентрации железа, марганца и ОВ в поверхностных водах. Это отразилось на загрязнении водного объекта. Так, в марте 2024 г. при расчете ИЗВ получили значения, относящиеся к 4 классу – загрязненные, в августе произошло улучшение до 3 – умеренно загрязненные, а в ноябре до 2 – чистые. На это повлияло несколько факторов таких как таяние большого количества снега весной, а в августе произошло затопление поймы за счет паводка, а также происходило выпадение большого количества осадков в виде дождей.

Выводы. Было показано, что для каждого рассматриваемого водного объекта органолептические показатели, можно заменить на приоритетные. Например, за мутность и цветность отвечают взвешенные и органические вещества т. п., а за запах – сероводород, аммиак и прочие газы. Поэтому нужно определять показатели исходя из их важности в мониторинге, так как в методике расчета ИКВ учитываются запах, цвет и мутность, это относительные показатели, которые описываются субъективно. А в случае приоритетных показателей измеряются значения концентраций. Важно отметить, что при расчете интегрального индекса необходимо учитывать вес каждого показателя в зависимости от степени приоритетности в водном объекте. Главной составляющей методики является то, что сумма веса всех показателей равнялась единице. Показано, что расчет ИКВ позволяет наглядно оценить изменение содержания различных веществ и определить их вклад в формирование качества воды. Использование ИЗВ показывает влияние компонентов на класс загрязнения вод отличной от ПДК.

Список литературы

Кондратьева Л. М., Уткина А. С., Кулаков В. В. Изменение качества подземных вод в зоне речной фильтрации во время наводнения на реке Амур //Вода: химия и экология. 2019. № . 3–6. С. 7–14.

Расчет и оценка эколого-значимых параметров : учеб.-метод. пособие / Е. И. Хабарова, И. А. Роздин, а С. В. Никитин, С. В. Леонтьева. М. : МИТХТ, 2010. 64 с.

Экологический отчет о результатах стратегической оценки воздействия на окружающую среду российской программной территории ППС «Коларктик» на период 2021–2027 гг. / В. А. Маслобоев, Е. М. Ключникова, Е. А. Боровичев, М. В. Ненашева, А. И. Попов. Апатиты : ФИЦ КНЦ РАН, 2022. 74 с.

УДК 576.3:581.134.3

УЛЬТРАСТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОГЕНЕЗА И ДЕГРАДАЦИИ ЛИПИДНЫХ КАПЕЛЬ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

Е. Д. Бедошвили[1]*, Е. Л. Неврова[2], Е. В. Лихошвай[1]

[1] Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, Улан-Баторская, 3)
[2] Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН
(Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова, 2)
**Автор для переписки: bedoshvilied@list.ru*

Аннотация. Липидные капли – это внутриклеточные органеллы, в которых происходит накопление и хранение нейтральных липидов. Диатомовые водоросли обладают уникальными механизмами деградации липидов, но прогресс в этой области исследований затруднен ввиду отсутствия ультраструктурных данных. В этом исследовании с помощью просвечивающей электронной микроскопии была исследована ультраструктура липидных капель и их окружения на разных стадиях формирования у двух видов из различного систематического положения и географического происхождения, *Encyonema silesiacum* и *Ardissonea crystallina*. Для этих видов были обнаружены значительные различия в цитологии биогенеза и деградации липидных капель.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, ультраструктура клеток, липидные капли, деградация липидов, аутофагия, мультивезикулярные комплексы

В настоящее время диатомовые водоросли, наряду с другими микроводорослями, привлекают внимание как потенциальные источники разнообразных жирных кислот, накапливающихся в липидных каплях (ЛК). Все известные эукариотические микроводоросли могут производить липиды в качестве запасных источников энергии перед предстоящим периодом покоя, либо при воздействии неблагоприятных условий окружающей среды [Microalgal ... , 2008; Goold, 2015]. Недавно было показано, что диатомовые водоросли обладают ранее неизвестными путями липофагии [Lipid … , 2024]. Однако, несмотря на растущий интерес, об ультраструктуре процессов образования и деградации ЛК в клетках диатомовых водорослей известно мало.

Настоящее исследование было проведено на морском виде *Ardissonea crystallina* (C. Agardh) Grunow (Mediophyceae: Ardissoneaceae Round) и пресноводном виде *Encyonema silesiacum* (Bleisch) D. G. Mann (Bacillariophyceae: Cymbellales D. G. Mann). Цитологические особенности *E. silesiacum* были описаны ранее, однако, ультраструктура *A. crystallina* не была изучена.

В клетках *E. silesiacum* формирование и рост ЛК происходит в цитоплазме (рис., *А, Б*). Крупные ЛК остаются связанными с эндоплазматическим ретикулумом (ЭР), что, вероятно, обусловлено не только их биогенезом, но и процессами утилизации липидов. Со временем ЛК переносятся в одну из вакуолей, где продолжаются их морфологические изменения и, вероятно, начинается деградация липидов [Carbon ... , 2017]. В клетках *A. crystallina* биогенез ЛД происходит интенсивно и при длительном культивировании приводит к образованию сросшихся крупных структур, сжатых со всех сторон многочисленными хлоропластами (рис., *В, Г*). При пересеве в свежую среду происходит усиленная утилизация ЛК, при которой становятся видны мембранные структуры на периферии капель. Мы предполагаем, что при интенсивном биогенезе липидных капель формируется дополнительная сеть ЭР для синтеза каждой капли. Одной из особенностей ультраструктуры *A. crystallina* является наличие большого количества мультивезикулярных телец в цитоплазме, локализованных между ядром с диктиосомами и хлоропластами. Это, скорее всего, связано с усилением биогенеза ЛД, образованием дополнительного ЭР и процессами деградации липидов.

Таким образом, на примере двух разных видов мы описали особенности биогенеза липидных капель у диатомовых водорослей, показали их связь с ЭР не только в процессе синтеза, но и деградации, а также выявили существенные ультраструктурные различия для этих видов.

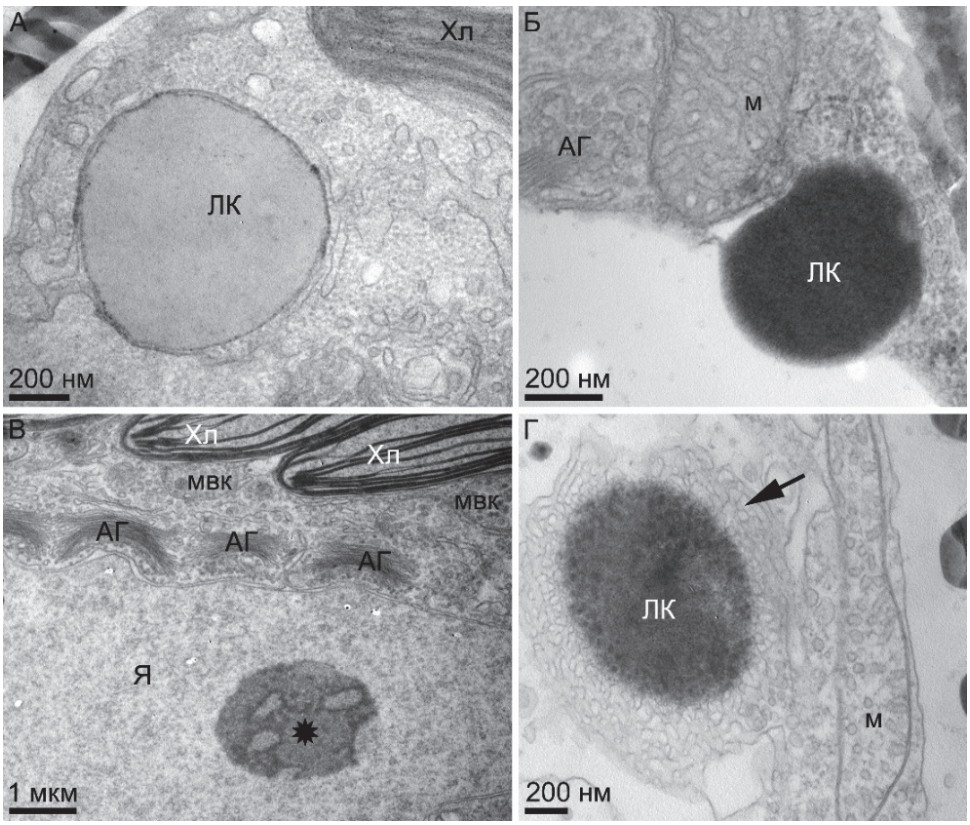


Рис. Ультраструктура ЛК *E. silesiacum* (А, Б) и *A. crystallina* (В, Г) (ПЭМ).
А – ЛК в цитоплазме; В – перенос ЛК в вакуоль; С – мультивезикулярные комплексы в цитоплазме; D – сеть ЭР (стрелка) вокруг ЛК. Условные обозначения: Хл – хлоропласт; АГ – цистерна Гольджи; ЛК – липидная капля; м – митохондрия; мвк – мультивезикулярные тельца; Я – ядро; звездоска – ядрышко

Благодарности. Исследования выполнены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Ультрамикроанализ» ЛИН СО РАН при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 121032300186-9 и частично в рамках государственного задания ИБСО РАН (номер гос. рег. № 124022400148-4).

Список литературы

Carbon starvation induces lipid degradation via autophagy in the model alga *Micrasteria* / V. Schwarz, A. Andosch, A. Geretschläger [et al.] // J Plant Physiol. 2017. N 208. P. 115–127. DOI: 10.1016/j.jplph.2016.11.008

Lipid droplets-vacuoles interaction promotes lipophagy in the oleaginous diatom *Fistulifera solaris* / T. Tanaka, S. Moriya, T. Nonoyama [et al.] // Algal Research. 2024. N 79. Art. 103481. DOI: 10.1016/j.algal.2024.103481

Microalgal lipid droplets: composition, diversity, biogenesis and functions / H. Goold, F. Beisson, G. Peltier, Y. Li-Beisson // Plant Cell Reports. 2015. Vol. 34, N 4. P. 545–555. DOI: 10.1007/s00299-014-1711-7

Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances / Q. Hu, M. Sommerfeld, E. Jarvis [et al.] // Plant J. 2008. N 54. P. 621–639. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2008.03492.x

УДК 575.113.1

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ В МИКРОБНОМ СООБЩЕСТВЕ БАЙКАЛЬСКИХ ГУБОК

С. И. Беликов[1*], Ю. А. Панова[1,2], Л. И. Черногор[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Сибирский федеральный университет(Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 13а)
**Автор для переписки: sergeibelikov47@gmail.com*

Аннотация. Целью данного исследования является расшифровка причин массовой гибели эндемичных байкальских губок. Было показано, что заболевание и гибель губок коррелирует со сдвигом состава сообщества микроорганизмов, в том числе, заболевание может быть связано с совместным скоординированным действием бактерий *Janthinobacterium* sp. и *Flavobacterium* sp. Данное положение подтверждено выделением штаммов бактерий и определением их полных нуклеотидных последовательностей геномов, и анализом. Заражение клеточной культуры примморф штаммом *Janthinobacterium* sp. SLB01, изолированном из больной губки, с последующим выделением из зараженной культуры штамма *Janthinobacterium* sp. PLB02 указывает на решающую роль этих бактерий в развитии заболевания байкальских губок.

Ключевые слова: заболевание губок, *Lubomirskia baikalensis, Janthinobacterium* sp., *Flavobacterium* sp., геномный анализ

Озеро Байкал является древним и самым глубоким, пресноводным озером в мире, возраст которого оценивается в 25–30 млн лет. Эндемичные губки семейства Lubomirskiidae являются процветающими доминирующими компонентами бентического сообщества в оз. Байкал и представлены множеством сестринских видов.

Заболевание пресноводных губок впервые было обнаружено в 2011 г., когда в центральной котловине оз. Байкал были обнаружены образцы розового цвета [Bormotov, 2012]. В последующие годы, внешние признаки заболевания менялись и с 2013 г. по настоящее время встречаются губки с различными симптомами поражения, такими как изменение цвета, некроз тканей, образование коричневого налета и грязно-фиолетовых бактериальных чехлов на отдельных ветвях. Эти признаки заболевания сопровождаются массовой гибелью губок и особенно отчетливо наблюдаются у ветвистой губки *Lubomirskia baikalensis*, тогда как у корковых и шаровидных губок наблюдаются другие внешние признаки заболевания. Численность губок значительно сократилась и в настоящее время больные губки встречаются по всему оз. Байкал. Заболевание и гибель губок сопутствуют с множественными изменениями Байкал [Nearshore ... , 2014; Rapid ... , 2016; Current ... , 2018].

Для выявления возможной связи между заболеванием губок и различиями в местообитаниях мы собрали образцы здоровых и больных губок в южной, центральной и северной котловинах оз. Байкал, в которых антропогенная нагрузка уменьшается с юга на север. Было показано, что заболевание и гибель губок коррелирует с существенным сдвигом состава симбиотического сообщества и не коррелирует с антропогенным влиянием на экосистему озера.

Так, изменения в бактериальных составах губок в 2015 г. обусловлены увеличением относительного обилия семейств *Rhodobacteraceae*, *Comamonadaceae*, *Flavobacteriaceae*, *Oxa-* и уменьшением относительного обилия *Trebouxiophyceae*, *Procabacteraceae* и неклассифицированных *Alphaproteobacteria* [Diversity ... , 2019].

Для подтверждения предположения о влиянии изменений в микробном сообществе на здоровье губок было проведено заражение здоровой клеточной культуры примморф суммарной суспензией бактерий из больных губок. Было показано, что эти бактерии вызывают симптомы заболевания, характерные, как и при массовой гибели губок, включая потерю зеленых симбионтов и лизис клеток. Последующее секвенирование фрагментов гена 16S рРНК в зараженных примморфах показало, что произошли существенные изменения в микробном сообществе, в том числе резкое снижение содержания зеленых симбионтов (Trebouxiophyceae), что было связано со сдвигом в микробных сообществах клеточной куль-

туры примморф. Так, в инфицированных примморфах существенно выросло относительное содержание бактерий семейств *Flavobacteriaceae*, *Oxalobacteraceae* и *Moraxellaceae*. Виды этих семейств считаются условно-патогенными микроорганизмами и распространенными в пресноводных экосистемах [*Janthinobacterium* sp. ... , 2020].

Штаммы *Janthinobacterium* sp. SLB01 (*Oxalobacteraceae*) и *Flavobacterium* sp. SLB02 были изолированы и охарактеризованы, определены их полные геномы. Анализ генома *Janthinobacterium* sp. SLB01 показал, что этот штамм может быть первичным патогеном, способным воздействовать на клетки здоровых организмов, используя систему секреции типа VI, и способным подавлять рост грамположительных бактерий, с помощью вторичных метаболитов – виолацеина и троподитиетовой кислоты (TDA). Штамм *Flavobacterium* sp. SLB02 является вторичным оппортунистическим патогеном, который обеспечивает распространение *Janthinobacterium,* посредством лизиса клеточных стенок, с помощью гидролитических ферментов [Petrushin, Belikov, Chernogor, 2020].

Кроме того, было показано, с помощью экспериментальных исследований, выполненных с соблюдением постулатов Коха, что штамм *Janthinobacterium* sp. SLB01 является патогеном для губок и клеточной культуры примморф, а последовательности полных геномов штаммов *Janthinobacterium* sp. PLB02, выделенных из инфицированных примморф, совпадают с геномом исходного штамма *Janthinobacterium* sp. SLB01 [*Janthinobacterium* sp. ... , 2023].

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № 0279-2021-0011.

Список литературы

Bormotov A. E. What has happened to Baikal sponges? // Science First Hand. 2012. Vol. 32, N 2. P. 20–23.

Current state of the sponge fauna (Porifera: Lubomirskiidae) of Lake Baikal: Sponge disease and the problem of conservation of diversity / I. V. Khanaev, L. S. Kravtsova, O. O. Maikova [et al.] // J. Great Lakes Res. 2018. Vol. 44, N 1. P. 77–85. DOI: 10.1016/j.jglr.2017.10. 004

Diversity and shifts of the bacterial community associated with Baikal sponge mass mortalities / S. Belikov, N. Belkova, T. Butina [et al.] // PLoS ONE. 2019. Vol. 14, N 3. Art. e0213926. DOI: 10.1371/journal.pone.0213926

Janthinobacterium sp. strain SLB01 as pathogenic bacteria for sponge *Lubomirskia baikalensis* / Chernogor L., Eliseikina M., Petrushin I. [et al.] // Pathogens. 2023. Vol. 12, N 8. P. 1–16. DOI: 10.3390/pathogens12010008

Microbiome analysis of healthy and diseased sponges *Lubomirskia baikalensis* by using cell cultures of primmorphs / L. Chernogor, E. Klimenko, I. Khanaev, S. Belikov // Peer J. 2020. N 5. P. 1–24. DOI: 10.7717/peerj.9080

Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal / L. S. Kravtsova, L. A. Izhboldina, I. V. Khanaev [et al.] // J Great Lakes Res. 2014. N 40. P. 441–448. DOI: 10.1016/j.jglr.2014.02.019

Petrushin I., Belikov S., Chernogor L. Cooperative interaction of *Janthinobacterium* sp. SLB01 and *Flavobacterium* sp. SLB02 in the diseased sponge *Lubomirskia baicalensis* // International journal of molecular sciences. 2020. N 21 (21). P. 1–13. DOI: 10.3390/ijms21218128

Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater bio- diversity in danger? / O. A. Timoshkin, D. P. Samsonov, M. Yamamuro [et al.] // J. Great Lakes Res. 2016. Vol. 42. P. 487–497. DOI: 10.1016/j.jglr.2016.02.011

УДК 502.3:551.55

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ БАЙКАЛА 2023–2024 ГГ.

И. В. Белкин[1,2], М. Ю. Шиховцев[1]*, Е. В. Потапова[2], И. А. Асламов[1], Е. В. Моложникова[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
**Автор для переписки: max97irk@yandex.ru*

Аннотация. Представлен анализ распределения твердых частиц $PM_{2,5}$ в приземном слое атмосферы над оз. Байкал за два навигационных периода: июль – ноябрь 2023 и май – ноябрь 2024 гг. Измерения проводились каждую минуту на борту НИС «Г. Ю. Верещагин». В 2023 г. концентрации $PM_{2,5}$ варьировались от 0,1 до 30,2 мкг/м³ (медиана 2,9 мкг/м³), в 2024 г. от 0,1 до 45,2 мкг/м³ (медиана 3,7 мкг/м³). Рост концентраций в 2024 г. связан с аномально жаркой погодой, усилившей образование вторичного аэрозоля. Максимальные уровни $PM_{2,5}$ наблюдались в Южной котловине озера, особенно в районе рек Селенги и Ангары, минимальные наблюдались в Средней и Северной котловинах озера.

Ключевые слова: твердые частицы, аэрозольные примеси, Байкал

Твердые частицы (PM) являются важным компонентом глобального круговорота веществ в атмосфере, в значительной степени влияя на качество воздуха, формирование среды обитания и климатические процессы. Основная неопределенность в оценке их воздействия на экосистемы обусловлена недостаточными данными о пространственно-временной изменчивости концентраций и их физико-химических свойствах. Работы, направленные на изучение пространственного распространения PM в атмосфере над Байкалом, охватывающие весь воздушный бассейн озера показали, что в летний период концентрации PM_{10} в атмосфере изменяются в широком диапазоне от 1 до 32 мкг/м^3 в зависимости от района и периода наблюдения, что подчеркивает высокую пространственную и временную неоднородность содержания PM в воздушном бассейне оз. Байкал [Black … , 2024].

Цель данной работы состоит в исследовании распределения $PM_{2,5}$ в приземном слое атмосферы над озером в течении двух навигационных периодов: 2023 и 2024 гг. Экспериментальные данные охватывают период с июля по ноябрь 2023 г. и с мая по ноябрь 2024 г. Измерения проводились с помощью WoMaster ES–104 (Тайвань), установленного на верхней палубе НИС «Г. Ю. Верещагин» с временным разрешением = 1 мин. На рисунке продемонстрированы карты-схема пространственной изменчивости среднечасовых концентраций $PM_{2,5}$.

В течение периода отбора 2023 г. (рис., *а*), концентрации $PM_{2,5}$ изменялась в пределах от 0,1 до 30,2 мкг/м^3, со средним значением 3,7 и СКО = 3,0 мкг/м^3. Медиана распределения $PM_{2,5}$ равнялась 2,9 мкг/м^3. Как видно из рисунка наименьшие значения $PM_{2,5}$ наблюдались в центральной и северной частях озера. Наибольшие концентрации $PM_{2,5}$ были зафиксированы в южной части озера с локальными повышениями вблизи населённых пунктов, и крупных рек (Ангара и Селенга). Это связано с выносом воздушных масс от региональных источников загрязнения атмосферы Иркутской области и Республики Бурятия, особенностями внутрикотловинной циркуляции воздушных масс и влиянием локальных источников, расположенных на побережье.

Гистограмма распределения концентраций $PM_{2,5}$ в 2023 г. характеризуется одномодальным распределением с ярко выраженной правосторонней асимметрией и большим эксцессом. Согласно гистограмме концентрации $PM_{2,5}$ в 73 % измерений изменялись в диапазоне от 1 до 5 мкг/м^3. В период отбора 2024 г. было зафиксировано значительное повышение концентраций $PM_{2,5}$ в сравнении с 2023 г., что согласуется с выявленным ранее сезонным максимумом для Южного Прибайкалья [Application … , 2025]. Концентрации $PM_{2,5}$ изменялись в пределах от 0,1 до 45,2 мкг/м³, при среднем значении 5,5 мкг/м³ и стандартном отклонении 5,1 мкг/м³. Медианное значение 3,7 мкг/м³ указывает на асимметрию распределения, подтверждаемую его двухмодальным характером, что отражено в гистограмме распределения (рис., *б*).

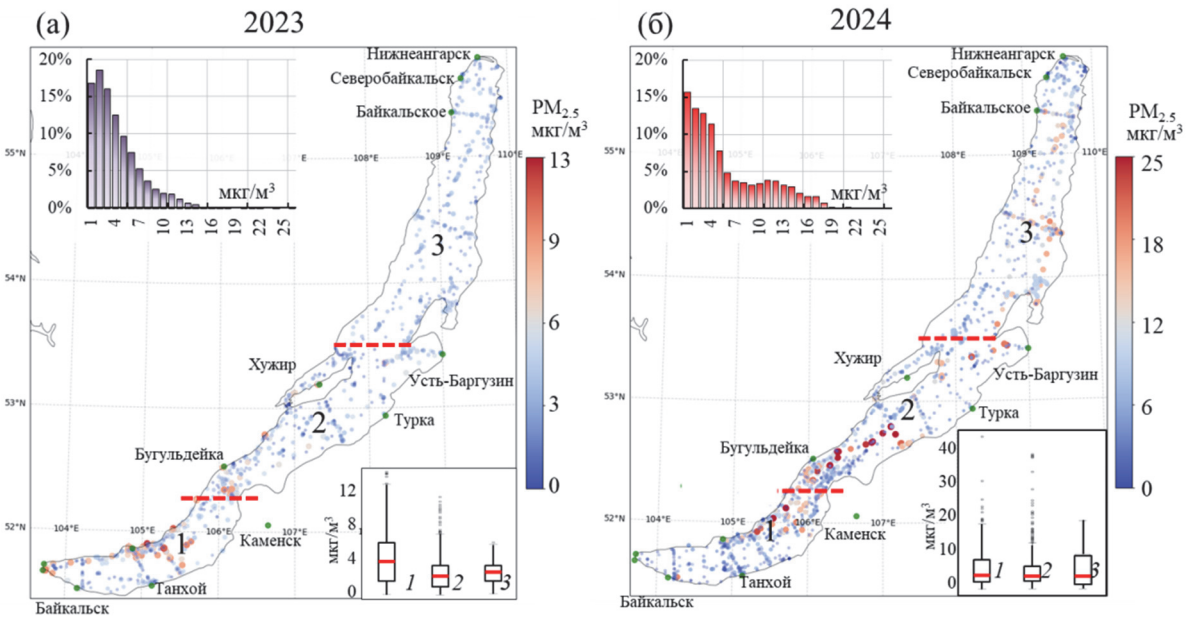


Рис. Пространственное распространение среднечасовых концентраций $PM_{2,5}$:
(*а*) с 17 июня по 1 ноября 2023 г. ; (*б*) с 30 мая по 20 октября 2024 г.

Согласно многолетним лидарным исследованиям [Summer ... , 2024] из-за большого температурного контраста между поверхностью воды Байкала и сушей аэрозоль не поднимается в верхние слои под действием конвективных потоков, что способствует длительному удержанию повышенных концентраций в нижних слоях тропосферы. Дополнительно, вклад в формирование пространственной картины распределения $PM_{2,5}$ вносят локальные антропогенные источники, расположенные на побережье, что подтверждается анализом концентраций NO_x в атмосфере юго-восточного побережья оз. Байкал. Необходимо отметить, что погодные условия летнего периода 2024 г. характеризовались аномально жаркой и влажной погодой с частыми грозами и интенсивными осадками, что привело к усилению процессов образования вторичного аэрозоля и повышению числа субмикронных частиц [Application ... , 2025].

Благодарности. Работа выполнена по теме государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0014.

Список литературы

Application of Modern Low-Cost Sensors for Monitoring of Particle Matter in Temperate Latitudes: An Example from the Southern Baikal Region / M. Y. Shikhovtsev, M. M. Makarov, I. A. Aslamov [et al.] // Sustainability. 2025. Vol. 17, N 8. P. 3585–3602. DOI: 10.3390/su17083585

Black Carbon in the Air of the Baikal Region, (Russia): Sources and Spatiotemporal Variations / T. V. Khodzher, E. P. Yausheva, M. Y. Shikhovtsev [et al.] // Applied sciences. 2024. Vol. 14 (16). P. 6996–7014. DOI: 10.3390/app14166996

Summer daily dynamics of the vertical structure of atmospheric aerosol over Baikal coastal area from ground-based lidar measurements / S. V. Nasonov, Y. S. Balin, M. G. Klemasheva [et al.] // International Journal of Remote Sensing. 2024. Vol. 45, N 22. P. 8576–8593. DOI: 10.1080/01431161.2024.2403623

УДК 556.5

НАКОПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Н. А. Белкина*

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
(Россия, 185030, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50)
**Автор для переписки: bel110863@mail.ru*

Аннотация. Исследован процесс накопления органического вещества в донных отложениях Онежского озера. Изучен количественный и качественный состав взвешенного вещества вод и вещественный состав донных отложений. Продемонстрированы примеры преобразования органического вещества в донных отложениях в разных районах озера. Показано, что элементный состав органического вещества и распределение химических элементов, участвующих в процессе его деструкции, по глубине залегания отражают последовательность диагенетических превращений органического вещества в донных отложениях по мере его захоронения в виде нерастворимых гуматов. Оценены скорости поступления, накопления и разложения органического вещества в донных отложениях. Показано, что скорость разложения, определяющаяся активностью донных сообществ, зависит от количественного и качественного состава осадочного вещества.

Ключевые слова: донные отложения, органическое вещество, диагенез

Изучение процесса накопления органического вещества (ОВ) в донных отложениях (ДО) Онежского озера проводилось на основе сравнительного анализа данных о литостратиграфии, физических и физико-химических особенностях и химическом составе осадков. ДО отбирались гравитационными трубками. Взвешенное вещество, поступающее на дно, накапливалось в ловушках в течение года. Описание процессов преобразования ОВ представлено по комплексу показателей придонных вод (pH, газовый состав, биогенные элементы) и ДО (физические – плотность, пористость, влажность, физико-химические – pH, Eh, биологические – потребление кислорода и химические – $C_{орг}$, $C_{мин}$, ХПК, растительные пигменты, гуминовые и фульвовые кислоты, биогенные элементы, Fe, Mn).

Выявлено, что на дно поступает ОВ с преобладанием фульвокислот и более низким содержанием $C_{орг}$ по сравнению с поверхностными водами и почвами водосбора. В ДО Онежского озера преобладает окислительный тип диагенеза (редокс-граница находится на глубине 4–5 см). Восстановительный тип диагенеза наблюдали в ДО малых заливов, районов покмарков и зон влияния ЦБК и форелевых хозяйств. Характер распределения показателей (Eh, pH, $C_{орг}$, Fe, Mn, количественный и качественный состав ОВ) в колонке ДО свидетельствует о пространственном разделении процессов преобразования ОВ. Аммонификация преобладает на первой стадии диагенеза в окисленном верхнем слое отложений. Реакции с Fe и Mn в зоне редокс-барьера. Ниже барьерной зоны захораниваются устойчивые к разложению гуминовые вещества. Сульфатредукция и метаногенез проявляются в аномалиях природного и антропогенного происхождения.

Скорость деградации ОВ в ДО Онежского озера изменяется от 0,02 до 64 мг $C \cdot м^{-2} \cdot сут.^{-1}$, причем в основном ОВ разлагается в кислородных условиях. Скорость разрушения ОВ в окисленной зоне ДО в 10–30 раз выше, чем на глубине в восстановленной зоне. В процессе разрушения ОВ потребляется O_2 и обратно в воду выделяется CO_2, CH_4, биогенные элементы, что проявляется в химическом составе придонных вод.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Госзадания ИВПС КарНЦ РАН и гранта РНФ 24-17-00206.

УДК 639.28

СОСТОЯНИЕ ЗАПАСА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫСЛА РЕЧНЫХ РАКОВ В КУЙБЫШЕВСКОМ И НИЖНЕКАМСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩАХ

С. А. Белорусцева[1]*, Ю. А. Северов[2]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 105187, Москва, Окружной проезд, 19)
[2]Татарский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 420029, Казань, ул. Александра Попова, 4А)
**Автор для переписки: belorustseva@vniro.ru*

Аннотация. Длиннопалый рак *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) – распространенный вид в пресных водоемах Волжско-Каспийского бассейна – Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах. Отсутствие в данных водоемах организованного промысла речных раков представляет интерес в плане перспективы освоения запаса. При проведении научно-исследовательских работ в период 2018–2024 гг. были получены данные о современном состоянии популяции, дана оценка запаса вида и его промыслового потенциала.

Ключевые слова: речные раки, Куйбышевское водохранилище, Нижнекамское водохранилище, общий допустимый улов, запас

Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища – крупные водные объекты рыбохозяйственного значения Волжско-Каспийского бассейна. Акватория Куйбышевского водохранилища охватывает территорию пяти областей (Республика Татарстан, Марий Эл, Чувашия, Ульяновская и Самарская области), Нижнекамского водохранилища – трех областей (Республика Татарстан, Башкортостан и Удмуртия), из которых более 60 % площади (36,9 тыс. га), пригодной для обитания речных раков, приходится на Республику Татарстан.

Длиннопалый рак *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823), обитающий в Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах, длительное время состоял в Красной книге Республики Татарстан в статусе III как «редкий, местами обычный вид» [Красная книга … , 1995, 2006]. Между тем в период 2006–2009 гг. в водоемах уже отмечались многочисленные находки вида с сохранением положительной тенденции численности и частоты встречаемости [Яковлев, Аверьянов, Кашеваров, 2006; Кашеваров, Яковлев, 2007]. С выведением вида в 2016 г. из охранного статуса [Красная книга … , 2016] проводятся системные научные исследования для оценки состояния популяций раков с последующим определением объема запаса, общего допустимого улова (ОДУ) и организации промысла раков в водоемах.

При проведении исследований в водоемах, в соответствии с классическими методиками, пассивные орудия лова – раколовки закрытого типа различных модификаций («гармошки», «чернильницы») с ячеей 12–25 мм выставляли вдоль берега, с равными расстояниями между ними, в местах предполагаемого скопления раков, с суточной продолжительностью постановки, с последующим проведением биологического анализа. Оценка запаса раков в водоемах осуществлялась методом площадей, с учетом расчетных величин полезной площади, занятой видом, и плотности его распределения. Объем общего допустимого улова определялся как регулируемая доля изъятия из расчетной величины запаса [Раколовство … , 2006; Черкашина, 2007].

Анализ уловов раков из раколовок, а также ихтиологических приловов в ставных сетях, отобранных в Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах в период 2018–2024 гг. показал наличие плотных скоплений речных раков, которые могут представлять промышленный интерес [Размерно-весовые ... , 2021; Каримова, Северов, Дускаева, 2024]. Биологические показатели популяций исследованных водоемов свидетельствуют об устойчивом состоянии запаса раков. Размерно-массовый состав показал преобладание в уловах раков, составляющих промысловый запас – особи с длиной тела 10–14 см и массой 20–70 г, с вариацией доли в уловах – 60–80 %. Половая структура представлена преимущественно самцами в со-

отношении 1,5:1, что также подтверждает стабильность популяции. Расчетные величины запаса показали его рост на протяжении последних двух лет. В эти же годы были осуществлены первые промысловые мероприятия в Нижнекамском водохранилище, но в виду неорганизованного промысла объемы добычи раков были невысокими и составили ежегодный вылов менее 2 тонн.

Таким образом, на основании полученных данных показана значимость Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ в отношении промышленного освоения запаса речных раков. Для оценки влияния промысла на состояние запаса и сохранения тенденции его промыслового потенциала в длительной перспективе необходимо проведение систематического мониторинга и рациональной организации промысла. Объемы добычи (вылова) для первых лет промысла устанавливаются в размере 5 %, с последующим увеличением до 25 % от промыслового запаса в зависимости от состояния биологического ресурса.

Список литературы

Каримова А. Р., Северов Ю. А., Дускаева Т. А. Биологические показатели популяций речного рака Нижнекамского и Куйбышевского водохранилищ // Рыбохозяйственный комплекс России: 300 лет российской академической науке : материалы II Междунар. науч.-практ. Конф., 27–28 марта 2024 г., г. Москва, ФГБНУ «ВНИРО» / под ред. Колончина К. В., Булатова О. А., Межонова А. В., Трубы А. С. М. : Изд-во ВНИРО, 2024. С. 149–154.

Кашеваров Г. С., Яковлев В. А. Размерно-весовые показатели рака узкопалого (*Astacus leptodactylus* Eschsholz, 1823) в Свияжском заливе Куйбышевского водохранилища // Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан : материалы VII Респ. науч. конф. Казань, 2007. С. 89–90.

Красная книга Республики Татарстан. Казань : Идель-Пресс, 2006. 832 с.

Красная книга Республики Татарстан. Казань : Идель-Пресс, 2016. 760 с.

Красная книга Республики Татарстан. Казань : Природа, 1995. 454 с.

Размерно-весовые показатели, половой состав узкопалых речных раков (*Pontoastacus leptodactylus* Esch.) Мешинского залива Куйбышевского водохранилища / Ю. С. Утямышева, Ю. А. Северов, Т. А. Тележникова, Р. Р. Нуретдинов // Естественнонаучные исследования в Чувашии и сопредельных регионах : материалы докл. Межрегион. науч.-практ. Конф . Чебоксары, 1 марта 2021 г. Чебоксары : Плакат, 2021. Вып. 7. С. 77–81.

Раколовство и раководство на водоемах Европейской части России. Справочник / под ред. Мицкевич О. И. СПб., 2006. 207 с.

Черкашина Н. Я. Сборник инструкций по культивированию раков и динамике их популяций (инструкция по культивированию раков; инструкция по сбору материала, обработке его и построению прогноза динамики популяций раков). Ростов-на-Дону : Медиа-полис, 2007. 118 с.

Яковлев В. А., Аверьянов А. Ф., Кашеваров Г. С. Современное состояние популяции рака узкопалого (*Astacus leptodactylus*: Malacostraca) в Куйбышевском и Нижнекамском водохранилищах // Актуальные проблемы изучения ракообразных континентальных вод : сб. лекций и докл. Междунар. шк.-конф., Ин-т биологии внутр. вод им. И. Д. Папанина РАН, Борок, 5–9 нояб. 2012 г. Кострома : Костром. печат. дом, 2012. С. 324–327.

УДК 579.2

БЕНТОСНЫЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ КАК ПРОДУЦЕНТЫ ПАРАЛИТИЧЕСКИХ ТОКСИНОВ МОЛЛЮСКОВ В ОЗ. БАЙКАЛ

О. И. Белых *, А. Ю. Краснопеев, И. В. Тихонова, Е. Г. Сороковикова, А. В. Кузьмин, С. А. Потапов, Г. А. Федорова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: belykh@lin.irk.ru*

Аннотация. Комплексом методов изучены бентосные цианобактерии в оз. Байкал. Показано высокое содержание паралитических токсинов моллюсков в бентосных цианобактериях, выявлены гены, ответственных за их синтез, идентифицированы варианты цианотоксинов. В геноме штамма *Limnofasciculus baicalensis* обнаружен *sxt* кластер биосинтеза сакситоксинов, состоящий из 21 гена, фрагмент *sxt*A гена штамма идентичен последовательностям из природных проб биопленок. Предположено, что *Limnofasciculus baicalensis* может являться продуцентом сакситоксинов в оз. Байкал.

Ключевые слова: паралитические токсины моллюсков, *Limnofasciculus baicalensis*

Цианобактерии в водоемах при благоприятных условиях достигают высокой численности, вызывая планктонные и бентосные «цветения». Многие виды цианобактерий продуцируют токсины, среди них самыми токсичными являются сакситоксин (STX) и его аналоги, совместно называемые паралитическими токсинами моллюсков (PSP), а также сакситоксинами. PSP вызывают параличи, судороги и смерть от остановки дыхания. Синтез PSP осуществляется мультиферментным комплексом, кодируемым кластером генов *sxt*A-Z.

Цель работы – изучение сакситоксин-продуцирующих цианобактерий в биопленках литоральной зоне оз. Байкал с помощью генетических методов, иммуноферментного анализа (ИФА) и MALDI-TOF/TOF, а также поиск кластера *sxt* генов в геноме ранее выделенного штамма цианобактерии *Limnofasciculus baicalensis* [*Limnofasciculus … ,* 2023].

В пробах биопленок определены последовательности гена поликетидсинтазы *sxt*A, которые имели 97 % сходства с арктическим клоном и 96 % с последовательностями штаммов *Heteroscytonema crispum* из водоемов Новой Зеландии. В геноме *L. baicalensis* – массового вида фитобентоса оз. Байкал – идентифицирован кластер генов синтеза PSP, включающий 21 ген. Последовательности *sxt*A гена из природных проб и обнаруженные в геноме *L. baicalensis* были идентичны и формировали общий «байкальский» кластер на филогенетическом древе.

Внутриклеточное содержание PSP в цианобактериях по данным ИФА составило 0. 029–547 мкг/г сух. веса. Методом MALDI-TOF/TOF идентифицированы следующие варианты PSP: STX, neoSTX, doSTX, dcSTX, doGTX2/3, doGTX2/4, dcGTX1/4, dcGTX2/3, GTX5.

В заключение, в бентосных биопленках оз. Байкал присутствуют цианобактерии, в том числе и в массовом количестве развивающиеся в прибрежной зоне озера, в которых выявлены гены синтеза паралитических токсинов моллюсков и продукция токсинов. Высокое содержание PSP в цианобактериях указывает на необходимость регулярного мониторинга.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания рамках темы государственного задания № 0279-2021-0015 (121032300269-9).

Список литературы

Limnofasciculus baicalensis gen. et sp. nov. (Coleofasciculaceae, Coleofasciculales): A New Genus of Cyanobacteria Isolated from Sponge Fouling in Lake Baikal, Russia / E. Sorokovikova, I. Tikhonova, P. Evseev [et al.] // Microorganisms 2023. N 11. P. 1–24. DOI: 10.3390/microorganisms11071779

УДК 574.5

ЧЕШУЙЧАТЫЕ ЗОЛОТИСТЫЕ ВОДОРОСЛИ ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРСКОГО КАСКАДА ГЭС

А. Ю. Бессудова*

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, Улан-Баторская, 3)
**Автор дл япереписки: annabessudova@mail.ru*

Аннотация. Изучение биоразнообразия водных экосистем в контексте их устойчивости является актуальной темой, в которой в настоящее время существуют пробелы. Например, к группе часто не учитываемых организмов можно отнести чешуйчатые золотистые водоросли. Их клетки, покрытые панцирем из видоспецифических чешуек, щетинок/шипов, можно обнаружить только в свежих, не фиксированных пробах. Однако структура кремнеземных элементов, по которым проводится определение видов, различима с помощью методов электронной микроскопии. В июне и августе-сентябре 2024 г. отобраны пробы в водохранилищах Ангарского каскада ГЭС. С помощью методов электронной микроскопии в фитопланктоне выявлен 41 вид чешуйчатых золотистых водорослей. Наибольшая относительная численность этих организмов в фитопланктоне наблюдалась в летне-осенний период.

Ключевые слова: чешуйчатые золотистые водоросли, электронная микроскопия, водохранилища, Ангарский каскад ГЭС

Чешуйчатые золотистые водоросли или чешуйчатые хризофитовые – представители класса Chrysophyceae, клетки которых покрыты кремнеземными элементами – чешуйками, щетинками/шипами, формирующими панцирь. Достоверная идентификация этой группы водорослей проводится по видоспецифическим кремнеземным элементам, структура которых хорошо различима только с помощью методов электронной микроскопии – сканирующей и трансмиссионной. Кроме того, при фиксации водной пробы их панцирь распадается на отдельные кремнеземные элементы, а клетка лопается. Таким образом, применение только световой микроскопии приводит к недоучету видового богатства этой группы.

Для выявления структуры и видового богатства чешуйчатых золотистых водорослей в составе фитопланктона проведены исследования в четырех водохранилищах Ангарского каскада ГЭС – Иркутском, Братском, Усть-Илимском и Богучанском в течение двух сезонов гидрологическая весна (июнь) и летне-осенний (август-сентябрь) 2024 г. Описание методов отбора проб и пробоподготовки приведены ранее [Small … , 2023].

Предварительные результаты, показывают, что в течении весеннего и летне-осеннего периодов 2024 г. в водохранилищах обнаружен 41 вид чешуйчатых золотистых водорослей. С учетом ранее проведенных исследований в Иркутском водохранилище и его заливах [Seasonal ... , 2024] общее количество видов в водохранилищах Ангарского каскада достигает 57. Наибольшее видовое богатство в течении двух сезонов 2024 г. обнаружено в Иркутском водохранилище – 32 вида, а с учетом ранее поведенных исследований, в весенний, летний и осенний периоды 2023 г. [Seasonal ... , 2024] – 44 вида. В Братском водохранилище обнаружено 26 видов, в Усть-Илимском – 11 и в Богучанском – 20 видов. Общими в видовом составе всех водохранилищ были 8 широкораспространенных видов: *Spiniferomonas bourrellyi* Takahashi, *S. cornuta* Balonov, *S. cuspidata* (Balonov) Kapustin, *S. trioralis* Takahashi, *Mallomonas acaroides* (Perty) Ivanov, *Mallomonas* sp., *M. alpina* Pascher & Ruttner и *M. crassisquama* (Asmund) Fott. Развитие этих видов и ранее было характерно для речных вод [Diversity ... , 2021; Small … , 2023] поэтому их можно считать реофильными.

Наибольшего видового богатства чешуйчатые золотистые водоросли достигали в весенний период в заливах Иркутского водохранилища и в летне-осенний период в Братском водохранилище (рис.).

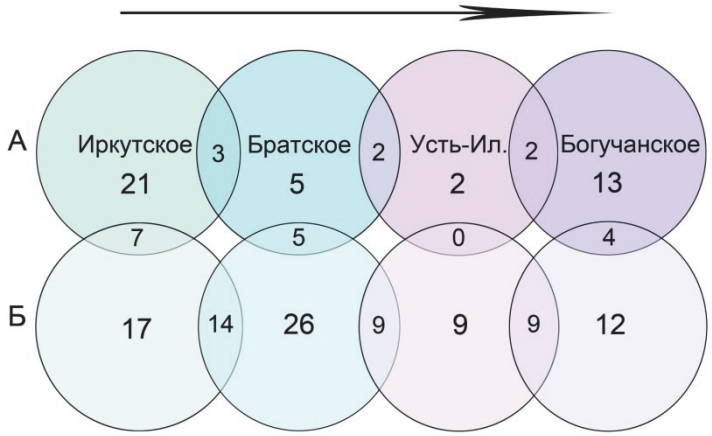


Рис. Диаграмма Венна, показывающая связь видового богатства и структуры чешуйчатых золотистых водорослей между водохранилищами Ангарского каскада и в сезонном аспекте в *А* – весенний и *Б* – летне-осенний периоды. Стрелкой показано направление течения р. Ангары

Показана смена видовой структуры чешуйчатых золотистых водорослей от весеннего к летне-осеннему периоду.

Таким образом, биоразнообразие фитопланктона водохранилищ Ангарского каскада дополнено 57 видами чешуйчатых золотистых водорослей. Наибольшей относительной численности в исследованном районе эти организмы достигают в пробах на фильтрах в летне-осенний период, когда завершается развитие диатомовых водорослей.

Благодарности. Автор выражает благодарность А. М. Марченкову, Ю. П. Галачьянцу и А. И. Таничеву за отбор проб. Микроскопические исследования выполнены в Центре электронной микроскопии ЦКП «Ультрамикроанализ» Лимнологического института СО РАН, https://www.lin.irk.ru/copp/. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14-00028, https://rscf.ru/project/23-14-00028/.

Список литературы

Diversity of silica-scaled chrysophytes and physicochemical parameters of their environment in the estuaries of rivers in the Arctic watershed of Yakutia, Russia / A. Yu. Bessudova, V. A. Gabyshev, A. D. Firsova [et al.]. // Sustainability. 2021. N 13. P. 13768. DOI: 10.3390/su132413768

Seasonal dynamics of the silica-scaled chrysophytes as potential markers of climate change in natural model: deep cold lake–shallow warmer reservoir / A. Bessudova, Y. Galachyants, A. Firsova [et al.] // Sustainability. 2024. N 16. Art. 7299. DOI: 10.3390/su16177299

Small organisms in a large river: what provides the high diversity of scaled chrysophytes in the Ob River? / A. Bessudova, Ye. V. Likhoshway, A. D. Firsova [et al.] // Water. 2023. N 15. Art. 3054. DOI: 10.3390/w15173054

УДК 528.88

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ПОЛУОСТРОВА КАРГА ОЗ. БАЙКАЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GOOGLE EARTH ENGINE

Е. В. Болданова*

Байкальский государственный университет
(Россия, 664003,. Иркутск, ул. Ленина, 11)
**Автор для переписки: boldanova@mail.ru*

Аннотация. Колебания уровня воды в оз. Байкал, шторма и течения приводят к изменению берегов полуострова Карга, песчаной косы, отделяющей Посольский сор от основного озера. Спутниковые снимки позволяют заглянуть в прошлое и оценить изменения. Для анализа динамики береговой линии полуострова Карга оз. Байкал были использованы спутниковые снимки Landsat 5, 7 и 8, прошедшие предварительную обработку и преобразованные в классифицированные наборы данных для оценки водоемов на платформе Google Earth Engine. Доступны данные, начиная с 1984 по 2021 г. В результате анализа оценено колебание площади полуострова, проведено сравнение с использованием визуализации контуров берегов в маловодный период по годам и сезонам и в период с максимально высоким уровнем воды в озере. Выявлены стабильные участки территории и максимально возможная конфигурация полуострова.

Ключевые слова: Google Earth Engine, Landsat, JavaScript, Байкал, п-ов Карга

Современные облачные сервисы предоставляют прекрасную возможность анализа состояния водоемов с использованием космоснимков с глобальным покрытием, а также уже готовых наборов данных. В данном исследовании были использованы различные наборы для анализа динамики береговой линии полуострова Карга оз. Байкал на платформе Google Earth Engine (GEE) с использованием программирования JavaScript.

Полуостров Карга расположен в южной части озера и представляет собой две части, Северная и Южная косы. Высота полуострова небольшая, береговая линия подвержена постоянному изменению благодаря сезонным колебаниям уровня воды в Байкале, действиям штормов и течений. Интерес представляет изменение площади полуострова и направление изменений.

В нашем распоряжении имеется набор обработанных снимков Landsat 5, 7 и 8 за период 1984–2021 гг. JRC Yearly Water Classification History [High-resolution … , 2016], где каждый пиксел был оценен как водный/неводный на основе экспертной системы, и создана ежемесячная история. Зона интереса и колебания площади полуострова представлены на рис. 1.

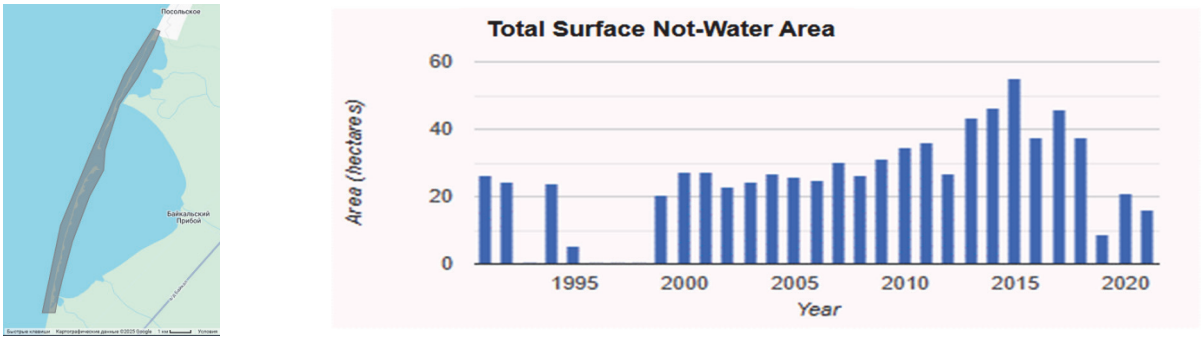


Рис. 1. Зона интереса и колебания площади полуострова Карга оз. Байкал

Очевидно, что данные с 1991 по 1998 г. нужно учитывать выборочно, так как снимков за этот период было недостаточно. Площадь полуострова сильно зависит от уровня воды в озере, и в маловодный период, пик которого пришелся на 2015 г., был достигнут максимум в размерах территории. Минимум площади полуострова наблюдался в 2019–2021 г. в период высокой водности.

Набор данных JRC Monthly Water History позволяет провести сравнение конфигурации береговой линии в отдельные месяцы. Были выбраны периоды малой водности по годам и по сезонам года и максимально высокой водности (рис. 2).

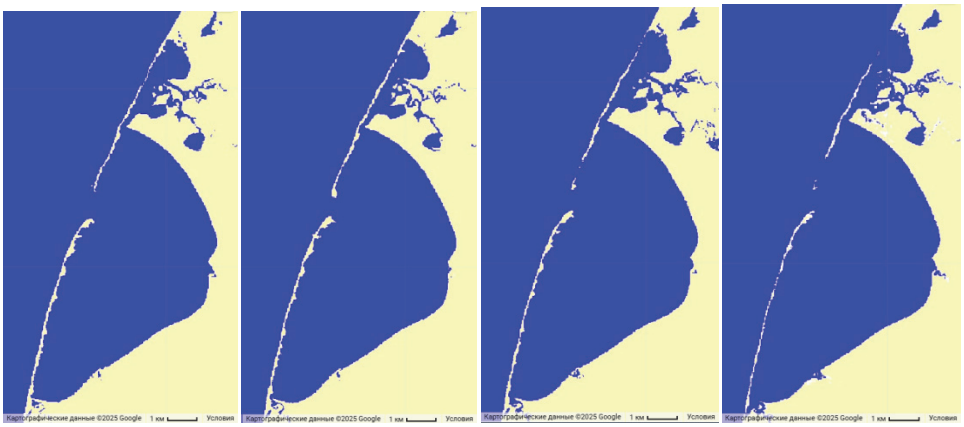
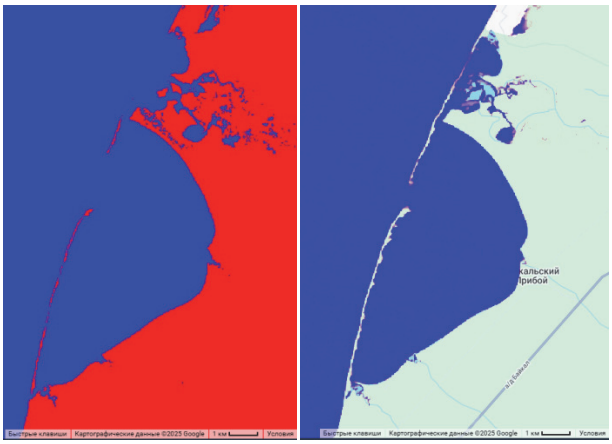


Рис. 2. Сравнение конфигурации береговой линии п-ова Карга по сезонам

Набор данных JRC Global Surface Water Mapping позволяет оценить в процентах частоту присутствия воды. На основе этого набора можно получить представление о стабильных участках территории (рис. 3а) и максимально возможной территории полуострова (рис. 3б).



а *б*

Рис. 3. Стабильные участки территории (*а*)
и максимально возможная территория (*б*) п-ова Карга

Использование готовых наборов данных позволяет достаточно быстро получать предварительные результаты для дальнейшего анализа.

Список литературы

High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes / J. F. Pekel [et al.] // Nature. 2016. N 540 (7633). P. 418–422. DOI: 10.1038/nature20584

УДК 528.88

ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ОЗ. БАЙКАЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GOOGLE EARTH ENGINE

Е. В. Болданова*

Байкальский государственный университет
(Россия, 664003,. Иркутск, ул. Ленина, 11)
**Автор для переписки: boldanova@mail.ru*

Аннотация. Использование данных дистанционного зондирования (ДДЗ) сопряжено со множеством трудностей, которые приводят к высоким затратам труда и машинных ресурсов. Использование облачных вычислений значительно упрощает эту работу. Целью данного исследования было показать возможности Google Earth Engine для оценки состояния поверхностных вод оз. Байкал. В частности, показаны возможности построения композита из космоснимков Sentinel-2 и Landsat-8, расчета спектральных индексов для определения границ водоемов, а также оценки температуры поверхности на выбранных участках водоема. Необходим контроль точности данных, сопоставление с данными полевых исследований. Результаты обработки ДДЗ могут использоваться в качестве дополнительного материала при проведении мониторинга состояния водоемов. Обработка ведется в облачном пространстве с использованием языка программирования JavaScript. Есть возможность создания приложений для интерактивного пользования.

Ключевые слова: Google Earth Engine, Landsat, Sentinel, JavaScript, Байкал

Обработка данных дистанционного зондирования для оценки состояния водоемов представляется достаточно трудоемким и ресурсоемким процессом. Использование облачных вычислений на платформе Google Earth Engine (GEE) позволит существенно облегчить эту работу. Платформа предоставляет возможность доступа к спутниковым снимкам, например, Landsat, Sentinel, MODIS, а также к уже готовым наборам данных [Google ... , 2023]. Результатом может быть интерактивная визуализация, проведение расчетов и получение численных значений, построение диаграмм, классификация объектов на основе стандартных технологий либо с использованием машинного обучения [Deep ... , 2021]. Есть возможность создания приложений для доступа к результатам исследований. Для работы на платформе GEE требуется учетная запись Google, некоторое знание программирования на JavaScript [Gandhi, 2023] и доступ в интернет.

Построение изображения с использованием спутниковых снимков возможно на основе композита из нескольких снимков, что бывает очень важно в случае сильной облачности в регионе. Пример визуализации с использованием снимков Landsat-8 и Sentinel-2 представлен на рис. 1.

Sentinel-2 июнь 2025 г. Landsat-8 июнь 2025 г.

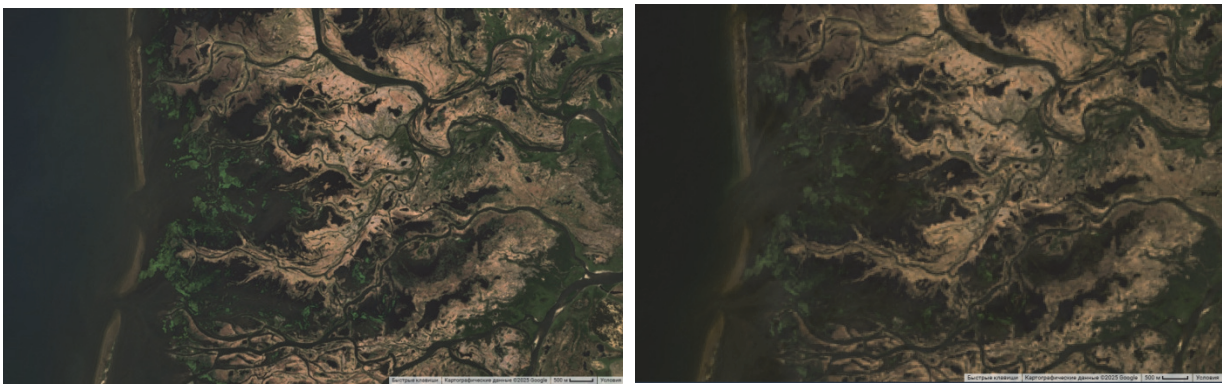


Рис. 1. Пример визуализации с использованием снимков Sentinel-2 и Landsat-8

Пример проведения расчета спектрального индекса для определения границ водоемов приведен на рис. 2. Результаты могут быть преобразованы в векторный формат и экспортированы.

С помощью снимков Landsat есть возможность оценивать температуру поверхности, пример представлен на рис. 3 (выбраны участки открытой воды оз. Байкал, дельты р. Селенги, залива Черкаловский сор). Ошибки при оценке температуры могут возникать при попадании в зону интереса облаков или теней от них, поэтому рекомендуется проводить их маскирование.

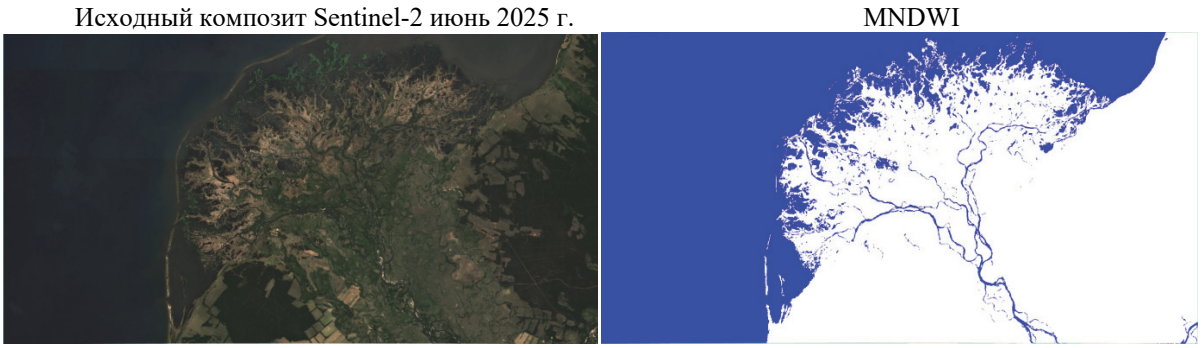


Рис. 2. Пример проведения расчета спектрального индекса для определения границ водоемов

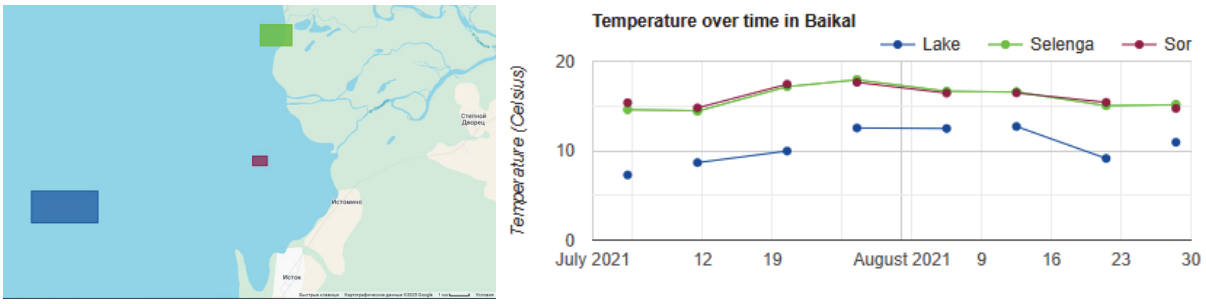


Рис. 3. Пример оценки температуры поверхности по трем выбранным участкам

На основе снимков Landsat есть возможность рассмотрения в динамике за длительный период с 1984 г. по настоящее время изменение береговой линии либо изменение площади водоема [High-resolution ... , 2016].

Список литературы

Deep learning approach for Sentinel-1 surface water mapping leveraging Google Earth Engine / T. Mayer, A. Poortinga, B. Bhandari [et al.] // ISPRS Open Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2021. N 2. Art. 100005. DOI: 10.1016/j.ophoto.2021.100005

Gandhi U. JavaScript and the Earth engine API // Cloud-based remote sensing with Google Earth Engine: Fundamentals and applications. Cham : Springer International Publishing, 2023. P. 3–18.

Google Earth Engine: a global analysis and future trends / A. Velastegui-Montoya, N. Montalván-Burbano, P. Carrión-Mero [et al.]// Remote Sensing. 2023. Vol. 15, Is. 14. Art. 3675. DOI: 10.3390/rs15143675

High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes / J. F. Pekel, A. Cottam, N. Gorelick, A. S. Belward // Nature. 2016. N 540 (7633). P. 418–422. DOI: 10.1038/nature20584

УДК 551.794:561.26:574.5:58.056

ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ В ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ТРЁХ ГЛУБОКОВОДНЫХ ОЗЁР ЭВЕНКИИ (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

Г. Н. Болобанщикова[1]*, Д. Ю. Рогозин[1,2]

[1]Институт биофизики СО РАН (Россия, 660036, Красноярск, ул. Академгородок, 50/50)
[2]Сибирский федеральный университет (Россия, 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79)
**Автор для переписки: galina.ibp@mail.ru*

Аннотация. Методом диатомового анализа проанализированы позднеголоценовые отложения трёх пресноводных озер, расположенных в таежной зоне юга Эвенкии на территории государственного заповедника «Тунгусский». Выявлены общие тенденции в развитии озёр, идентичность и отличия в составе диатомового сообщества.

Ключевые слова: диатомовые, пресноводные озёра, голоценовые отложения

Озера Заповедное (60°31.688' СШ, 101°43.740' ВД), Пеюнгда (60°37.174' СШ 101°38.442' ВД) и Чеко (60°57.904’ СШ, 101°51.551’ ВД) – пресноводные водоёмы. Первые два – имеют почти правильную округлую формы, последнее – овальную, диаметрами около 500 м, 600 м, 400 м и глубинами 60 м, 35 м, 54 м соответственно. Через оз. Заповедное и оз. Пеюнгда протекает р. Верхняя Лакура (приток р. Подкаменная Тунгуска), через оз. Чеко – Кимчу (приток р. Чуня, впадающей в р. Подкаменная Тунгуска). Керны донных отложений озер были отобраны: в июне 2016 г. – в оз. Чеко, в июле 2018 г. – оз. Заповедное, в сентябре 2022 г. – в оз. Пеюнгда. Пробоподготовка и диатомовый анализ проводились по стандартным, отработанным ранее методикам [Bolobanshchikova, Palagushkina, Rogozin, 2023]. Для построения диаграмм и кластерного анализа использовали Tilia Software 3.0.3 [Grimm, 2004]. Для определения видовой принадлежности диатомовых использовали устоявшийся набор определителей и систематических сводок [Bolobanshchikova, Palagushkina, Rogozin, 2023].

Анализ донных отложений позволил выявить: в оз. Заповедное – 139 таксонов диатомей, с преобладанием бентосных (до 45 %) и планктонно-бентосных (до 35 %) видов; в оз. Пеюнгда – 222 таксона, с преобладанием в различные периоды планктонно-бентосных (46–95 %) и планктонных (62–92 %) видов; в оз. Чеко – 131 таксон, с преобладанием бентосных (51–65 %) видов. Кластерный анализ позволил разделить донные отложения на 6 основных зон (**Distance**) с изменением в видовом составе диатомовых водорослей (рис.).

ЗонаDO (4480-3686 BP). Увеличение доли планктонных видов, предпочитающих мелкие, минерализованные водоёмы [Давыдова, 1985]. Уменьшение галофобных, планктонно-бентосных видов-обрастаетелей [Баринова, Медведева, Анисимова 2006], Снижение уровней проточности и воды, образование мелководных участков прибрежной зоны.

ЗонаDI (3686-2672BP). Увеличение доли планктонных видов, предпочитающих постоянное перемешивание водной толщи [Палеолимнология … , 2021] и доли галофобных и алкалифильных видов-обрастателей стояче-текучих вод. Увеличение притока воды и поступления в водоёмы биогенного вещества, удлинение периода вегетации диатомовых за счёт защелачивания [Диатомовые … , 1974], образование иловых прибрежных масс [Давыдова, 1985].

ЗонаDII (2672-1186BP). Уменьшение доли видов мелководных, минерализованных водоёмов, увеличение галофобных видов-обрастателей, в том числе речных = увеличение проточности.

ЗонаDIII (1186-784BP). Существенный прирост доли видов, предпочитающих мелкие, минерализованные водоёмы, предполагает массивное снижение уровня озер и увеличения минерализации из-за существенного уменьшения притока воды, скорее всего связанного с увеличением температурного режима и уменьшением уровня осадков (климатический оптимум раннего Средневековья?).

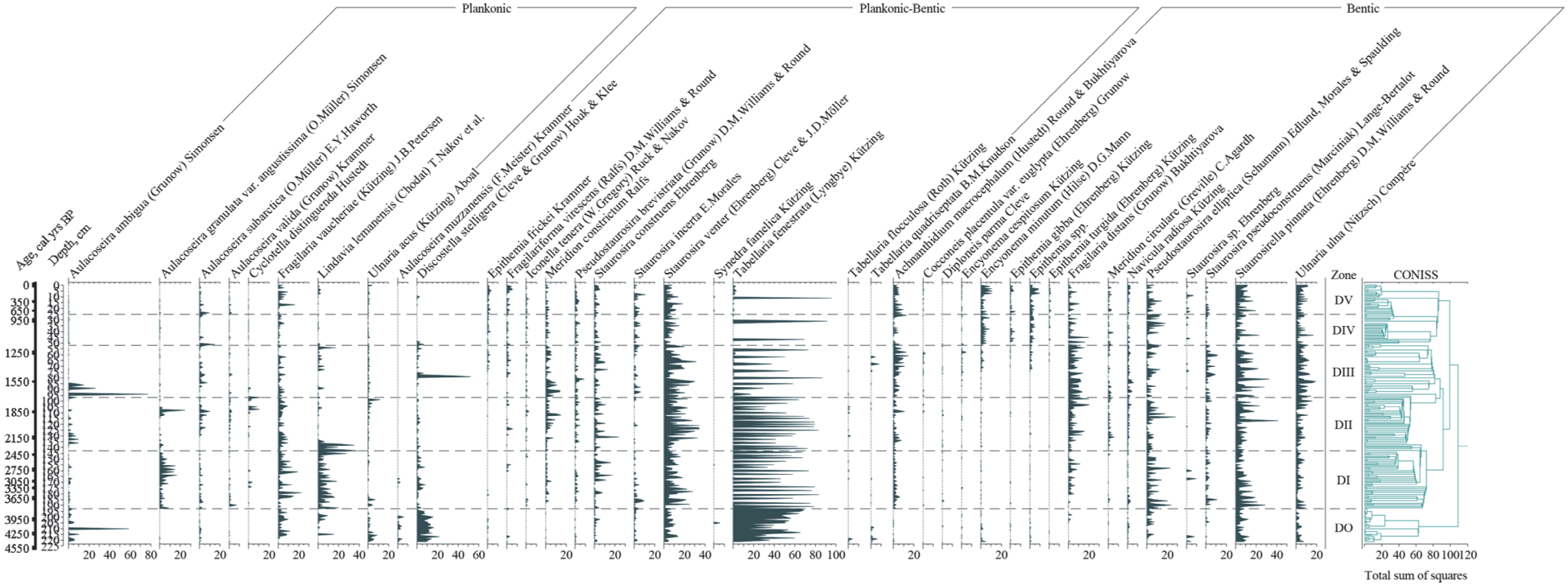


Рис. Распределение диатомовых водорослей в донных отложениях озер Заповедное, Пеюнгда и Чеко (DO-DV обозначены зоны)

ЗонаDIV (784-458BP). Увеличение доли галофобных обрастателей стояче-текучих вод и теплолюбивых видов.

ЗонаDV (458-0BP). Некоторое снижение доли видов-обрастателей, увеличение проточных видов, увеличение симбионтов азотфиксирующих бактерий=увеличение стока воды в озера. Наблюдаемое в современный период развития эвтрофицирование этих олиготрофных озёр, вероятно, является следствием антропогенного фактора [Диатомовые … , 1974; Давыдова, 1985]. Скорее всего, это связано с увеличением средних температур на Земле, вызванных глобальным потеплением климата, ведущих к таянью льдов вечной мерзлоты, залегающих под местом нахождения озера.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-17-00185 (продление) https://rscf.ru/project/22-17-00185.

Список литературы

Баринова С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив : Pilies Studio Press, 2006. 498 с.

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные) / редкол.: Глезер З. И., Жузе А. П., Макарова И. В., Шешукова-Порецкая В. С. Л. : Наука, 1974. 403 с.

Давыдова Н. Н. Диатомовые водоросли-индикаторы природных условий водоемов в голоцене. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. 253 с.

Палеолимнология оз. Большого щучьего (Полярный Урал) в позднем плейстоцене-галоцене по данным диатомового анализа / А. В. Лудикова, М. Баумер, Г. Б. Федоров, М. Меллес // Пути эволюции и географии : материалы II Всерос. науч. конф., посв. памяти проф. А. А. Величко. М., 2021. С. 202–206.

Bolobanshchikova G. N., Palagushkina O. V., Rogozin D. Y. Diatom Complexes in Modern Bottom Sediments of Lakes of the Central Tunguska Plateau, Evenkia // Contemporary Problems of Ecology. 2023. Vol. 16, N 2. P. 103–117. DOI: 10.1134/S199542552302004X

Grimm E. Tilia software 2.0.2. Springfield, Illinois State Museum Research and Collection Center, 2004.

УДК 571.27

ПОИСК ГЕНОВ ИММУННОГО ОТВЕТА В ТРАНСКРИПТОМЕ КАМЕННОЙ ШИРОКОЛОБКИ *PARACOTTUS KNERII*

Е. В. Борвинская *, П. Б. Дроздова, В. К. Помазкин, Ю. А. Широкова, Е. Б. Индосова, М. А. Тимофеев, А. Н. Гурков

Иркутский государственный университет, НИИ биологии
(Россия, 664025, Иркутск, ул. Ленина, 3)
**Автор для переписки: borvinska@gmail.com*

Аннотация. Целью исследования является изучение особенностей работы иммунной системы байкальских рыб каменной широколобки *Paracottus knerii*. Для это с помощью NGS-секвенирования был получен, аннотирован и впервые выложен в открытый доступ транкриптом этого вида рыб, а также произведен поиск генов, гомологичных генам иммунного ответа у других позвоночных. Полученные результаты указывают на достаточную полноту и качество сборки опубликованного транскриптома, который также может быть использован для поиска других функциональных белков у *P. knerii*. С использованием полученной базы данных была впервые произведена оценка уровня тканевой экспрессии цитокинов *il8* и *tgfb* в мышцах, печени и селезенке каменной широколобки.

Ключевые слова: широколобка, Cottidae, иммунитет, транскриптом, цитокины

Каменная широколобка *Paracottus knerii* (Dybowsky, 1874) является типичным представителем литорали оз. Байкал. Этот вид хорошо адаптируется к содержанию в лабораторных условиях и, как типичный представитель байкальской ихтиофауны, представляет интерес для проведения модельных исследований по физиологии и экотоксикологии [Sex Associated ... , 2021; Early ... , 2022]. Однако по-прежнему мало известно о молекулярной биологии байкальских широколобок, в частности об особенностях функционирования их иммунной системы. Известно, что паразитофауна этих рыб отличается значительным видовым разнообразием и высокой долей эндемизма [Русинек, 2007, 2023]. При этом каменные широколобки могут быть хозяевами до 7 видов паразитов одновременно [Русинек, 2007]. В свою очередь, в лабораторных условиях, нами была отмечена значительная чувствительность мальков и молоди широколобок к различным паразитарным заболеваниям, тогда как взрослые особи отличались устойчивостью к инфекциям и быстрым ранозаживлением.

Для изучения особенностей работы иммунитета широколобок на молекулярном уровне, нами была поставлена задача описать общий пул экспрессирующихся у *P. knerii* генов иммунного ответа и количественно оценить уровень тканевой экспрессии некоторых из них. Так как в свободном доступе данные нуклеотидных последовательностей широколобок ограничены митохондриальными геномами, для целей проекта мы провели секвенирование, сборку и аннотацию транкриптома *P. knerii* [De novo ... , 2025].

Транскриптом был получен из образца целого малька *P. knerii* (15 мм, 0+) с удаленным кишечником, пойманного в р. Ангаре (г. Иркутск) в 2024 г. Митохондриальные последовательности в сборке транскриптома широколобки были почти идентичны последовательностям референсного митохондриального генома *P. knerii* [NCBI GenBank; Complete ... , 2021], подтверждая, что образец принадлежит этому виду. После очистки от возможного загрязнения полученная сборка была опубликована в NCBI TSA под номером GLBE00000000 [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/GLBE00000000.1; De novo … , 2025].

Чтобы оценить разнообразие иммунных белков в транскриптомной сборке *P. knerii*, мы оценили количество транскриптов, относящихся к метаболическим путям в базе KEGG, связанным с иммунной системой. В каждом пути были обнаружены от десятков до сотен транскриптов, что сопоставимо с результатами аналогичного анализа транскриптома рыб *Betta splendens* [Transcriptome … , 2020]. Полученные результаты указывают на достаточную полноту сборки транскриптома, который также может быть использован для поиска других функциональных белков у *P. knerii*.

Для того чтобы получить возможность оценивать иммунный статус широколобок *in vivo*, среди иммунных генов *P. knerii* были отобраны такие, для которых у других видов рыб ранее было показано изменение экспрессии при антигенной нагрузке. К этим последовательностям были подобраны праймеры для измерения экспрессии целевых генов методом количественной ПЦР. Эффективность амплификации была проверена на образцах мышц, печени и селезенки взрослой здоровой широколобки. Хорошая расчетная эффективность была получена для пар праймеров интерлейкина *il8* (F: AAAGCTCTGAAAAGGTCTGCCT, R: GGTACTTTCCATCGGTGCTTTG) и фактора роста опухоли *tgfb* (F: TGGTTTTGGAGAGGACAGAAGG, R: AAAACAGAGGAAAGCGTGAAGC), а также генов домашнего хозяйства актина *act* (F: GATCACTGGAACATCTCAGGCT, R: GTCTGGCCGTTCTTGGAGATAC) и фактора элонгации *ef* (F: ATGCTTTGGTATCCTCACGGTT, R: TCTTGCTTGCTGATCCACATCT). При этом в здоровой рыбе экспрессия провоспалительного цитокина *il8* и противоспалительного цитокина *tgfb* была зарегистрирована во всех исследованных тканях и ожидаемо была минимальной в мышцах и максимальной в органах с иммунной функцией (селезенка и печень).

Благодарности. Исследование поддержано Российским научным фондом в рамках проекта № 24-74 00095 (https://rscf.ru/ru/project/24-74-00095/).

Список литературы

Русинек О. Т. Паразитофауна песчаной и каменной широколобок (Scorpaeniformes, Cottidae) из озера Байкал (обзор результатов и перспективы исследований) // Паразитология. 2023. Т. 57, № 6. С. 481–497.

Русинек О. Т. Паразиты рыб озера Байкал (фауна, сообщества, зоогеография, история формирования). М. : Тов-во науч. изд., 2007. 571 с.

Complete mitochondrial genomes of representatives of two endemic sculpin families (Perciformes: Cottoidei) from Baikal – the world's largest and deepest lake / N. Mugue, A. Barmintseva, A. Etingova [et al.] // Mitochondrial DNA Part B. 2021N 6. P. 3190–3192.

De novo transcriptome assembly of the Baikal stone sculpin Paracottus knerii (Dybowski, 1874) from the Angara River as the first transcriptomic resource for Lake Baikal Cottidae / V. Pomazkin, P. Drozdova, E. Borvinskaya [et al.] // Acta Biologica Sibirica. 2025. N 11. P. 541–550.

Early structural and functional changes in Baikal Sculpin gills exposed to suspended soot microparticles in experiment / N. P. Sudakov, I. V. Klimenkov, Y. D. Bedoshvili [et al.] // Chemosphere. 2022. N 290. Art. 133241. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.133241

Sex Associated Effects of Noise Pollution in Stone Sculpin (*Paracottus knerii*) as a Model Object in the Context of Human Induced Rapid Environmental Change / Y. P. Sapozhnikova, A. G. Koroleva, V. M. Yakhnenko [et al.] // Biology. 2021. N 10. Art. 1063. DOI: 10.3390/biology10101063

Transcriptome analysis identifies immune-related genes and antimicrobial peptides in Siamese fighting fish (*Betta splendens*) / P. Amparyup, W. Charoensapsri, N. Samaluka [et al.] // Fish & Shellfish Immunology. 2020. N 99. Art. 403413. DOI: 10.1016/j.fsi. 2020.02.030

УДК 639.3

АКВАКУЛЬТУРА ДЕСЯТИНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ В МИРЕ И РОССИИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Р. Р. Борисов, Н. В. Кряхова *, Л. В. Воробьева

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 105187, Москва, Окружной просп.,19)
**Автор для переписки: nvkryakhova@vniro.ru*

Аннотация. Аквакультура десятиногих ракообразных – одно из активно развивающихся направлений в мире. Наиболее массово культивируемыми группами являются: креветки (68 % от всего объема продукции), речные раки (23 %), крабы (10 %). Выбор объектов культивирования определяется их требованиями к составу и качеству воды (соленостью, температурой, ионным составом), а также особенностями жизненного цикла. В России есть два перспективных направления развития аквакультуры декапод: культивирование быстрорастущих тропических низкоинвазивных видов (например, белоногая креветка, австралийский красноклешневый рак) и выращивание нативных видов с целью восполнения популяций.

Ключевые слова: аквакультура, десятиногие ракообразные, креветки, раки, крабы, нативные виды

Аквакультура десятиногих ракообразных является одним из наиболее динамично развивающихся направлений аквакультуры за последнее время. С начала 2000-х гг. в мире наблюдалось значительное увеличение скорости роста объемов производства аквакультурной продукции. За последние два десятилетия объемы производства увеличились более чем в два раза, и в 2022 г. выращено 12,75 млн т десятиногих ракообразных, что более чем в два раза превышает объем их вылова (5,8 млн т). Согласно данным ФАО лидерами как по числу культивируемых видов, так и по объёму производства являются креветки, на долю этой группы в 2022 г. приходилось 68 % от общей продукции аквакультуры декапод. На втором месте речные раки – 23 %, затем крабы – 10 %.

Выбор объектов для аквакультуры определяется такими биологическими параметрами, как оптимальная температура среды, отношение к солености воды, этапы жизненного цикла и их продолжительность. Рассматривая биологические особенности основных аквакультурных видов десятиногих ракообразных, можно отметить, что подавляющее большинство видов являются тепловодными, с оптимумом для роста и развития в диапазоне 26–30 °С. Высокие температуры коррелируют с высокой скоростью роста и позволяют получать особей товарного размера в кратчайшие сроки, собирая два и более урожая в год.

В зависимости от солености воды, в которой проводится содержание гидробионтов, аквакультура десятиногих ракообразных подразделяется на пресноводную, солоноватоводную, а также марикультуру. Около 66 % продукции приходится на солоноватоводные виды. При этом для получения молоди и культивирования взрослых особей часто требуются разные условия. Такая специфика культивирования обусловлена особенностью жизненного цикла видов. Так, у креветки *Penaeus vannamei* размножение и личиночное развитие происходит в морской воде, тогда как молодь для кормления и роста мигрирует в эстуарии. В связи с существенным различием биотехник и требований к характеристикам воды можно разделить производственный цикл культивирования таких видов на два этапа: получение молоди или ее подращивание до товарного размера.

Среди видов, культивируемых в пресных водоемах, широко представлены амфидромные и катадромные виды. Катадромные виды, такие как китайский мохнаторукий краб *Eriocheir sinensis*, большую часть жизненного цикла обитают в пресной воде, но спаривание и развитие личинок у них происходит в воде с более высокой соленостью. У амфидромных видов, например гигантской пресноводной креветки *Macrobrachium rosenbergii*, спаривание происходит в пресной воде, а развитие личинок при солености 10–20 ‰. Тип личиночного развития, плодовитость и другие репродуктивные характеристики определяют технологи-

ческие подходы и характер биотехники. Например, сложное и продолжительное личиночное развитие как у лангустов или длительное развитие от личинки до товарного размера, как у камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815), делают выращивание их в искусственных условиях на современном этапе нерентабельным.

В России, где аквакультура десятиногих ракообразных на данный момент не получила значительного развития, наиболее перспективными могут быть два направления. Это культивирование тропических быстрорастущих низкоинвазивных видов, температурный оптимум которых не позволит им перенести зимние температуры в естественных водоемах, а, следовательно, самостоятельно распространиться по территории России. К таким видами можно отнести белоногую креветку *Penaeus vannamei* и австралийского красноклешневого рака *Cherax quadricarinatus*. Их выращивание возможно в южных регионах России с помощью комбинированной технологии, сочетающей прудовое выращивание и содержание в условиях УЗВ. Кроме того, важным фактором для аквакультуры является возможность использования соленой воды из естественных источников. Так, для белоногой креветки *Penaeus vannamei*, размножение и личиночное развитие которой происходит в морской воде с соленостью близкой к океанической, тогда как молодь для кормления и роста мигрирует в эстуарии. Вторым направлением является выращивание нативных видов с целью восполнения популяции. Это особенно важно для видов, состояние популяций которых вызывает опасения. Примером таких видов может послужить длиннопалый рак *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823). Для данного вида имеется существенное количество разработанных подходов к культивированию, выполненных в различных частях ареала, в той или иной степени учитывающих региональную специфику и включающих экстенсивные и интенсивные элементы культивирования. Однако в настоящее время они требуют актуализации методов и доработки технологий.

Развитие технологий в области аквакультуры, таких как улучшенные методы разведения, кормления и управления качеством воды, способствует успешному выращиванию десятиногих ракообразных. Анализируя мировой опыт в области аквакультуры, можно отметить, что объемы выращенной продукции с каждым годом увеличиваются. И несмотря на то, основу всех получаемой продукции составляют ограниченное количество объектов, постепенно происходит расширение спектра культивируемых видов. Аквакультура ракообразных в России имеет большие перспективы развития не только в направлении получения товарной продукции, но и для восстановления популяций и увеличения запасов. В заключение также хочется отметить, что происходящее в мире глобальное потепление может стать стимулом расширения тепловодной аквакультуры в южных регионах России, так как в последние годы наметился ощутимый тренд повышения температуры воды в Азовском и Черном море.

УДК 574.583

ВЕСЕННИЙ ФИТОПЛАНКТОН БОГУЧАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В 2024 Г.

В. В. Бузевич*, А. М. Марченков, Ю. П. Галачьянц, А. И. Таничев, А. Д. Фирсова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: vasilisa.buzevich@mail.ru*

Аннотация. Цель данной работы изучение видового состава и структуры весеннего фитопланктона Богучанского водохранилища после девятилетнего перерыва. Исследования показали, что весной 2024 г. к доминирующим видам относились диатомовые водоросли – *Stephanodiscus minutulus, Asterionella formosa, Aulacoseira islandica, Fragilaria radians, Ulnaria acus* и *Fragilaria crotonensis.* Количественные показатели и состав доминирующего комплекса распределялись неравномерно. Максимальная численность фитопланктона составляла 640 тыс. кл./л, а биомасса 752 мг/м^3, в приплотинной части Богучанского водохранилища, что существенно ниже показателей 2016 г. Анализ данных показал, что видовой состав доминирующего комплекса не претерпел значительных изменений по сравнению с предыдущими исследованиями.

Ключевые слова: Ангара, Богучанское водохранилище, фитопланктон, диатомовые, биомасса, численность

Сегодня на р. Ангаре функционирует каскад водохранилищ, включающий четыре гидроэлектростанции: Иркутскую, Братскую, Усть-Илимскую и Богучанскую. Богучанское водохранилище представляет собой четвёртую, самую нижнюю ступень этого каскада. Строительство Богучанского гидроузла было начато в 1980 г., однако после продолжительной паузы оно было возобновлено лишь в 2006 г. Наполнение водохранилища состоялось в 2012–2014 гг.

Создание водохранилищ приводит к изменению условий обитания речной биоты, в первую очередь фитопланктона, являющегося основным звеном пищевой цепи. Фитопланктон, играющий ключевую роль в экосистемах и быстро реагирующий на изменения окружающей среды, обладает характерными сезонными особенностями развития, которые оказывают влияние как на его видовой состав, так и на численность. Проведенные после наполнения водохранилища в мае-июне 2016 г. исследования [Усольцева, Титова, 2017] показали, что состав и количественные показатели фитопланктона изменились по сравнению, с данными, полученными в 1984 г., до зарегулирования [Воробьева, 1995]. На приплотинном участке в мае-июне 2016 г. абсолютным доминантном был *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve & Möller, составляя до 95 % от общей численности 9 млн кл./л [Усольцева, Титова, 2017].

Нами исследовано сообщество микроводорослей Богучанского водохранилища в 2024 г. Пробы были отобраны в период с 1 по 16 июня на восьми станциях батометром Нискина с глубин до 10 м. Прозрачность воды определяли диском Секки, температуру воды и pH полевым прибором в момент отбора проб. Исследования проводили с помощью световой и электронной микроскопии по ранее описанным методам [Environmental ... , 2023].

Температура воды за время исследований изменялась от 4,1 до 7,6 °С. Прозрачность колебалась от 4,5 до 6 м. Всего обнаружено 30 видов из шести отделов микроводорослей: Bacillariophyta (11 таксонов) и Chlorophyta (6 таксонов), Chrysophyta (4 таксона), Cryptophyta (3), Dinophyta (4), Charophyta (2). Общие численность и биомасса фитопланктона варьировали от 213,4 до 639,8 тыс. кл./л и от 85,1 до 752,1 мг/м^3 соответственно (рис.). Среди обнаруженных видов можно выделить несколько видов, которые вносили значимый вклад в численность и биомассу фитопланктона, но распределялись по станциям неравномерно. На четырех станциях по численности доминировали: крупноклеточные виды диатомовых водорослей *Asterionella formosa* Hassall, *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen,

Fragilaria radians (Kützing) D. M. Williams & Round, *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal, *Fragilaria crotonensis* Kitton и виды золотистых рода *Dinobryon* (*D. divergens* Imhof и *D. sociale* var. *americanum* (Brunnthaler) Bachmann). На четырех станциях, доминировали мелкие центрические диатомеи, из которых основную массу составлял *S. minutulus*, занимая от 40 до 85 % от общей численности. Причем в районе плотины наблюдалась наиболее высокая численность этого вида (385 тыс. кл./л). В состав субдоминантов также входили: зеленая *Sphaerocystis* sp. и динофитовые *Glenodinium* sp., *Peridinium* sp.

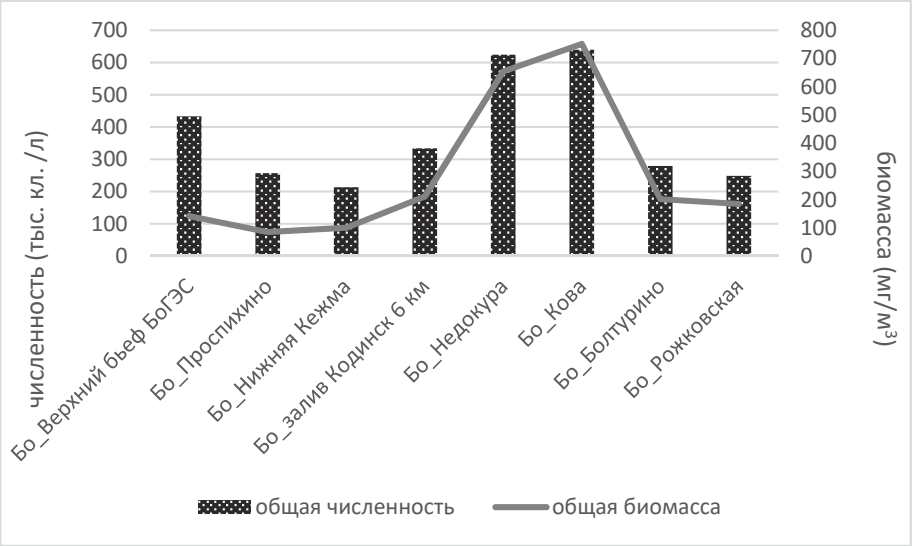


Рис. Распределение общей численности и биомассы в Богучанском водохранилище в июне 2024 г.

Анализ полученных данных показывает, что фитопланктон Богучанского водохранилища в июне 2024 г. сохраняет свой основной видовой состав с 2016 г. Однако количественные показатели фитопланктона были ниже, по сравнению с предыдущими исследованиями. Для получения более полной оценки состояния фитопланктона требуются регулярные исследования.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14- 00028, https://rscf.ru/project/23-14-00028/.

Список литературы

Воробьева С. С. Фитопланктон водоемов Ангары / РАН СО. Лимнол. ин-т ; ред. Поповская Г. И., Скрябин А. Г. Новосибирск, 1995. 126 с.

Усольцева М. В., Титова Л. А. Фитопланктон приплотинного участка Богучанского водохранилища в 2016–2017 гг. // Acta Biologica Sibirica. 2017. Vol. 3(3). P. 57–65. DOI: 10.14258/abs.v3i3.3616

Environmental factors affecting distribution and diversity of phytoplankton in the Irkutsk Reservoir ecosystem in June 2023 / A. Firsova, Y. Galachyants, A. Bessudova [et al.] // Diversity. 2023. Vol. 15. Art. 1070. DOI: 10.3390/d15101070

УДК 574.58:579.266

ВОЗМОЖНАЯ РОЛЬ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ФОРМИРОВАНИИ АУТИГЕННЫХ СИДЕРИТОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

С. В. Букин[1]*, А. В. Ломакина[1], Т. В. Погодаева[1], С. С. Воробьева[1], Т. И. Земская[1], А. А. Крылов[1, 2, 3]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, Улан-Баторская, 3)
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. акад. И. С. Грамберга (Россия, 190121, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 124)
[3] Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о земле (Россия, 199034, Санкт-Петербург, 10-я линия В. О., 31−35)
**Автор для переписки: sergeibukin@lin.irk.ru*

Аннотация. Оценено возможное влияние микробных сообществ на осаждение сидеритов ($FeCO_3$), аномально обогащенных изотопом ^{13}C ($\delta^{13}C$ +7,24‰…+35,02‰ VPDB), обнаруженных в донных отложениях нефте-метанового сипа и грязевых вулканов оз. Байкал. Полученные данные свидетельствуют о том, что в грязевых вулканах роль микроорганизмов может сводиться к восстановлению кристаллических форм оксигидроксидов Fe(III) до сидерита, при этом источником углерода, обусловливающим их обогащение изотопом ^{13}C, вероятно, выступают растворённый неорганический углерод (DIC) или газообразный CO_2, поступающие с флюидом. В нефте-метановом сипе осаждение сидерита также может быть связано с пополнением пула DIC за счет биогенной деструкции биомассы диатомей.

Ключевые слова: Байкал, аутигенные карбонаты, сидерит, микробные сообщества

В донных отложениях морских метановых сипов анаэробные метан-окисляющие археи активно продуцируют обеднённый изотопом ^{13}C DIC, что способствует увеличению щёлочности и формированию карбонатов с выраженно отрицательными значениями $\delta^{13}C$ ($\leq$ –20‰ VPDB (Vienna PeeDee Belemnite)). В осадках Байкала формирование карбонатов также приурочено к зонам разгрузки углеводород-насыщенных флюидов, однако они характеризуются положительными значениями $\delta^{13}C$, а в качестве процесса, способствующего созданию условий для их осаждения, была предложена активная локальная метаногенная деструкция ОВ в сочетании с химическим выветриванием силикатов [First ... , 2008].

Чтобы оценить возможное влияние микроорганизмов на формирование ^{13}C-обогащённых сидеритов в осадочной толще Байкала, мы проанализировали химический состав поровых вод, а также методом метабаркодинга гена 16S рРНК сравнили состав микробных сообществ сидеритов и окружающих донных отложений, отобранных в 2019–2020 гг. в районах нефте-метанового (н-м) сипа Большая Зеленовская и трёх грязевых вулканов (г/в) – Маленький, Кукуй К-9 и Кедр-1.

В районах г/в конкреции, состоящие из смеси сидерита и кристаллов алюмосиликатов диаметром до 1,5 см, были обнаружены в восстановленных слоях донных отложений на глубинах от 27 до 165 см. В осадках г/в Маленький и Кукуй К-9 значения $\delta^{13}C$ сидеритов составляли +7,2 и +7,7 ‰ VPDB соответственно, тогда как для карбонатов из г/в Кедр-1 они варьировали в диапазоне +28,5 ‰…+35,0 ‰ VPDB. Повышенного содержания HCO_3^- в интервалах обнаружения сидеритов в г/в не фиксировалось, но в случае г/в Маленький и Кукуй К-9 наблюдалось снижение содержания Fe^{2+}, что могло являться следствием его аккумуляции в карбонатных конкрециях. Концентрации Fe^{2+} в осадках г/в Кедр-1 были выше и варьировали в диапазоне 1,33–26,8 мг/л, а падения содержания Fe^{2+} в зоне обнаружения сидеритов отмечено не было. В сидеритвмещающих прослоях всех г/в выявлено повышенное содержание аммония (0,8–8,2 мг/л), а также локальное увеличение концентраций CH_3COO^- (33,8–38,6 мг/л) в случае г/в Кедр-1, что может выступать индикатором активных процессов анаэробной деструкции ОВ. Сравнение микробных популяций сидеритов из г/в и окружающих их донных отложений показало, что для сообществ сидеритов, характерна большая

относительная численность представителей *Thermodesulfovibrionia* и *Desulfobacterota*, а также бактерий рода *Caldisericum*, потенциально способных восстанавливать различные соединения серы и Fe(III). В окружающих восстановленных осадках была велика доля микроаэрофильных железоокисляющих бактерий родов *Gallionella* и *Sideroxydans*, которые могут служить индикатором перемешивания или захоронения Fe-Mn слоёв, обогащённых оксигидроксидами Fe(III), формирование которых происходит на нижней границе проникновения O_2 и характерно для донных отложений глубинной зоны Байкала. Доля метаногенов, способных обеспечить обогащение пула DIC тяжёлым изотопом углерода, в среднем была выше в микробных сообществах окружающих донных отложений (14,8 %), а не сидеритов (10,3 %), тогда как вклад метанотрофных архей семейства *Methanoperedensaceae* достоверно не различалась (16,81 % / 17,01 %). Полученные данные о текущем составе и структуре микробных сообществ сидеритов ставят под сомнение их роль как основного источника углерода карбонатов, однако не исключают того, что они могли обеспечить формирование сидеритов путём биогенного восстановления оксигидроксидов Fe(III) в условиях активного поступления с флюидом DIC или CO_2 с положительными значениями $\delta^{13}C$.

Сидерит ($\delta^{13}C$ = +14. 8‰ VPDB), обнаруженный в донных отложениях н-м сипа на глубине 260 см, отличался от найденных в г/в большими размерами (до 5 см), имел пластинчатую форму и характеризовался присутствием большого количества створок диатомовых водорослей. Поровые воды н-м сипа имели высокие концентрации HCO_3^- – до 288 мг/л в карбонатсодержащем слое и до 700 мг/л в прилегающем к нему слое 250 см. Концентрации Fe^{2+} в поровых водах карбонатсодержащего осадка (1,0 мг/л), были ниже чем в соседнем прослое (≈1,5 мг/л). Кроме того, в прилегающем к сидериту осадке фиксировалось увеличение содержания ионов Cl^- (до 96,0 мг/л) и NO_3^- (до 0,6 мг/л), что может быть обусловлено не только процессами деструкции захороненных органических субстратов, но и связано с их поступлением с поровыми водами из глубинной зоны. В сообществе сидерита превалировали хемоорганотрофные и хемолитотрофные бактерии (*Actinobacteriota*, *Acidobacteriota*, *Atribacterota*, *Chloroflexota*) и археи (*Bathyarchaeia*, *Hadarchaeota*), потенциально способные сбраживать широкий круг органических субстратов в синтрофных ассоциациях с метаногенными археями, среди которых доминировали гидрогенотрофные представители *Methanoregulaceae* (11 %). Доля *Methanoperedensaceae* составляла менее 2 %. Таким образом, положительные значения $\delta^{13}C$ сидерита из н-м сипа могли быть обусловлены не только поступающим с флюидом DIC, но и обеспечиваться доминирующими в сообществе метаногенными археями, обогащающими пул DIC тяжёлым изотопом углерода в процессе деструкции органического вещества непосредственно в зоне его осаждения.

Благодарности. Авторы выражают благодарность А. В. Хабуеву, О. М. Хлыстову, а также сотрудникам ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала» и «Ультрамикроанализ» ЛИН СО РАН за помощь в отборе образцов и проведении анализов. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (НИОКТР 121032300223-1 [0279-2021-0006]).

Список литературы

First discovery and formation process of authigenic siderite from gas hydrate-bearing mud volcanoes in fresh water: Lake Baikal, Eastern Siberia / A. Krylov, O. Khlystov, T. Zemskaya [et al.] // Geophys Res Lett. 2008. Vol. 35, N 5. Art. L05405. DOI: 10.1029/2007gl032917

УДК 574.587(282.256.341)

ВЛИЯНИЕ МЕТОДИКИ ОТБОРА ПРОБ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕНТОСНЫХ МАКРОБЕСПОЗВОНОЧНЫХ КАМЕНИСТОЙ ЛИТОРАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Н. А. Букшук*, Н. В. Максимова, А. А. Морозов, А. В. Непокрытых, Н. А. Рожкова, н О. А. Тимошкин

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: lin7t@yandex.ru*

Аннотация. Важным условием биологического мониторинга является сравнимость данных разных исследований. В каменистой литорали Байкала – зоне, отличающейся повышенной продуктивностью и биоразнообразием – для отбора проб бентоса традиционно использовали два метода: рамочный метод и отбор отдельных камней. В настоящей работе проведено сравнение количественных показателей макрозообентоса в пробах, отобранных этими двумя методами в районах с разной антропогенной нагрузкой. Общие количественные показатели были выше в пробах с отдельных камней. Соотношение численности разных групп беспозвоночных зависело от методики отбора. При сравнении районов с различной интенсивностью антропогенного воздействия разные методы отражали разные тенденции. Таким образом, непосредственное сравнение проб, собранных различными методами, может значительно повлиять на результаты экологического мониторинга.

Ключевые слова: Байкал, макрозообентос, методики отбора проб, антропогенное воздействие, мониторинг

Бентос каменистой литорали Байкала отличается высокой продуктивностью и биоразнообразием [Кожов, 1962], что делает его важным объектом экологического мониторинга. Необходимым условием мониторинга является возможность сравнения данных из разных исследований. Цель настоящей работы – провести сравнительный анализ качественных и количественных показателей макрозообентоса в пробах, собранных с помощью рамки и с отдельных камней, а также определить, как методика пробоотбора влияет на конечные выводы и результаты исследований.

Пробы отбирали на каменистой литорали Байкала в 2013–2016 гг. с глубины 3–4 м на двух станциях: междисциплинарном полигоне Березовый (к северу от пос. Листвянка, 51°50'77" N 104°54'072" E) и на станции Нерпинарий (напротив одноименного учреждения в пос. Листвянка, 51°50'31" N 104°51'49" E). Для полигона Березовый характерен умеренный уровень антропогенного влияния: здесь отсутствуют устья рек и населённые пункты; основным фактором является пеший и водный туризм. На станции Нерпинарий наблюдается значительно более интенсивное антропогенное воздействие из-за впадения в Байкал р. Бол. Черемшаная, протекающей через пос. Листвянка, активного судоходства и интенсивной рекреационной нагрузки. На обеих станциях пробы макрозообентоса были отобраны аквалангистами параллельно двумя методами: рамочным (32 пробы) и методом отдельных камней (38 проб). Камеральную обработку проб проводили по общепринятой гидробиологической методике.

Анализ проб показал, что средние значения общей численности и биомассы на 1 м^2 дна на обеих станциях были выше в пробах с отдельных камней. На полигоне Березовый средняя численность в пробах с камней составила 43 тыс. экз./м^2, а средняя биомасса – 203 г/м^2. В рамочных пробах эти показатели составили 16 тыс. экз./м^2 и 71 г/м^2. На станции Нерпинарий: в пробах с камней средняя численность составила 47 тыс. экз./м^2, а средняя биомасса – 57 г/м^2. В пробах из рамок аналогичные показатели были 23 тыс. экз./м^2 и 41 г/м^2 соответственно. При сравнении двух станций между собой по данным обоих методов на станции Нерпинарий средняя численность была выше, а биомасса – ниже, чем на полигоне Березовый.

Соотношение численности групп в пробах зависело от методики отбора. На обеих станциях в рамочных пробах доля олигохет была выше, а доля полихет, турбеллярий, ручейников и изопод – ниже. Меньше всего метод отбора влиял на долю моллюсков (рис.).

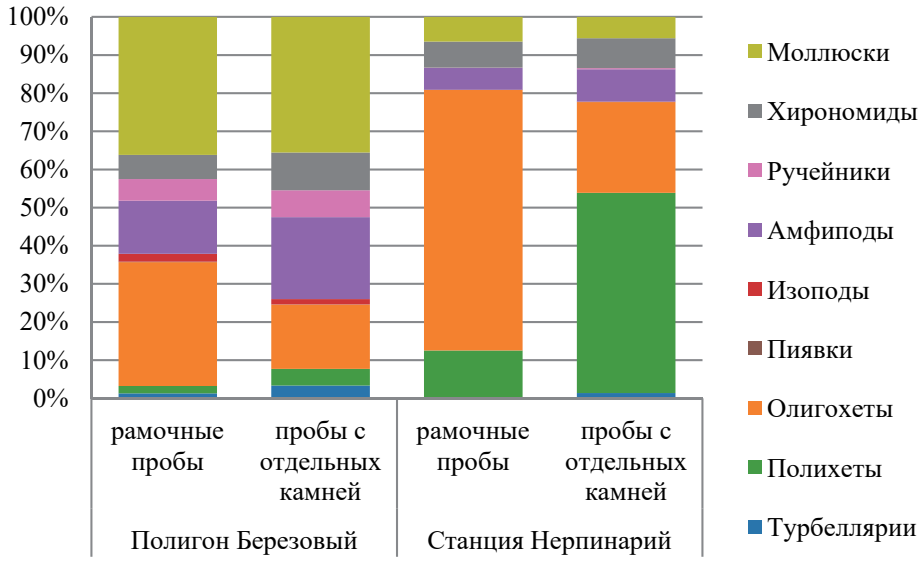


Рис. Соотношение численности основных групп макрозообентоса в пробах, собранных разными методами

Структура макрозообентоса различалась между станциями. На станции Нерпинарий и в рамочных пробах, и в пробах с отдельных камней преобладали свободноживущие аннелиды (81 и 76 % соответственно), но в пробах из рамок доминирующей группой были олигохеты (68 %), а на камнях – полихеты (52 %). На полигоне Березовый в рамочных пробах ведущими по численности группами были моллюски (36 %) и олигохеты (32 %), а в пробах с отдельных камней – только моллюски (36 %). Соответственно, при анализе рамочных проб можно сделать вывод, что в районе с повышенной антропогенной нагрузкой наблюдается сообщество с преобладанием олигохет, а по пробам с отдельных камней – с преобладанием полихет. По данным обоих методов на станции Нерпинарий доля в численности турбеллярий, изопод и ручейников была ниже, чем на полигоне Березовый, причем в рамочных пробах эти группы практически отсутствовали.

Проведенный анализ показывает, что результаты анализа проб, взятых из рамок и с отдельных камней, во многом не сопоставимы друг с другом, и прямое сравнение данных, полученных этими двумя методами, может привести к ошибочным выводам о состоянии и тенденциях изменения макрозообентоса.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 121032300180-7. Авторы выражают признательность сотрудникам лаборатории биологии водных беспозвоночных ЛИН СО РАН, выполнившим камеральную обработку проб.

Список литературы

Кожов М. М. Биология озера Байкал. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 315 с.

УДК 574.5:551.583.7

ДЛИННОЦЕПОЧЕЧНЫЕ АЛКЕНОНЫ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ (ЮГ СИБИРИ) КАК БИОМАРКЕРЫ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

А. О. Бульхин[1]*, В. В. Зыков[1], Д. Ю. Рогозин[1, 2], А. Н. Бояндин[1], Е. В. Безрукова[3]

[1]Институт биофизики СО РАН (Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50)
[2]Сибирский федеральный университет (Россия, 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79)
[3]Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (Россия, 66403, Иркутск, ул. Фаворского, 1А)
**Автор для переписки: bulkhinlive@yandex.ru*

Аннотация. Целью исследования являлась оценка применимости длинноцепочечных алкенонов (C_{37}–C_{40}) – биомаркеров гаптофитовых водорослей, в качестве палеоиндикаторов солености для реконструкции изменений влажности климата Южной Сибири. Проанализирован состав алкенонов и их продуцентов в поверхностных отложениях 22 озер и кернах донных осадков озер Северо-Минусинской котловины (включая оз. Утичье-3, Шира, Варча) с использованием газовой хроматографии с масс-спектрометрией и методов датирования. Результаты показали резкое увеличение концентрации алкенонов при солености ~20 г $л^{-1}$. Вертикальные профили концентраций в кернах коррелировали с изменениями уровня озёр и солености, что подтверждалось индексами алкенонов и карбонатными слоями. Результаты показывают, что алкеноны могут являться биомаркером для реконструкции палеосолености и, следовательно, палеовлажности в аридных регионах Сибири.

Ключевые слова: длинноцепочечные алкеноны, индикатор солености, донные отложения, гаптофитовые водоросли, Южная Сибирь, палеоклиматология

В Азии идет активное изучение климатических изменений [Late Holocene ... , 2022], однако данные по Сибири остаются ограниченными. Минусинская котловина на юге Сибири представляет особый интерес для палеоклиматических исследований благодаря сформировавшемуся полуаридному микроклимату, более мягкому по сравнению с окружающей территорией. В засушливых регионах бессточные озера чувствительны к балансу осадков и испарения, что отражается на уровне воды и солености. Реконструкция солености по донным осадкам таких озер – ключ к пониманию прошлых изменений влажности и окружающей среды в прошлом. Современные молекулярные методы позволяют изучать устойчивые органические соединения в озерных осадках, включая длинноцепочечные алкеноны, которые синтезируются гаптофитовыми водорослями и могут служить биомаркером для реконструкции палеосолености [Long-chain ... , 2023].

Цель работы – проанализировать зависимость состава длинноцепочечных алкенонов и их продуцентов от физико-химических факторов среды в донных отложениях озер Северо-Минусинской котловины, а также дать оценку возможности использования алкенонов в качестве индикаторов для палеосолености.

В 2019–2021 гг. в Северо-Минусинской котловине были отобраны поверхностные отложения (1 см) из центральной части 22 озёр. В марте 2015 г. был извлечён замороженный керн (67 см) из оз. Утичье-3, в 2023 г. аналогичным образом – керн из оз. Шира (40,5 см). Весной 2021 г. сотрудники Института геохимии им. Виноградова с помощью установки UWITEC отобрали керн Shira-I-21 (159 см), а также керн Shira-II-21 (244 см), из которого была использована нижняя часть (146 см). В июле 2025 г. был получен керн из оз. Варча (67 см). Полевые измерения и отбор проб воды проводились рядом с точками отбора кернов. В 13 озёрах, где были найдены алкеноны, отбирались и пробы воды для анализа ДНК гаптофитовых водорослей. Осадки анализировались методом газовой хроматографии с масс-спектрометрией (ГХ-МС). Датировка керна оз. Утичье-3 была выполнена по изотопам ^{137}Cs, ^{210}Pb и ^{226}Ra. Керны Shira-I-21 и Shira-II-21 были датированы методом ^{14}C [Vegetation ... , 2024].

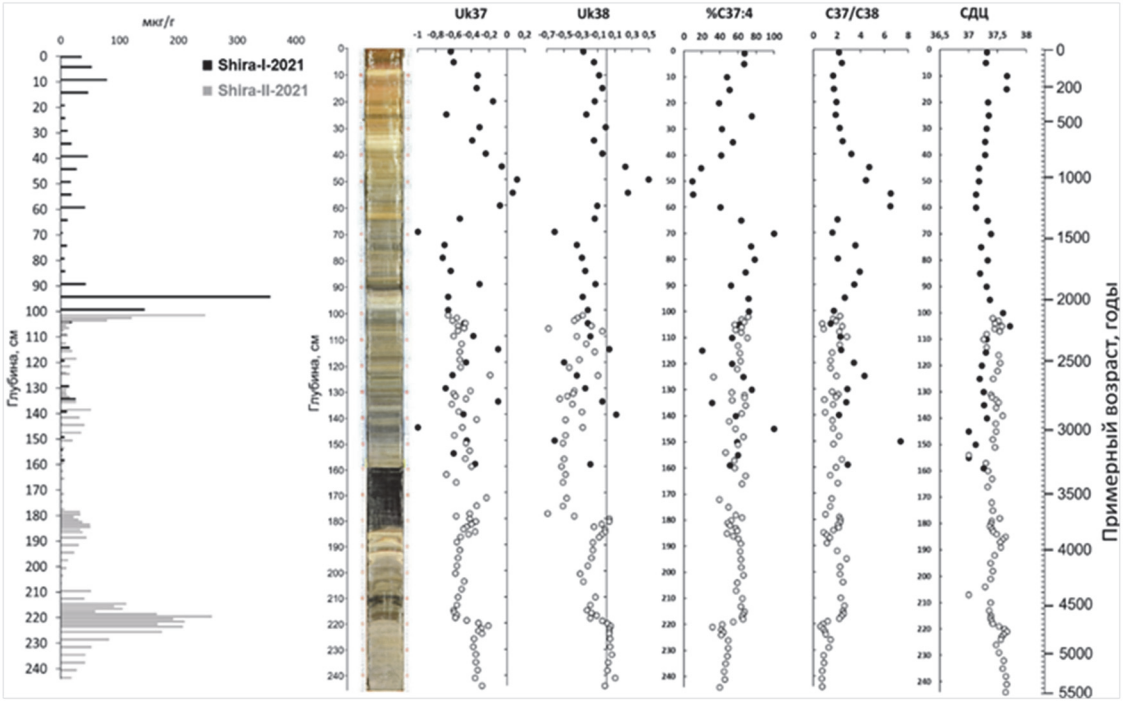


Рис. Вертикальное распределение общего количества алкенонов, а также индексов ненасыщенности C_{37} и C_{38}, доли $C_{37:4}$, отношения алкенонов C_{37}/C_{38} и средней длины углеродной цепи (СДЦ) в кернах Shira-I-21 и Shira-II-21

В осадках озёр Северо-Минусинской котловины были обнаружены алкеноны C_{37}–C_{40}. Их концентрация в поверхностных слоях резко возрастала при солёности около 20 г $л^{-1}$. В керне оз. Утичье-3 концентрации варьировали от 20 до 500 мкг $г^{-1}$ и отражали изменения уровня и солёности воды, что подтверждалось корреляцией с индексами C_{37}/C_{38} и средней длиной цепи (СДЦ). В кернах Шира (40,5 см), Shira-I-21 и Shira-II-21 повышение содержания алкенонов наблюдалось в карбонатных слоях, сформированных при понижении уровня воды (светлые слои, рис.). Дополнительно, в керне Варча были детектированы алкеноны на глубине, когда водоем был соленым. Следовательно, повышенное содержание алкенонов в кернах озер может рассматриваться как показатель палеовлажности климата на территории юга Сибири. Было также установлено сходство таксономического состава алкенон-продуцентов с солёными озёрами степных регионов Северной Америки и Евразии.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда, грант № 22-17-00185(продление). https://rscf.ru/project/22-17-00185.

Список литературы

Late Holocene vegetation and fire history in Western Putorana Plateau (subarctic Siberia, Russia) / E. Y. Novenko, N. G. Rudenko, N. G. Mazei [et al.] // The Holocene. 2022. Vol. 32, N 5. P. 433–441. DOI: 10.1177/09596836221074034

Long-chain alkenones in the lake sediments of North-Minusinsk Valley (southern Siberia): implications for paleoclimate reconstructions / A. O. Bulkhin, V. V. Zykov, D. N. Marchenko [et al.] // Organic Geochemistry. 2023. N 176. Art. 104541. DOI: 10.1016/j.orggeochem.2022.104541

Vegetation and Climate in the North of the Minusinsk Basin in the Late Holocene: A Record from Shira Lake Resolved by Decade / E. V. Bezrukova, S. A. Reshetova, N. V. Kulagina [et al.] // Doklady Earth Sciences. 2024. P. 1–6. DOI: 10.1134/S1028334X2460316X

УДК 574.5:574.6

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗООБЕНТОСА НИЗОВЬЕВ Р. СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ ЗА ЗИМНИЙ (ПОДЛЁДНЫЙ) ПЕРИОД 2024–2025 ГГ.

М. В. Бурмагин*, Н. Ю. Матвеев

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова УрО РАН
(Россия, 163020, Архангельск, просп. Никольский, 20)
**Автор для переписки: 98maxbur12@gmail.com*

Аннотация. В работе рассмотрены количественные (численность и биомасса) характеристики зообентоса нижнего течения р. Северной Двины за зимний (подлёдный) период 2024–2025 гг. На исследуемых участках реки было идентифицировано 10 видовых и надвидовых таксонов зообентоса. Преобладающими группами по численности являлись личинки Oligochaeta и Chironomidae, по биомассе доминировали моллюски Bivalvia. По участкам реки численность зообентоса испытывала лишь небольшие колебания, однако биомасса имела тенденцию к увеличению от русловой части реки к приустьевому взморью.

Ключевые слова: зообентос, нижнее течение, Северная Двина, таксономический состав, численность, биомасса

Работы проводились в зимний (подлёдный) период 2024–2025 гг. Был осуществлен сбор и проведена камеральная обработка 11 проб зообентоса на 4 участках, расположенных в нижнем течении р. Северной Двины: в черте г. Новодвинска, вблизи железнодорожного моста, в дер. Гневашево, в протоке р. Кузнечиха и в приустьевом взморье. Материал отбирался с использованием дночерпателя Петерсена с площадью захвата 0,025 м^2, промывка проб проводилась через мельничный газ № 23 с длиной стороны ячейки 0,333 мм. Отобранные организмы зообентоса фиксировались 4%-ным раствором формалина [Руководство … , 1992]. Таксономическая принадлежность организмов определялась с использованием соответствующих идентификаторов [Определитель … , 1977; Жадин, 1960].

В зимний период 2024–2025 гг. в таксономическом составе зообентоса нижнего течения р. Северной Двины было обнаружено 10 видовых и надвидовых таксонов донных организмов, объединённых в три типа: **Annelida** (*Tubifex* sp., Oligochaeta sp. *Nereis* sp.), **Arthropoda** (Chironomidae lv. и Ceratopogonidae lv.) и **Mollusca** (*Viviparus viviparous, Bithynia tentaculata, Euglesa* sp., *Dreissena polymorpha* и *Unio pictorum*).

Показатели развития донной фауны в нижнем течении р. Северной Двины за зимний период 2024–2025 гг. представлены в таблице.

Таблица. Значения численности (N, экз./м²) и биомассы (B, г/м²) донных беспозвоночных в нижнем течении р. Северной Двины в зимний период 2024–2025 гг.

Таксономический состав	Начало зимнего периода		Конец зимнего периода	
	N	B	N	B
Д. Гневашево				
Oligochaeta	331	1,07	270	0,48
Chironomidae	303	0,55	284	0,45
Bivalvia	47	42,38	71	23,12
Ceratopogonidae	–	–	85	0,11
Железнодорожный мост (левый берег)				
Oligochaeta	749	5,29	994	16,77
Chironomidae	653	5,46	710	6,67
Bivalvia	114	551,69	28	15,90
Amphipoda	28	0,24	-	-
Gastropoda	28	15,88	57	17,70

В районе проток р. Кузнечиха (со стороны Соломбальского района)				
Chironomidae lv.	455	0,07	-	-
Ceratopogonidae lv.	57	0,78	–	–
Gastropoda	50	31,22	–	–
Bivalvia	43	55,07	–	–
Polychaeta	28	0,03	–	–
Город Новодвинск				
Oligochaeta	185	1,56	–	–
Ceratopogonidae	71	0,14	–	–
Bivalvia	57	0,27	–	–
Приустьевое взморье нижнего течения р. Северной Двины				
Oligochaeta	–	–	85	2,56
Chironomidae lv.	–	–	114	0,60

В районе дер. Гневашево в начале и в конце зимнего периода основу по численности составляли представители олигохет (48,6 и 38,0 %) и хирономид (44,5 и 40,0 %), однако по биомассе преобладали двустворчатые моллюски (96,3 и 95,7 %). Цератопогониды присутствовали в пробах только в конце зимнего периода. На протяжении всего периода исследований **в районе железнодорожного моста** (левый берег) в пробах по значениям численности доминантная группа была представлена олигохетами (47,6 % и 55,5 %), субдоминантная – хирономидами (41,5 % и 39,7 %). В начале зимнего периода по биомассе доминировали двустворчатые (95,3 %), в конце – брюхоногие моллюски (31,3 %). Амфиподы были обнаружены только в пробах в начале зимнего периода. Также в этом районе были отмечены наибольшие значения по численности – 1789 экз./м² (в конце зимнего периода) и по биомассе – 578,56 г/м² (в начале зимнего периода) зообентоса. Далее в протоке р. Кузнечиха (со стороны Соломбалы) и в г. Новодвинск пробы зообентоса удалось отобрать только в начале зимнего периода, а в предустьевом взморье только в конце. В пробах **протока р. Кузнечиха** хирономиды составляли 71,4 % по численности от всех гидробионтов, по биомассе преобладали двустворчатые (55,1 %) и брюхоногие (31,2 %) моллюски. **В черте г. Новодвинска** в пробах было обнаружено преобладание олигохет как по численности (59,1 %), так и по биомассе (79,2 %). **В районе предустьевого взморья** в пробах бентоса присутствовали исключительно хирономиды (преобладали по численности – 57,3 %) и олигохеты (преобладали по биомассе – 81,0 %).

Таким образом, зообентос нижнего течения р. Северная Двина в зимний (подлёдный) период 2024–2025 гг. представлен 10 видовых и надвидовыми таксонами донных беспозвоночных. По численности преобладали присутствовавшие в большинстве пробах личинки Oligochaeta и Chironomidae, по биомассе доминировали моллюски Bivalvia. Численность зообентоса по участкам претерпевала небольшие колебания, однако биомасса имела тенденцию к увеличению от русловой части реки к приустьевому взморью.

Исследования проведены в ходе выполнения работ по теме лаборатории FUUW-2025-0034 «Изучение экосистем бассейнов речных систем, а также водоемов особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Европейского севера России в условиях климатических сукцессий и воздействия антропогенных факторов» № гос. регистрации – 125021902575-3.

Список литературы

Жадин В. И. Методы гидробиологических исследований. М., 1960. 191 с.

Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР / под ред. Кутикова, Л. А., Старобогатов Я. И. Л. : Гидрометеоиздат, 1977. 510 с.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. Абакумова В. А. СПб. : Гидрометеоиздат, 1992. 319 с.

УДК 578.2

РАЗНООБРАЗИЕ ВИРУСОВ В МОЛЛЮСКАХ, НАСЕЛЯЮЩИХ РАЗНЫЕ ГЛУБИНЫ ОЗ. БАЙКАЛ

Т. В. Бутина*, Н. В. Максимова, К. М. Кучер, С. В. Усов, В. А. Горев, Ю. С. Букин

Лимнологический институт СО РАН
(Росиия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: tvbutina@mail.ru*

Аннотация. Байкальские брюхоногие моллюски доминируют по биомассе среди других обитателей бентоса и играют значительную роль в биологических процессах озера. В настоящей работе проведен метатранскриптомный анализ моллюсков рода *Benedictia*, отобранных с разных глубин оз. Байкал, и изучено разнообразие вирусных последовательностей в образцах. В результате выявлен уникальный состав и разнообразие вирусов, циркулирующих среди байкальских эндемичных брюхоногих моллюсков, а также показаны различия в составе вирусных сообществ, ассоциированных с моллюсками, обитающими на разных глубинах оз. Байкал.

Ключевые слова: вирусы, моллюски, метатранскриптомный анализ, Байкал

Моллюски – одна из наиболее богатых по числу видов и разнообразию форм группа беспозвоночных. Как известно, моллюски способны биоаккумулировать в своем организме разнообразные вирусы [Le Guyader, Atmar, Le Pendu, 2012], поэтому, интерес к изучению вирусов в моллюсках в последнее время неуклонно растет [Redefining ... , 2016; Diversity ... , 2019; Viromes ... , 2022]. В целом вирусы и виромы моллюсков (особенно пресноводных) остаются малоизученными.

Целью настоящей работы стало изучение разнообразия вирусов в образцах байкальских брюхоногих моллюсков рода *Benedictia*, населяющих разные глубины оз. Байкал (от 3 до 169 м), с использованием метатранскриптомного подхода. Моллюски *Benedictia* – одни из наиболее крупных, распространенных и многочисленных эндемиков оз. Байкал.

Образцы моллюсков отбирали в районе пос. Большие Коты в июне 2024 г. На глубине 3 и 35–40 м пробы (*Benedictia baicalensis)* отбирали с помощью водолазов, на глубине более 130 м отбор проб (*Benedictia lamuana)* производился с помощью телеуправляемого подводного аппарата «Ровбилдер» РБ-300. Часть особей обрабатывали сразу, а часть выдерживали до 3 сут при 4 °С в байкальской воде для опорожнения кишечника. В итоге были получены образцы «сытых» и «голодных» моллюсков, собранных с глубин: 3 м, 35–40 м и 132–169 м. Далее выделяли суммарную РНК из полученных образцов (пулов из 5–7 особей) с использованием TRI Reagent (Molecular Research Center, США). В ООО «Институт геномного анализа» (г. Москва) на договорной основе были получены РНК (кДНК)-библиотеки и проведено секвенирование образцов в режиме парноконцевого чтения с использованием прибора DNBSEQ-400 (MGI Tech, China). Анализ метатранскриптомных наборов данных проводился, как описано ранее [Viral ... , 2023], и включал первичную обработку и сборку прочтений, выявление вирусных контигов и их таксономическую идентификацию – поиск близких вирусов из базы данных RefSeq NCBI (так называемых виротипов).

Сходство выявленных вирусных белков с последовательностями известных вирусов составляло чаще всего менее 55 %. Выявленные виротипы принадлежали различным таксономическим группам вирусов или не были классифицированы таксономически. Большинство виротипов были выделены из природных образцов, как правило, из водных экосистем, в том числе из пресных водоемов. Среди хозяев или источников изоляции часто встречались моллюски-гастроподы. Сравнительный анализ полученных наборов данных демонстрировал существенные отличия состава вирусных сообществ моллюсков, обитающих на разных глубинах.

Таким образом, в результате проведенного исследования нам удалось выявить большое разнообразие вирусов (главным образом РНК-вирусов) в образцах байкальских моллюсков, а также показать различия в составе вирусных сообществ, ассоциированных с моллюсками, населяющими разные глубины оз. Байкал. Выявленные отличия, скорее всего, связаны с разными условиями обитания, населяемыми субстратами (камни, скалы, песок) и спектрами питания моллюсков. Полученные нами результаты свидетельствуют об уникальном составе вирусов в составе байкальских моллюсков и о важной роли брюхоногих моллюсков в циркуляции вирусов в экосистеме оз. Байкал.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 0279-2021-0005 и 0279-2021-0010).

Список литературы

Diversity and evolution of novel invertebrate DNA viruses revealed by meta-transcriptomics / Porter A. F., Shi M., Eden J. S., Zhang Y. Z., Holmes E. C. // Viruses. 2019. N 11(12). P. 1–21. DOI: 10.3390/v11121092

Le Guyader F. S., Atmar R. L., Le Pendu J. Transmission of viruses through shellfish: When specific ligands come into play // Curr. Opin. Virol. 2012. Vol. 2, Is. 1. P. 103–110. DOI: 10.1016/j.coviro.2011.10.029

Redefining the invertebrate RNA virosphere / Shi M., Lin X. D., Tian J. H., Chen L. J., Chen X., Li C. X., Zhang Y. Z. // Nature. 2016. N 540 (7634). P. 539–543. DOI: 10.1038/nature20167

Viral diversity in samples of freshwater gastropods *Benedictia baicalensis* (Caenogastropoda: Benedictiidae) revealed by total RNA-Sequencing / Butina T. V., Zemskaya T. I., Bondaryuk A. N., Petrushin I. S., Khanaev I. V., Nebesnykh I. A., Bukin Y. S. // Int. J. Mol. Sci. 2023. Vol. 24, Is. 23. Art.: 17022. DOI: 10.3390/ijms242317022

Viromes in marine ecosystems reveal remarkable invertebrate RNA virus diversity / Zhang Y. Y,. Chen Y., Wei X., Cui J. // Sci. China Life Sci. 2022. Vol. 65, N 2. P. 426–437. DOI: 10.1007/s11427-020-1936-2

УДК 504.064.2

ОСНОВНЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Т. С. Былина*, В. А. Жигульский

ООО «Эко-Экспресс-Сервис» (Россия, 195027, Санкт-Петербург, а/я 123)
**Автор для переписки: bylina@ecoexp.ru*

Аннотация. Изучены основные принципы, которых следует придерживаться при проведении инженерно-экологических изысканий при проектировании гидротехнических сооружений. Выделены ключевые моменты, на которые требуется обратить дополнительное внимание. Рассмотрены вопросы терминологии, корректного указания координат границ районов изысканий, определения зоны воздействия, оптимальной сети отбора проб, выбора перечня параметров и веществ для лабораторных исследований, методов оценки степени загрязненности воды и донных грунтов.

Ключевые слова: инженерно-экологические изыскания, дноуглубление, район захоронения, зона воздействия, отбор проб, перечень параметров и веществ, оценка загрязненности

Разработка проектной документации для гидротехнических сооружений – сложный и комплексный процесс, невозможный без качественно выполненных инженерных изысканий, в том числе инженерно-экологических. При проведении инженерно-экологических изысканий следует выполнить оценку состояния экосистемы как в границах проектирования объектов, так и в районах и захоронения грунта.

С момента подготовки технического задания и далее в ходе выполнения изысканий и проектирования необходимо использовать единую терминологию. К базовым понятиям относятся: «гидротехнические сооружения», «дноуглубительные работы», «район захоронения», «донные отложения», «грунты дноуглубления».

Важное значение в ходе инженерных изысканий имеет корректное определение угловых координат участков изысканий – надлежит не только привести координаты, но и указать использованную систему координат. Для «традиционных» районов захоронения, указанных на морских картах, рекомендуется обратится к соответствующим официальным изданиям Управления навигации и океанографии Минобороны России.

Согласно СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ» обследованию должен подвергаться не только сам участок проведения работ, но и зона воздействия. Наиболее логично для этого, с точки зрения авторов, использовать критерии, косвенно заложенные в расчете ущерба водным биоресурсам. К ним относятся зона распространения грунтов, переотложенных в ходе дноуглубления или захоронения, и зона распространения повышенной концентрации взвешенных веществ. Несмотря на то что указанные зоны корректно определяются методом моделирования на стадии разработки проектной документации, учитывать, что зона воздействия будет существенно больше выбранного участка захоронения, нужно уже на стадии изысканий. В частности, это следует принимать во внимание при выполнении запросов в уполномоченные государственные органы о природоохранных ограничениях.

Одним из наиболее сложных вопросов является определение оптимальной сети отбора проб (как в пространстве, так на глубину). Выбор количества и местоположения станций отбора выполняется на основании двух подходов: по равномерной сети, либо по неравномерной сети с учетом расположения участков с различной скоростью заносимости и наличия предполагаемых источников загрязнения. Возможна комбинация подходов. Отбор проб грунтов дноуглубления обязательно производить по всем литолого-стратиграфическим горизонтам в естественном залегании, включая слой современных отложений.

При выборе параметров и веществ для лабораторных исследований необходимо ориентироваться как на Таблицу 5.10 СП 502.1325800.2021, так и учитывать перечень показателей, указанный в распоряжении Правительства РФ № 2753-Р от 30.12.2015 «Об утверждении перечня загрязняющих веществ…» и «Административном регламенте выдачи разрешений на захоронение грунта…», введенного Приказом Федеральной службы по надзору в сфере природопользования № 636 от 17.10.2019. В то же время в ходе проектирования по экономическим и технологическим причинам, а также на основании результатов инженерных изысканий Заказчик может изменить свое первоначальное решение о вариантах использования грунтов дноуглубления, в связи с чем уместно запланировать перечень показателей, который может потребоваться при размещении грунтов на суше и их альтернативном использовании.

При этом, по мнению авторов, ряд показателей для донных отложений, указанных в Таблице 5.10 (консистенция, температура, влажность, гранулометрический состав), относятся к зоне ответственности инженерно-геологических изысканий и дублирование их в ходе инженерно-экологических изысканий нерационально. Излишними представляются также определение Eh, концентраций железа и марганца. Данные металлы находятся в донных отложениях в достаточно высоких природно обусловленных и сезонно зависимых концентрациях, что делает отбор проб и нормирование по данным компонентам не показательным.

Среди параметров и веществ, которые целесообразно определять в пробах морской воды, но которые отсутствуют в Таблице 5.10 СП 502.1325800.2021, стоит отметить температуру для ее использования в интерпретации результатов гидробиологических исследований, макрокомпоненты, в частности хлориды либо соленость для корректного выбора значений предельно-допустимых концентраций (ПДК). Внимание также нужно уделить формам определяемых биогенов с учетом действующих нормативов.

При анализе результатов лабораторных исследований важно не забывать о верификации полученных данных, а также о проверке корректности оформления макетов протоколов.

Оценку загрязненности воды и донных отложений следует производить несколькими способами. К базовым относятся сравнение концентраций определяемых веществ с фоном, сравнение концентраций определяемых веществ с ПДК (ОДК), сравнение концентраций определяемых веществ с региональными нормативами.

Итогом инженерно-экологических изысканий являются отчетные материалы с набором картографических материалов, характеризующим как современное состояние участка работ и предполагаемой зоны воздействия, так и возможные ограничения для его использования.

УДК 504.455

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАРАСТАЕМОСТИ ОТЧЛЕНЁННЫХ ЗАЛИВОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

В. С. Валиев, Д. В. Иванов*, И. И. Зиганшин, А. Б. Александрова, Р. Р. Хасанов

Институт проблем экологии и недропользования РАН
(Россия, 420087, г. Казань, ул. Даурская, 28)
**Автор для переписки: water-rf@mail.ru*

Аннотация. Исследование посвящено оценке зарастаемости нового типа поверхностных вод суши – отчленившихся от основной акватории заливов Куйбышевского водохранилища, расположенных в пределах территории Республики Татарстан с использованием методов машинного обучения. На основе анализа гидрохимических проб, донных отложений и спутниковых данных (NDVI) разработаны модели, прогнозирующие зарастаемость. Наибольшую точность продемонстрировал метод Gradient Boosting ($R^2 = 0,98$). Ключевым фактором интенсификации процессов зарастания является одновременная фиксация повышенных концентраций фосфатов в воде, накопление азота, высокие значения доли мелкодисперсных частиц и рост содержания подвижных форм марганца и цинка в донных отложениях водоемов. Полученные результаты могут быть использованы в системе мониторинга водных объектов для прогнозирования и управления процессами их зарастания.

Ключевые слова: зарастание, отчлененные заливы, машинное обучение, Gradient Boosting, Куйбышевское водохранилище

В настоящее время зарастание водоёмов стало серьёзной экологической проблемой, ведущей к нарушению экосистемного баланса, ухудшению качества воды и снижению биоразнообразия водных объектов. Основными факторами, детерминирующими процесс зарастания, выступают климатические изменения и антропогенное эвтрофирование, обусловленное поступлением биогенных элементов и аккумуляцией органического вещества в донных отложениях. Цель работы – характеристика зарастаемости отчлененных заливов Куйбышевского водохранилища на основе методов машинного обучения.

Исследование проводилось на отчленённых заливах Куйбышевского водохранилища, расположенных в пределах территории Республики Татарстан, и для которых ранее была дана пространственно-временная характеристика зарастания [Показатели … , 2025]. В исследовании использовались данные гидрохимических анализов проб воды (930), донных отложений (630), а также спутниковых снимков Sentinel-2 (для расчета NDVI).

Для оценки зарастаемости водоемов использовалась группа алгоритмов Gradient Boosting, Random Forest, SVR и MLP, с настройкой гиперпараметров, которые подбирались методом GridSearch по сетке диапазонов их возможных значений. Для сравнения эффективности моделей использовались: коэффициент детерминации (R^2), оценивающий долю объяснённой дисперсии; среднеквадратичная ошибка (MSE) и средняя абсолютная ошибка (MAE), оценивающие точность моделей, кросс-валидация (K-Fold CV), оценивающая устойчивость моделей [Жилина, Ефимова, Тищенко, 2025]. Для оценки значимости отдельных признаков рассчитывалась пермутационная важность, фиксирующая снижение точности модели в результате перетасовки (пермутации) значений оцениваемого предиктора при неизменном состоянии значений всех остальных предикторов. Для каждой целевой переменной строились четыре модели, среди которых выбиралась лучшая.

Реализация методов осуществлялась в среде Python с помощью библиотеки машинного обучения Skikit-Learn. Для построения ансамбля моделей и оценки их точности использовались библиотеки Sklearn. ensemble, Sklearn. svm и sklearn. metrics. Метрики моделей, рассчитанных разными методами машинного обучения, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Метрики регрессионных моделей прогнозирующих площадь зарастания

Метрика модели	Модели множественной регрессии			
	Random Forest	Gradient Boosting	SVR	Нейросеть MLP
CV-score	83,2	12,7	460,6	30,1
CV-std (отклонение)	35,3	2,42	142,8	59,8
MAE	3,02	0,013	17,2	0,034
R^2	0,88	0,98	0,72	0,92

В результате проведенного исследования, показано, что наиболее эффективным методом для прогнозирования зарастания является модель множественной регрессии, рассчитанная методом Gradient Boosting. На рисунке представлено сопоставление предсказанных значений доли площади зарастания с фактически полученными значениями, а в табл. 2 указана важность предикторов данной модели.

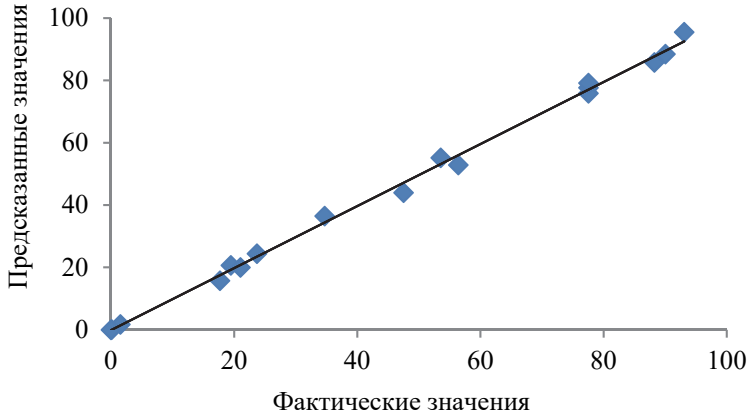


Рис. Качество итоговой регрессионной модели прогноза зарастаемости (в % от площади акватории водоёмов)

Таблица 2. Распределение предикторов регрессионной модели Gradient Boosting по важности для прогноза зарастаемости водоёмов

Предикторы модели	Важность	Стандартное отклонение
Фосфаты воды	1397,4	259,8
Доля пелита	257,0	74,4
P донных отложений	34,1	7,21
Потери при прокаливании	28,3	5,56
Доля литорали	10,1	1,61
Максимальная Глубина	2,72	0,50

Основными предикторами модели являются: концентрация PO_4^{3-} (важность = 1397,4), доля пелита (частиц <0,01 мм) в донных отложениях (важность = 257,0) и валовый фосфор в донных отложениях (важность = 34,1). Результат исследования показал эффективность группового использования методов машинного обучения при построении моделей по прогнозу зарастаемости водоёмов. Полученная методом Gradient Boosting итоговая модель зарастания отличается высокой точностью и значением объясненной дисперсии $R^2 = 0,98$ и может быть рекомендована для управления процессами зарастания водных объектов.

Список литературы

Жилина Е. В., Ефимова Е. В., Тищенко Е. Н. Алгоритмы градиентного бустинга против рекуррентных сетей в задачах прогнозирования // Информатизация в цифровой экономике. 2025. Т. 6, № 1. С. 45–86.

Показатели зарастания озёр Саралинского участка Волжско-Камского заповедника / Р. Р. Хасанов [и др.] // Биосфера. 2025. Т. 17, № 2. С. 75–82.

УДК 584.587

СОСТАВ И СТРУКТУРА ФАУНЫ ХИРОНОМИД ОЗ. ИМАНДРА

С. А. Валькова*

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН
(Россия,184209, Мурманская обл., Апатиты, ул. Ферсмана, 14а)
**Автор для переписки: s.valkova@ksc.ru*

Аннотация. Обобщены данные о фауне хирономид озёра Имандра, описан таксономический состав, указаны массовые виды. Проанализирована структура фауны хирономид и количественные показатели в разных биотопах и зонах водоема.

Ключевые слова: зообентос, хирономиды, биоразнообразие, арктический водоем

В пресноводных экосистемах Северной Фенноскандии семейство хирономиды (Chironomidae) является наиболее разнообразной и широко представленной группой зообентоса. Для Мурманской области описано >180 видов и форм хирономид (из 81 рода), что составляет 35 % от общего числа выявленных видов донной фауны [Яковлев, 2005].

Озеро Имандра – самый крупный водоем Мурманской области и один из крупнейших в Заполярье (площадь озера 880,4 км^2, длина – 109 км, средняя ширина – 3,19 км). Водоем имеет сложную форму, состоит из трех плесов: Большой, Йокостровской и Бабинской Имандры, соединенных между собой узкими проливами [Антропогенные … , 2002]. Озеро подвержено многофакторному антропогенному воздействию, являясь приемником сточных вод комплекса промышленных предприятий, расположенных на его водосборной территории.

Исследования состояния сообществ зообентоса оз. Имандра проводятся с 1930 г., однако до 1978 г. работы носили эпизодический характер и часто проводились только на отдельных плесах, с 1978 г. изучение донных сообществ водоема приобрело систематический характер. В сообщении обобщены собственные данные о составе хирономид оз. Имандра, полученные в период с 2009 по 2023 г., а также данные, опубликованные в более ранних работах [Большие … , 1976; Яковлев, 1984; Моисеенко, Яковлев, 1990; Антропогенные … , 2002; Яковлев, 2005].

Биоразнообразие. Всего для оз. Имандра описано 115 видов и форм хирономид, что составляет 61 % от общего количества хирономид, зарегестрированных для Мурманской области. Из них к подсемейству Orthocladiinae принадлежит 47 видов и форм, Chironominae – 46 (триба Chironomini – 31, Tanytarsini – 15), Tanypodinae – 16, Diamesinae – 4, Prodiamesinae – 2. Основу фауны формируют преимущественно голарктические и палеарктические виды. Наиболее часто в пробах из глубоководной зоны водоема встречались личинки родов *Chironomus*, *Procladius* (*Holotanypus*), *Monodiamesa Zalutschia*, *Heterotrissocladius*, встречаемость которых варьировала от 45 до 85 %. В зоне литорали на каменисто-галечниковых грунтах преобладали фитофильные личинки родов *Psectrocladius*, *Tanytarsus*, *Cricotopus* (встречаемость 30–78 %).

Структура и количественные показатели. Структура сообществ и комплекс доминирующих видов различались по плесам озера. В плесах Большая и Экостровская Имандра, которые в значительной степени подвержены разнотипному антропогенному влиянию, доминировали эврибионтные личинки *Chironomus* и *Procladius*, доля которых на отдельных участках акватории составляла 80–100 % от общей численности и биомассы зообентоса. Дополняли комплекс доминатов *Monodiamesa bathyphila* Kieff., 1918, *Prodiamesa olivacea* Meigen, 1818, *Ablabesmyia monilis gr., Psectrocladius* sp. В зообентосе наиболее глубоководного и удаленного от источников антропогенного воздействия плеса Бабинская Имандра, доля хирономид трибы Chironomini сокращалась, в сообществах преобладали холодноводные, оксифильные виды хирономид подсемейств Tanypodinae и Orthocladiinae

(*Heterotrissocladius, Hydrobaenus, Paratrichocladius, Zalutschia, Arctopelopia, Conchapelopia*). Личинки рода *Chironomus*, которые были одним из доминирующих элементов бентофауны в сообществах двух других плесов, здесь были отмечены единично.

Одним из важных факторов, оказывающим влияние на распространение личинок хирономид и структуру их сообществ, является субстрат [The Chironomidae … , 1995; Предварительные ... , 2014]. Анализ распределения хирономид оз. Имандра в зависимости от типа грунта, показал, что минимальные значения численности и биомассы сообществ отмечены на станциях, где в поверхностных слоях донных отложений присутствовали плотные железо-марганцевые конкреции – 40 – 600 экз./м^2 и 0,5 – 2,7 г/м^2 соответственно. Хирономиды здесь были представлены преимущественно личинками *Procladius* (*Holotanypus*), доля которых в отдельных пробах составляла 100 %, единично отмечены *Sergentia gr. coracina*, *Micropsectra gr. praecox, Macropelopia, Protanipus morio*. Наличие таких образований в донных отложениях оз. Имандра в качестве фактора, ограничивающего развитие зообентоса, детально описано в ряде ранних работ [Ильяшук, 2001, Антропогенные … , 2002]. Для сообществ, сформированных на мягких илистых грунтах наблюдались более высокие показатели – 600 – 1700 экз./м^2 и 1,5 – 150 г/м^2 соответственно. Ядро фауны илов формировали пелофильные личинки *Chironomus* и *Procladius* (*Holotanypus*). Максимальная численность и биомасса в отдельных пробах установлена для личинок *Chironomus* sp. – 7335 экз./м^2 и 148 г/м^2. В прослойках глины многочисленны хирономиды *Chironomus gr. plumosus*. На песчано-галечных грунтах в зоне литорали по числу видов преобладали Orthocladiinae (48 % от общего кол-ва видов). Наиболее значительной численностью и биомассой характеризовались личинки *Cricotopus* sp. (990 экз./м^2, 4,6 г/м^2), *Psectrocladius* sp. (5408 экз./м^2, 4,9 г/м^2) и *Glyptotendipes* sp. (1632 экз./м^2, 5,1 г/м^2).

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы НИР FMEZ-2025-0061.

Список литературы

Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра / Т. И. Моисеенко, В. А. Даувальтер, А. А. Лукин [и др.]. М. : Наука, 2002. 403 с.

Большие озера Кольского полуострова. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1976. 349 с.

Ильяшук Б. П. Железо-марганцевые конкреции в грунтах озера как фактор, ограничивающий развитие сообществ зообентоса // Экология. 2001. № 6. С. 478–480.

Моисеенко Т. И., Яковлев В. А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л., 1990. 221 с.

Предварительные данные по фауне хирономид (Chironomidae, Diptera, Insecta) Харбейских озер / Т. А. Кондратьева, Л. Б. Назарова, О. А. Лоскутова, М. А. Батурина // Журнал Сибирского федерального университета. 2014. № 7 (4). С. 357–371.

Яковлев В. А. Методы оценки качества вод по зообентосу озера Имандра // Мониторинг природной среды Кольского Севера. Апатиты : Кол. фил. АН СССР, 1984. С. 39–50.

Яковлев В. А. Пресноводный зообентос Северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика). Апатиты : Изд. КНЦ РАН, 2005. Ч. 1. 161 с.

The Chironomidae: Biology and Ecology of non-biting midges / eds.: Armitage P., Cranston P. S., Pinder L. C. V. London: Chapman and Hall, 1995. 572 p.

УДК 632.15

АККУМУЛЯЦИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ПРИРОДНЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ КРОВОСОСУЩИХ КОМАРОВ РОДА *AEDES* В ОКРЕСТНОСТЯХ Г. ТОМСКА (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ, РОССИЯ)

А. А. Вареницина*, А. В. Симакова, А. В. Дёрова, Ю. А. Франк

Томский государственный университет (Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 36)
**Автор для переписки: anna.varenitsina@yandex.ru*

Аннотация. Проведен мониторинг содержания микропластика в природных популяциях кровососущих комаров рода *Aedes* (Meigen, 1818) на разных стадиях их развития в течение трех лет (2021–2023) в следующих биотопах: луговая заболоченность, лесная заболоченность, сфагновое болото. Обнаружены частицы разного размера (от 0,1 до 1 мм) и формы, преобладают черные и бесцветные фрагменты. Концентрация микропластика возрастает с первой по третью личиночную стадию, затем снижается на последующих этапах развития. Максимальные значения отмечены в сфагновом болоте, минимальные – в луговой заболоченности. За период с 2021 по 2023 г. выявлена тенденция к ежегодному увеличению числа частиц, особенно мелких черных фрагментов. Вероятно, крупные частицы разрушаются, формируя новые мелкие фракции, а автодороги способствуют дополнительному загрязнению водоемов.

Ключевые слова: микропластик, частицы, волокна, кровососущие комары, загрязнение водоемов, водные экосистемы

Загрязнение окружающей среды мелкими фрагментами искусственных полимеров стало одной из ключевых проблем нашего времени [Tackling … , 2019; Predicted ... , 2020]. Микропластик, представляющий собой мельчайшие частицы пластика размером менее 5 мм, широко распространился в экосистеме и стал источником серьезных рисков для живых организмов, включая человека [A detailed … , 2020]. Его происхождение обусловлено распадом крупных пластиковых изделий и добавлением в продукты массового потребления, такие как косметика и чистящие средства. Микропластик свободно проникает в водоемы, почву и атмосферу, взаимодействует с животными и растениями, постепенно накапливаясь в различных компонентах окружающей среды [Interaction ... , 2023]. Изучение путей миграции и воздействия микропластика на природные экосистемы и живые организмы приобрело огромное значение. Особое внимание уделяется взаимодействию микропластика с амфибионтными насекомыми, способными транспортировать его между водной и наземной средой, усиливая угрозы стабильности естественных сообществ [Al-Jaibachi, Cuthbert, Callaghan, 2018; Ontogenetic ... , 2022]. Цель нашего исследования – мониторинг содержания частиц микропластика у насекомых с метаморфозом на примере кровососущих комаров рода *Aedes* (Meigen, 1818) (Diptera: Culicidae) из природных популяций Западной Сибири.

Особи комаров собраны в окрестностях г. Томска в различных биотопах: луговая заболоченность (56°32'53.2" с. ш., 84°52'02.0" в. д.), лесная заболоченность (56°30'29.5" с. ш., 84°45'35.0" в. д.), сфагновое болото (56°30'27.8" с. ш., 84°49'49.5" в. д.) в весенний период с 2021 по 2023 г. Микропластик выделяли из комаров путем двукратной промывки образцов и последующего отделения внутреннего содержимого от хитина. Гомогенизацию проводили в присутствии H_2O_2 и $FeSO_4$. Полученный гомогенат пропускали через стекловолоконный мембранный фильтр с диаметром пор 1 мкм под вакуумом. Подсчет и идентификация частиц выполняли под бинокулярным микроскопом Stemi 2000-c (Carl Zeiss, Германия) с использованием теста hot needle test [Microplastics ... , 2012]. Учитывали форму, цвет и размер частиц.

В ходе работы на фильтрах обнаружены как фрагменты различной формы, размер которых варьировал от 0,1 до 1 мм по максимальной оси, так и волокна длиной до 1 мм. Исследования показали наличие частиц микропластика различных цветов, однако самыми распространенными оказались черные и бесцветные фрагменты. Наблюдается тенденция изменения концентрации микропластика в ходе метаморфоза комаров: количество частиц

увеличивается с первой по третью личиночную стадию, затем уменьшается на четвертой стадии, после чего наблюдается снижение на стадии куколки и имаго. Такая динамика обусловлена особенностями питания и образа жизни комаров на каждой стадии развития. Максимальная концентрация микропластика зарегистрирована у особей, собранных в сфагновом болоте, тогда как наименьшее его количество выявлено в популяции из луговой заболоченности. За период мониторинга с 2021 по 2023 г. зафиксировано ежегодное повышение общего числа обнаруживаемых частиц микропластика, при этом особенно резко возросло количество мелких фрагментов черного цвета. Полученные результаты могут указывать на постепенный распад крупных частиц микропластика на более мелкие в течение периода исследования, а также на возможное загрязнение водоемов частицами автомобильных шин, обусловленное близостью дорог.

Список литературы

A detailed review study on potential effects of microplastics and additives of concern on human health / C. Campanale, C. Massarelli, I. Savino [et al.] // International journal of environmental research and public health. 2020. Vol. 17, N 4. Art. 1212. DOI: 10.3390/ijerph17041212

Al-Jaibachi R., Cuthbert R. N., Callaghan A. Up and away: ontogenic transference as a pathway for aerial dispersal of microplastics // Biology Letters. 2018. Vol. 14, N 9. Art. 20180479. DOI: 10.1098/rsbl.2018.0479

Interaction of microplastics and terrestrial and aquatic insects (bioaccumulation, degradation, ecotoxicological effects) / M. Lee, A. V. Simakova, I. B. Babkina [et al.] // Acta Biologica Sibirica. 2023. Vol. 9. P. 549–564. DOI: 10.5281/zenodo.8320656

Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification / V. Hidalgo-Ruz, L. Gutow, R. C. Thompson, M. Thiel // Environmental science & technology. 2012. Vol. 46, N 6. P. 3060–3075. DOI: 10.1021/es2031505

Ontogenetic transfer of microplastics in bloodsucking mosquitoes *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) is a potential pathway for particle distribution in the environment / A. Simakova, A. Varenitsina, I. Babkina [et al.] // Water. 2022. Vol. 14, N 12. Art. 1852. DOI: 10.3390/w14121852

Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution / S. B. Borrelle, a J. Ringm, K. L. Law [et al.] // Science. 2020. Vol. 369 (6510). P. 1515–1518. DOI: 10.1126/science.aba3656

Tackling the plastic problem: A review on perceptions, behaviors, and interventions / Heidbreder L. M., Bablok I., Drews S., Menzel C. // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 668. P. 1077–1093. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.437

УДК 574.24

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПЕКТРОВ СВЕТА НА РАЗВИТИЕ ЭМБРИОНОВ СИГОВЫХ РЫБ В УСЛОВИЯХ АКВАКУЛЬТУРЫ

Е. А. Вахтеева[1]*, А. Г. Королева[1], В. М. Яхненко[1], А. А. Епифанцев[1], С. А. Потапов[1], Чансю Тянь[2], Сянь Ли[3], О. Ю. Глызина[1], И. А. Асламов[1], В. А. Пальшин[1], Л. В. Суханова[1], Ю. П. Сапожникова[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Гуандунский научно-исследовательский центр по репродуктивному контролю и технологии селекции ценных местных видов рыб, Гуандунская провинциальная инженерная лаборатория по селекции марикультурных организмов, Гуандунская провинциальная ключевая лаборатория по борьбе с болезнями водных животных и здоровой культуре, Колледж рыбного хозяйства, Университет океана Гуандун
(Китай, 524088, Чжаньцзян)
[3] Ключевая лаборатория марикультуры, Министерство образования, Рыбный колледж Университет океана Китая (Китай, 266001, Циндао)
**Автор для переписки: vakhteevaevgenia@mail.ru*

Аннотация. Данное исследование направлено на исследование фактора искусственного освещения, выявление паттернов влияния различных спектров света на развитие эмбрионов байкальского сига (*Coregonus baicalensis*) и его гибрида с горбоносым сигом Исаченко (*Coregonus fluviatilis* Isaczenko). В качестве биомаркеров благополучия выбраны: длина теломер, активность фермента теломеразы, экспрессия генов *hsp-90* и кретинкиназы, а также анализ профиля крови. В эмбриональном периоде показано увеличение длины теломер и активности теломеразы, повышение экспрессии генов *hsp-90* и кретинкиназы, а также увеличение соотношения нейтрофилов к лимфоцитам в ответ на стрессовое воздействие.

Ключевые слова: длина теломер, активность теломеразы, *hsp-90*, кретинкиназа, спектры света, эмбрионы сиговых рыб

Свет – крайне важный фактор окружающей среды, который синхронизирует различные этапы развития рыб и оказывает существенное влияние на физиологические процессы в организме [Comparative ... , 2024]. При инкубации икры в товарном рыбоводстве или с целью пополнения естественных запасов используются лампы искусственного освещения с преобладанием отдельных пиков спектра. Тем не менее спектральный состав света является важным фактором, определяющим дальнейший рост, активность питания, обмен веществ, влияет на гормональную активность, в частности, синхронизируют эндогенные ритмы роста у рыб [Влияние … , 2013].

Существующие исследования в области фотобиологии и их применения в аквакультуре все еще недостаточны. В частности, не рассматривалось влияние различных спектров света на показатели благополучия инкубирующейся в искусственных условиях икры и молоди холодоводных пресноводных рыб. Однако изучение влияния света на эмбрионы сиговых рыб может внести вклад в развитие новых научных знаний и технологий, оптимизировать условия аквакультуры для достижения максимальной продуктивности, повысить эффективность производства.

Эксперимент проведен на эмбриональной, личиночной и мальковой стадиях байкальского сига (*Coregonus baicalensis* Dybowski, 1874) и его гибриде с горбоносым сигом Исаченко (*Coregonus fluviatilis* Isaczenko, 1925). Инкубация икры проводилась в специально сконструированных боксах на базе уникальной научной установки «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» ЛИН СО РАН (УНУ ПАК – http://lin.irk.ru/aqua) при температуре 3 °С до выклева. В число биомаркеров стресса входили теломеры, которые могут укорачиваться при воздействии неблагоприятных факторов, что приводит к физиологическому старению в течение постнатального периода [Acclimation ... , 2024], активность фермента теломеразы, уровень экспрессии генов *hsp-90* и кре-

атинкиназы (*ck*), который меняется при стрессовом воздействии [Transcriptional … , 2024], а также профиль крови, в том числе, соотношение нейтрофилов к лимфоцитам. Различия по ключевым биомаркерам стресса под воздействием разных спектров света исследовалось на разных этапах раннего развития, VII, IX, XIII и XIV стадиях, согласно Черняеву [2017] с полным спектром света разной интенсивности – 1,8 и 20 мкмоль/с·м² (LDF), в условиях полной темноты, в красном спектре (LDR, пик при 631 нм, 2,2 мкмоль/с·м²), в синем спектре (LDB, пик при 459 нм, 1,7 мкмоль/с·м²), в зеленом спектре (LDG, пик при 507 нм, 2,1 мкмоль/с·м²). В качестве контрольных условий использовался полный спектр света умеренной интенсивности (LDF, 1,8 мкмоль/с·м²), близкий к условиям естественной среды.

Полученные результаты подтверждают значительное влияние освещения на ранних этапах развития сиговых рыб. Байкальский сиг и его гибриды, вероятно, за счет работы фермента теломеразы способны интенсифицировать восстановление длины теломер на ранних стадиях развития в ответ на стрессовое воздействие. Предложена оптимальная технология инкубации икры байкальских сиговых рыб, в том числе, гибридных форм, с учетом условий освещенности: наиболее оптимальным спектром света является зеленый (LDG, пик при 507 нм, 2,1 мкмоль/с·м²), а также полный спектр света при интенсивности 1,8 мкмоль/с·м². Адаптивное влияние оказывают красный спектр света (LDR, пик при 631 нм, 2,2 мкмоль/с·м²) и полная темнота. Байкальский сиг и гибрид более чувствительны к темноте и красному спектру в эмбриогенезе в период непосредственного воздействия фактора. Гибрид также показывает отложенный куммулятивный эффект негативного влияния синего спектра и темноты в постнатальном периоде. Мы предполагаем, что оптимизация световых условий для развития эмбрионов в искусственных условиях может привести к повышению выживаемости и качества молоди, что увеличит экономическую эффективность аквакультуры.

Благодарности. Работа выполнена на базе УНУ «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» ЛИН СО РАН в рамках бюджетной темы № 0279-2021-0005 (121032300224-8), а также проектов РНФ № 23-24-00644 (рук. Сапожникова Ю. П.) и № 25-24-00634 (рук. Суханова Л. В.).

Список литературы

Влияние света на рост и развитие рыб / В. А. Власов, Н. И. Маслова, С. В. Пономарёв, Ю. М. Баканёва // Рыбное хозяйство. 2013. № 2. С. 24–33.

Черняев Ж. А. Воспроизводство сиговых рыб: эколого-физиологические особенности размножения и развития. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2017. 329 с.

Acclimation during Embryogenesis Remodulates Telomerase Activity and Gene Expression in Baikal Whitefish Larvae, Mitigating the Effects of Acute Temperature Stress / A. G. Koroleva, E. A. Vakhteeva, A. A. Epifantsev [et al.] // Animals. 2024. N 14 (19). P. 1–18. DOI: 10.3390/ani14192839

Transcriptional Rearrangements Associated with Thermal Stress and Preadaptation in Baikal Whitefish (Coregonus baicalensis) / Y. P. Sapozhnikova, A. G. Koroleva, T. V. Sidorova [et al.] // Animals. 2024. N 14(21). P. 1–29. DOI: 10.3390/ani14213077

Comparative transcriptome analysis reveals growth and molecular pathway of body color regulation in turbot (Scophthalmus maximus) exposed to different light spectrum / L. Wu, W. Sun, J. Zhou [et al.] // Comp Biochem Physiol Part D Genomics Proteomics. 2024. Vol. 49. Art.: 101165. DOI: 10.1016/j.cbd.2023.101165

УДК 574.24

ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ВОЛН ТЕПЛА НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ И ПОКАЗАТЕЛИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТАБОЛИЗМА МАССОВЫХ ВИДОВ АМФИПОД ЛИТОРАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ

К. П. Верещагина*, С. С. Седова, Е. С. Кондратьева, Ж. М. Шатилина, Е. Б. Индосова, М. А. Тимофеев

Иркутский государственный университет, НИИ биологии
(Россия, 664025, Иркутск, ул. Ленина, 3)
**Автор для переписки: k.p.vereshagina@gmail.com*

Аннотация. Представлены первые данные, полученные в ходе лабораторных экспериментов по влиянию волн тепла на выживаемость и показатели энергетического метаболизма (глюкоза, гликоген, лактат) молоди и взрослых особей массовых литоральных видов байкальских эндемичных амфипод *Eulimnogammarus verrucosus*, *E. vittatus* и *E. cyaneus*. Волна тепла, смоделированная на основании реальных данных мониторинговых наблюдений за температурным режимом в зоне литорали оз. Байкал оказывает значительное влияние на холодолюбивый вид амфипод *E. verrucosus* и приводит к гибели 50 процентов особей. Увеличение длительности и интенсивности волн тепла в оз. Байкал может быть критичным и приводить к массовой гибели термочувствительных видов.

Ключевые слова: волны тепла, амфиподы, Байкал

В настоящее время все больше внимания уделяется изучению такого явления, как «волны тепла» (heat waves). Основная масса исследований направлена на изучение морских и океанических систем. Однако очень мало известно о волнах тепла в озёрах, и о том какое влияние они могут оказать на пресноводные экосистемы и их обитателей в условиях глобального изменения климата. Волны тепла – термин, характеризующий продолжительные периоды аномально высоких температур выше порога 90-го процентиля климатологических средних показателей температуры за последние 30 лет. Волны тепла часто имеют разрушительные последствия для водных сообществ. Озеро Байкал может служить актуальной моделью, на которой можно проследить влияние волн тепла на способность к быстрому стресс-ответу у пресноводных организмов, их выживаемость, рост и размер.

Целью исследования являлось сравнительное изучение влияния волны тепла на выживаемость и параметры энергетического метаболизма (глюкоза, гликоген, лактат) байкальских доминантных литоральных видов амфипод *Eulimnogammarus verrucosus* (Gerstfeldt, 1858), *E. cyaneus* (Dybowsky, 1874) и *E. vittatus* (Dybowsky, 1874).

Половозрелые особи и молодь исследуемых видов отлавливали с помощью сачка в литорали оз. Байкал, недалеко от пос. Листвянка. После вылова амфипод разбирали по видам и акклимировали две недели в лабораторных условиях по схеме 13/15 °C ночь/день перед началом эксперимента (имитируя среднесуточные колебания температуры в июле-августе, перед началом наступления волны тепла), затем фиксировали часть амфипод в жидком азоте в качестве начального контроля. Далее, амфипод разделяли на две группы: контрольную (параллельный контроль) и экспериментальную. Экспериментальную группу амфипод экспонировали в условиях волны тепла. Волна тепла была смоделирована на основании реальных данных мониторинга за температурным режимом в зоне литорали (район пос. Большие Коты): ночь 16 °C, день 20 °C в течение 10 дней. В ходе эксперимента регистрировали смертность амфипод, а также фиксировали живых рачков в жидком азоте для измерения параметров энергетического метаболизма (глюкоза, гликоген и лактат).

Показано, что выживаемость половозрелых особей амфипод вида *E. verrucosus* к окончанию экспозиции в условиях влияния волны тепла составляла 51,43 %, тогда как для *E. vittatus* и *E. cyaneus* отмечали 100 % выживаемость. В случае молоди данных видов, показаны противоположные результаты. Так, для молоди *E. verrucosus* выживаемость состав-

ляла 100 %, тогда как для молоди видов *E. vittatus* и *E. cyaneus* – 96,67 и 97,47 % соответственно.

По результатам оценки содержания энергетических метаболитов у взрослых особей *E. verrucosus* установлено снижение содержания лактата и тренд на понижение содержания глюкозы и гликогена в условиях влияния волны тепла. Для молоди *E. verrucosus* показано повышение уровня гликогена в условиях влияния волны тепла и в параллельном контроле, относительно начального контроля. Уровень содержания изучаемых маркеров у взрослых особей *E. cyaneus* оставался стабильным по результатам эксперимента. У молоди вида *E. cyaneus* отмечали снижение содержания гликогена в условиях влияния волны тепла и в параллельном контроле по сравнению с начальным контролем. У взрослых особей *E. vittatus* отмечали повышение уровня содержания гликогена в условиях акклимации (параллельный контроль), тогда как для молоди *E. vittatus* показано повышение уровня глюкозы и гликогена, а также снижение содержания лактата.

Материалы исследования свидетельствуют о реализации разных стратегий регуляции метаболизма в условиях влияния волны тепла у изучаемых видов:

– у взрослых особей *E. verrucosus* показан выраженный тренд на снижение содержания исследуемых маркеров энергетического метаболизма, что может указывать на угнетение метаболической активности, и, как следствие высокой смертности (50 %), в то время как молодь данного вида эффективно запасает энергетические резервы в виде гликогена, что повышает их выживаемость.

– смоделированная в исследовании волна тепла не является стрессовой для взрослых особей *E. cyaneus*, что подтверждается 100 % выживаемостью и стабильностью маркеров энергетического метаболизма, указывая на высокую термотолерантность и эффективную биохимическую адаптацию данного вида в условиях волны тепла. Молодь же, испытывая истощение гликогена, вероятно, использует запасы энергии для компенсации стрессовых условий, что приводит к смертности (2,5 %) и указывает на ограниченную способность адаптации энергетического метаболизма на ранних стадиях развития.

- для взрослых особей *E. vittatus* при воздействии волны тепла показана 100 % выживаемость и отсутствие изменений содержания энергетических метаболитов, что свидетельствует об устойчивости к наступлению волны тепла. Влияние волны тепла на молодь *E. vittatus* приводит к низкой смертности 3,3 % и интенсификации аэробных процессов, сопровождающихся накоплением глюкозы, гликогена и снижением уровня лактата, что может рассматриваться как стратегия повышения эффективности энергетического обмена.

Развитие сценария глобального потепления и прогрева Байкала ниже зоны литорали может привести к угнетению сообществ холодолюбивых видов и, как следствие, различным нарушениям баланса в экосистеме озера.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ 23-14-00165.

УДК 550.849

ГАЗЫ И ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ИХ СВЯЗЬ С НЕФТЯНОЙ СИСТЕМОЙ

О. Н. Видищева[1]*, М. А. Соловьева[1], Г. Г. Ахманов[1], А. Г. Калмыков[1], О. М. Хлыстов[2]

[1]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова (Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1)
[2]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: o.vidishcheva@oilmsu.ru*

Аннотация. Озеро Байкал – уникальный полигон для изучения нефтегазообразования в современном рифтовом бассейне. В работе обобщены результаты проекта Class@Baikal (2014–2024 гг.), включающие геохимический анализ флюидов, изотопные исследования газов и нефтей, а также эксперименты по гидротермолизу углей танхойской свиты. Выявлены различия состава газов: северо-западная часть озера характеризуется преимущественно метановым газом ($\delta^{13}C_2$ –65... –22 ‰), юго-восточная – более жирным газом угольного типа ($\delta^{13}C_2$ –32... –25 ‰). Эксперименты подтвердили высокий нефтегенерационный потенциал углей тенхойской свиты (до 115 мг УВ/г породы) и их генетическую связь с природными нефтепроявлениями.

Ключевые слова: Байкал, молекулярный и изотопный состав газов, нефть, УВ-биомаркеры

Озеро Байкал представляет собой уникальную природную лабораторию для исследования процессов генерации и миграции углеводородных (УВ) флюидов в условиях современного рифтогенеза. На дне озера зафиксированы многочисленные зоны фокусированной разгрузки флюидов, часто ассоциированные со скоплениями газовых гидратов [The Position ... , 2022], а на юго-восточном побережье обнаружены естественные выходы нефти [Проблема … , 2007; Нефть ... , 2007]. Для определения генезиса нефти и характеристик нефтегазоматеринских толщ (НГМТ) в работе применяется комплекс геохимических методов исследования флюидов. Особое внимание уделяется анализу поверхностных донных отложений, позволяющему идентифицировать мигрирующие УВ соединения. Важным инструментом изучения процессов нефтегазообразования также служит лабораторное моделирование методом гидротермолиза в автоклавах. Данный метод воспроизводит естественный процесс созревания керогена [Lewan, 1983], что делает его эффективным для корреляции нефтей с материнскими породами и оценки нефтегенерационного потенциала НГМТ [Lewan Winters, McDonald, 1979].

С 2014 г. в рамках проекта Class@Baikal проводилось комплексное геохимическое изучение флюидов, разгружающихся на дне Байкала в Центральной и Южной котловинах на НИС «Г. Ю. Верещагин». За десятилетний период работы проекта собран обширный массив данных, раскрывающий специфику процессов генерации и миграции УВ флюидов в озере. В настоящей работе представлены результаты анализа молекулярного состава газов и органического вещества (ОВ) донных отложений, данные по изотопному составу газовых и нефтяных фракций, результаты хромато-масс-спектрометрического анализа нефтей и ОВ, материалы исследований обнажений Танхойской свиты на юго-восточном побережье Байкала.

Анализ поровых газов показал различие в молекулярном и изотопном составе в зависимости от расположения структур опробования относительно бортов байкальской впадины. Так, более сухой газ, преимущественно состоящий из метана (C1/(C2+C3)=100–11155) был обнаружен в структурах, располагающихся в северо-западной части впадины. В то время как более жирный газ (C1/(C2+C3)=6–1575), обнаружен в структурах юго-восточной части озера [Различия … , 2022]. Изотопный состав углерода этана для структур северо-западной части озера варьирует в диапазоне от –65 до –22 ‰, в то время как в структурах юго-восточной части озера изменяется от –32 до –25 ‰. Используя изотопные соотношения метана и этана, было определено, что термогенный газ, разгружающийся в юго-восточной части озера, относится к угольному типу, образованному главным образом из гумусового ОВ.

В экспедиции Class@Baikal 2024 г. была пополнена коллекция образцов нефти из различных известных нефтепроявлений. Проведенное исследование показало различие в зрелости этих нефтей, а изотопный состав углерода фракций указывает на весомый вклад остатков высшей растительности в формирование исходного ОВ НГМТ.

Ввиду отсутствия глубоких скважин в районе Байкала, для оценки потенциала предполагаемой углистой нефтегазоматеринской толщи исследовались образцы углей танхойской свиты олигоцен-плиоценового возраста, распространённые в осадочном обрамлении озера и, вероятно, занимающие значительную часть современного рифта [Находки ... , 2021]. Экспериментальные исследования продемонстрировали высокий выход УВ флюидов как в газообразной, так и в жидкой форме (количество полученной «синтетической» нефти достигало 115 мг УВ на грамм породы). Сравнительный анализ состава искусственно полученных нефтей и газов с УВ флюидами, отобранными на дне Байкала, выявил общие геохимические характеристики.

Таким образом, комплексные геохимические исследования поверхностных донных отложений позволили изучить процессы генерации и миграции углеводородных флюидов в осадочном бассейне Байкала, а также получить важные данные о НГМТ в условиях отсутствия глубокого бурения. Эксперименты по искусственному катагенезу ОВ пород из обнажений, а также сравнение состава синтезированных УВ с природными флюидами, разгружающимися на дне озера, подтвердили их генетическое родство. Это свидетельствует о том, что углистые отложения могут быть источником не только газов, но и байкальской нефти.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность всем участникам проекта Class@Baikal, а также экипажу научно-исследовательского судна «Г. Ю. Верещагин».

Список литературы

Находки углей Танхойского поля в донных отложениях Южного Байкала / О. М. Хлыстов, А. В. Вайнер-Кротов, А. В. Китаев, Т. В. Погодаева // Науки о Земле и недропользование. 2021. Т. 44, № 3. С. 285–292.

Нефть в озере мирового наследия / О. М. Хлыстов, А. Г. Горшков, А. В. Егоров [и др.] // Доклады академии наукю 2007. Т. 414, № 5. С. 656–659.

Проблема нефтеносности озера Байкал / А. Э. Конторович, В. А. Каширцев, В. И. Москвин [и др.] // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2007. № 5. С. 56–60.

Различия в молекулярном и изотопном составе газов зон фокусированной разгрузки, расположенных в северо-западной и юго-восточной частях озера Байкал / О. Н. Видищева, Г. Г. Ахманов, Е. В. Кислицына [и др.] // Георесурсы. 2022. Т. 24, № 2. С. 209–216.

Lewan M. D. Effects of thermal maturation on stable organic carbon isotopes as determined by hydrous pyrolysis of Woodford Shale // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1983. Vol. 47, N 8. P. 1471–1479.

Lewan M. D., Winters J. C., McDonald J. H. Generation of oil-like pyrolyzates from organic-rich shales // Science. 1979. N 203 (4383). P. 897–899.

The Position of Gas Hydrates in the Sedimentary Strata and in the Geological Structure of Lake Baikal / O. M. Khlystov, M. De Batist, H. Minami [et al.] // World Atlas of Submarine Gas Hydrates in Continental Margins. 2022. P. 465–471.

УДК 574.22

ФИТОПЛАНКТОН РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМОВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ПЕРИОД ЛЕДОСТАВА

Г. В. Винокурова *

Институт водных и экологических проблем СО РАН
(Россия, 656038, Барнаул, Молодежная 1)
**Автор для переписки: gvkim@mail.ru*

Аннотация. Исследование состояния фитопланктона в период ледостава в Новосибирском водохранилище, оз. Манжерокское (Республика Алтай), оз. Красиловское (Алтайский край) – водоемов, отличающихся по возрасту, генезису, морфометрии, характеру водообмена, степени и типу антропогенной нагрузки, показало присутствие в каждом из них вегетирующего фитопланктона. В водохранилище со сравнительно высокой степенью проточности и наибольшей толщиной льда и высотой снежного покрова доминировали, как правило, диатомовые водоросли, в слабопроточном оз. Манжерокском – цианопрокариоты, в бессточном оз. Красиловское – цианопрокариоты и зеленые водоросли. Минимальное видовое разнообразие (30 видов и внутривидовых таксонов) и обилие водорослей (3,75–27,0 тыс. инд./л и 0,001–0,7 г/м^3) наблюдалось в водохранилище. Наибольшее видовое разнообразие выявлено в бессточном оз. Красиловское (56), а наибольшее обилие водорослей – в оз. Манжерокское (до 3 млн инд./л и 15,9 г/м^3). Существенной чертой зимнего фитопланктона исследованных водоемов является присутствие водорослей без проявленных видоспецифичных характеристик. Их численность и биомасса могли превышать 10 % от общей.

Ключевые слова: фитопланктон, Новосибирское водохранилище, оз. Манжерокское, оз. Красиловское

Экология фитопланктона континентальных водоемов в период открытой воды – один из наиболее изученных аспектов функционирования водных экосистем. Значительно меньше сведений относится к подледному периоду, хотя водоемы северного полушария покрыты льдом 2–8 мес. в году. Цель данной работы состояла в выявлении состояния фитопланктона в период ледостава в нескольких водоемах юга Западной Сибири, разных по возрасту, генезису, морфометрии, характеру водообмена, степени и типу антропогенной нагрузки – Новосибирском водохранилище, оз. Манжерокское (Республика Алтай), оз. Красиловское (Алтайский край).

Новосибирское водохранилище – крупнейший искусственный водоем Западной Сибири, созданный чуть более 60 лет назад для комплексного использования (выработка электроэнергии, регулирование стока р. Обь, обеспечение водой населения, сельского хозяйства и промышленности Новосибирской области и Алтайского края, а также имеющее важное значения для водного транспорта, рыбного хозяйства и рекреационных целей). Степень проточности водохранилища сравнительно высокая – среднемноголетний коэффициент водообмена 6,55. Площадь водного зеркала при НПУ 1070 км^2, средняя глубина 9,0 м, максимальная 25,0 м. Трофический статус варьирует от мезо- до эвтрофного.

Низкогорное, древнее **оз. *Манжерокское*** (15–12 тыс. лет), изначально олиготрофное, во второй половине 20-го века достигло статуса эвтрофного, а к началу 2000-х гг. – эвтрофно-гипертрофного, что совпало с замедлением водообмена, усилением рекреационной нагрузки и строительством горно-лыжного комплекса. Озеро относится к малопроточным водоемам. В 2018 г. с целью реабилитации озера были проведены дноуглубительные работы. Устойчивая площадь водного зеркала 3,37 км^2. К 2015 г. максимальная глубина озера составляла 3,3 м, толщина донных отложений – 5,0 м. После проведенных дноуглубительных работ глубина увеличилась до 5,7 м, толщина донных отложений в центральной части озера уменьшилась до 1,5 м.

Озеро Красиловское (12 тыс. лет) – бессточный надпойменный водоем. Площадь водного зеркала 0,8 км^2, средняя глубина – 2,7 м, максимальная – 6,5 м Трофический статус озера варьирует от мезотрофного до эвтрофного. Антропогенная нагрузка незначительна.

В составе фитопланктона оз. ***Манжерокское*** в период окончания ледостава (14 апреля 2021 г.), при толщине льда 0,44–0,56 м и незначительном снежном покрове с проталинами выявлено 48 видов и внутривидовых таксонов (ввт) из восьми отделов. Наибольшее число таксонов отмечено в отделе диатомовых водорослей – 18, из которых 17 представлено пустыми створками. Среди вегетирующих водорослей ведущую позицию занимают цианопрокариоты и зеленые водоросли (по 9 таксонов), далее следуют эвгленовые (4), золотистые, криптофитовые, динофитовые (по 2), желтозеленые (1) водоросли. Часть водорослей находилась в стадии покоя. Присутствовали водоросли, которые удалось идентифицировать только до отдела.

Видовое разнообразие и обилие водорослей в подледном слое превышало таковое у дна: у поверхности число видов варьировало в пределах 7–27, у дна – 1–9, соответственно, численность 280–3000 тыс. инд./л и 120–540 тыс. инд./л, биомасса – 0,8–15,9 г/м^3 и 0,01–8,92 г/м^3. Доминантами по численности и биомассе по всей акватории у поверхности и у дна были цианопрокариоты *Microcystis aeruginosa* Kütz., *Microcystis pulverea* (H. C. Wood) Forti, *Merismopedia tranquilla* (Ehrb.) Trev., *Gloeocapsopsis magma* (Bréb.) Kom. & Anagn. ex Kom.

В фитопланктоне оз. ***Красиловское*** в феврале 2018 г. при толщине льда 0,56 м и высоте снежного покрова 0,34 м выявлено 56 ввт; в марте 2017 г. при толщине льда 0,70 м и высоте снежного покрова 0,13 м выявлено 52 ввт. В зимнем фитопланктоне наиболее разнообразно был представлен род *Scenedesmus* – 9 таксонов в феврале и 7 в марте.

В феврале массово развивались цианопрокариоты (*Anabaena*, *Chroococcus*, *Microcystis*, *Gloeocapsa*, *Cyanothece*, *Gomphosphaeria*), зеленые (*Monoraphidium*, *Scenedesmus*, *Dictyosphaerium*, *Hyaloraphidium*) водоросли. Присутствовали водоросли из разных отделов, которые не удалось идентифицировать до вида. Часть клеток находилась в стадии покоя в виде цист. В марте во всей толще воды доминировали цианопрокариоты *M. pulverea* и *Snowella lacustris* (Chod.) Kom. & Hindák.

Количественные показатели фитопланктона в феврале-марте составляли 30–1060 тыс. инд./л, биомасса 0,2–12,2 г/м^3. Минимальное обилие водорослей отмечено в феврале, когда лед был покрыт более толстым слоем снега.

В зимнем планктоне обильно развивались мелкие (< 5 мкм) коккоидные и веретеновидной формы с шипиками и длинными отростками. Колонии цианопрокариот имели мощную слизистую оболочку. Прослеживается тенденция увеличения всех показателей в направлении ко дну.

В ***Новосибирском водохранилище*** 11–14 февраля 2022 г. при средней толщине льда 0,4–0,5 (0,97) м и слабом снежном покрове обнаружено 30 ввт из четырех отделов, 13–18 февраля 2023 г. при толщине льда 0,78–0,93 м и высоте снежного покрова 0,25–0,47 м обнаружен 31 ввт из семи отделов. Доминировали *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Asterionella formosa* Hassall, *Discostella stelligera* var. *tenuis* (Hust.) Houk & Klee, *Synedra* sp., *Navicula* sp. Показатели обилия составили: численность 3,75–27,00 тыс. инд./л, биомасса – 0,001–0,17 г/м^3.

Состояние фитопланктона в подледный период помимо таких факторов, как температура, движение воды, содержание биогенов, зависит от толщины льда и высоты снежного покрова, определяющих световые условия. Поскольку вариации данных показателей в разных водоемах разнообразны, то и характеристики фитопланктонных сообществ имеют отличия. Но в каждом из исследованных водоемов выявлено присутствие вегетирующего фитопланктона.

Существенной чертой зимнего фитопланктона исследованных водоемов является присутствие во всех отделах не обладающих видоспецифичными чертами водорослей, численность и биомасса которых могла превышать 10 % от общей.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Проекта № 0306-2021-0001 «Исследование разнообразия и структурно-функциональной организации водных экосистем для сохранения и рационального использования водных и биологических ресурсов Западной Сибири». Автор благодарит сотрудников Лаборатории водной экологии и Лаборатории гидрологии и геоинформатики ИВЭП СО РАН за помощь в отборе проб.

УДК 639.2.03(571.54)

ПОКАТНАЯ МИГРАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ОМУЛЯ В РЕКЕ СЕЛЕНГЕ

М. Г. Воронов *

Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В. Р. Филиппова
(Россия, 670034, Улан-Удэ, ул. Пушкина, 8)
**Автор для переписки: Voronov_mg53@mail.ru*

Аннотация. Цель – рассмотреть функциональную роль покатной миграции производителей байкальского омуля. Впервые представлены данные по динамике ската отнерестившегося омуля в р. Селенге, которая соответствует динамике захода производителей на нерест. Сначала скатываются самки, а затем самцы. Покатная миграция продолжается с 20-х чисел октября до конца ноября, при температуре воды ближе к 0 ºС, пик интенсивности ската приходится на конец октября первую декаду ноября. Наиболее интенсивно омуль скатывается с 18.00–19.00 до 22.00–23.00 часов. Максимальная выедаемость собственной икры происходит во время массового нереста. Поедание отнерестившимися производителями омуля собственной икры следует считать как адаптивный фактор, обеспечивающий их дальнейшее выживание, что повышает темп воспроизводства популяции. В период массового ската отнерестившегося омуля байкальская нерпа почти полностью переходит на питание покатным омулем, для этого она контролирует почти все выходы основных русел дельты р. Селенги.

Ключевые слова: омуль, миграция, нерест, интенсивность ската, воспроизводство популяции

Работа основана на материалах автора по исследованию производителей покатного омуля в период с 1985 по 2020 г. В общей сложности исследовано 2137 экз. самок, 1702 экз. самцов, 42 экз. разновозрастной нерпы, проведено специальных 69 сетных и 281 хаповых ловов покатного омуля.

Исследованиями в 80-ых годах показано, что наибольшая интенсивность потребления собственной икры приходится на период массового нереста (Воронов, 1993). Затем потребление икры резко падает (в среднем со 123–151 шт. до 0,6–2 кринок) и возрастает доля пустых желудков. В течение времени нереста встречаемость пустых желудков у покатных особей находится в противофазе с интенсивностью потребления икры питающихся особей. Самки начинают потреблять икру, когда находятся на стадии завершение трофоплазматического роста (IVг, по Смирновой-Залуми). Самцы начинают потреблять икру со стадии IV-V – V и до самого ската. Исследования в 2001–2004 гг. показано, что наибольшая интенсивность потребления у покатных самок наблюдается в начале покатной миграции. В этот промежуток времени среднее количество потребленных икринок одной самкой в несколько раз выше, чем у самцов. Затем в период массового ската интенсивность потребления икры у самок и самцов идентичная, при постепенном ее снижении. Однако к средине ноября количество икры в желудках, как самок, так и самцов устойчиво возрастает, что свидетельствует о возобновлении интенсивности нереста за счет производителей второго периода захода. В дальнейшем икра в желудках скатывающихся производители практически отсутствует как по встречаемости, так и по интенсивности наполнения. В целом среднее наполнение желудков покатного омуля собственной икрой в водопольный период составило 96 шт. в подледный – 30 шт.

Проследить полный цикл покатной миграции отнерестившихся производителей омуля в р. Селенге нам удалось в 2002 г. В этом году омуль освоил нерестилища на удалении почти 600 км от Байкала – на территории Монголии около 140 км от границы, по р. Чикой поднялся выше кожевенного завода (около 300 км). Динамика нерестовой миграции 2002 г. в створе 163 км демонстрирует двухпиковую кривую интенсивности хода производителей первого периода захода, продолжительность хода которых составила порядка 10 сут. Нерест омуля в р. Селенге начинается с верхних нерестилищ. Наиболее интенсивный скат производителей на 163 км от устья проходил с 3 по 13 ноября. После нереста самки сразу скатываются, самцы участвуют в нересте несколько раз, и задерживаются на нерестилищах.

Так, в начале покатной миграции преобладали самки, в период массового ската соотношение полов было близко 1:1, затем стали преобладать самцы (до 80 %). Наиболее интенсивно скат отнерестившихся особей происходит в период с 17.00 до 23.00 часов, при не всегда выраженном повышении к 9 часам утра. Зарегистрированы случаи, когда отдельные отнерестившиеся особи не скатываются и остаются зимовать в реке. Эти особи активно питались личинками ручейников и хирономид. По результатам исследований в 1999–2001 гг. желудосно-кишечные тракты только что добытой нерпы содержали целые тушки покатного омуля. Исследования отолитов из толстого кишечника показали, что доля покатного омуля в среднем составила: в 1999 – 85,3 %, в 2000 – 72,1 %, в 2001 – 76,8 %. Исследования в 1998–2003 гг. показали, что отнерестившиеся производители отмечались в январе – феврале в южной части оз. Байкал, а также вдоль западного берега от порта Байкал до бух. Песчаная реже до Багульдейки, но больше всего в районе Селенгинского мелководья на глубинах до 100 м. В 1989 г. 3 ноября на 37-м км р. Селенги была отловлена самая крупная самка омуля пелагической МЭГ. Восстановленный вес составил 1800 г, промысловая длина 542 мм, возраст 16+. В первый раз она пришла на нерест в 9+, второй раз в 11+, третий 16+, плодовитость – 63170 икринок.

Впервые нам удалось проследить полный цикл покатной миграции в количественном выражении. Полученные данные по динамике интенсивности ската дают целостную картину об интенсивности и сроках нереста омуля пелагической МЭГ, заходящего в разные периоды нерестовой миграции. Динамика и время захода производителей на нерест отражают пространственно-временную структуру нерестового стада которая определяет и динамику их покатной миграции.

Пик интенсивности ската приходится на период начала и время ледохода, при температуре воды ближе к нолю. В начале покатной миграции преобладают самки. Наполняемость икрой желудков у самок собственной икрой, как правило, выше, чем в то же время у самцов. Выедаемость икры самим омулем это адаптивный фактор, обеспечивающий их дальнейшее выживание, что повышает темп воспроизводства популяции. В желудках производителей до 50 % неоплодотворенных икринок. Переход нерпы на питание отнерестившимися производителями омуля – это эволюционно выработанный механизм, не оказывающий критического влияния.

Список литературы

Воронов М. Г. Эколого-биологические основы повышения эффективности воспроизводства омуля в р. Селенге в современных условиях : автореф. дис. … канд. биол. наук. СПб.,1993. 18 с.

УДК 591.493

КОСТНЫЙ ОСТОВ СРЕДНЕГО УХА БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ

Х. Х. угли Вохидов*, Н. И. Рядинская, И. В. Аникиенко

Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского
(Россия, 664038, Иркутская обл., пос. Молодежный, 1/1)
**Автор для переписки: vetjarroh@mail.ru*

Аннотация. Посредством обвалки, мацерации и препарирования исследован костный остов среднего уха слухового анализатора байкальской нерпы. Костной основой среднего уха байкальской нерпы является барабанная часть каменистой кости. Снаружи – это барабанный пузырь с отверстиями для выхода лицевого нерва, внутренней сонной артерии, костной слуховой трубы и костного отверстия наружного слухового прохода. Барабанная полость включает анатомические структуры, представленные мысом, окном преддверия, окном улитки, отверстием канала для лицевого нерва, костным валиком для внутренней сонной артерии, желобом костной слуховой трубы, костным отверстием наружного слухового прохода и, наконец, слуховыми косточками.

Ключевые слова: байкальская нерпа, барабанная полость, костный валик, мыс, окно преддверия, окно улитки, барабанный пузырь

Байкальская нерпа – один из многочисленных эндемиков Байкала. Вопросы биологии и экологии байкальской нерпы активно изучались в прошлом веке (1960–1980-х гг.), были публикации и морфологических характеристик организма эндемика [Анатомические … , 2020; Аникиенко, Рядинская, Вохидов, 2020].

Обитая в пресной воде, это морское млекопитающее приобрело ряд важнейших особенностей в строении организма. Знание анатомических особенностей необходимы как при диагностике и лечении таких необычных пациентов, так и при патологоанатомическом вскрытии, особенно при массовой гибели животных.

У млекопитающих, освоивших воздушную и водную среду обитания, имеются анатомические особенности в строении слухового анализатора, но у всех у них слуховой анализатор состоит из наружного, среднего и внутреннего уха, костной основой которых является теменная с височной и сама каменистая кость [Родионов, Солнцева, 2009; Солнцева, 2006; Попов, Супин, 2012; Ramprashad, Coray, Ronald, 1971]. Описание костной основы для органа слуха у байкальской нерпы не были описаны, что и послужило целью наших исследований.

Костной основой среднего уха байкальской нерпы является барабанный пузырь каменистой кости с барабанной полостью. Барабанный пузырь имеет вентральную, латеральную, медиальную и дорсальную стенки.

На медиальной поверхности барабанного пузыря на границе с оральной частью рваного отверстия располагается отверстие для внутренней сонной артерии, от которого начинается сонный канал, а заканчивается в мозговой полости между медиальной поверхностью барабанного пузыря и оральным краем скалистой части каменистой кости.

Аборально в области верхушки треугольника барабанного пузыря, там, где прикрепляется шиловидный отросток подъязычной кости, открывается отверстие костной слуховой трубы.

Следующее отверстие щелевидной формы для выхода лицевого нерва, длиной 6,1±0,32 мм и шириной 1,8±0,22 мм, располагается между сосцевидной частью и основанием треугольника барабанного пузыря. К этому отверстию по медиальному углу основания пузыря проходит сосудистый желоб шириной 1,3±0,11 мм.

На границе с чешуей височной кости на латеральной поверхности барабанного пузыря расположено костное отверстие наружного слухового прохода правильной овальной формы в виде кольца.

Дорсальная стенка барабанного пузыря находится внутри барабанной полости костно срастается со скалистой частью каменистой кости. На ее поверхности выражен рельеф следующих анатомических структур:

– мыс в виде костной выпуклости, в котором залегает основание улитки – находится в основании треугольника;

– окно преддверия, которое открывается у основания мыса с каудо-латеральной стороны;

– окно улитки, которое закрывается основанием стремечка – расположено краниолатерально от мыса;

– отверстие канала для лицевого нерва над окном улитки;

– костный валик для канала внутренней сонной артерии, причем он на прямую не сообщается с барабанной полостью, но из него по латеральным краям валике отмечены отверстия для сосудов;

– желоб костной слуховой трубы – начинается от отверстия костной слуховой трубы, и доходит до костного отверстия наружного слухового прохода;

– костное отверстие наружного слухового прохода, по краю которого находится внутреннее костное кольцо. По краю костного слухового отверстия на внутренней поверхности костного кольца в барабанной борозде закрепляется барабанная перепонка;

– слуховые косточки – молоточек, наковальня, чечевицеобразная косточка и стремечко.

Таким образом, костной основой среднего уха байкальской нерпы является барабанная часть каменистой кости. Снаружи – это барабанный пузырь с отверстиями для выхода лицевого нерва, внутренней сонной артерии, костной слуховой трубы и костного отверстия наружного слухового прохода. Барабанная полость включает анатомические структуры, представленные мысом, окном преддверия, окном улитки, отверстием канала для лицевого нерва, костным валиком для внутренней сонной артерии, желобом костной слуховой трубы, костным отверстием наружного слухового прохода и, наконец, слуховыми косточками.

Список литературы

Анатомические особенности слуховых косточек у байкальской нерпы / О. Л. Анисимова, Н. И. Рядинская, И. В. Аникиенко, Х. Х. Вохидов // Морфология. 2020. Т. 157, № 2–3. С. 18–19.

Аникиенко И. В., Рядинская Н. И., Вохидов Х. Х. Строение органа слуха у неполовозрелых особей байкальской нерпы (*Phoca sibirica* Gm. 1788) // Иппология и ветеринария. 2020. № 4(38). С. 21–27.

Попов В. В., Супин А. Я. Слух китов и дельфинов // Сенсорные системы. 2012. Т. 26, № 2. 220 с.

Родионов В. А., Солнцева Г. Н. Морфология органов звукогенерации и звуковосприятия у дельфинов // Успехи современной биологии. 2009. Т. 129, № 4. С. 399–416.

Солнцева Г. Н. Органы слуха и равновесия у млекопитающих в онтогенезе // Онтогенез. 2006. Т. 37, № 5. С. 340–361.

Ramprashad F., Coray S., Ronald K. The harp seal, *Pagophilus groenlandicus* (Erxleben, 1777). XIII The gross microscopic structure of the auditory meatus // Can J Zool. 1971. Vol. 49, N 2. P. 241–248. DOI: 10.1139/z71-034

УДК 639.2

ПЛОДОВИТОСТЬ ПЛОТВЫ *RUTILUS RUTILUS* В РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е. А. Вялкова [1]*, В. А. Шаталин[1], О. А. Завгородняя[2], М. А. Дорогин[1], Е. М. Митяев[1], Е. А. Интересова[1, 2]

[1]Новосибирский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 630091, Новосибирск, ул. Писарева, 1)
[2]Томский государственный университет (Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 36)
**Автор для переписки: e.vyalkova@zapsib.vniro.ru*

Аннотация. Плотва *Rutilus rutilus* широко распространена в реках и озёрах Западной Сибири, является важным промысловым объектом в регионе. При сравнительном анализе абсолютной и относительной плодовитости данного вида в оз. Чаны, Новосибирском водохранилище и Средней Оби выявлено, что наибольшая плодовитость характерна для плотвы озера, что, вероятно, связано с лучшей обеспеченностью пищей в данном водоеме.

Ключевые слова: плотва, *Rutilus rutilus*, плодовитость, Западная Сибирь

Плодовитость – важнейшая характеристика видов и отдельных популяций рыб, изменение которой во многих случаях можно использовать как один из показателей для прогнозирования состояния их запасов [Никольский, 1965]. Плотва *Rutilus rutilus* – широко распространенный в реках и озёрах Западной Сибири аборигенный вид рыб, всегда имевший существенное значение в рыбном промысле региона [Попов, 2006]. В настоящее время в водных объектах юга Западной Сибири вылов плотвы суммарно достигает 1,5 тыс. т ежегодно, при этом доля вида в общем объеме добычи рыбы составляет от 3 % в Новосибирском водохранилище до 18–19 % в оз. Чаны и бассейне Средней Оби в пределах Томской области [Интересова, Ростовцев, 2021; Рыбные … , 2023]. Таким образом, понимание факторов и механизмов, оказывающих влияние на популяции плотвы, необходимо для повышения точности прогноза состояния ее запасов. Целью данной работы является сравнительный анализ плодовитости плотвы в основных рыбопромысловых водных объектах юга Западной Сибири – оз. Чаны, Новосибирском водохранилище и Средней Оби в пределах Томской области.

Для данной работы в мае 2024 г. были собраны пробы на оз. Чаны (д. Новорозино, Купинский район Новосибирской области), Новосибирском водохранилище (с. Береговое, Новосибирский район Новосибирской области) и Средней Оби (с. Кривошеино, Кривошеинский район Томской области и с. Мельниково, Шегарский район Томской области). Согласно общепринятым методикам [Правдин, 1966; Петлина, 1987], в ходе отбора проб проводили измерение промысловой длины и взвешивание рыб, собирали чешую для определения возраста, оценивали массу гонад. Икру брали у разновозрастных рыб на IV стадии зрелости. Сбор икры проводили из разных частей яичников, общая масса навески составляла 1,1–1,5 г. Пробы фиксировали 2%-ным раствором формалина для дальнейшего подсчета икринок в лабораторных условиях. Общее количество проб составило 116 (оз. Чаны – 50 экз., Новосибирское водохранилище – 22 экз., Средняя Обь – 44 экз.). После подсчета икринок в пробах, рассчитывали индивидуальную абсолютную (ИАП) и относительную (ИОП) плодовитость (в расчете на 1 г массы рыбы без внутренностей). Для сравнительного анализа плодовитости плотвы в разнотипных водных объектах был использован единый размерный класс рыб 17–19 см.

У плотвы из оз. Чаны ИАП варьировала от 13,99 до 81,82 тыс. икринок (в среднем 35,17 тыс.), а ИОП – от 119 до 364 икринок (в среднем 223). В Новосибирском водохранилище ИАП составляла от 4,19 до 29,93 тыс. икринок (в среднем 12,54 тыс.), ИОП – от 89 до 232 икринок (в среднем 136). В Средней Оби ИАП плотвы варьировала от 3,55 до

54,43 тыс. икринок (в среднем 13,77 тыс.), а ИОП – от 80 до 218 икринок (в среднем 133). Плодовитость увеличивается с возрастом и размером рыб.

Показатели плодовитости плотвы Средней Оби и Новосибирского водохранилища близки, ИАП и ИОП рыб оз. Чаны статистически значимо выше (рис.). Более высокие показатели плодовитости плотвы оз. Чаны, вероятно, могут быть связаны с лучшей кормовой базовой водоема.

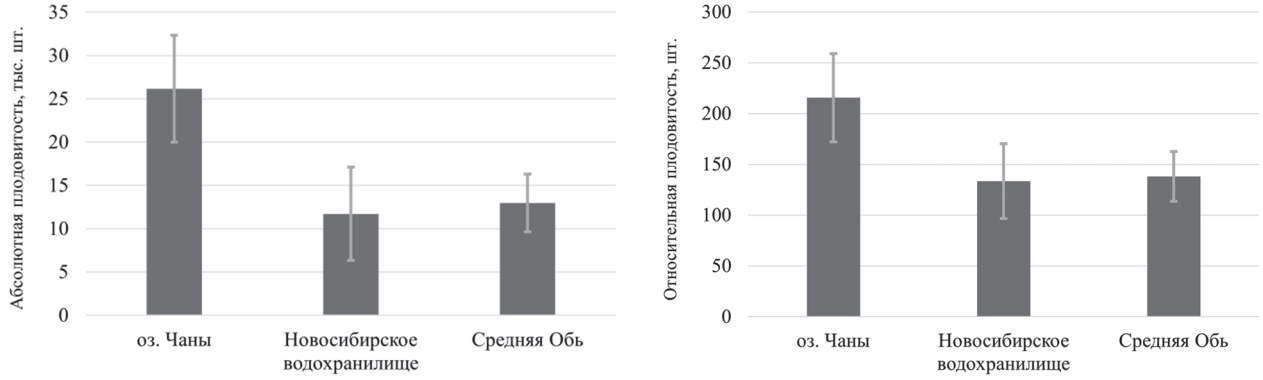


Рис. Плодовитость плотвы *Rutilus rutilus* размерного класса 17–19 см в разнотипных водных объектах юга Западной Сибири в 2024 г. Примечание: приведены среднее значение и стандартное отклонение для каждого водного объекта

Благодарности. работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) № 24-26-00101, https://rscf.ru/project/24-26-00101/.

Список литературы

Интересова Е. А., Ростовцев А. А. Уловы, возраст и рост плотвы *Rutilus rutilus* (Cyprinidae) Средней Оби (в пределах Томской области) // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2021. № 4(183). С. 31–40. DOI: 10.33920/sel-09-2104-03

Никольский Г. В. Теория динамики стада рыб. М. : Наука, 1965. 365 с.

Петлина А. П. Определение плодовитости и стадий зрелости рыб : учеб. пособие. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1987. 106 с.

Попов П. А. Рыбы Сибири: распространение, экология, вылов. Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. ун-та, 2007. 526 с.

Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.

Рыбные ресурсы Новосибирской области: современное состояние промысла / А. Л. Абрамов, А. А. Ростовцев, В. Ф. Зайцев [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2023. № 2(205). С. 76–87. DOI: 10.33920/sel-09-2302-01

УДК 578.2

РАЗНООБРАЗИЕ ВИРУСОВ В ГУБКАХ *LUBOMIRSKIA BAIKALENSIS*

К. Д. Гавриленко*, Ю. С. Букин, В. А. Горев, И. В. Ханаев, Т. В. Бутина

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: kdgavr@gmail.com*

Аннотация. Байкальские губки, являясь важным элементом экосистемы оз. Байкал, также связаны с вирусами, входящими в состав губчатого холобионта. Вирусы могут иметь большое значение в жизнедеятельности губок, а также влиять на экологию озера и окружающую среду в целом. В данной работе мы оценили разнообразие ДНК-вирусов в ассоциированном сообществе байкальской эндемичной губки *L. baikalensis* с использованием метагеномного подхода и сравнили виромные данные из губок и образцов байкальской воды (контрольный образец).

Ключевые слова: губка *Lubomirskia baikalensis*, Байкал, ДНК вирусы, метагеном

Губки – многоклеточные животные, ведущие прикреплённый образ жизни. Они являются природными фильтраторами, участвуют в трофических связях и являются важным элементом экосистемы оз. Байкал.

Вирусы являются частью голобионта губок и играют важную роль в их жизнедеятельности. Однако на данный момент разнообразие и взаимодействие вирусов с голобионтом губок остаются малоизученными.

В последние годы в оз. Байкал произошли аномальные явления, которые наиболее явно проявились в прибрежных рекреационных зонах озера [Current … , 2018]. С 2011 г. стали появляться сообщения о заболевании губок, происхождение и причины которого остаются не известными до сих пор. Чаще всего у больных животных наблюдаются значительные изменения количественного и качественного состава микроорганизмов [Microbiome ... , 2021]. Считается, что болезни (или синдромы) губок могут быть обусловлены нарушением сложных взаимодействий внутри голобионта под воздействием экологического стресса, что приводит к инфекциям [The sponge … , 2018]. Изучение сообщества вирусов в губках, а также их взаимодействия с хозяином может стать ключом к раскрытию причин заболевания губок.

Целью исследования является оценка разнообразия ДНК-вирусов в ассоциированном сообществе эндемичной байкальской губки *L. baikalensis* (визуально здоровых и поврежденных) с использованием метагеномного подхода.

Образцы для анализа разнообразия вирусных сообществ отбирали во время экспедиции на НИС «Титов» недалеко от пос. Большие Коты (станция Варначка) в мае 2022 г. Из образцов выделяли вирусоподобные частицы и вирусные ДНК. Всего было подготовлено два пула образцов– больных и здоровых губок. Расшифровку генетического материала (вирусной ДНК из образцов губок) проводили с использованием секвенатора NovaSeq x Plus Series (PE150) в фирме Novogene. Сборку коротких прочтений в контиги геномной сборки проводили с помощью приложения MEGAHIT [2025]. Для идентификации вирусных последовательностей использовали программу VirSorter2 [2025]. Качество полученных вирусных геномов оценивалось с помощью CheckV [2025]. Таксономическая классификация проводилась с использованием программы Kaiju [2025]. Обработку результатов (вычисление индексов ожидаемого разнообразия виротипов (Chao1 и ACE), построение тепловых карт, кластеризация, многомерное шкалирование) проводили средствами пакета vegan [The vegan package, 2007] для языка программирования R.

Образцы *L. baikalensis* были успешно секвенированы, получено более 7 млн прочтений на образец. В результате сборки и анализа данных выделено 60 527 вирусных контигов, среди которых доминировали бактериофаги (класс *Caudoviricetes*), вирофаги

(*Maveriviricetes*) и крупные ДНК-вирусы (*Megaviricetes*). Виром здоровых губок характеризовался преобладанием семейств *Lavidaviridae* и *Phycodnaviridae* (вирусы водорослей), тогда как в больных образцах превалировали неклассифицированные до семейства вирусы, преимущественно бактериофаги. Виромы *L. baikalensis* и *B. bacillifera* [Metagenomic ... , 2022] (используемой для сравнения) образовали отдельный кластер, отличный от виромов воды оз. Байкал, что указывает на специфичность вирусного разнообразия в составе губок. При этом значительная часть вирусных последовательностей не имела близких аналогов в базах данных, что свидетельствует о наличии уникальных, возможно, эндемичных вирусов в губках оз. Байкал.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 0279-2021-0005 и 0279-2021-0010).

Список литературы

CheckV. URL: https://anaconda.org/bioconda/checkv (дата обращения: 26.05.2025).

Current state of the sponge fauna (Porifera: Lubomirskiidae) of Lake Baikal: Sponge disease and the problem of conservation of diversity / I. V. Khanaev, L. S. Kravtsova, O. O. Maikova [et al.] // Journal of Great Lakes Research. 2018. Vol. 1 (44). P. 77–85.

KAIJU. URL: https://bioinformatics-centre.github.io/kaiju/ (дата обращения: 04.04.2025)

MEGAHIT. URL: https://github.com/voutcn/megahit (дата обращения: 10.03.2025).

Metagenomic Assessment of DNA Viral Diversity in Freshwater Sponges, *Baikalospongia bacillifera* / T. V. Butina, I. S. Petrushin, I. V. Khanaev, Bukin Y. S. // Microorganisms. 2022. Vol. 10, N 2. Art. 480. DOI: 10.3390/microorganisms10020480

Microbiome changes of endemic lake baikal sponges during bleaching syndrome development / V. Itskovich, O. Kaluzhnaya, O. Glyzina [et al.] // Diversity. 2021. N 12(13).

The sponge holobiont in a changing ocean: from microbes to ecosystems / L. Pita, L. Rix, B. Slaby, A. Franke // Microbiome. 2018. Vol. 6, N 1. Art. 46. DOI: 10.1186/s40168-018-0428-1

The vegan package / J. Oksanen, F. G. Blanchet, R. Kindt, P. Legendre // Community ecology package. 2007. N 10. P. 631–637). Art. 719.

VirSorter2 version 2.2.4. URL: https://github.com/jiarong/VirSorter2/releases/tag/v2.2.4 (дата обращения: 22.04.2025).

УДК 574.583

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОЦЕНОЗОВ В РАЗНОТИПНЫХ ЗАРОСЛЯХ МАКРОФИТОВ ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ОЗЁР И ПРУДОВ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. Е. Гаврилко*, А. Ю. Сарапкин, В. А. Бубнов, В. С. Жихарев, Т. В. Золотарева

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского (Россия, 603022, Нижний Новгород, просп. Гагарина, 23)
**Автор для переписки: dima_gavrilko@mail.ru*

Аннотация. Исследования пространственного распределения сообществ гидробионтов под действием средообразующих организмов актуально в современной экологии. Цель работы стал анализ пространственного распределения сообществ зоопланктона в разнотипных зарослях макрофитов прибрежной зоны озёр и проверка модели экоклина. Было проанализировано пространственное распределение зоопланктоценозов литоральной зоны в 7 озёрах и прудах Нижегородской области. На основе анализа видовой структуры выделены сообщества зоопланктона, приуроченные к определенным зарослям макрофитов или зоне открытой воды. Проанализирован градиент изменения основных абиотических параметров водной среды, сформированный разнотипными зарослями макрофитов. Сделан вывод о существовании экоклина, сформированного разнотипными зарослями высших водных растений в литоральной зоне.

Ключевые слова: экоклин, высшие водные растения, коловратки, ракообразные, видовая структура

Большинство исследований пространственного распределения сообществ зоопланктона проводилось в рипали рек и пелагиали водохранилищ. Исследованиям пространственной организации зоопланктоценозов литорали озер уделено меньше внимания. В литоральной зоне заросли высших водных макрофитов выступают структурообразующим фактором для сообществ беспозвоночных [Walsh, 1995; Kuczynska-Kippen, 2006; Role … , 2014]. Ввиду наличия морфологически разных форм зарослей в литорали формируются различные абиотические и биотические условия для зоопланктона, что приводит к образованию градиента условий среды от берега к зоне открытой воды. Это может привести к формированию в зонах макрофитных поясов сообществ зоопланктона с различающейся видовой структурой и градиента сообществ. Целью работы был анализ пространственного распределения сообществ зоопланктона в разнотипных зарослях макрофитов прибрежной зоны озёр и проверка модели экоклина.

Материал для работы был собран в озёрах Чарское, Головковское, расположенных в Нижегородской области, озёрах Хальзовское, Малышевское и трёх прудах, расположенных в Нижнем Новгороде в 2024 г. Исследуемые озёра и пруды различались по глубине, площади и трофическому статусу. Отбор проб зоопланктона проводили методом трансект, которые располагали вдоль береговой линии в разнотипных макрофитных поясах и на краю зоны зарослей. В каждой трансекте отбирали по 5 проб зоопланктона, на расстоянии 2 м друг от друга. В точках отбора проб были измерены абиотические параметры водной среды (глубина, прозрачность, температура, pH, электропроводность, концентрация растворенного кислорода), а также концентрация хлорофилла a и проективное покрытие растениями биотопа. Обработку проб проводили общепринятыми в практике гидробиологических исследований методами [Методы … , 2024].

В результате проведенных исследований выявлено, что в литоральной зоне озёр и прудов наблюдался градиент изменения основных абиотических параметров водной среды, сформированный разнотипными зарослями высших водных растений. На основе анализа видовой структуры выделены сообщества зоопланктона, приуроченные к определенным зарослям макрофитов или зоне открытой воды. Происходило постепенное замещение одних видов другими в доминантном комплексе зоопланктона вдоль градиента местообитаний, сформированного макрофитами. Полученные результаты позволяют констатировать, что в

прибрежной зоне исследованных озер и прудов под действием разнотипных зарослей высших водных растений наблюдался пространственный градиент факторов среды и сообществ зоопланктона, характеризуемый как экоклин. На основе анализа избыточности (RDA) проанализировано влияние факторов на структуру зоопланктоценозов. Наибольшее влияние на видовую структуру сообществ зоопланктона оказывали тип биотопа (наличие разнотипных зарослей макрофитов или их отсутствие) и проективное покрытие макрофитов.

Таким образом, мы подтвердили выдвигаемую гипотезу о существовании экоклина в литоральной зоне озёр и прудов. Его формирование обусловлено наличием разнотипных макрофитных поясов, которые определяют физико-химические параметры воды и структуру сообществ зоопланктона.

Благодарности. исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-74-00016, https://rscf.ru/project/24-74-00016/.

Список литературы

Методы гидробиологических исследований внутренних вод / А. В. Крылов, И. А. Барышев, Д. М. Безматерных [и др.] ; под ред. А. В. Крылова. Борок, Ярославская обл. : ИБВВ РАН ; Ярославль : Филигрань, 2024. 592 с.

Kuczynska-Kippen N. Zooplankton structure in architecturally differentiated macrophyte habitats of shallow lakes in the Wielkopolska Region, Poland // International Journal of Oceanography and Hydrobiology. 2006. Vol. 35, N 2. P. 179–191.

Role of macrophytes as microhabitats for zooplankton community in lentic freshwater ecosystems of South Korea / J.-Y. Choi, Kw.-S. Jeong, S.-K. Kim [et al.] // Ecological Informatics. 2014. N 24. P. 177–185. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2014.09.002

Walsh E. J. Habitat-specific predation susceptibilities of a littoral rotifer to two invertebrate predators // Hydrobiologia. 1995. N 313. P. 205–211.

УДК 575.2

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЕНИСЕЙСКОГО ОСЕТРА

Н. Д. Гайденок [1]*, А. И. Пережилин[2]

[1]Красноярский государственный аграрный университет
(Россия, 660049, Красноярск, просп. Мира, 90),
[2]Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева
(Россия, 660037, Красноярск, просп. им. газеты Красноярский рабочий, 31)
**Автор для переписки: ndgay@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрены концептуально-исторические аспекты морфометрии, таксономии, генетики осетра Енисея. Обнаружено наличие дихотомия возрастных распределений веса.

Ключевые слова: осетр Енисея, Оби, Байкала, возрастное распределение веса, промысловая, систематико-популяционно-генетическая классификация, кумулятивная полимерия

В процессе анализа морфометрии енисейского осетра [Гайденок, Заделенов, 2024; Гайденок, Кириченко, Пережилин, 2025] обнаружилась дихотомия возрастных распределений веса (рис. 1). С другой стороны, имеются сведения о наличии в Енисее двух форм осетра – морского и енисейнаго (по П. И. Третьякову, 1871) (рис. 2), осетра и челбаша (по М. Ф. Кривошапкину, 1865), жилого и полупроходного (по Ю. В. Михалеву, 1967), что показано на рис. 3.

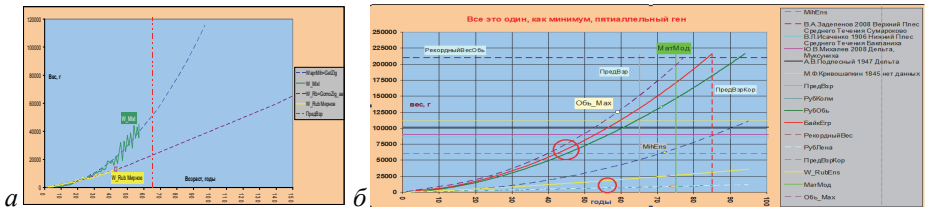


Рис. 1. Возрастное распределение веса енисейского осетра по А. Г. Егорову [1961], Ю. В. Михалеву [1967] и Г. И. Рубану [1999]:
а – устьевая область и нижнее течение Енисея; *б* – факты регистрации максимальных показателей

Т

Морской осетръ нѣсколько отличается отъ енисейнаго; цвѣтъ его кожи, въ особенности по хребту, на немъ темнѣе и по бокамъ встрѣчаются черныя пятна; носъ болѣе острый,

К

Есть особый родъ осетра, называемый *челбашъ* и челбышъ. Онъ имѣетъ нисо, нежѣе вкусное, чѣмъ у осетра, да и не достигаетъ такихъ размѣровъ, какъ сей послѣдній. Отличается отъ осетра: во-1-хъ, не на столько тонкимъ носомъ, тогда какъ у осетра есть сходство съ рыломъ собаки; во-2-хъ, иглами, на хребтѣ очень длинными и острыми на всемъ ихъ протяженіи, тогда какъ у осетра иглы по хребту ниже, округлены и совершенно тупы. Въ-3-хъ, хвостъ у челбыша поуже и подлиннѣе, чѣмъ у осетра. Въ-4-хъ, носъ и крылья у головы бураваты, тогда какъ у осетра начерно сивые.

Рис. 2. Единственно существующие сравнительные описания элементов популяционного континуума енисейского осетра по П. И. Третьякову [1871] (*Т*) и М. Ф. Кривошапкину [1865] (*К*)

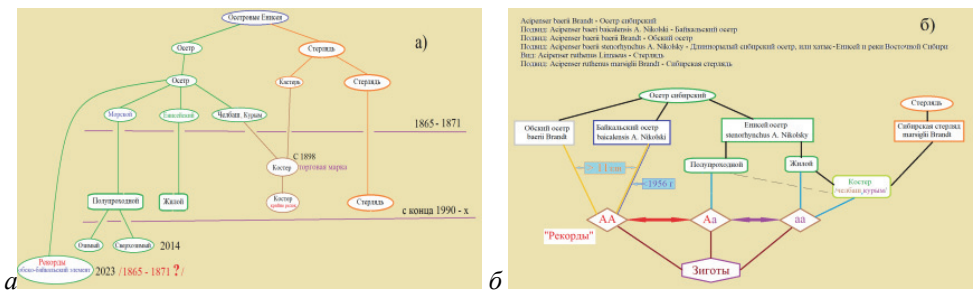


Рис. 3. Историко-промысловая (*а*) [Третьяков, 1871; Кривошапкин, 1865] и систематико-популяционно-генетическая (*б*) классификации осетровых Енисея

Представители вышеупомянутых форм осетров по морфологическому описанию и соотношению весовых распределений соответствуют обскому, байкальскому и ленскому весовому распределению (рис. 1, *б*).

С генетических же позиций это полная аналогия неаллельному взаимодействию генов – кумулятивной полимерии (рис. 4) [Гайденок, Кириченко, Пережилин, 2025].

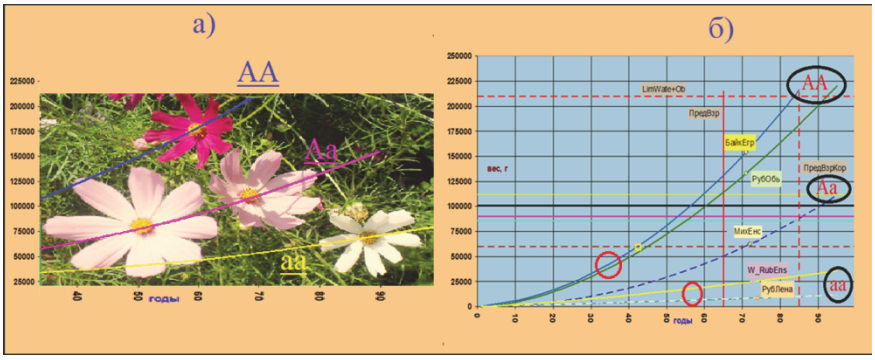


Рис. 4. Аналогия соответствия кумулятивной полимерии (*а*) и возрастных распределений веса сибирского осетра Оби, Байкала, Лены и Енисея (*б*)

Здесь стоит отметить досадный факт – генетические исследования енисейского осетра, проведенные в [Барминцева, 2017; Побединцева, 2022] не только не затронули рассматриваемое многообразие его форм, но и избегали его – в [Побединцева, 2022] говорится – «в качестве материала для исследования енисейского осетра были взяты образцы из четырех точек, которые далее были объединены в одну пробу».

Список литературы

Барминцева А. Е. Филогеография и внутривидовой генетический полиморфизм сибирского осетра Aacipenser baerii Brandt, 1869 в природе и аквакультуре : дис. … канд. биол. наук. М., 2017. 120 с.

Гайденок Н. Д., Заделенов В. А. Демография, таксономия, генетика модели енисейского осетра – 20 лет спустя. Часть 1 // Рыбное хозяйство. 2024. № 3. С 52–62.

Гайденок Н. Д., Кириченко О. И., Пережилин А. И. Демография, таксономия, генетика модели енисейского осетра – 20 лет спустя. Ч. 2. Морфометрический полиморфизм енисейского осетра // Рыбное хозяйство. 2025. № 3. С. 104–115.

Егоров А. Г. Байкальский осетр. Улан-Удэ : Тип. М-ва культуры БурАССР, 1961. С. 11.

Кривошапкин М. Ф. Енисейский округ и его жизнь. СПб. : Изд. Императорского Русского географического общества, на иждивении В. А. Кокорева, 1865. 650 с.

Михалев Ю. В. К биологии и регулированию промысла проходного осетра р. Енисея // Труды Краснояр. отд-ния СибНИИРХ. Красноярск, 1967. Т. 9. С. 348–361.

Побединцева М. А. Молекулярно-генетическое разнообразие речных и озерных полиплоидных рыб Северной Евразии : дис. … канд. биол. наук. Новосибирск, 2022. 120 с.

Рубан Г. И. Сибирский осетр. М. : ВНИРО, 1999. 232 с.

Третьяков П. И. Туруханский край, его природа и жители. СПб. : Тип. В. Безобразова и К, 1871. 316 с.

УДК 574.589

СООБЩЕСТВА МИКРОЭУКАРИОТ ЮЖНОГО БАЙКАЛА И ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРСКОГО КАСКАДА В ИЮНЕ 2024 ГОДА ПО ДАННЫМ МЕТАБАРКОДИРОВАНИЯ

Ю. П. Галачьянц*, Д. П. Петрова, А. М. Марченков, М. А. Налимова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: yuri.galachyants@lin.irk.ru*

Аннотация. Впервые представлены результаты метагеномного анализа сообществ микроэукариот Южного Байкала и водохранилищ Ангарского каскада. Показано, что сообщества микроэукариот Иркутского водохранилища имеют наибольшее сходство с сообществами Южного Байкала. Весенние сообщества микроэукариот в нижележащих водохранилищах значительно отличаются от байкальских. Выявлена отчетливая группировка сообществ, отражающая их географическое положение и, возможно, градиенты абиотических факторов. Это указывает на наличие устойчивых региональных паттернов в структуре сообществ микроэукариот Южного Байкала и водохранилищ Ангарского каскада.

Ключевые слова: метабаркодирование по фрагменту гена 18S рРНК; олиготрофные пресноводные экосистемы; переход озеро – река

Микроэукариоты играют ключевую роль в функционировании пресноводных экосистем, однако их разнообразие и пространственно-временная организация в крупных водоемах Восточной Сибири до недавнего времени оставались малоизученными. Ранее комплексных исследований сообществ Южного Байкала и водохранилищ Ангарского каскада не проводилось. Недавно с применением методов оптической и электронной микроскопии [Environmental ... , 2023; Summer … , 2023; The Influence ... , 2024], а также метабаркодирования [Dynamics ... , 2025] мы впервые охарактеризовали сезонную динамику сообществ микроэукариот в Южном Байкале и Иркутском водохранилище, что стало основой для дальнейшего изучения пространственных закономерностей их распределения вдоль всего каскада.

С помощью ампликонного секвенирования гена 18S рРНК охарактеризованы сообщества микроэукариот 43 проб, отобранных в июне 2024 г. (гидрологическая весна) на станциях Южного Байкала и водохранилищ Ангарского каскада.

Кластерный анализ бета-разнообразия выявил четкую пространственную структуру сообществ микроэукариот (рис.). Сообщества группируются преимущественно по принадлежности к тому или иному водоему, что указывает на значительное влияние локальных условий среды. Сообщества микроэукариот Иркутского водохранилища демонстрируют наибольшее сходство с байкальскими, что, вероятно, связано с его непосредственным гидрологическим и географическим положением – водохранилище формируется стоком из Южного Байкала. В нижележащих водохранилищах каскада (Братском, Усть-Илимском и Богучанском) наблюдаются выраженные отличия в составе сообществ микроэукариот по сравнению с Байкалом. В то же время, не выявлено значимых различий между сообществами, отобранными в основном русле Ангары и в заливах при впадении крупных притоков (например, Ока и Ия – в Братском, Илим – в Усть-Илимском водохранилище), что может свидетельствовать о высокой степени водообмена и схожести условий в этих зонах.

На уровне представленности классов микроэукариот, сообщества Южного Байкала и Иркутского водохранилища характеризуются высокой численностью Bacillariophyta, Choanoflagellata, Eustigmatophyta и Trebouxiophyceae. В сообществах нижележащих водохранилищ эти таксоны не представлены или имеют меньшую численность. В более низовых водохранилищах каскада (Усть-Илимском и Богучанском) наблюдается обогащение сообществ за счет пресноводных фитопланктонных групп, включая Chlorophyceae, Cryptophyceae, Dinophyceae, Coscinodiscophyceae и Mediophyceae, отсутствующих или ме-

нее представленных в Южном Байкале и Иркутском водохранилище, а также увеличение разнообразия инфузорий, что может отражать более высокую продуктивность и изменение трофических условий.

Обнаруженные различия свидетельствуют о существовании устойчивых региональных паттернов в структуре сообществ микроэукариот, обусловленных как абиотическими факторами (трофия, прозрачность, гидрологический режим), так и гидрологической связанностью и направленностью водного потока в каскаде.

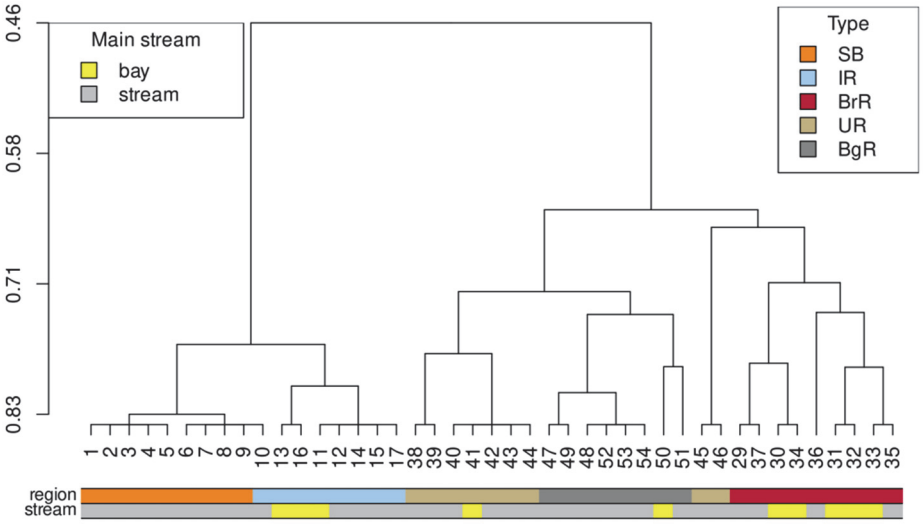


Рис. Кластерный анализ бета-разнообразия сообществ микроэукариот методом афинного распространения на основе дистанций Брея–Кертиса. Цветовая аннотация: SB – Южный Байкал; IR, BrR, UR, BgR – Иркутское, Братское, Усть-Илимское и Богучанское водохранилища. Обозначены станции на основном русле и в заливах (stream/bay)

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14-00028, https://rscf.ru/project/23-14-00028/.

Список литературы

Dynamics of Phyto- and Bacterioplankton in Southern Baikal and Irkutsk Reservoir During the Open Water Period of 2023 According to Metabarcoding Data / Y. Galachyants, D. Petrova, A. Marchenkov [et al.] // Diversity. 2025. Vol. 17, N 6. P. 369. DOI: 10.3390/d17060369

Environmental factors affecting distribution and diversity of phytoplankton in the Irkutsk Reservoir ecosystem in June 2023 / A. D. Firsova, Y. Galachyants, A. Y. Bessudova [et al.] // Diversity. 2023. N 15. P. 1–20. DOI: 10.3390/d15101070

Summer phytoplankton species composition and abundance in the southern basin of Lake Baikal and Irkutsk Reservoir / A. Firsova, Y. Galachyants, A. Bessudova [et al.] // LFWB. 2023. N 6. P. 204–228. DOI: 10.31951/2658-3518-2023-A-6-204

The Influence of Waters of Lake Baikal on the Spatiotemporal Dynamics of Phytoplankton in the Irkutsk Reservoir / A. Firsova, Y. Galachyants, A. Bessudova [et al.] // Water. 2024. N 16. Art. 3284. DOI: 10.3390/w16223284

УДК 551.577.13

ДИНАМИКА И ВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ СОДЕРЖАНИЯ ОСНОВНЫХ КИСЛОТООБРАЗУЮЩИХ ИОНОВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ: ОСОБЕННОСТИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА В 2011–2020 ГГ.

Д. А. Галушин[1]*, С. А. Громов[1,2]

[1]Институт глобального климата и экологии им. ак. Ю. А. Израэля (Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б)
[2]Институт географии РАН (Россия, 119017, Москва, Старомонетный переулок, 29,4)
**Автор для переписки: galushin2012@yandex.ru*

Аннотация. Целью работы является анализ динамики содержания сульфатов и нитратов в атмосферных осадках на Байкальской природной территории за период с 2011 по 2020 г. и оценка временных трендов содержания загрязняющих веществ для анализа состояния атмосферного загрязнения и его изменений на региональном уровне. Сравнение результатов наблюдений за химическим составом осадков за периоды 2011–2015 и 2016 – 2020 гг. показывает, что характерное снижение содержания загрязняющих веществ в атмосферных осадках для большинства станций мониторинга в районе Байкала произошло в период с 2016 по 2020 г., что обусловлено комплексом факторов, требующих дальнейшего изучения их влияния, включая возможные изменения климатических условий региона.

Ключевые слова: атмосферные осадки, сульфаты, нитраты, загрязнение, кислотообразующие ионы

Введение. Загрязнение атмосферы, вызванное промышленными выбросами, транспортом и другими антропогенными источниками, представляет собой ключевую экологическую проблему, продолжающуюся в XXI в., негативно влияющую на экосистемы [Еделев, 2020]. Атмосферные осадки содержат кислотообразующие вещества (сульфаты и нитраты), которые могут вызывать кислотные дожди, вредные для почв, вод и растительности. Байкальская природная территория (БПТ), с высоким биоразнообразием и уникальными экосистемами, особенно уязвима к таким изменениям [Ахтиманкина, 2018]. Целью данной работы является анализ динамики содержания сульфатов и нитратов в атмосферных осадках на БПТ за период с 2011 по 2020 г. и оценка временных трендов изменения состояния атмосферного загрязнения по результатам этого вида мониторинга.

Материалы и методы. В границах Байкальской природной территории (БПТ) мониторинг химического состава атмосферных осадков (ХСО) осуществлялся на 2 станциях ФГБУ «Забайкальское УГМС» и 7 станциях ФГБУ «Иркутское УГМС» Росгидромета [Ежегодные … , 2021]. Для анализа динамики и трендов изменения содержания кислотообразующих веществ в атмосферных осадках использовались среднегодовые данные о концентрации сульфатов и нитратов, опубликованные в открытом доступе на сайте Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. Эти данные представлены в формате ежегодников по химическому составу и кислотности атмосферных осадков [Ежегодные … , 2016].

Результаты и их обсуждения. Анализ химического состава осадков, отобранных на метеостанциях Черемхово и Исток Ангары, показал, что для первой половины периода наблюдений (2011–2015 гг.) были характерны высокие концентрации сульфатов, особенно в 2015 (14,87 мг/л) и 2012 (12,75 мг/л) годах, что связано с выбросами оксидов серы при сжигании угля промышленными предприятиями и для отопления. С 2016 г. наблюдается снижение концентрации сульфатов: на станции Черемхово, до 2,90 мг/л в 2019 г., а на станции Исток Ангары – до 5,84 мг/л в 2020 г., что обусловлено введением экологических нормативов (рис.).

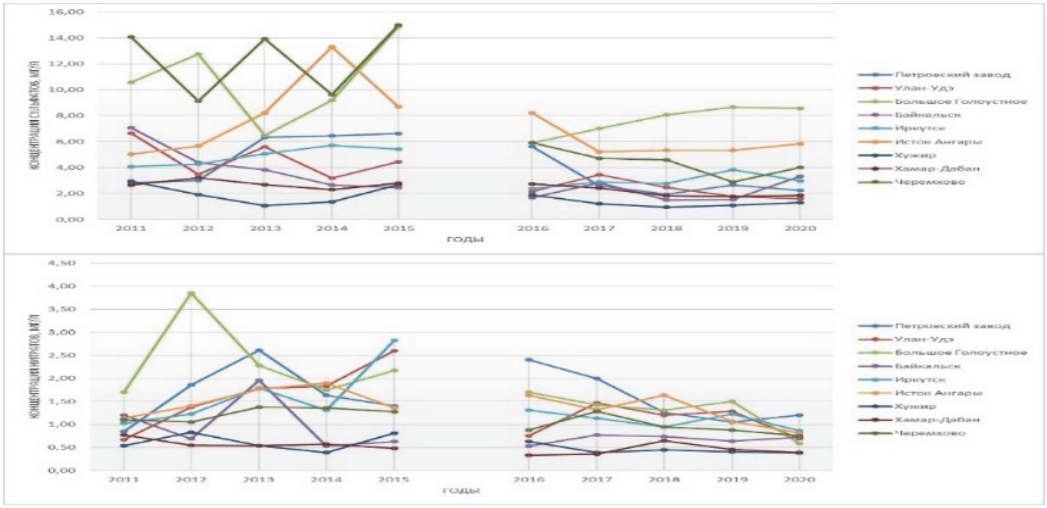


Рис. Динамика концентраций сульфатов (*а*) и нитратов (*б*) в атмосферных осадках на станциях ХСО Байкальской природной территории

Анализ содержания нитратов в осадках показывает наименьшие значения на Хужире и Хамар-Дабане, где уровень в 2020 г. составил 0,38 мг/л. На станции Петровский завод наблюдался рост концентраций нитратов до 2,61 мг/л в 2013 г., после чего началось их снижение, до 1,20 мг/л в 2020 г., вероятно, под влиянием внедрения экологических нормативов. В районе Большого Голоустного, где ранее отмечались высокие концентрации нитратов (3,85 мг/л в 2012 г.), с 2013 г. также наблюдается снижение, связанное с ограничением использования автотранспорта.

Выводы. Анализ химического состава осадков на Байкальской природной территории выявил разные тенденции изменения концентраций сульфатов и нитратов. В Черемховском районе и районе станции Петровский завод после 2016 г. наблюдалось снижение концентраций загрязняющих веществ, вероятно, из-за экологических нормативов. В районе Большого Голоустного снижение концентрации нитратов связано с ограничением автотранспорта. В Хужире и Хамар-Дабане также зафиксировано снижение загрязняющих веществ из-за природных факторов и удалённости от промышленности.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках темы НИТР Росгидромета АААА-А20-120013190049-4 «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ)». Анализ проведен в работах по Госзаданию FMWS-2024-0009 № 1023032700199-9 Института географии РАН.

Список литературы

Ахтиманкина А. В. Проблемы мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на Байкальской природной территории // Байкал 2018 : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., 11–20 июня 2018 г., Ольхонский район. Иркутск : ИРНИТУ, 2018. С. 243–245.

Еделев А. В. Загрязнение байкальской природной территории: автомобильный транспорт // Прогрес. науч. исследования: теория, методология и практика применения : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 25 авг. 2020 г. Уфа: Аэтерна, 2020. С. 33–36.

Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2016–2020 гг. : монография / Н. А. Першина, А. И. Полищук, М. Т. Павлова, Е. А. Семенец. СПб. : Амирит, 2021. 114 с.

Ежегодные данные по химическому составу и кислотности атмосферных осадков за 2011–2015 гг. : монография / П. Ф. Свистов, Н. А. Першина, А. И. Полищук [и др.]. СПб. : С.-Петербур. политехн. ун-т Петра Великого, 2016. 116 с.

УДК 597.4/.5

ВЛИЯНИЕ ПРОТАТРАНОВ НА ОПЛОДОТВОРЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ИКРЫ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ

Е. Л. Гамаюнов[1]*, А. Н. Воробьева[2], Л. В. Суханова[2], Р. Ю. Чебунин[3]

[1]Иркутский государственный университет, биолого-почвенный факультет (Россия, 664011, Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5)
[2]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[3] МБОУ СОШ № 24 (Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 299)
**Автор для переписки: k.la.tfcplus@gmail.com*

Аннотация. Адаптогены класса атранов (протатраны) применяются при искусственном воспроизводстве рыб. Эти соединения используются как биостимуляторы роста и развития, а также адаптогены для аквакультурных видов рыб (сиговые, лососёвые и др.). Их влияние на взрослых особей доказано, но влияние на икру остаётся неисследованным. Для проверки влияния протатранов на икру радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), сибирского хариуса (*Thymallus arcticus*), байкальского сига (*Coregonus baicalensis*) был проведён эксперимент с применением недавно оформившейся методики инкубации в планшетах. В результате эксперимента гипотеза о положительном влиянии подтвердилась: выклев икры хариуса в группе с протатраном увеличился на 11,7 %, икры сига – на 13 %. На икре форели провести эксперимент не удалось, так как молоки самцов оказались нефертильны, и икра не была оплодотворена.

Ключевые слова: инкубация икры, планшетный метод, лососёвые рыбы, атраны, протатраны

Работа посвящена исследованию воздействия химически синтезированных соединений класса атранов на инкубацию икры лососевидных рыб как потенциальных адаптогенов в процессе искусственного воспроизводства с целью сохранения биоразнообразия и/или использования в аквакультуре. Объектами исследования в данной работе послужили представители семейства Лососёвые (Salmonidae): микижа (радужная форель, *Oncorhynchus mykiss*), сибирский хариус (*Thymallus arcticus*) и байкальский озёрный сиг (*Coregonus baicalensis*). Исследуемый адаптоген принадлежит к протатранам – гидроксиалкиламмониевым солям, относящимся к классу гетероциклических молекул (атранов), которые, как известно, обладают широким спектром биологической активности, включая антисептическое действие [Адамович, 2014].

В науке и рыбоводстве применяются разные методы инкубации икры, среди которых выделяются традиционные (аппарат Вейса, аквариум, чашки Петри) и выбранный для данного исследования четвертый способ – выращивание икры в культуральных планшетах [Цуладзе, 1990; Семенченко, Смешливая, 2017]. Этот метод был предпочтен благодаря ряду преимуществ: он требует меньшего ухода, исключает взаимное влияние икринок, что повышает чистоту эксперимента, и позволяет наблюдать эмбриогенез индивидуальной особи. Методика является относительно новой, разработанной несколькими лабораториями в 2021 г. [Способ инкубации … , 2022] В рамках исследования также был проведен эксперимент по сравнению эффективности размещения икринок – по четыре в лунке двенадцатилуночного планшета и по одной в лунке двадцатичетырёхлуночного планшета – с целью оптимизации использования пространства, что особенно актуально для инкубации лососевых, требующих низких температур.

Практическая часть работы состоит из трех экспериментов. Первый, проведенный в августе 2022 г. на икре радужной форели в Лимнологическом институте СО РАН, показал антисептическое действие адаптогенов на ранних стадиях развития икры. Икра оплодотворялась и инкубировалась до стадии глазка в чашках Петри. Затем перенесена в планшеты. Однако эксперимент завершился неудачей по причине нефертильности молок крупных (переросших) самцов форели, что было установлено постфактум.

Второй эксперимент, проведенный в июне 2023 г. на икре байкальского хариуса, был направлен на подтверждение гипотезы о положительном влиянии протатранов. В этом эксперименте использовался один вид протатранов (CP2), активатор сперматозоидов D-532 и

половые продукты суточного хранения при низкой температуре, а не непосредственно после отбора [Application … 2012,]. Икра также оплодотворялась и инкубировалась до стадии глазка в чашках Петри с последующим переносом в планшеты. Результаты показали, что развитие икры, оплодотворенной без активатора, остановилось на ранних стадиях. В то же время в группах, где применялись стимуляторы, наблюдалось значительно большее количество икры развившейся до стадии глазка и более высокий процент выклева личинок. В частности, в группах, оплодотворенных со стимулятором, количество выживших эмбрионов было на 11,7 % выше, чем в контрольных группах, что подтверждает положительное влияние атранов на эффективность оплодотворения и последующее развитие икры хариуса.

В третьем эксперименте, проведенном в декабре – апреле 2024 г. на икре байкальского озерного сига, весь период инкубации от момента оплодотворения до выклева проходил в культуральных планшетах. Икра была разделена на группы по типу планшета (12-луночные с 4 икринками в лунке и 24-луночные с 1 икринкой) и отсутствию (контроль) и наличию стимулятора (СР2). Результаты показали значительное превосходство методики инкубации икры по одной в лунке (24-луночные планшеты) над методикой по четыре в лунке (12-луночные планшеты) по выживаемости как в процессе инкубации, так и при выклеве. Например, в группе СР2 (24) смертность составила 25 %, а выклёвываемость – 75 %, тогда как в группе СР2 (12) эти показатели были 60 и 40 % соответственно. Увеличивающееся потребление кислорода и пагубное влияние мертвых икринок, создающих питательную среду для болезнетворных микроорганизмов, послужили причинами низкой эффективности размещения по четыре икринки в лунке планшета.

Результаты искусственного оплодотворения икры лососевых рыб в присутствии протатрана СР2 и последующей инкубации в культуральных планшетах свидетельствуют о его положительном влиянии.

Список литературы

Адамович С. Н. Атраны и ионные комплексы в дизайне биологически активных соединений : дис. … д-ра хим. наук. Иркутск, 2014.

Семенченко С. М., Смешливая Н. В. Инкубация икры сиговых рыб Coregonidae в лабораторных условиях // Вестник рыбохозяйственной науки. 2017. Т. 4, № 4 (16). С. 4–13

Способ инкубации икры лососеобразных рыб в шестилуночных культуральных планшетах с использованием стимуляторов развития. Патент № RU2786438C / Глызина О. Ю., Воробьева А. Н., Сапожникова Ю. П. [и др.]. 2022.

Цуладзе В. Л. Бассейновый метод выращивания лососевых рыб: на примере радужной форели. М. : Агропромиздат, 1990. 156 с.

Application of glucose–methanol extender to cryopreservation of semen of sex-reversed females rainbow trout results in high post-thaw sperm motility and fertilizing ability / Dietrich G. J., Nynca J., Dobosz S., Zalewski T., Cieresz ko A. // Aquaculture. 2014. N 434. P. 27–32. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.07.015

УДК 556.048:556.555.3

АНАЛИЗ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОГРАФОВ ПОЛЕЗНОГО ПРИТОКА В ОЗ. БАЙКАЛ И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

В. С. Гасан *, Н. В. Абасов, Е. Н. Осипчук, Т. В. Бережных

Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 130)
**Автор для переписки: viktor-gasan@yandex.ru*

Аннотация. В работе проведен анализ изменчивости гидрографов полезного притока в оз. Байкал за многолетний период с учетом зависимостей от климатических факторов. Разработаны методы вероятностного прогнозирования полезного притока воды на основе накопленной гидрологической статистики и множества прогностических ансамблей, формируемых глобальными климатическими моделями. Приведен пример формирования прогностической области расположения гидрографа на 2025–2026 водохозяйственный год с отображением на номограммах его обеспеченностей.

Ключевые слова: гидрограф, прогнозирование, полезный приток, глобальные климатические модели, номограмма

Рассматриваются гидрографы полезного притока в оз. Байкал в виде накопления объема от начала водохозяйственного года. Полезный приток в озеро определяется изменением среднего уровня озера и расходом р. Ангары в ее истоке (до ввода Иркутской ГЭС) или расходом Иркутской ГЭС (ИГЭС) после ввода ее в эксплуатацию. Полезный приток имеет высокую корреляцию с речным притоком для всех интервалов рассматриваемого водохозяйственного года, кроме ноября и декабря, когда испарение с поверхности озера может превышать величину не только речного суммарного притока, но и расхода ИГЭС.

Для анализа гидрографов в ИСЭМ СО РАН разработаны специальные номограммы обеспеченностей в виде компонентов системы ГеоГИПСАР [Абасов, 2012], позволяющие проводить оценки полезного притока для разных интервалов времени (месяц, декада и др.). Среднемесячные показатели полезного притока рассматриваются с 1886 г. Проведена классификация гидрографов притока по его объему и по изменениям его вида в летний период. Отдельно формируются средние гидрографы для маловодных периодов, негативно влияющих на функционирование водохозяйственных и энергетических систем.

Разработаны подходы к прогнозированию и уточнению гидрографов с использованием различных нейросетевых моделей, предикторами которых являются характеристики гидрографов аналогов, метеопоказатели и различные индексы состояния атмосферы.

В условиях глобального изменения климата перспективным направлением является использование прогностических ансамблей глобальных климатических моделей. На основе постоянного мониторинга прогностических ансамблей глобальной климатической модели CFSv2 [Гасан, Абасов, Осипчук, 2023] в бассейне оз. Байкал определяются наиболее вероятные распределения различных метеопоказателей за исследуемый период времени, по которым формируется список ближайших годов-аналогов. По сформированным годам синтезируется наиболее вероятная область расположения прогностического гидрографа.

На рис. 1 представлен пример рассчитанных номограмм обеспеченностей полезного притока в озеро с интервалом в 1 мес. и выделением зоны расположения гидрографа на 2025–2026 водохозяйственный год. Учитывая вероятностные показатели прогнозируемого притока, для повышения надежности предполагается его периодическое уточнение в случаях существенного изменения показателей циркуляции атмосферы.

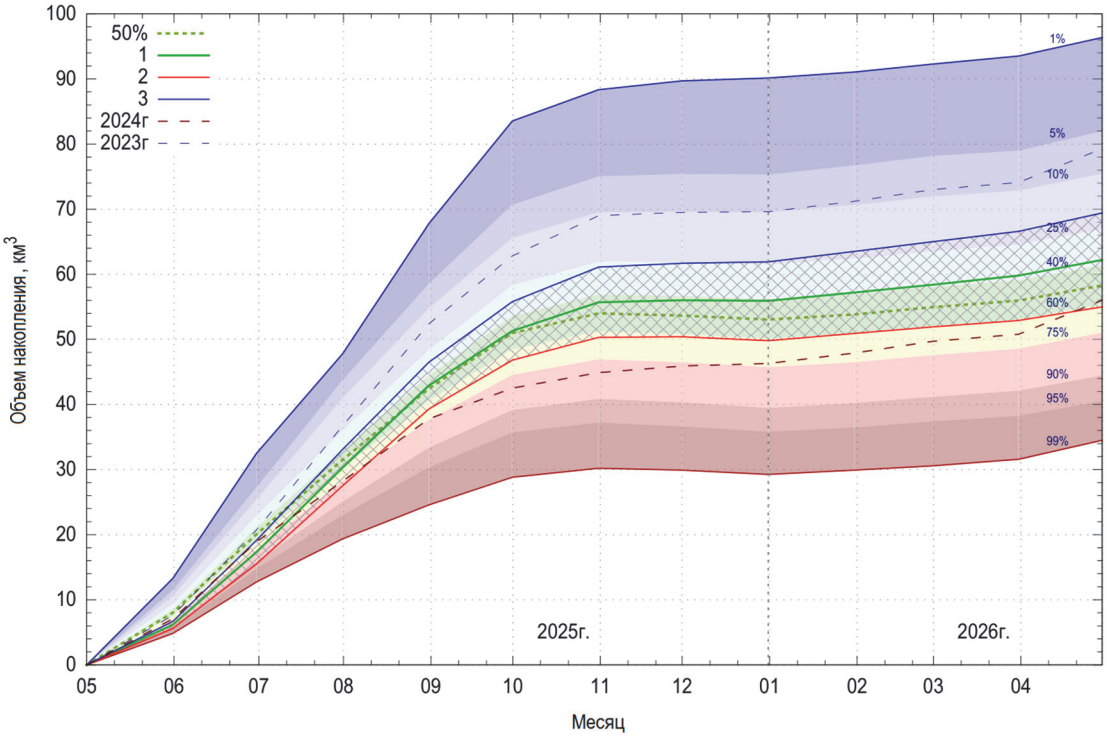


Рис. Пример отображения области расположения прогнозируемых гидрографов интегрального полезного притока в оз. Байкал: вероятная (1), нижняя (2), верхняя (3) прогностические границы

Благодарности. Работа выполнена в рамках гранта № 075-15-2024-533 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта («Фундаментальные исследования Байкальской природной территории на основе системы взаимосвязанных базовых методов, моделей, нейронных сетей и цифровой платформы экологического мониторинга окружающей среды»).

Список литературы

Абасов Н. В. Система долгосрочного прогнозирования и анализа природообусловленных факторов энергетики ГеоГИПСАР // Экстремальные проявления глобального изменения климата на территории Северной Азии (Enviromis-2012) : материалы междунар. совещания APN (MAIRS/NEESP/SIRS). 2012. С. 63–66.

Гасан В. С., Абасов Н. В., Осипчук Е. Н. Мониторинг и накопление данных в информационно-прогностической системе ГеоГИПСАР // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. № 4(32). С. 160–169.

УДК 398.3:502.48:502.72

ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОЕ И ПРИРОДООХРАННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ОЗЕРА НУМТО (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

В. А. Глазунов*, С. А. Николаенко

Тюменский научный центр СО РАН (Россия, 625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86)
**Автор для переписки: v_gl@inbox.ru*

Аннотация. Озеро Нумто – крупный водоем, расположенный в центральной части Западной Сибири, имеющий важное экологическое, природоохранное и историко-культурное значение. Озеро находится на одном из основных водораздельных путей миграции водоплавающих птиц, характеризуется высоким разнообразием прибрежно-водной растительности, является местом обитания для охраняемых видов животных и растений. Водоем как священное место занимает ключевое положение в религиозных представлениях коренных малочисленных народов Севера. Для сохранения данного объекта и прилегающей территории в 1997 г. создан природный парк окружного значения «Нумто».

Ключевые слова: казымские ханты, Красная книга, лесные ненцы, природный парк, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра

Озеро Нумто (ненецкий топоним, хантыйский топоним – Торум-лор, переводится как «божье озеро», «небесное озеро», «озеро верховного бога») площадью около 57 км^2 является крупнейшим водоемом, оказывающим существенное влияние на микроклимат и гидрологический режим водораздела рек Казым и Надым в центральной части Западно-Сибирской равнины (подзона северной тайги). Преобладающая глубина водоема – около 2,5 м, наибольшая – 5 м. Озеро проточное, в него впадает несколько небольших рек и ручьев, вытекает только одна река – Надым. Для водосборной площади озера характерны малые уклоны поверхности, большое количество бессточных понижений, медленное течение рек и ручьев. В ландшафтной структуре преобладают олиготрофные плоскобугристые болота. В последние десятилетия отмечается тенденция к снижению уровня воды, что приводит к эвтрофикации водоема [Валеева, Московченко, Арефьев, 2008; Парк «Нумто» … , 2017].

Нумто и связанные с ним водоемы характеризуются достаточно высоким уровнем разнообразия прибрежно-водной растительности, в составе которой отмечено более 60 видов сосудистых растений, что обусловлено сложными морфометрическими и гидрологическими условиями. В 2024 г. наблюдалась высокая численность и широкое распространение для вида, подлежащего охране на федеральном уровне – полушника колючеспорового. Район оз. Нумто – одно из немногих в Западной Сибири мест, где в естественных условиях встречается ликоподиелла заливаемая.

Озеро расположено на одном из крупнейших водораздельных путей миграции водоплавающих птиц, прежде всего гусей – на отдельных участках побережья озера во время пролета регистрируется по 3–4 тыс. особей. Здесь представлены практически все типичные для таежных водоразделов стации гнездования водно-болотной фауны. Район озера является местом гнездования крупных околоводных хищных птиц – орлана-белохвоста, скопы, сапсана. С рыбохозяйственной точки зрения оз. Нумто является мезотрофным слабозаморным водоемом средней продуктивности. Ихтиофауна представлена пелядью (основной объект промысла), щекуром, язем, плотвой, щукой, окунем, ершом, изредка встречается нельма. В периоды интенсивной эксплуатации (до 1987 г.) рыбный промысел проводился в течение всего года. После ряда заморных явлений, вызвавших массовую гибель рыбы, промысел был прекращен. Популяции сиговых рыб восстанавливаются крайне медленно из-за низкой численности производителей [Парк «Нумто» … , 2017].

В силу своего географического положения район оз. Нумто и сопредельные территории во все времена, начиная с каменного века, привлекали человека. Свидетельствами этого интереса являются многочисленные остатки древних поселений, городищ, а также большое количество ловчих ям, связанных с охотничьим промыслом. Окрестности озера населяют

представители двух коренных малочисленных народов Севера – лесные ненцы и казымские ханты. Сочетание тундровых, лесотундровых и таежных ландшафтов здесь позволят заниматься такими видами традиционной хозяйственной деятельности, как оленеводство, охота, рыболовство и собирательство.

Верховья рек Надым и Казым почитаются коренными народами как места, населенные божествами и на относительно небольшой территории водораздела расположено множество святилищ. Само оз. Нумто и «Святой остров» на нем являются крупнейшим в Западной Сибири священным местом для коренного населения. Согласно легендам, озеро является живым существом – мужчиной, у которого есть жена – оз. Пякуто. В религиозном сознании хантов и лесных ненцев, сохраняемом и передаваемом в устной традиции, история священного места берет свое начало с момента, когда на озеро спустился верховный Бог. В другой интерпретации, здесь (на острове) когда-то стоял чум «Старика» (ставшего Нумом – верховным Богом), сын которого много воевал: семь раз он погибал и семь раз воскресал. Затем он ушел в озеро и стал Нумто. По другой версии, его бросил на Землю отец Нум. Остров же на озере стал местом восседания дочери Торума – Вут-ими («верхняя женщина»). По представлениям казымских хантов озеро по форме напоминает изображение животного: лошади или лося. На берегах оз. Нумто, расположено 8 святилищ: семь действующих и одно фольклорное. Культовыми объектами являются небольшие территориально ограниченные участки суши и деревья, считающиеся священными [Парк «Нумто» … , 2017].

Южное побережье оз. Нумто наиболее освоено местными жителями: здесь расположены относительно крупные массивы лесной растительности, в т. ч. чистые насаждения сибирского кедра и сосны, на берегу озера находится национальная дер. Нумто. Постоянные межэтинические контакты, родственные связи и хозяйственная интеграция привели к формированию единого культурного облика всех коренных жителей данной местности.

Для сохранения территории в качестве места проживания и ведения традиционного образа жизни казымских хантов и лесных ненцев в 1997 г. был создан природный парк окружного значения «Нумто» на площади более 556 тыс. га. В задачи парка входит охрана типичных водно-болотных ландшафтов севера Западной Сибири; мест произрастания и обитания редких видов растений, грибов и животных; историко-культурных объектов; проведение научных исследований; экологическое просвещение. С начала 2000-х гг. в южной части парка ПАО «Сургутнефтегаз» ведет промышленную эксплуатацию нефтяных месторождений, включая строительство всей сопутствующей инфраструктуры: автомобильных дорог, трубопроводов, ЛЭП, кустовых площадок, гидронамывных карьеров и т. д. В 2022 г. с целью повышения природоохранной эффективности в границы и схему функционального зонирования парка были внесены изменения – территория, где размещены объекты нефтедобычи исключена из площади парка, но при этом в состав парка вошел обширный прилегающий с запада участок и общая площадь увеличилась до 597 тыс. га.

Благодарности. Авторы выражают благодарность дирекции и сотрудникам природного парка окружного значения «Нумто» за всестороннее содействие в проведении научных работ на его территории и многолетнее сотрудничество.

Список литературы

Валеева Э. И., Московченко Д. В., Арефьев С. П. Природный комплекс парка «Нумто». Новосибирск : Наука, 2008. 280 с.

Парк «Нумто»: природа и историко-культурное наследие. Сургут : Сургутнефтегаз : РИИЦ «Нефть Приобья, 2017. 150 с.

УДК 579.68:574.5

БАКТЕРИООБРАСТАНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО И ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НОВОВОРОНЕЖСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: ИТОГИ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА

Е. В. Глинская*, Д. М. Голубев, А. К. Тарасюк, О. С. Глинская, М. Ю. Воронин

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского (Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83)
**Автор для переписки: elenavg-2007@yandex.ru*

Аннотация. Представлены результаты многолетнего мониторинга бактериообрастаний систем технического и оборотного водоснабжения Нововоронежской атомной электростанции. Из образцов биологических пленок, образуемых на металлических конструкциях береговых насосных станций, центральных насосных станций, машинных залов, выделены сапрофитные хемоорганотрофные мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные бактерии, хемолитотрофные железоокисляющие бактерии. Количественные показатели сапрофитных бактерий достигали 10^8 КОЕ в 1 мл. Видовой состав биологических пленок представлен следующими видами бактерий: *Azomonas agilis*, *Bacillus clausii*, *B. halmapalus*, *B. megaterium*, *B. psychrodurans*, *B. subtilis*, *Kurthia zopfii*, *Microbacterium lacticum*, *Nocardiodes simplex*, *Pseudomonas mandelii*, *P. fluorescens.* Санитарно-показательные микроорганизмы (сульфитредуцирующие клостридии, колиформные бактерии) как показатели фекального загрязнения в составе бактериообрастаний не обнаружены. Плесневые грибы как показатели процессов самоочищения водоемов изолированы в единичных пробах.

Ключевые слова: атомная электростанция, системы технического и оборотного водоснабжения, бактериообрастания, железоокисляющие бактерии, *Azomonas*, *Bacillus*, *Kurthia*, *Microbacterium*, *Nocardiodes*, *Pseudomonas*

Биообрастание является основным источником загрязнения систем водоснабжения. Формирование биопленок в системах технического и оборотного водоснабжения приводит к серьезным проблемам. В частности, образование микроорганизмами толстых слоев отложений увеличивает энергозатраты на подачу воды, ухудшает ее санитарно-гигиенические характеристики и снижает пропускную способность оборудования [Глинская, Савельева, Воронин, 2019; Investigating … , 2025]. Биопленки представляют собой скопления микроорганизмов (плесневые грибы, водоросли, простейшие и бактерии), а также органических и неорганических веществ. Развитие биопленок может способствовать локальной коррозии металлов, а также изменять цвет, вкус и запах воды [Biofouling ... , 2025; A Mini ... , 2025].

Целью работы являлся мониторинг биоразнообразия микроорганизмов, формирующих биопленки и участвующих в процессе биообрастания в системах технического и оборотного водоснабжения Нововоронежской АЭС.

Отбор проб для микробиологического исследования биообрастаний на металлических конструкциях в системах технического и оборотного водоснабжения (Нововоронежской АЭС (НВАЭС) проводили в период с 2017 по 2020 г. Пробы отбирали на следующих объектах: береговая насосная станция, центральная насосная станция, машинный зал. Микробиологические исследования проводили стандартными методами. Видовую принадлежность бактерий определяли путем изучения их фенотипических свойств (морфологических, культуральных и биохимических). Верификацию выделенных культур проводили на основании анализа последовательностей гена 16S рРНК в ООО «Синтол» (г. Москва).

Из биопленок, образуемых на исследуемых металлических конструкциях, выделены грамположительные (*Bacillus clausii*, *B. halmapalus*, *B. megaterium*, *B. psychrodurans*, *B. subtilis*, *Kurthia zopfii*, *Microbacterium lacticum*, *Nocardiodes simplex*) и грамотрицательные бактерии (*Azomonas agilis*, *Pseudomonas mandelii*, *P. fluorescens*), являющиеся сапрофитами и хемоорганотрофами. Численность микроорганизмов, формирующих биопленки и участ-

вующих в процессе биообрастания водонесущих конструкций, достигала 10^8 м. к./мл, встречаемость – 70 %.

Хемолитотрофные железоокисляющие бактерии обнаружены во всех пробах, отобранных с водонесущих конструкций системы технического и оборотного водоснабжения НВАЭС.

Сульфитредуцирующие клостридии и колиформные бактерии, свидетельствующие о фекальном загрязнении, во всех пробах отсутствовали.

Плесневые грибы как показатели процессов микробного самоочищения воды в исследуемых пробах не обнаружены.

Таким образом, на металлических конструкциях системы технического и оборотного водоснабжения Нововоронежской АЭС образуются ассоциации сапрофитных микроорганизмов из 2-3 видов. Выделенные микроорганизмы представлены широко распространенными в природных водных и почвенных экосистемах видами бактерий.

Список литературы

Глинская Е. В., Савельева А. С., Воронин М. Ю. Бактериообрастания в системе технического водоснабжения Ново воронежской атомной электростанции // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, № 4. С. 481–484. DOI: 10.18500/1816-9775-2019-19-4-481-484

A Mini Review on Biofilm-Mediated Water Pollution: Mechanistic Interactions, Preventive Approaches, and Removal Strategies / A. A. R. Syaida, M. T. M. Jalil, M. M. Mahat [et al.] // Science Letters. 2025. Vol. 19, N 1. P. 88–103.

Biofouling control strategy through denatured extracellular proteins: An empirical evidence from reclaimed water distribution systems / Y. Shen, Y. Xiao, E. Xie [et al.] // Water Research. 2025. N 280. Art. 123538. DOI: 10.1016/j.watres.2025.123538

Investigating the influence of tank material and residual chlorine on the proliferation of bacterial biofilm growth in the drinking water storage systems / A. Javed, H. Amjad, I. Hashmi, W. Miran // Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development. 2025. Vol. 15, N 4. P. 305–321. DOI: 10.2166/washdev.2025.285

УДК 543.544.52:543.51:57.084:593.4

БАЙКАЛЬСКАЯ ГУБКА *LUBOMIRSKIA BAICALENSIS* В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

О. Ю. Глызина[1]*, В. Б. Ицкович[1], Л. И. Белых[2]

[1]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2] Иркутский национальный исследовательский технический университет
(Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83)
**Автор для переписки: glyzina@lin.irk.ru*

Аннотация. Целью работы была краткая систематизация основных результатов исследования биохимического состава (липидный и пигментный состав клеток и симбионтов, белки теплового шока), состояния и свойств эндемичной байкальской губки *Lubomirskia baicalensis* в условиях изменения среды обитания (температура, концентрация полициклических ароматических углеводородов) с начала 1990-х гг. Установлено, что у *L. baicalensis* существуют различные адаптационные механизмы.

Ключевые слова: байкальская губка, биохимический состав, адаптация, температура, полициклические ароматические углеводороды, белки теплового шока

Представлены основные результаты исследований с 1990-х гг. биохимических особенностей, состояния и свойств эндемичной байкальской губки *Lubomirskia baicalensis*.

Оценка видового состава последних лет показала сходный видовой состав губок *Lubomirskiidae* в трех точках сбора в Южном Байкале: пос. Листвянка, падь Черная, падь Варначка с различным уровнем антропогенной нагрузки. Видовое разнообразие губок в исследованных районах сохраняется прежним по сравнению с данными 1996–1997 гг. [Анализ ... , 2023]. Было обнаружено доминирование 8 видов губок, в которых определен липидный состав. Ранее у байкальских губок выявлено высокое содержание «демоспонгиевых» кислот и преобладание как разветвленных, так и полиненасыщенных кислот [Effect … , 1992]. Установлено, что в настоящее время у *L. baicalensis* сохраняется высокое содержание эйкозопентаеновой (20:5 n-3) и демоспонгиевой (26:3 n-3) кислот.

Начиная с 2010 г. наблюдалась массовая гибель губки в оз. Байкал. Причины гибели до сих пор остаются спорными. Для поиска причин болезней байкальских губок и выявления адаптационных механизмов в различных условиях их выживания проводились эксперименты по установлению влияния изменения среды обитания на сообщество губки. Установлено, что у *L. baicalensis* существуют различные адаптационные приспособления.

Результаты модельного инкубирования *L. baicalensis* в байкальской воде, содержащей растворимые концентрации стойких органических загрязнителей класса полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), показали способность губки активно удалять их из воды по сравнению с контрольными опытами без добавления организмов [Фильтрационные ... , 2019; Белых, Глызина, 2023]. Установлено, что при накоплении ПАУ в клетках губок в них увеличивается содержание (синтез) полиненасыщенных кислот n-3 ряда, которое восстанавливается в прежнем составе жирных кислот при последующей инкубации этой же губки в чистой байкальской воде. Анализ кинетики и распределения ПАУ различной растворимости и структуры (нафталин, антрацен, пирен, бенз(а)пирен) в системе вода – губка показал способность *L. baicalensis* удалять соединения из водных растворов с наибольшей скоростью в первые 2–6 ч и с эффективностью до 70–95 % от исходного содержания в зависимости от биомассы губки, времени экспозиции и природы (гидрофобности) соединения.

Комплекс экспериментов позволил проанализировать изменчивость липидного и пигментного состава клеток губки; выявить одну из причин накопления в клетках губок белков теплового шока (БТШ) [Особенности … , 2017]; оценить одну из частей механизма функционирования мембранных липидов. Исследования показали, что после трёх месяцев инкубации губки при повышении температуры до +12 °С изменяются количественные биохими-

ческие показатели, как клеток самой губки, так и её симбионтов. Установлено также, что при повышении температуры воды выше экологического оптимума эндемичный вид байкальской губки *L. baicalenis* и её внутриклеточные симбионты не остаются в рамках своей обычной «патиентной» жизненной стратегии, а изменяют количественный состав демоспонгиевых кислот, БТШ70, магний-порфиринового комплекса.

Способность губки *L. baicalenis* к накоплению и превращению ПАУ, саморегуляции температурного стресса и быстрому восстановлению важных липидных показателей указывают на ее адаптационные свойства и на ее возможности участвовать в процессах самоочищения вод от токсичных соединений. Некоторые маркерные биохимические составляющие клеток губки позволяют использовать её как биоиндикатор для оценки состояния водной среды оз. Байкал.

Благодарности. Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 0279-2021-0005 (121032300224-8), на базе уникальной научной установки «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов».

Список литературы

Анализ биоразнообразия байкальских губок Lubomirskiidae в районах с различным уровнем антропогенной нагрузки / В. Б. Ицкович, Н. А. Букшук, А. М. Соколова [и др.] // XXI век. Техносферная безопасность. 2023. Т. 8, № 4. С. 346–359.

Белых Л. И., Глызина О. Ю. Закономерности распределения полициклических ароматических углеводородов в системе вода–гидробионты озера Байкал // Техносферная безопасность. 2023. Т. 8, № 2. С. 126–134. DOI: 10.21285/2500-1582-2023-2-126-134

Особенности стрессового ответа байкальской эндемичной губки *Lubomirskia baicalensis* в условиях гипертермии / В. Б. Ицкович, А. М. Шигарова, О. Ю. Глызина [и др.] // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. 2017. № 2. С. 118–121.

Фильтрационные возможности сообщества *Lubomirskia baicalensis* в условиях модельного эксперимента / О. А. Белых, Л. А. Глызин, Е. А. Константинова, О. Ю. Глызина // Известия Байкальского государственного университета. 2019. Т. 29, № 2. С. 179–184. DOI: 10.17150/2500-2759.2019.29(2)

Effect of habitat on participation of symbionts in formation of the fatty acid pool of freshwater sponges of Lake Baikal / N. A. Latyshev, N. V. Zhukova, S. M. Efremova [et al.] // Comp Biochem Physiol. 1992. Vol. 102B, N 4. P. 961–965.

УДК 551.510.41

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ РАЗНЫХ РАЗМЕРНЫХ ФРАКЦИЙ НА СТАНЦИЯХ ЮЖНОГО БАЙКАЛА

Л. П. Голобокова*, Т. В. Ходжер, И. Н. Лопатина, И. И. Маринайте, В. А. Оболкин, Н. А. Онищук, Н. С. Чебунина

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: lg@lin.irk.ru*

Аннотация. Проведены исследования химического состава отдельных ионов, микроэлементов, полициклических ароматических соединений и черного углерода в атмосферном аэрозоле с разным размером частиц в Центральной экологической зоне Южного Байкала на станциях мониторинга Иркутск, Листвянка и Большие Коты. Показаны значительные различия в загрязнении воздуха в зависимости от метеорологических условий и направления воздушных потоков. Увеличение концентраций загрязняющих веществ наблюдалось при поступлении воздушных масс с северных направлений, где расположены промышленные центры Иркутской области и Красноярского края. В летний период отмечались заносы примесей при поступлении воздушных масс с южных направлений.

Ключевые слова: Байкальский регион, атмосфера, аэрозоль, ионы, микроэлементы, органические загрязнители

В пределах зоны атмосферного влияния оз. Байкал расположено несколько городов Иркутской области, которые характеризуются высоким уровнем загрязнения воздуха. Воздушные выбросы в виде газовых примесей и аэрозольного вещества из источников, находящихся на территории, прилегающей к озеру (шириной до 60 км), имеют значительную вероятность оседания загрязняющих веществ на акватории Байкала, колеблющуюся от 10 до 100 %. Это создает экологические риски для уникальной экосистемы озера. Экологическая опасность аэрозольных выбросов обусловлена множеством факторов, включая изменения в химическом и дисперсном составе, а также процессы переноса веществ в тропосфере.

Наибольшую антропогенную нагрузку испытывает атмосфера Южного Байкала, куда примеси поступают от региональных источников загрязнения, расположенных в долине р. Ангары. Эти источники включают выбросы промышленных предприятий, транспорта и другие виды деятельности человека, которые способствуют ухудшению качества воздуха и могут негативно сказываться на состоянии окружающей среды. Исследования подчеркивают важность мониторинга атмосферного аэрозоля для оценки состояния экологии региона и выявления источников загрязнения. Основная задача исследования заключалась в оценке изменений в составе и концентрации загрязняющих веществ в разные сезоны года, а также влияние метеорологических и экологических условий на уровень загрязнения.

Отбор проб аэрозоля выполнялся с использованием каскадного импактора ИКС-10 (Россия, г. Екатеринбург) с объемной скоростью 10 л/мин, позволяющем разделить частицы аэрозоля на фракции 0,8, 2,0, 5,0, 10 мкм на станциях Иркутск, Листвянка и Большие Коты. Иркутск представляет собой городскую станцию, Листвянка – сельскую, в то время как станция Большие Коты служит индикатором фонового состояния. Аналитические работы выполнялись на приборной базе ЦКП «Ультрамикроанализ» Лимнологического института СО РАН с использованием стандартизированных методик.

Анализ данных ионного состава атмосферного аэрозоля показал, что сезонные характеристики, источники загрязнения и степень влияния различных факторов значительно различаются на всех трех станциях. Иркутск более подвержен антропогенному воздействию из-за близости к промышленным районам, в то время как Листвянка испытывает влияние лесных пожаров, а Большие Коты имеют меньшую степень загрязнения, благодаря удален-

ности от источников загрязнения. Высокие значения концентрации ионов Ca^{2+}, NO_3^- и SO_4^{2-} в феврале и их рост при северо-западном переносе характерны для станций Иркутск и Листвянка. В Иркутске в зимний период на крупных частицах наблюдаются повышенные концентрации ионов Na^+ и Cl^-. Увеличение их содержания связано с накоплением реагентов в снеге при обработке дорожного покрытия для предотвращения обледенения. В летний период отмечались заносы примесей из районов Монголии, Казахстана и Республики Тыва. На станции Листвянка значительнее отмечается влияние лесных пожаров на состав аэрозоля, что проявляется в повышении концентрации Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+} и K^+. На станции Большие Коты наблюдается наиболее низкое содержание ионов в составе аэрозоля зимой. Однако в летний период, под воздействием локальных источников (лесные пожары, водный транспорт), фиксируется рост концентраций ионов NH_4^+, K^+, Mg^{2+} и Ca^{2+}.

Анализ микроэлементного состава аэрозоля показал, что на станции Иркутск концентрации микроэлементов были значительно выше, чем в Листвянке и Больших Котах, в среднем в 4 раза. В сезонном распределении суммы микроэлементов в аэрозоле Иркутска наблюдалось их увеличение в весенний и летний периоды. В аэрозоле Листвянки максимальные значения суммы микроэлементов, как и макрокомпонентов, фиксировались в феврале, при этом наибольшие концентрации определялись на мелких частицах размером 0,8 и 2 мкм. Наименьшие концентрации микроэлементов были зарегистрированы на станции Большие Коты в холодный период года. Анализ коэффициентов обогащения аэрозольных частиц микроэлементами на всех станциях позволил выделить элементы Be, Al, Ti, V, Mn, Fe, Co, Sr, Th и Rb в группу терригенного происхождения с коэффициентом обогащения (КО) менее 10. На станции Иркутск наиболее значительный вклад в общий уровень загрязнения внесли Fe, Mn, Al, Cu, Ba, Ni, Zn и Pb; доля Fe варьировала от 56 % до 75 % в холодный период и от 78 % до 94 % летом. На станции Листвянка преобладали элементы Fe, Cu, Mn, Al, Ni, Co и Zn с максимальной долей Fe до 92 % в теплый период года. На станции Большие Коты наибольший вклад принадлежал элементам Fe, Cu и Ni с долей Fe до 80 % в холодный период года.

Сжигание угля, нефти и древесины, выбросы от автомобилей и промышленных предприятий являются источниками полициклических ароматические углеводородов (ПАУ). Эти соединения обладают высокой устойчивостью к разложению в окружающей среде, конденсируются на частицах аэрозолей и оседают на поверхностях. В аэрозолях станций Иркутск, Листвянка и Большие Коты преобладающий вклад ПАУ с двумя-тремя кольцами составлял от 11 до 51 %, в то время как ПАУ с четырьмя-шестью кольцами имели меньший вклад – от 0,5 до 27,5 %. Отмечалось, что в аэрозоле Иркутска, собранном в феврале 2024 г., доля ПАУ с четырьмя кольцами увеличивалась с 16 до 43 %. Среди идентифицированных ПАУ наиболее часто встречался фенантрен, который присутствует как в природных ископаемых углеводородах, так и образуется при термическом разложении органических материалов.

Высокие значения концентрации черного углерода и других химических характеристик в холодный период года характерны для станций Иркутск и Листвянка. На станции Большие Коты повышение уровня концентраций черного углерода отмечалось в летний период. Углеродсодержащие частицы способны сорбировать различные химические соединения.

Исследовались морфология и элементный состав аэрозольных частиц. Размеры обнаруженных частиц изменялись от десятков нанометров до десятков микрон. В исследуемых образцах присутствовали сажа, летучая зола, минеральные частицы и биоаэрозоли. Присутствие минеральных частиц в атмосферном аэрозоле обусловлено, преимущественно, терригенным происхождением.

Таким образом, сезонные и пространственные различия в составе атмосферного аэрозоля на трех станциях обусловлены сочетанием антропогенных и природных факторов, включая промышленное воздействие, лесные пожары и транспорт.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта государственного задания: № 0279-2021-0014.

УДК 639.3.032

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ СКРИНИНГ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ НЕЛЬМЫ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ВЫЖИВАЕМОСТИ ИНДУЦИРОВАННОГО ТРИПЛОИДНОГО ПОТОМСТВА

В. А. Голотин*, А. А. Лютиков, М. М. Вылка, В. В. Костюничев

Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 199053, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 26)
**Автор для переписки: golotin@bk.ru*

Аннотация. В данной работе методом проточной цитометрии проведена предварительная оценка общего относительного содержания ДНК в каждой клетке крови половозрелой нельмы для проведения селективного скрещивания. Такая предварительная оценка показала потенциальную перспективу использования для снижения уровня смертности индуцированного триплоидного потомства, улучшив показатель выживаемости развивающейся икры у пар, у которых сопоставимо количество генетического материала, на 15 %.

Ключевые слова: аквакультура, сиговодство, проточная цитометрия, индуцированная триплоидизация

Изучение биологического разнообразия видов животных зачастую включает глубокий анализ их цитогенетических особенностей. У подавляющего большинства позвоночных видов число хромосом является стабильным и служит ключевым таксономическим маркером. В некоторых случаях наблюдаются хромосомные различия (полиморфизм), обусловленные дублированием или утратой отдельных хромосомных структур, что свидетельствует о генетической вариативности внутри вида. Также частое явление у рыб – наличие особых малых хромосом, B-хромосом [Frolov, 1992], которых может быть разное количество у одного и того же вида.

Особенно ярко выражен полиморфизм у представителей семейства осетровых. Число хромосом может варьироваться в широком диапазоне от ста до четырёхсот [The successful ... , 2023]. Для повышения продуктивности и эффективности аквакультурных систем создают межвидовые гибриды осетровых, однако установлено, что скрещивание особей с существенными генетическими различиями, в том числе по числу хромосом, значительно снижает выживаемость их гибридного потомства [Hybridization ... , 2020]. Аналогичные уровни хромосомного полиморфизма характерны и для сиговых рыб [Frolov, 1992]. Мы предполагали, что потомство от пар с одинаковым числом хромосом обладает максимальными шансами на успешное развитие и долгосрочную выживаемость. Особенная сложность возникает при индуцированной триплоидизации рыб, где потенциально любое неравное количество хромосом может вызвать аберрации при развитии или элиминации на ранних эмбриональных стадиях.

Прямые цитогенетические методы исследования представляют собой крайне сложные и ресурсоёмкие процедуры. Они требуют применения сильнодействующих химикатов, таких как колхицин, что либо делает рыбу непригодной для дальнейшего использования (*in vivo*), либо усложняет и удорожает весь процесс (*in vitro*). Наиболее рациональным и быстрым способом косвенной оценки относительного количества генетического материала в клетке является проточная цитофлуорометрия. Этот метод позволяет получать статистически значимые данные при анализе более тысячи клеток в минуту, что значительно ускоряет исследование. В связи с этим целью данной работы являлось определение уровня содержания ДНК в клетках производителей, подбор родительских пар с одинаковым и разным количеством генетического материала, а также оценка выживаемости их потомства (икры) у диплоидного и триплоидного потомства нельмы (индуцированная триплоидизация).

Впервые в практике рыбоводства достигнута успешная индукция триплоидных особей сиговых рыб посредством применения высоких давлений, что было осуществлено на нель-

ме [Предварительные ... , 2023], но параметры выживаемости индуцированных триплоидов значительно ниже, чем у контроля (диплоидов).

Исследования были проведены на рыбоводном хозяйстве ООО «Форват» (озеро Суходольское, Приозерский район, Ленинградская область), которое располагает маточными стадами нельмы, выращенных по индустриальной технологии. В качестве материала для предварительной диагностики использовали кровь из хвостовой вены, консервированную антикоагулянтом. Кровь фиксировали этанолом и окрашивали пропидий иодидом. Относительное содержание ДНК определяли с помощью проточного цитофлуориметра CytoFlex (Beckman Coulter, Германия), после чего сопоставляли пары для скрещивания. Половые продукты были получены путем физического мягкого сдавливания брюшка по направлению к половому отверстию. Осеменение осуществляли сухим способом. После проведённого скрининга оплодотворённую икру нельмы подвергали воздействию высокого давления в коммерческом электрогидравлическом оборудовании TRC-APVTM (TRC Hydraulics Inc., Канада). Предварительную выживаемость икры оценивали методом подсчёта неживых икринок в течение всего периода эмбриогенеза.

Разброс в интенсивности флуоресценции, которая совпадает с относительным количеством генетического материала в каждой клетке крови производителей нельмы, составила не более 5 %. В отличие от рыб семейства осетровых, у сиговых такой небольшой разброс объясняется эволюционно относительно стабильным кариотипом. После скрещивания пар с совпадающим и несовпадающим относительным содержанием ДНК в течение 120 дней была подсчитана смертность развивающейся икры.

В результате предварительных подсчётов, выживаемость икры диплоидов увеличилась незначительно, в среднем на 6 %, а триплоидов – на 15 %.

Таким образом, проведённая предварительная оценка родительских пар оказалась одним из ключевых факторов для повышения выживаемости развивающейся икры, особенно при совпадении уровня генетического материала. При этом не обнаружена какая-либо зависимость между степенью несовпадения относительного содержания генетического материала у различных пар, что свидетельствует о сложной природе этого взаимодействия. Такой подход открывает широкие перспективы для внедрения в практику аквакультуры, позволяя значительно повысить общую выживаемость потомства, особенного триплоидного, и оптимизировать производственные показатели за счёт точечного подбора пар по цитогенетическим характеристикам.

Список литературы

Предварительные результаты исследований по искусственной триплоидизации сиговых рыб / А. А. Лютиков, В. В. Костюничев, В. А. Голотин, М. М. Вылка // Развитие и современные проблемы аквакультуры («Аквакультура 2023») : сб. науч. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. Дивноморское, 4–10 сент. 2023 г. / редкол. Б. Ч. Месхи [и др.]. Ростов-на-Дону : ДГТУ-Принт, 2023. С. 55–59.

Frolov S. V. Karyotype of *Stenodus leucichthys nelma* from Anadyr' River // CIS. 1992. N 52. P. 11–12.

Hybridization of Russian Sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt and Ratzeberg, 1833) and American Paddlefish (*Polyodon spathula*, Walbaum 1792) and Evaluation of Their Progeny / J. Káldy, A. Mozsár, G. Fazekas [et al.] // Genes (Basel). 2020. Vol. 11, N 7. Art. 753. DOI: 10.3390/genes11070753

The successful production of “sterbel” hybrids using beluga (*Huso huso*) cryopreserved sperm / D. Fopp-Bayat, A. Nitkiewicz, B. Sarosiek, R. K. Kowalski // Anim Reprod Sci. 2023. Vol. 249. Art. 107197. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2023.107197

УДК 579.68.574.5

БАКТЕРИООБРАСТАНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО И ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ БАЛАКОВСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ: ИТОГИ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА

Д. М. Голубев, Е. В. Глинская*, А. К. Тарасюк, О. С. Глинская, М. Ю. Воронин

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского (Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83)
**Автор для переписки: elenavg-2007@yandex.ru*

Аннотация. Представлены результаты многолетнего мониторинга бактериообрастаний систем технического и оборотного водоснабжения Балаковской атомной электростанции. Из образцов биологических пленок, образуемых на металлических конструкциях брызгальных бассейнов, резервной дизель-генераторной станции, насосной станции подпитки водоема-охладителя, береговой насосной станции, машинных залов, выделены сапрофитные хемоорганотрофные мезофильные аэробные и факультативно-анаэробные бактерии, хемолитотрофные железоокисляющие бактерии. Количественные показатели сапрофитных бактерий достигали 10^9 КОЕ в 1 мл. Бактерии-обрастатели представлены следующими родами: *Aeromonas, Bacillus, Dietzia, Erythrobacter, Micrococcus, Rheinheimera, Serratia, Staphylococcus, Vibrio.* Санитарно-показательные микроорганизмы как индикаторы фекального загрязнения в составе бактериообрастаний не обнаружены. Плесневые грибы – показатели процессов самоочищения водоемов изолированы не были. Микроорганизмы, осуществляющие круговорот азота и углерода в водоемах, выделены из биопленок большинства объектов.

Ключевые слова: атомная электростанция, системы технического и оборотного водоснабжения, бактериообрастания, железоокисляющие бактерии, индикаторные микроорганизмы

Водоемы-охладители атомных электростанций представляют собой крупнейшие антропогенные водные экосистемы в современной биосфере. Условия для жизни организмов в этих водоемах значительно отличаются от условий в естественных водоемах. Обеспечение экономической эффективности эксплуатации станций требует анализа изменения основных параметров экосистемы и обоснованного прогноза ее развития [Intensive ... , 2024].

Биологические обрастания представляют собой значительную проблему для различных отраслей, включая атомную энергетику. Биопленки формируются на поверхностях труб, насосов, водных емкостей и технологического оборудования. В системах водоснабжения они негативно влияют на качество воды и санитарное состояние водопроводной сети, приводя к засорению сеток, решеток, фильтров и труб [Impact ... , 2025; Biofilm ... , 2025]. Это вызывает значительное снижение пропускной способности трубопроводов, ухудшение работы теплообменников и увеличение энергозатрат на перекачку воды. Кроме того, биопленка создает условия для роста водорослей и моллюсков, снижает уровень pH и ускоряет коррозию бетона и металлов [Бактериообрастания … , 2018].

Целью работы являлось изучение биоразнообразия микроорганизмов, формирующих биопленки и участвующих в процессе биообрастания в системах технического и оборотного водоснабжения Балаковской АЭС.

Отбор проб для микробиологического исследования биообрастаний на металлических конструкциях в системах технического и оборотного водоснабжения Балаковской АЭС (БАЭС) проводили в период с 2017 по 2024 г. Пробы отбирали на следующих объектах: брызгальный бассейн, резервная дизель-генераторная станция, насосная станция подпитки водоема-охладителя, береговая насосная станция, машинный зал. Микробиологические исследования проводили стандартными методами. Видовую принадлежность бактерий определяли путем изучения их фенотипических свойств (морфологических, культуральных и биохимических). Верификацию выделенных культур проводили на основании анализа последовательностей гена 16S рРНК в ООО «Синтол» (г. Москва).

Из биопленок, образуемых на исследуемых металлических конструкциях, выделены представители следующих родов бактерий: *Aeromonas*, *Bacillus*, *Dietzia*, *Erythrobacter*, *Micrococcus*, *Rheinheimera*, *Serratia*, *Staphylococcus*, *Vibrio*. Численность микроорганизмов, формирующих биопленки и участвующих в процессе биообрастания водонесущих конструкций, достигала 10^9 м. к./мл.

Хемолитотрофные железоокисляющие бактерии обнаружены во всех пробах, отобранных с водонесущих конструкций системы технического и оборотного водоснабжения БАЭС.

Сульфитредуцирующие клостридии и колиформные бактерии, свидетельствующие о фекальном загрязнении, отсутствовали во всех пробах.

Численность микроорганизмов азотного цикла (азотфиксирующие, нитрифицирующие, денитрифицирующие, аммонифицирующие бактерии) варьировала в диапазоне 10^2–10^8 м. к./мл, а целлюлозоразлагающих микроорганизмов – не превышала 10^2 м. к./мл.

Плесневые грибы как показатели процессов микробного самоочищения воды в исследуемых пробах не обнаружены.

Таким образом, на металлических конструкциях системы технического и оборотного водоснабжения Балаковской АЭС образуются ассоциации сапрофитных микроорганизмов, состоящие из 2–6 видов. Выделенные микроорганизмы представлены широко распространенными в природных водных и почвенных экосистемах видами бактерий.

Список литературы

Бактериообрастания в системе технического водоснабжения Балаковской атомной электростанции / А. В. Кирилова, Е. В. Глинская, М. Ю. Воронин, А. С. Савельева // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, № 4. С, 451–454. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-4-451-454

Biofilm formation mechanisms of mixed antibiotic-resistant bacteria in water: Bacterial interactions and horizontal transfer of antibiotic-resistant plasmids / L. Xia, J. Wang, M. Chen [et al.] // Journal of Hazardous Materials. 2025. Vol. 481. Art. 136554. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.136554

Impact of stormwater on biofilm density and microbial community composition in water distribution networks / A. H. Kaksonen, W. Jason, J. M. Matthew [et al.] // Water Research. 2025. Vol. 272. Art. 122989. DOI: 10.1016/j.watres.2024.122989

Intensive aquaculture affects lake's trophic status and aquatic floral diversity / D. Dubey, T. Kiran, K. Saroj, D. Venkatesh // Environmental Science: Advances. 2024. Vol. 3 (11). P. 1628–1642. DOI: 10.1039/D4VA00038B

УДК 574.5:575.224:577.21

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИДОВОГО КОМПЛЕКСА *TUBIFEX TUBIFEX* (O. F. MÜLLER, 1774)

М. А. Голубев[1,2]*, Ю. В. Марченко[1,2], М. А. Батурина[1], А. С. Бакашкина[1,2]

[1]Институт биологии Коми научного центра УрО РАН
(Россия, 167982, Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28)
[2]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
(Россия, 167001, Сыктывкар, Октябрьский просп., 55)
**Автор для переписки: golubev.m.a@ib.komisc.ru*

Аннотация. *Tubifex tubifex* (O. F. Müller, 1774) – широко распространённый вид, часто применяемый для оценки качества вод. Проведено исследование генетического разнообразия *T. tubifex* в водоемах бассейна р. Вычегда и дана оценка его зависимости от гидрологических, гидрохимических параметров воды и донных отложений. Выделены шесть генетических линий вида. Установлена корреляция между их распределением, параметрами воды и грунта. Подтверждено генетическое разнообразие комплекса *T. tubifex* и показана значимость учёта генетической структуры для повышения точности экологического мониторинга.

Ключевые слова: генетическое разнообразие, COI, абиотические факторы

Молекулярные исследования [Mitochondrial ... , 1999; DNA barcoding … , 2021] показали, что *Tubifex tubifex* представляет собой комплекс генетически обособленных линий, различающихся по последовательностям COI, 16S и ITS. Цель работы – оценка генетического разнообразия *T. tubifex* в бассейне р. Вычегда и анализ его связи с абиотическими факторами. Отобрано 32 образца *T. tubifex* на 14 станциях параллельно с пробами воды и грунта. В результате секвенирования участка гена COI было идентифицировано шесть генетических линий *T. tubifex*. Внутригрупповые генетические дистанции не превышали 1,6 %, межгрупповые – 21,5 %, что соответствует уровню видовой дифференциации. По результатам корреляции Пирсона и CCA-анализа получены значимые зависимости частоты встречаемости генетических линий и параметров среды. При этом линии A, B и C встречались чаще и коррелировали с факторами, указывающими на загрязнение водоемов, как и линия D, встреченная один раз. Редкие линии E и J были обособлены и не показали корреляции с какими-либо факторами. Таким образом, наши результаты подтверждают, что *T. tubifex* представляет собой комплекс криптических видов, вероятно, с различным отношением к факторам среды. Учет генетической структуры популяций позволит повысить точность биоиндикации и лучше понять реакцию бентосных организмов на загрязнение водных экосистем.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00121 (https://rscf.ru/project/24-24-00121).

Список литературы

Mitochondrial DNA reveals cryptic oligochaete species differing in cadmium resistance / Sturmbauer C., Opadiya G. B., Niederstatter H., Riedmann A., Dallinger R. // Mol. Biol. Evol. 1999. N 16. P. 967–974.

DNA barcoding of Naididae (Annelida, Oligochaeta), based on cytochrome C oxidase gene and ITS2 region in China / Zhou T., Jiang W., Wang H., Cui Y. // Biodiversity Data Journal. 2021. N 9. Art. e73556. DOI: 10.3897/BDJ.9.e73556

УДК 574.5

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ДДЗЗ К МОНИТОРИНГУ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ

Д. И. Голубец[1,2]*, Д. Г. Рэчилэ[3], И. В. Миловидова[3], Я. К. Ермолаева[3], С. А. Бирицкая[3], А. В. Лавникова[3], М. А. Масленникова[3], Д. Ю. Карнаухов[3,4]

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1)
Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
(Россия, 634055, Томск, Академический просп.,10/3)
[3]Иркутский государственный университет (Россия, 664025, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[4]Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл., пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
**Автор для переписки: dmitgolubets@yandex.ru*

Аннотация. Результаты проделанной работы показали, что полученное уравнение имеет высокую статистическую значимость, но низкую долю описываемой дисперсии. Можно предположить, что с увеличением объема выборки увеличится значение R^2.

Ключевые слова: фитопланктон, дистанционное зондирование Земли, биомасса, регрессионный анализ, Sentinel-2

Дистанционный оперативный мониторинг с помощью датчиков высокого пространственного и радиометрического разрешения дает исключительную возможность для долговременного мониторинга различных явлений и процессов, происходящих на поверхности Земли. Например, возможен мониторинг явлений, связанных с планктонными сообществами. Последнее подталкивает исследователей разрабатывать региональные алгоритмы дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ).

Дистанционному исследованию фитопланктона оз. Байкал на данный момент уделяется мало внимания. Цель данной работы: разработка алгоритма использования ДДЗЗ применительно к мониторингу биомассы фитопланктона южной котловины оз. Байкал.

В ходе экспедиционных работ с 05.08.2023 по 06.08.2023 была отобрана 21 проба на предмет определения видового состава и биомассы фитопланктона. В качестве ДДЗЗ были использованы спутниковые снимки Sentinel-2 в каналах с 1 по 12, в общей сумме 11 (за исключением 9 и 10) за 3 и 6 августа 2023 г. Методом дешифрирования спутниковых снимков был выбран множественный регрессионный анализ. Было выявлено, что наиболее информативными каналами стали 2 (Blue), 3 (Green), 8 (NIR).

В результате проведенных работ было получено уравнения дешифрирования спутниковых снимков на предмет биомассы фитопланктона:

$$Fito_{bm}=1780{,}547 + 8{,}505*B2 - 10{,}753*B3 + 0{,}825*B8$$

Статистические характеристики регрессионного уравнения выглядят следующим образом: $R^2 = 0{,}511$, R^2 норм = 0,425, p-value F критерия = 0,006.

Полученное в ходе исследования уравнение для дешифрирования спутниковых снимков на предмет определения биомассы фитопланктона имеет высокую статистическую значимость, но низкую долю описываемой дисперсии. Данное исследование не является оконченным и требует последующей доработки.

Благодарности. Работа выполнена в рамках бюджетной темы проекта МИНОБРНАУКИ РФ.

УДК 639.211.4(282.256.341)

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ ОМУЛЯ НА РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ АКВАТОРИЯХ ОЗ. БАЙКАЛ

С. М. Гончаров*, Ю. Н. Кравченко, С. Б. Попов, Н. Г. Ключарева

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 105187, Москва, Окружной проезд, 19)
**Автор для переписки: sgonch@vniro.ru*

Аннотация. В связи с существенным падением запаса омуля (*Coregonus migratorius*) в оз. Байкал в конце 2017 г. был введен запрет на его промышленный вылов. В сложившихся условиях гидроакустические съемки являются единственным способом получения адекватной картины распределения и оценки запаса на акваториях озера. В работе приведены результаты четырехлетних гидроакустических исследований (с 2021 по 2024 г.) численности и биомассы омуля в основных районах его концентрации: Селенгинском мелководье, Северном Байкале, Малом Море и Баргузинском заливе. Основная доля запаса омуля приходится на Селенгинский район. Возросла биомасса омуля в Баргузинском заливе, также наблюдался количественный рост омуля в Малом море. На Северном Байкале ситуация с биомассой омуля оставалась стабильной. Общая биомасса по всем рыбопромысловым районам была максимальной в 2024 г. с небольшим положительным трендом по отношению к предыдущим годам, максимальная численность отмечена в 2022 г. за счет существенной доли молоди омуля младше 4 лет. В 2024 г. доля таких рыб уменьшилась за счет естественной смертности и роста. Пополнение молоди в 2023 и 2024 гг. не было столь значительным, как в 2022 г.

Ключевые слова: омуль (*Coregonus migratorius*), гидроакустическая съемка, эхолот, численность, биомасса

Озеро Байкал (Байкальский рыбохозяйственный бассейн) обладает уникальными природными ресурсами. Ихтиофауна озера представлена различными промысловыми видами, среди которых самым многочисленным является байкальский омуль (*Coregonus migratorius*). Данный вид занимает одну из ключевых ниш в экосистеме озера. Снижение запасов байкальского омуля к 2016–2017 гг. достигло критического состояния. Среди возможных причин устойчивого снижения запасов байкальского омуля можно назвать уменьшение численности производителей омуля, заходящих в нерестовые реки; изменение нагульных миграций омуля. Вследствие этого было принято административное решение на уровне Правительства Российской Федерации о введении запретительных мер в отношении промысла байкальского омуля, выразившееся в изменении Правил рыболовства для Байкальского рыбохозяйственного бассейна [Приказ Минсельхоза России, 2017]. В результате с 1 октября 2017 г. вступил в силу запрет на промышленный вылов байкальского омуля. Если до введения запрета на вылов источником информации для анализа состояния запасов омуля служил ежегодный сбор ихтиологических материалов по всей акватории озера в пределах основных мест нагула омуля, то в условиях запрета на промышленный лов, определение численности и биомассы по традиционным моделям, принятым ФГБНУ «ВНИРО» оказался невозможен. В сложившихся условиях гидроакустический метод, основанный на проведении гидроакустических съёмок, является единственным способом получения адекватной картины распределения и оценки рыбных биомасс на акваториях оз. Байкал.

Начиная с 2021 г. ежегодно в весенне-летний период проводятся гидроакустические съемки в озере. Из года в год акватории съемок расширялись. Для проведения работ использовался научный эхолот EY500 фирмы Kongsberg Simrad (Норвегия) с антенной с расщепленным лучом ES 70-11 (диаграмма направленности 11 градусов) и частотой заполнения импульсов посылки 70 кГц.

Исторически основными районами концентраций омуля являются Селенгинское мелководье, Северный Байкал, Малое море и Баргузинский залив, где сосредоточено более 70 % запасов байкальского омуля. Результаты крупномасштабной съемки 2024 г., когда были исследованы помимо четырех промрайонов. прибрежные и глубоководные акватории, подтвердили эти цифры [Состояние … , 2024]. Около 73 % биомассы и 78 % численности

омуля сосредоточено в четырех рыбопромысловых районах (Селенгинский, Северобайкальский, Баргузинский и Маломорский).

В табл. 1–4 представлены результаты количественной оценки запасов омуля на рыбопромысловых районах за четыре года исследований. Низкие показатели запаса омуля в 2023 г. на акватории Селенгинского мелководье по сравнению с 2021, 2022 и 2024 гг. [Гончаров, Попов, Петерфельд, 2022; Результаты … , 2022; Состояние … , 2024] вероятно связано с затяжной весной и, как следствие, низкой температурой воды в районе работ, что сказалось на его перераспределении в озере. Биомасса омуля в 2022 [Гончаров, Попов, Петерфельд, 2023] и 2024 гг. [Состояние … , 2024] в **Селенгинском районе**, с учетом доверительных интервалов, была примерно равной, но его численность в 2022 г. была в 1,6 раза больше. Следовательно, средние значения длина/возраст в 2024 г. были выше показателей 2022 г., а это значит, что в 2022 г. количество мелкой рыбы было значительно больше по сравнению с 2021 и 2024 гг.

На **Северном Байкале** ситуация с биомассой омуля остается стабильной [Оценка … , 2023; [Состояние … , 2024]. В **Малом Море** соотношение биомассы к численности было наименьшим в 2022 г. [Результаты … , 2022]. В 2023 г. этот показатель вырос и оказался максимальным в 2024 г., что говорит о росте средних показателей длина-вес, и следовательно, увеличении доли более взрослых рыб в общей численности. В 2024 г. показания биомассы и численности омуля в **Баргузинском заливе** были максимальными [Состояние … , 2024]. Особенно выросла его биомасса: в 2,8 раза по сравнению с 2022 г. и в 4 раза по сравнению с 2023 г. Рост численности был не столь значительным: в 1,2 раза в сравнении с 2022 г. и в 3,2 раза в сравнении с 2023 г. Падение биомассы и численности омуля в 2023 г. на акватории Баргузинского залива по сравнению с 2022 г. возможно связано с той же причиной, что и в Селенгинском районе.

Таблица 1. Результаты количественной оценки омуля на Селенгинском мелководье

Дата	Площадь, га	Биомасса/численность	
		тонн	экз.
26.05 – 28.05.2021	145 010	4108±166	11 386 971±783 987
23.05 – 26.05.2022	145 122	4498±198	2 8751 555±1 640 468
27.05 – 29.05.2023	145 125	713±48	2 616 708±237 524
30.05 – 02.06.2024	158 960	4430±148	17 876 311±989 450

Таблица 2. Результаты количественной оценки омуля на акватории Северного Байкала

Дата	Площадь, га	Биомасса/численность	
		тонн	экз.
29.05–04.06.2021	14 686	992±38	6 374 424±340 458
04.06–06.06.2022	20 677	946±33	5 926 228±220 695
07.06–09.06.2023	27 117	1006±65	5 636 710±325 200
06.06–08.06.2024	31 730	882±22	6 874 259±292 819

Таблица 3. Результаты количественной оценки омуля на акватории Малого Моря

Дата	Площадь, га	Биомасса/Численность	
		тонн	экз.
31.05–01.06.2022	52 095	320±21	3329209±223912
29.05–30.05.2023	50 722	233±24	1448500±146405
02.06–03.06.2024	71 032	448±23	1957519±121480

Таблица 4. Результаты количественной оценки омуля на акватории Баргузинского залива

Дата	Площадь, га	Биомасса/численность	
		тонн	экз.
01.06–03.06.2022	36 847	168±9	1 833 544±89 182
02.06–04.06.2023	36 949	121±8	699 970±48 374
09.06–11.06.2024	38 732	477±19	2 252 752±116 936

Основная доля запаса омуля приходится на Селенгинский район и составляет по биомассе около 71 %, по численности – 62 % от общей учтенной биомассы и численности четырех промрайонов. Существенно возросла биомасса омуля в Баргузинском заливе, также наблюдался количественный рост омуля в Малом Море за счет увеличения рыбных концентраций в северной части. Как и в предыдущие годы, наиболее плотные скопления регистрировались на акваториях Северного Байкала, но произошло пространственное перераспределение скоплений и самые высокие концентрации были зарегистрированы не только в районе г. Нижнеангарска (как в предыдущие годы), но и южнее г. Северобайкальска.

Общая биомасса по всем рыбопромысловым районам была максимальной в 2024 г. с небольшим положительным трендом по отношению к предыдущим годам, но максимальная численность была в 2022 г. за счет существенной доли молоди омуля младше 4 лет (т. е. выклева моложе 2018 г., после введения запрета на вылов). В 2024 г. доля таких рыб уменьшилась за счет естественной смертности и роста. Пополнение молоди в 2023 и 2024 гг. не было столь значительным, как в 2022 г.

Список литература

Гончаров С. М., Попов С. Б., Петерфельд В. А. Результаты гидроакустических исследований байкальского омуля (*Coregonus migratorius*) на рыбопромысловых акваториях озера Байкал с использованием отечественных информационных разработок // Рыбное хозяйство. 2022а. № 2. С. 54–58.

Приказ Минсельхоза России от 29.08.2017 № 450 : зарег. 18.09.2017 № 48234.

Оценка состояния запаса омуля (*Coregonus migratorius*) на акватории Северного Байкала по данным гидроакустических исследований / С. М. Гончаров, С. Б. Попов, В. А. Петерфельд, Н. Г. Ключарева // Вопросы рыболовства. 2023. Т. 24, № 4. С. 1–9.

Результаты ресурсных гидроакустических съемок байкальского омуля на рыбопромысловых акваториях озера Байкал в весенне-летний период 2022 года / С. М. Гончаров, С. Б. Попов, В. А. Петерфельд, А. В. Базов, Н. Г. Ключарева // Труды ВНИРО. 2022б. № 190. С. 186–192.

Состояние запасов омуля *Coregonus migratorius* озера Байкал и прогноз до 2030 года / О. А. Булатов, С. М. Гончаров, С. Б. Попов [и др.] // Рыбное хозяйство. 2024. № 5. С. 74–86.

УДК 574.9

МАКРОФИТЫ ПРЕСНОВОДНОГО КУРШСКОГО ЗАЛИВА В ЭВТРОФНЫХ УСЛОВИЯХ И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Ю. А. Горбунова*, С. В. Александров

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
(Россия, 117218, Москва, Нахимовский просп., 36)
**Автор для переписки: julia_gorbunova@mail.ru*

Аннотация. Куршский залив – крупная лагуна с пресноводными условиями, в которой интенсивно развивается прибрежно-водная растительность. В прибрежной зоне доминирует тростник обыкновенный, создавая биомассу выше 1000 г/м^2, а также камыш озерный. Наибольшая биомасса макрофитов формируется в августе-сентябре. После завершения вегетации надземная масса тростника, в отличие от других видов, снижается незначительно, позволяя использовать его как полезный возобновляемый ресурс (строительство, топливо и др.). Правильная методика сбора в зимний период (например, кластерное выкашивание) и использование тростника, образующего заросли в прибрежной зоне, кроме экономических задач, позволит сохранить биотопы и улучшить условия обитания в прибрежных районах (рыбохозяйственная мелиорация), снизить эвтрофирование вод лагуны.

Ключевые слова: прибрежно-водная растительность, тростник, эвтрофирование, хозяйственное использование

Куршском залив – крупная лагуна, в которой из-за большого стока р. Неман и слабого водообмена с морем, на основной акватории вода пресная (около 0,1 ‰). По концентрации биогенных элементов, первичной продукции и обилию фитопланктона, формирующего «цветение» воды, лагуна относится к гипертрофным водоемам [Александров, 2011].

Первые сведения о макрофитной растительности Куршского залива получены в конце XIX в. и продолжены в середине 1950-х гг. в северной части [Минкявичус, Пипинис, 1959)]. В современный период исследования видового состава регулярно выполнятся на российской части Куршской косы [Герб, Соколов, 2011]. В 2022 г. они были дополнены сезонным изучением на южном побережье лагуны [Горбунова, Александров, 2025].

Прибрежно-водная растительность представлена в основном видами характерными для пресных вод, немногочисленные галофиты отмечаются в северной лагуны у морского пролива. Обширное мелководье, пресноводность, высокие концентрации биогенных веществ создают благоприятные условия для прибрежно-водной растительности. В водоеме массово развиваются небольшое число видов, что характерно для эвтрофных пресноводных водоемов. В прибрежной зоне Куршского залива доминирует тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), создавая биомассу выше 1000 г/м^2 в период максимального развития, а также камыш озерный, рдесты. Макрофитная растительность, прежде всего тростниковые заросли, наиболее развита на восточном, где расположена дельта р. Неман, и на южном побережье лагуны. В западной части, вдоль Куршской косы, растительность развита значительно слабее. В последние 50 лет произошло увеличение площади зарастания, в частности, вдоль Куршской косы, где наблюдается тенденция постепенного разрастания тростника обыкновенного и заметно продвижение пояса гидрофитов с плавающими листьями [Минкявичус, Пипинис, 1959; Герб, Соколов, 2011]. Эти процессы могут свидетельствовать о влиянии увеличения эвтрофирования Куршского залива.

В сезонном аспекте биомассы макрофитов увеличивалась от начала вегетации весной до конца гидрологического лета в сентябре. Летом (июль-август) для южного российского и северного литовского побережья, а также в целом для большей части российской акватории в 2022 г. и в предыдущие периоды получены сопоставимы оценки воздушно-сухой надводной биомассы доминирующих видов: тростника обыкновенного (800–1100 г/м^2) и камыша озерного (400–500 г/м^2) [Горбунова, Александров, 2025; Минкявичус, Пипинис,

1959; Фельдман, 2011]. Биомасса макрофитов, прежде всего тростника, в Куршском заливе позволяют отнести эту лагуну к наиболее продуктивным водоемам по развитию прибрежно-водной растительности, подтверждая ее гипертрофный статус.

В октябре-ноябре прекращается вегетативный рост макрофитов, и начинается деградация биомассы. Заросли тростника хорошо сохраняются в течение длительного периода после завершения активной вегетации, в отличие от других видов макрофитов лагуне. В частности на модельном участке после зимы (март) воздушно-сухая масса тростника составляла до 1000 г/м^2, снизившись на 30 % по сравнению с сентябрем 2022 г. Это делает тростник удобным природным сырьем для сбора в зимний период и последующего использования в хозяйственной деятельности (топливо, строительство и др.), что ранее применялось в странах Европы [Köbbing, Thevs, Zerbe, 2013].

Наибольшая биомасса макрофитов в конце лета – начале осени может быть использована в качестве корма для сельскохозяйственных животных, для производства удобрений или компоста, а также биогаза. Однако их сбор должен быть сбалансирован с природоохранными мероприятиями в береговой зоне Куршского залива. Негативное воздействие на гнездование птиц, нерест рыб может быть сведено к минимуму, если проводить зимний сбор сухих надземных побегов. Низкая доля влаги (до 14 % согласно исследованиям тростника лагуны в 2023 г.) делает тростник удобным для использования в строительстве, как традиционного для стран Балтики кровельного материала, так и для изготовления современных изоляционных материалов, топливных брикетов и др.

Соблюдение правильной методики сбора (в том числе кластерное выкашивание) позволяет не только сохранить исходные биотопы, но и улучшить условия для обитающих в них видов (гнездование птиц, рыбохозяйственная мелиорация). Эвтрофирование вод Куршского залива характеризуется максимальным уровнем и ежегодно наблюдается «цветение» цианобактерий. Заросли макрофитов выполняют деэвтрофрующую функцию, так как благодаря большой биомассе и высокой скорости роста эффективно удаляют избыточные биогенные элементы. Сбор и последующее использование макрофитов, кроме экономических задач, может иметь значение для снижения эвтрофирования вод.

Список литературы

Александров С. В. Современное экологическое состояние и загрязнение Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря // Вода: химия и экология. 2011. № 11(41). С. 3–9.

Герб М. А., Соколов А. А. Прибрежно-водная и береговая растительность Куршского залива в пределах национального парка "Куршская коса" // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка "Куршская коса". 2011. Вып. 7. С. 5–18.

Горбунова Ю. А., Александров С. В. Сезонная динамика макрофитов Куршского залива // Проблемы географии Урала и сопредельных территорий: Материалы III Международной научно-практической конференции. Челябинск: Край Ра, 2024. С. 231–235.

Минкявичус А., Пипинис И. Обзор флоры и растительности залива Куршю Марес // Куршю Марес. Вильнюс: АН Лит. ССР,1959. С. 109–133.

Фельдман М. В. Оценка распространения и запаса аэрогидрофитов российской части Куршского залива // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса». 2006. Вып. 4. С. 173–176.

Köbbing J., Thevs N., Zerbe S. The utilisation of reed (*Phragmites australis*): a review // Mires and Peat. 2013. N 13. P. 1–14.

УДК 574.52

ЭСТУАРИЙ РЕКИ ПРЕГОЛИ КАК БИОФИЛЬТР БИОГЕННОГО СТОКА

Ю. А. Горбунова*, С. В. Александров, Н. В. Двоеглазова

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН
(Россия, 117218, Москва, Нахимовский просп., 36)
**Автор для переписки: julia_gorbunova@mail.ru*

Аннотация. В работе рассмотрено сезонное функционирование биогеохимического фильтра в эстуарии р. Преголи, который трансформирует биогенный сток и влияет на биогенную нагрузку, поступающую в Балтийское море. Выполнен сопоставительный анализ данных по гидрологии (соленость, температура), биогенным элементам, хлорофиллу «а». Показано, что ранней весной в период половодья в эстуарии используется до 2/3 биогенного стока по азоту. В теплый период межени в лагунной части при переходе от пресных к солоноватоводным условиям формируется мощный биофильтр, при котором наблюдается быстрое извлечение минеральных форм биогенных элементов и одновременно массовое развитие фитопланктона до гипертрофного уровня. В результате снижается биогенная нагрузка на море, но происходит сильное эвтрофрование лагунной части эстуария.

Ключевые слова: хлорофилл, азот, биогеохимический фильтр, «цветение» воды

Процессы связанные с эвтрофированием и биопродуктивностью водных экосистем, достаточно изучены на примере внутренних водоемов. Эстуарии (дельты рек, лагуны) менее исследованы, но при этом они характеризуются уникальным сочетанием физических, химических и биологических показателей и имеют высокую первичную продуктивность.

Река Преголя относится к средним рекам Балтийского моря (длина 123 км, сток 1,5 км^3). Ее эстуарий имеет сложную пространственную конфигурацию, поскольку река впадает в мелководный Вислинский залив (средняя глубина 2,7 м), который является полуоткрытой лагуной и имеет свободный водообмен с морем через пролив. Этот пролив связан с устьем реки глубоководным (глубины 10–12 м) Калининградским морским каналом (КМК). Канал проходит вдоль северного берега залива и отделен искусственными дамбами.

Водосбор р. Преголи расположен в густонаселенной местности, где расположены все крупные города Калининградской области, включая Калининград, и биогенная нагрузка поступающая в эстуарий составляет 3700 т N/год и 740 т P/год [Александров, Горбунова, 2010]. В эстуарии р. Преголи, включая КМК, происходит интенсивное перемешивание речных и морских вод (соленость 0–7 ‰), что определяет неоднородность распределения гидрологических и гидрохимических показателей. По распределению взвешенных веществ и ряда металлов показано формирование маргинального фильтра. Помимо седиментационных и сорбционных процессов в маргинальных фильтрах активно протекают биологические процессы (биоассимиляция, биофильтрация) [Лисицын, 1994]. Лагунная экосистема Вислинского залива характеризуется увеличением обилия и продуктивности фитопланктона, достигающих гипертрофного состояния, с летним «цветение» вод [Александров, 2024].

Целью работы было рассмотрение роли эстуарной системы р. Преголи как биогеохимического фильтра, который трансформирует биогенный сток и снижает биогенную нагрузку на Балтийское море, но одновременно способствует эвтрофированию вод в лагуне. Для оценки сезонного функционирования биогеохимического фильтра пробы отбирали в марте, апреле, мае, августе 2024 г. на 16 точках в выделенных зонах эстуария: «верхней» (нижнее течение и устье реки), «средней» (восточная часть лагуны, включая КМК) и «нижней» (западная часть лагуны и морской пролив), различающихся по солености. Биогенные элементы и хлорофилл «а» (Хл) определяли спекрофотометрическими методами.

В период ранневесеннего половодья наблюдалось опреснение вод, когда в средней зоне эстуария соленость была ≈1‰, а вода прогревалась с 7 ºС 26 марта до 13 ºС 9 апреля. Речные воды имели высокие концентрации азота (до 1000–1400 мкгN/л нитратов) и фосфо-

ра, накопленных на водосборе зимой. Развитие фитопланктона в реке было относительно низким (Хл «а» 9–12 мкг/л), увеличиваясь в средней зоне эстуария до 31–34 мкг/л и снижаясь до 15–19 мкг/л в нижней под влиянием морских вод (соленость 3,5–5 ‰). Содержание нитратов снижалось в средней зоне в 1,5–2 раза за счет развития фитопланктона, и в нижней зоне – разбавления морскими водами, но до 30 % (≈400 мкгN/л) от концентрации в речной воде поступало через морской пролив, способствуя загрязнению Балтийского моря.

В период межени в теплый период года, речной сток снижался, что вело к осолонению средней зоны эстуария до 2 ‰ в мае и 3,5 ‰ в августе, а вода прогревалась до 16 ºС и 23 ºС. В этой зоне происходило интенсивное весеннее развитие фитопланктона (Хл «а» 70–130 мкг/л) и особенно летнее «цветение» воды (Хл «а» 70–180 мкг/л), соответствующее гипертрофному уровню продуктивности вод. Такое высокое обилие обусловлено цианобактериями [Семенова, Дмитриева, 2023]. Их максимальному развитию в августе 2025 г. способствовал повышенный прогрев вод летом 2024 г. В верхней части эстуария Хл оставался на низком мезотрофном уровне (в среднем 11 мкг/л). Повышенная проточность в реке, вероятно, угнетающе действовала на фитопланктон, в результате чего он слабо использовал биогенные элементы речного стока (550 и 300 мкгN/л в мае и августе). В лагунной части (средняя зона) складывались оптимальные гидрологические условия для фитопланктона (снижение проточности, при сохранении низкой солености). В результате там формировался мощный биологический фильтр: быстрое извлечение биогенных элементов и одновременно массовое развитие фитопланктона. В частности, в мае в пределах 2 км в районе пос. Взморье концентрация нитратов снижалась с 450 до 3 мкгN/л, а Хл «а» увеличивался с 70 до 130 мкг/л, аналогично в августе после устья наблюдались резкие изменения с 500 до 170 мкгN/л и Хл «а» с 40 до 120 мкг/л. В оба месяца такие изменения происходили в зоне перехода от пресных к солоноватоводным водам (от 1 до 2,5 ‰). В нижней зоне (западная часть лагуны, соленость 4–6‰), обилие фитопланктона снижалось до 3 раз (Хл «а» 30–50 мкг/л) вследствие лимитирования по биогенным элементам, и возможно, повышения солености.

Таким образом, в результате формирования мощного биофильтра в эстуарной зоне в теплый период года, концентрации минеральных форм азота и фосфора снижались (по нитратам на 2 порядка), что, в частности, снижало загрязнение Балтийского моря. Одновременно, с этим формирование мощных «цветений» воды, ведет к увеличению эвтрофирования лагунной части эстуария (Вислинского залива).

Благодарности. Результаты исследований гидрологических условий и хлорофилла получены за счет гранта Российского научного фонда № 24-44-20027. Результаты исследований биогенных элементов получены в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИО РАН (тема № FMWE-2024-0025).

Список литературы

Александров С. В., Горбунова Ю. А. Биогенная нагрузка на Вислинский залив со стоком реки Преголя // Вода: химия и экология. 2010. № 1(19). С. 4–8.

Александров С. В. Многолетние изменения первичной продукции планктона в лагунной экосистеме Вислинского залива Балтийского моря // Биология внутренних вод. 2024. Т. 17, № 1. С. 43–54.

Лисицын А. П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 735–747.

Семенова А. С., Дмитриева О. А. Планктонные сообщества системы «река Преголя – Вислинский залив – Калининградский морской канал (КМК) – Балтийское море» // Труды Зоологического института РАН. 2023. Т. 327, № 3. С. 430–450.

УДК 574

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОБИОМА, АССОЦИИРОВАННОГО С БАЙКАЛЬСКИМ МОЛЛЮСКОМ, НА ОСНОВЕ ДАННЫХ МЕТАГЕНОМНОГО СЕКВЕНИРОВАНИЯ

В. А. Горев[1]*, Т. В. Бутина[2], Ю. С. Букин[1,2]

[1]Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: vladimir.gorev25@mail.ru*

Аннотация. Моллюски Байкала представляют собой обширный резервуар ассоциированных ДНК-содержащих бактерий, которые потенциально могут представлять опасность для человека, а также могут быть инструментом неблагоприятного воздействия на экосистему. В статье анализируются метатранскриптомные данные эндемичных моллюсков Байкала с целью поиска фрагментов ДНК-содержащих бактерий.
Ключевые слова: микробиом, *Benedictia baicalensis*, метагеном, моллюски, Байкал

Метагеномный анализ позволяет установить таксономическое и функциональное разнообразие бактериальных сообществ, ассоциированных с различными организмами. Другими словами, исследовать состав микробиома многоклеточных организмов на качественном и количественном уровне. Этот подход особенно важен для изучения микробиома уникальных экосистем, таких как оз. Байкал.

Взаимосвязь между микробиомом и его окружением делает его идеальным индикатором здоровья окружающей среды. Именно он быстрее всего отвечает на загрязнение экосистемы. Такие исследования проводились на человеке, и по его микробиому можно с высокой точностью оценить состояние его здоровья. Это значит, что можно отслеживать состояние окружающей среды и по моллюску, изучая его микробиом. Поскольку организмы оз. Байкал будут реагировать на загрязнения окружающей среды, зная, как реагирует микробиом моллюсков, мы сможем предположить, как будут реагировать эти организмы, и сможем делать выводы об интенсивности антропогенного воздействия на экосистему.

Целью исследования является оценка таксономического состава и функциональной активности бактерий, ассоциированных с байкальским эндемичным моллюскам *B. baicalensis* с помощью анализа геномных данных, а также сравнительный анализ микробиома моллюсков с бактериопланктоном оз. Байкал.

Отбор образцов моллюсков проводился в нескольких районах, в южной, центральной и северной котловинах оз. Байкал [Viral ... , 2023]. Расшифровка генетического материала (ДНК из образцов моллюсков и воды оз. Байкал) проводилась с использованием секвенаторов DNBSEQ-400 и HiSeq2000. Всего было проанализировано 8 образцов, включая пулы образов байкальской воды и пулы по несколько особей *B. baicalensis*. Первичную обработку – фильтрацию по качеству прочтений результатов секвенирования проводили программе Trimmomatic [Bolger, Lohse, Usadel, 2014]. Сборку коротких прочтений в контиги геномной сборки проводили с помощью приложения MEGAHIT [2025]. Идентификацию бактериальных контигов, поиск генов и предсказание функциональной активности бактериальных белков проводили с помощью универсального конвейера для метагеномного анализа SqueezeMeta [Tamames, Puente-Sánchez, 2018]. Описание функциональной активности бактериальных сообществ проводилось в рамках терминологии базы данных KEGG [Kanehisa, Goto, 2000]. Обработку результатов (вычисление индексов ожидаемого видового разнообразия Chao1 и ACE, построение тепловых карт, кластеризация, многомерное шкалирование) проводили средствами пакета vegan [Oksanen, Kindt, Legendre, 2007] для языка программирования R.

Наблюдаемое количество родов бактерий в образцах ДНК из воды варьировалось от 28 до 75 родов. А в образцах содержащих только ДНК эндемичных байкальских моллюсков наблюдаемое количество родов бактерий варьировалось в пределах от 4 до 8 родов. В образцах воды вариация ожидаемого количества родов бактерии по индексу S. chao1 колебалась в пределах от 28 до 75 родов. А в образцах моллюсков вариация ожидаемого количества родов по индексу S. chao1 колебалась в пределах от 4 до 8 родов. Таксономическое разнообразие бактерий в воде оз. Байкал превышало таксономическое разнообразие бактерий, ассоциированных с эндемичными байкальскими моллюсками.

Наблюдаемое количество генов в метагеномной сборке категорий метаболизма у бактерий по базе данных KEGG Pathway в образцах ДНК из воды варьировало от 4136 до 7124. А в геномных сборках эндемичных байкальских моллюсков наблюдаемое количество генов категорий метаболизма варьировало в пределах от 130 до 386. В образцах воды вариация ожидаемого количества предсказанных генов по индексу S. chao1 колебалась в пределах от 5542 до 9362 генов. А в образцах моллюсков вариация ожидаемого количества предсказанных генов по индексу S. chao1 колебалась в пределах от 130 до 237 генов. Количество генов категорий метаболизма у бактерий по базе данных KEGG Pathway в воде оз. Байкал превышало количество генов категорий метаболизма у бактерий, ассоциированных с эндемичными байкальскими моллюсками.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 0279-2021-0005 и 0279-2021-0010).

Список литературы

Bolger A. M., Lohse M., Usadel B. Trimmomatic: a flexible trimmer for Illumina sequence data // Bioinformatics. 2014. Vol. 30, N 15. P. 2114–2120. DOI: 10.1093/bioinformatics/btu170

Viral diversity in samples of freshwater gastropods *Benedictia baicalensis* (Caenogastropoda: Benedictiidae) revealed by total RNA-sequencing / T. V. Butina, T. I. Zemskaya, A. N. Bondaryuk [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2023. Vol. 24(23). Art. 17022. DOI: 10.3390/ijms242317022

Kanehisa M., Goto S. KEGG: kyoto encyclopedia of genes and genomes // Nucleic acids research. 2000. Vol. 28, N 1. P. 27–30. DOI: 10.1093/nar/28.1.27

MEGAHIT. URL: https://github.com/voutcn/megahit (дата обращения: 29.05.2025).

Oksanen J., Kindt R., Legendre P. The vegan package // Community ecology package. 2007. N 10(631–637). Artl. 719.

Tamames J., Puente-Sánchez F. SqueezeMeta, a highly portable, fully automatic metagenomic analysis pipeline // Front Microbiol. 2018. N 9. Art. 3349. DOI: 10.3389/fmicb.2018.03349

УДК 543.38

ПРИБРЕЖНАЯ ЗОНА – ОБЪЕКТ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

А. Г. Горшков *, О. В. Кустова, О. Н. Изосимова, Т. А. Григорьева, Н. В. Максимова, А. П. Федотов

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: gorchkov_ag@mail.ru*

Аннотация. Проведен мониторинг стойких органических загрязнителей (СОЗ) – полихлорированных бифенилов (ПХБ), полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и диэфиров о-фталевой кислоты (фталаты) – в водах оз. Байкал в период с 2015 по 2024 г., оценены средние значения и диапазоны статистически значимых концентраций СОЗ. Установлено, что в воде пелагиали и прибрежной зоны состав и соотношение СОЗ идентичны, диапазоны обнаруженных концентраций СОЗ несопоставимы, прибрежная зона озера по количественным характеристикам СОЗ не отвечает требованиям, предъявляемым к объекту аналитического контроля. Донные осадки из прибрежной зоны, эндемичные брюхоногие моллюски *Benedictia baicalensis* и вселенцы открытой литорали Байкала *Radix auricularia* оценены как индикаторы канцерогенов бенз[а]пирена (Б[а]П) и дибенз[a,h]антрацена (Д[a, h]А), диоксиноподобных конгенеров ПХБ ($ПХБ_{dl}$), присутствующих в байкальской воде на ультраследовом уровне концентраций.

Ключевые слова: СОЗ, поверхностная вода, уровни концентраций, донные осадки, брюхоногие моллюски, Байкал

В водной экосистеме Байкала три класса СОЗ отнесены к числу приоритетных: ПХБ, ПАУ и фталаты. Приоритетные СОЗ характеризуются индивидуальными физико-химическими свойствами, уровнями обнаруженных концентраций, источниками поступления. В воде литорали и центральной зоны пелагиали оз. Байкал СОЗ присутствуют на следовом уровне концентраций, который по данным мониторинга в период с 2015 по 2024 г. оценен средними значениями и диапазонами статистически значимых концентраций (табл.). Установлено, что состав и соотношение поллютантов в воде пелагиали и прибрежной зоны идентичны, но диапазоны концентрации СОЗ в воде центральной части пелагиали озера и в воде прибрежной зоны несопоставимы.

Таблица. Диапазоны, средние значения и медианы концентраций СОЗ в воде прибрежной и центральной зонах пелагиали

Экотоп отбора проб	Σ_7ПХБ, нг/л	Σ_{13}ПАУ, нг/л	Σ_4фталатов, мкг/л
Прибрежная зона			
Диапазон*	0,10–0,81	6,7–220	0,04–6,7
Среднее/медиана	0,29 / 0,25	54 / 32	1,4 / 0,99
Δ среднего значения	0,25–0,35	40–130	1,2–1,7
Центральная зона пелагиали			
Диапазон*	0,04–3,0	9,2–140	0,05–3,6
Среднее/медиана	0,46 / 0,21	38/26	0,94/0,54
Δ среднего значения	0,31–0,63	33–47	0,79–1,2

Примечание: * – 95 % перцентиль.

Основным источником ПХБ в ряду приоритетных СОЗ является дальний атмосферный перенос, который в равной степени воздействует как на центральную часть озера, так и на его прибрежную зону. ПАУ и фталаты отличаются наличием региональных и локальных источников, вклад которых определяет более высокий уровень и широкие диапазоны концентраций СОЗ. Более низкий уровень концентрации ПХБ в воде прибрежной зоне, чем в пелагиали, связан, очевидно, с более эффективным процессом перехода поллютантов в донные отложения.

Донные осадки, собранные в прибрежной зоне, представляют собой пески и мелко алевритовые, крупно алевритовые илы с содержанием органического углерода не более, чем 1,0 %. Степень накопления СОЗ в донных осадках низка (масса СОЗ в осадке, сухая масса / масса СОЗ в воде) и оценена значениями равными 100, 140 и 50 для ПХБ, ПАУ и фталатов, соответственно. Накопление СОЗ в донных осадках сопровождается увеличением в составе доли высокомолекулярных конгенеров в каждом классе исследованных поллютантов. В частности, в составе ПХБ отмечено не только значительное увеличение доли гептахлорированного конгенера № 180, но и присутствие ПХБ$_{dl}$, конгенера № 105, который обнаружен в единичных пробах воды. В ряду фталатов доминируют ди-*n*-бутилфталат и ди-(2-этилгексил)фталат, бензилбутилфталат (ББФ) и ди-*n*-октилфталат (Д*n*ОФ), включенные в число приоритетных СОЗ (список EPA USA), не обнаружены в осадках выше предела определения (0,01 мкг/г сухой массы).

В составе ПАУ, аккумулированных в осадках, идентифицированы все 16 приоритетных полиаренов, включая канцерогены бенз[a]пирен (Б[a]П) и дибенз[a, h]антрацен (Д[a, h]А). В районах с повышенным уровнем антропогенного воздействия на побережье донные осадки в прибрежной зоне отличаются более высоким уровнем содержания ПАУ. Увеличение содержания ПАУ происходит за счет флуорена, фенантрена, флуорантена и пирена, суммарная доля которых в величине Σ_{16}ПАУ достигает 55 %. На этих участках прибрежной зоны в донных осадках на уровне следов (от 0,01 до 0,03 нг/г сухой массы) обнаружены индено[1,2,3-c,d]пирен и бенз[g,h,i]перилен, входящие в число приоритетных и не идентифицированные в байкальской воде. Индикаторные соотношения ПАУ указывают на их поступление из пиролитических, петрогенных источников и на локальный, региональный атмосферный перенос.

Брюхоногие моллюски из прибрежной зоны исследованы как индикаторы СОЗ, присутствующих в водной экосистеме Байкала на ультраследовом уровне концентраций. В мягких тканях байкальских эндемичных моллюсков *B. baicalensis* идентифицированы пять конгенеров (ПХБ$_{dl}$ № № 123, 118, 114, 105 и 156), в тканях вселенцев *R. Auricularia*[Чужеродные ... , 2024] – четыре (ПХБ$_{dl}$ № 123, 118, 114 и 105). ПАУ в моллюсках представлены 16 приоритетными полиаренами, среди которых суммарная доля аценафтилена, флуорена и фенантрена составляет 60–75 % в сумме Σ_{16}ПАУ. Канцерогены Б[a]П и Д[a, h]А определены на уровне 0,02–0,37 нг/г влажной массы, ББФ и Д*n*ОФ, включенные в список приоритетных органических загрязнителей EPA USA, не обнаружены в тканях моллюсков.

В воде прибрежной и центральной зон оз. Байкал состав и соотношение СОЗ идентичны, диапазоны обнаруженных концентраций СОЗ несопоставимы, прибрежная зона озера по количественным характеристикам СОЗ не отвечает требованиям, предъявляемым к объектам аналитического контроля. Бентосные организмы прибрежной зоны оценены как индикаторы поллютантов, присутствующих в водной экосистеме на ультраследовом уровне.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках проекта государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0005 (№ гос. регистрации 121032300224-8) на оборудовании приборного центра коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикроанализ»). Авторы выражают искреннюю благодарность ст. науч. сотр., канд. геол.-минерал. наук Т. В. Погодаевой за определение органического углерода в донных осадках.

Список литературы

Чужеродные брюхоногие моллюски (Gastropoda) среди эндемиков в открытых районах оз. Байкал / Т. Я. Ситникова, И. В. Ханаев, М. В. Коваленкова, Т. Е. Перетолчина, Н. В. Максимова // Зоологический журнал. 2024. Т. 103, № 3. С. 26–43. DOI: 10.31857/S0044513424030049

УДК 579.68

АНАЛИЗ ДИФФУЗНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ С ПОМОЩЬЮ АССОЦИИРОВАННЫХ С ХОЗЯИНОМ МОЛЕКУЛЯРНЫХ МАРКЕРОВ

А. С. Горшкова *, В. В. Мальник, О. А. Тимошкин

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: kovadlo@yandex.ru*

Аннотация. Проведен анализ проб из прибрежной зоны оз. Байкал с использованием маркеров, специфичных для фекального загрязнения человека (HF183, hCYTB484), жвачных (Rum-2-Bac). Перед тестированием образцов окружающей среды маркеры были протестированы на фекалиях местных животных и образцах сточных вод. Маркеры человека HF183, hCYTB484 и жвачных животных Rum-2-Bac часто обнаруживались в точках периодического наблюдения, как в интерстициальных водах пляжа, так и в прибрежных водах озера.

Ключевые слова: отслеживание микробных источников, антропогенное загрязнение, прибрежная зона, Байкал

Районы исследования включали четыре пляжа в пределах поселков Листвянка, Култук, Сахюрта, Хужир. Расположение точек ежегодного отбора проб в пределах населенных пунктов было выбрано таким образом, чтобы в эту точку попадал основной сток с территории населенного пункта. Не было выявлено существенной разницы между станциями по распределению маркеров в точках периодического ежегодного наблюдения. Средний процент образцов, положительных и количественно определяемых для hCYTB484 и HF183, составил 38 %, а Rum-2-Bac – 48 %. Медиана концентрации маркеров составила 3,5 $\log_{10}$ копий/100 мл (HF183), 4,0 $\log_{10}$ копий/100 мл (hCYTB484), 3,7 $\log_{10}$ копий/100 мл (Rum-2-Bac). Эти результаты показали, что среднее содержание сточных вод в образцах окружающей среды на исследуемых участках варьировало от примерно 0,004 до 0,0004 %, а коровьего навоза – от примерно 0,006 до 0,000006 %. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что в населенных пунктах осуществляется поступление антропогенных сточных вод в прибрежную зону оз. Байкал. Характер распределения *E. coli* и *Enterococcus* spp. не совпадал с распределением изученных маркеров, что указывает на необходимость дальнейших усилий для уточнения источников фекальных бактерий в прибрежной зоне оз. Байкал. Для подтверждения специфичности анализа HF183 ампликоны HF183/Bac708 были секвенированы. Оказалось, что в образцах, положительных на этот маркер, специфически выявляется ДНК целевого микроорганизма *P. dorei* из кишечника человека. Учитывая тестирование на местных образцах, можно сделать вывод, что маркеры Rum-2-Bac, HF183 могут быть использованы в качестве аналитического инструмента для отслеживания источников в прибрежной зоне оз. Байкал, так как они показали приемлемый уровень специфичности, чувствительности и широкое распространение в пробах воды из прибрежной зоны оз. Байкал.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ЭН+ГРУП, государственных проектов № 0279-2021-0007, № 0279-2021-0015. Благодарим канд. биол. наук Ю. П. Сапожникову, канд. биол. наук А. Г. Королеву, канд. биол. наук А. В. Ломакину и канд. биол. наук С. М. Черницыну за помощь в проведении экспериментов.

УДК 550.42(571.53)

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ И ВОДЫ УСТЬЕВ ПРИТОКОВ ЮЖНОГО БАЙКАЛА

В. И. Гребенщикова*, О. Н. Гордеева

Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а)
**Автор для переписки: vgreb@igc.irk.ru*

Аннотация. При землетрясениях в воде Байкала, некоторых притоков и истока Ангары отмечено повышение концентраций ртути, иногда выше ПДК. В устьях притоков Южного Байкала не установлено корреляции концентраций ртути в воде и в рядом находящейся почве. В почвах притоков Байкала выявлено повышение концентраций ряда элементов относительно кларков, регионального фона и ПДК.

Ключевые слова: ртуть, почва, вода, притоки Южного Байкала

Озеро Байкал расположено в Байкальской рифтовой зоне. Ежегодно в этом регионе происходят землетрясения и геодинамические подвижки. В некоторых притоках Байкала при мониторинговых исследованиях весной и осенью одновременно были опробованы вода в устьях и рядом в почвах для определения Hg и ряда других химических элементов. Химический анализ воды и почвы проводился с использованием научного оборудования аккредитованного и сертифицированного аналитического центра «Изотопно-геохимические исследования» ИГХ СО РАН.

Ранее была установлена корреляция повышенных содержаний ртути в воде устьев притоков и в воде Байкала во время землетрясений весной и осенью в 2018 г. [Повышенные ... , 2020; Grebenshchikova, Kuzmin, 2022; О связи … , 2021]. Позднее было отмечено, что одновременно повышенные значения концентраций ртути и метана фиксировались в поверхностной воде Байкала во время геодинамических подвижек в 2018–2020 гг. в Байкальской рифтовой зоне [Гребенщикова, Кузьмин, Иванов, 2023; Гребенщикова, Кузьмин, Демьянович, 2024]. В сейсмоопасных регионах, каким является Прибайкалье, могут одновременно возрастать концентрации метана и Hg в воде [Гребенщикова, Кузьмин, Иванов, 2023; Саева, Дядьков, Волынкин, 2024]. Возможно, что в поверхностном слое воды Байкала происходит метилирование ртути при участии микроорганизмов. Хроническое отравление ртутью грозит серьезными нарушениями функций центральной нервной системы. Ртутьсодержащие соединения депонируются в почках, печени и других органах, могут вызывать интоксикацию, отравление и даже гибель живых организмов, в том числе рыбы и нерпы [Табакова, Рядинская, 2018; Русинек, Гребенщикова, 2023; Гребенщикова, Кузьмин, Демьянович, 2024].

Корреляционный анализ не выявил значимых связей между концентрациями ртути в воде и рядом в почве. Определение форм нахождения Hg в почвах разных типов показало, что наибольшая доля Hg приходится на формы, связанные с органическими комплексами и обменными основаниями. Расчетные данные свидетельствуют о повышенном естественном геохимическом фоне ртути в почвах, что связано с территориальной принадлежностью к Байкальской рифтовой зоне [Ляпина, 2022].

Исследование почв притоков Байкала показало повышение относительно кларков, иногда регионального фона, концентраций As, Pb, Hg, Co, V, Be, Ba, Cu, Zn, Mn, U и Th в большинстве исследованных образцов почв. Наиболее загрязненной оказалась почва, отобранная на западном побережье (р. Анга), где концентрации As, Hg, Co, Cu, Zn, U и Th выше кларковых значений, а Pb, Be и Mn – выше ПДК для почв. В почвах побережья других притоков относительно ПДК повышены концентрации: р. Хаим – Zn и Mn, р. Селенга, в окрестностях г. Кабанска, – Zn, р. Переемная –Pb и Be, р. Новоснежная – Mn, р. Солзан – Pb, а концентрации Mn здесь составили 0,8 ПДК, р. Култучная – содержание Mn 0,9 ПДК.

Наиболее чистыми являются почвы побережья р. Безымянная (Республика Бурятия), где установлены самые низкие концентрации изученных элементов, двукратное увеличение относительно кларка установлено только для Pb. Кроме того, исследованы почвы вблизи двух скважин – на о. Ольхон и в пос. МРС. Относительно кларков в первой повышены содержания Hg и U, во второй – Hg, Co, Cu, Mn, U, Th. В целом почвы рядом со скважиной в пос. МРС характеризуются более высокими концентрациями большинства изученных элементов по сравнению с почвами скважины на о. Ольхон. Установленное увеличение большинства химических элементов в изученных почвах связано как с природным их привносом от почвообразующих пород, так и, частично, с техногенным загрязнением в связи с близким расположением от населенных мест. Так, концентрации экотоксикантов As, Hg, Pb, Be в почвах часто увеличиваются при техногенном загрязнении – прослеживается влияние котельных и ТЭЦ (сжигание угля), автотранспорта. В связи с рудопроявлениями U в районе оз. Байкал [Уникальный … , 2018] концентрации его в почвах также повышены относительно кларков и регионального фона. Установлена положительная корреляция между концентрациями Hg, Pb, U и $C_{орг}$ в почвах, что может указывать на техногенное поступление этих элементов и связывание их с органическим веществом почв в верхнем гумусовом горизонте.

Благодарности. работа выполнена в рамках государственного задания ИГХ СО РАН № 0284-2021-0003 и при поддержке проекта РФФИофи_м № 17-29-05022.

Список литературы

Гребенщикова В. И., Кузьмин М. И., Демьянович В. М. Разнонаправленная динамика химического состава воды Байкальской экосистемы (Байкал, притоки, исток Ангары) // Геология и геофизика. 2024. Т. 65, № 3. С. 386–400. DOI: 10/15372/GiG2023162

Гребенщикова В. И., Кузьмин М. И., Иванов В. Г. Причины «аномальных» концентраций химических компонентов во временных рядах распределения в воде Байкальской экосистемы // Современные направления развития геохимии : материалы Всерос. конф. (с участием зарубежных ученых). Иркутск, 2023. С. 149–152.

Ляпина Е. Е. Ртуть в почвах межгорных понижений Западного Прибайкалья // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. 2022. Т. 2, № 2. С. 115–120. DOI: 10.33764/2618-981X-2022-2-2-115-120

Повышенные содержания ртути в воде истока реки Ангара: отклики на геодинамические воздействия и сильные землетрясения / В. И. Гребенщикова, М. И. Кузьмин, А. В. Ключевский, В. М. Демьянович, А. А. Ключевская // ДАН. 2020. Т. 491, № 2. С. 77–81.

Русинек О. Т., Гребенщикова В. И. Содержание природной ртути в байкальской нерпе и ее паразитах // VII. Жизнь в водных экосистемах. 2023. С. 136–139. DOI: 10.24412/cl-34446-2023-4-136-139

Саева О. П., Дядьков П. Г., Волынкин С. С. Ртуть в подземных водах Байкала – гидрогеохимический предвестник землетрясений? // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2024. Т. 2, № 2. С. 83–89. DOI: 10.33764/2618-981X-2024-2-2-83-89

Табакова М. А., Рядинская Н. И. Система печеночных вен байкальской нерпы // Вестник КрасГАУ. 2018. № 5. С. 258–264.

Уникальный минерал надгруппы пирохлора из Прибайкалья (дополнение его первого описания, сделанного В. И. Вернадским) / Л. П. Рихванов, В. Д. Страховенко, С. З. Смирнов [и др.] // Записки Российского минералогического общества. 2018. Т. 147, № 6. С. 75–89.

Центр коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» игх со ран ИГХ СО РАН: современное состояние методов изучения вещества на микро- и макроуровне / С. Ю. Скузоватов, О. Ю. Белозерова, И. Е. Васильева [и др.] // Геодинамика и тектонофизика. 2022. Т. 13, № 2. С. 0585. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2-0585

Grebenshchikova V. I., Kuzmin M. I. Mercury in the Baikal aquatic ecosystem (Lake Baikal, its tributaries, Angara River source) // Limnology and Freshwater Biology. 2022. N 3. P. 1302–1304. DOI: 10.31951/2658-3518-2022-A-3-1302

УДК 556.5

СООТНОШЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ ФОСФОРНОЙ НАГРУЗКИ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ

М. Г. Гречушникова[1,2]*, Д. В. Ломова[2], В. В. Пуклаков[1]

[1]Московский государственный университет, Географический факультет (Россия, 119234, Москва, Ленинские горы, 1)
[2]Институт водных проблем РАН (Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, 3)
**Автор для переписки: allavis@mail.ru*

Аннотация. Работа посвящена исследованию соотношения внешней и внутренней фосфорной нагрузки Иваньковского водохранилища по данным наблюдений. Использованы материалы съемок водохранилища 2020–2024 гг. и результаты ежемесячного анализа проб в притоках водохранилища 2022–2024 гг. Наибольший выход фосфора из донных отложений приурочен преимущественно к периодам дефицита кислорода в придонном слое и участкам, занятым отложениями, богатыми органическим веществом. Использование математической модели ГМВ-МГУ позволило выделить продолжительность этих периодов. Выход принят по осредненным данным экспериментальных экспозиций кернов грунта во время съемок. Внутренняя фосфорная нагрузка, определенная таким способом, составила 942–1016 т и превышает внешнюю.

Ключевые слова: фосфаты, внутренняя нагрузка, водохранилище, донные отложения

Иваньковское водохранилища – водоем сезонного регулирования стока, испытывающий значительную антропогенную нагрузку, особенно на водосборах правобережных притоков. Цель работы – оценка суммарной нагрузки водоема фосфатами и соотнесение внешней и внутренней нагрузки.

Для определения внешней нагрузки в 2022–2023 гг. проведены ежемесячные отборы проб в устьевых створах 13 притоков Иваньковского водохранилища. Согласно [Иваньковское … , 2000], доля малых притоков в суммарном поверхностном притоке воды в Иваньковское водохранилище составляет около 18,1 %, более половины притока привносит р. Волга (в створе Старица 54,2 % притока), р. Тверца 19,6 %, р. Тьма 3,3 %, р. Шоша и р. Лама по 2,4 %. Для бокового притока (малые реки) концентрация фосфатов определена как средневзвешенная с учетом площади водосбора. Для крупных притоков, сведения о расходах воды которых получены из АИС ГМВО, приняты фактические значения концентрации фосфатов, и использованы как среднемесячные. В 2022–2023 гг. приток фосфатов с поверхностными водами составил **669** и **974** т соответственно.

Донные отложения Иваньковского водохранилища представлены разнообразным типом грунта в зависимости от района и морфологических частей затопленной долины: в русле преобладают относительно богатые органическим веществом донные отложения, на пойме и в верхней части водоема преобладает заиленный песок [Законнов, Григорьева, Законнова, 2018]. На пойменных станциях выход фосфатов зависит от величины общей деструкции и содержания органического вещества (ОВ). Для заиленного песка выход минерального фосфора по [Процессы … , 2019] принят равным 2 мг$Р_{мин}$/м^{2}сут для всех районов в зимний период и от 10 до 35 мг$Р_{мин}$/м^{2}сут в зависимости от общей деструкции. Параметризация выхода фосфатов из ДО русловой части с ОВ в ДО более 10 % задана по материалам экспериментальных работ, проведенных по время съемок водохранилища методом трубок [Мартынова, 2010] в марте и мае 2023–2024 гг. и августе 2020–2024 гг. Осредненные данные за март приняты для расчета выхода фосфатов по районам для периода ледостава, осредненные данные за август приняты для расчета в периоды аноксии, в остальную часть года расчет произведен по данным за май (табл.).

Таблица. Осредненные по съемкам результаты выхода фосфатов из ДО затопленной русловой ложбины, мг$Р_{мин}$/м^2 сут

Район	Плоски	Конаково	Корчева	Дубна	Шошинский плес
март	5	6,6	4,3	3,8	10,5
май	43,5	31	34	47,3	11,1
август	51	46	51,3	59,2	42,4

Для уточнения периодов с дефицитом кислорода в придонном слое (менее 2 мг/л) использована математическая квазидвухмерная модель ГМВ-МГУ [Диагностическое … , 2012]. Расчет произведен для периода 2020–2023 гг. с наличием всей необходимой гидрометеорологической информации для входных данных. Период ледостава (включая дни с неполным ледоставом, но очевидно близкой к обратной стратификацией, определялся по базе АИС ГМВО.

Путем умножения величины потока фосфатов из донных отложений района с учетом их площади получено, что в 2020–2022 гг. выход фосфатов составил **1903, 1717** и **1646** т соответственно. Сопоставляя эти значения с вышеприведенной оценкой притока фосфатов с поверхностными водами можно сделать вывод о значительной роли автохтонной нагрузки для Иваньковского водохранилища. Очевидно, что в периоды с длительным дефицитом кислорода в придонном слое (как в 2022 г.) и сокращением периода ледостава, увеличения температуры придонного слоя, автохтонная фосфорная нагрузка будет возрастать. Неточности оценки внутренней нагрузки связаны с неучетом методом трубок конвективного потока фосфора с выделяющимися из ДО пузырьками газа и возможной переоценкой протяженности бескислородного периода, однако эти факторы действуют с разным знаком, поэтому полученные оценки представляются адекватными.

Следует упомянуть и выявленное зафосфачивание подземных водоносных горизонтов на водосборе Иваньковского водохранилища [Лапина, Кудряшова, Лапина, 2023]. В данной работе эта составляющая не учитывалась из-за отсутствия режимных наблюдений.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы ГЗ ИВП РАН № FMWZ-2025-0002. Моделирование проведено в рамках работ по теме ГЗ кафедры гидрологии суши географического ф-та МГУ 121051400038-1.

Список литературы

Диагностическое моделирование внутриводоемных процессов в водохранилищах / К. К. Эдельштейн, М. Г. Гречушникова, Ю. С. Даценко, В. В. Пуклаков // Водные ресурсы. 2012. № 4. С. 437–450.

Законнов В. В., Григорьева И. Л., Законнова А. В. Пространственно-временная трансформация грунтового комплекса водохранилищ Волги // Водное хозяйство России. 2018. № 3. С. 35–48.

Иваньковское водохранилище: Современное состояние и проблемы охраны. М. : Наука, 2000. 344 с.

Лапина Е. Е., Кудряшова В. В., Лапина Л. Э. Изменения химического состава грунтовых вод вокруг Иваньковского водохранилища за 20 лет // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. 2023. № 1–2. С. 18–37.

Мартынова М. В. Донные отложения как составляющая лимнических экосистем. М. : Наука, 2010. 243 с.

Процессы массопереноса в водных объектах. Черноголовка : ИПХФ РАН, 2019. 156 с.

УДК 551.588.4

ЛИМНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОАЗИСАХ АНТАРКТИКИ (СТАНЦИИ БЕЛЛИНСГАУЗЕН, РУССКАЯ И НОВОЛАЗАРЕВСКАЯ)

А. В. Гузева*, А. Е. Лапенков

Институт озероведения РАН
(Россия, 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9)
**Автор для переписки: olina2108@mail.ru*

Аннотация. В рамках 70-й Российской антарктической экспедиции лимнологический отряд ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН проводил комплексные исследования трансформации органического вещества в озёрах Антарктики. Основное внимание уделено процессам гумификации в экстремальных климатических условиях. Получены данные о морфометрии, гидрохимии, донных отложениях, подводной и прибрежной растительности озер. Впервые проведена видеосъемка шести озёр на станции Беллинсгаузен, оценены площади распространения мхов Drepanocladus longifolius как основного прекурсора гумификации.

Ключевые слова: Антарктика, гумификация, озёра, донные отложения, подводная съемка, мхи

В рамках 70-й Российской антарктической экспедиции (РАЭ) лимнологический отряд Института озероведения РАН (СПб ФИЦ РАН) проводил комплексные исследования по программе «Геохимические и экологические особенности процессов трансформации органического вещества в озёрах Антарктики». Озера полярного континента являются индикаторами климатических и экологических изменений, а также служат важными объектами для изучения углеродного цикла.

Цель работ – выявление особенностей процессов гумификации органического вещества в озёрах антарктических оазисов – уникальных экосистем, функционирующих в условиях экстремального климата. В задачи исследований входило комплексное описание условий преобразования органики в озёрах (морфометрические и гидрохимические параметры, ледовый режим, подводные ландшафты, литологические характеристики отложений), а также анализ химического состава и молекулярного строения прекурсоров (подводная и прибрежная растительность) и продуктов гумификации (гуминовых и фульвовых кислот).

На станции Беллинсгаузен впервые проведена детальная подводная видеосъемка шести крупных озер, позволившая зафиксировать площадь распространения подводных мхов Drepanocladus longifolius (Amblystegiaceae), являющихся основным материалом для гумификации в озерных отложениях. В ряде озер из донных отложений выделена и проанализирована фракция гуминовых кислот [Guzeva, 2024].

В районе станции Русская выявлены 18 соленых и пресных озер с различной степенью промерзания и ледовым режимом, в том числе с формированием бугров-блистеров на поверхности [Демидов, Гузева, 2022]. В мелководных озёрах с помощью подводной видеосъемки обнаружены развитые биогенные пленки, состоящие, по-видимому, из скопления цианобактерий и диатомовых водорослей. Особый интерес представляло изучение донных ландшафтов оз. Гуминового, в отложениях которого протекают полноценные процессы гумификации [Guzeva, 2024]. На основании собранных сведений о наличии озер, населённых водными бактериальными сообществами, данный участок суши следует отнести к антарктическим приморским низменным антарктическим оазисам [Демидов, Гузева, 2022].

В оазисе Ширмахера на станции Новолазаревская проведена подводная съемка в 9 озёрах, отобраны и проанализированы образцы глинистых илов, богатых органическим веществом. Установлено, что основным источником органики в водоемах оазиса являются водорослево-бактериальные маты, активно разлагающиеся в донных отложениях.

Благодарности. Авторы искренне благодарят руководство Российской антарктической экспедиции за высокий уровень логистической организации и содействие в проведении работ, а также всех коллег-участников, помогавших в полевых маршрутах.

Список литературы

Демидов Н. Э., Гузева А. В. Озера полюса ветров Антарктиды (ст. Русская) // Российские полярные исследования. 2022. № 1. С. 19–22.

Guzeva A. V. Geochemical characterization of humic acids and humification processes in lake sediments of West Antarctica // Antarctic Science. 2024. Vol. 36, N 6. P. 478–486. DOI: 10.1017/S0954102024000294

УДК 574.5

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ АДСОРБЦИИ ЧАСТИЦ МИКРОПЛАСТИКА РАЗНЫХ ТИПОВ МАКРОФИТАМИ ОЗЕРА БАЙКАЛ

А. Т. Гулигуев[1]*, К. К. Рубан[1], А. А. Солодкова[1], И. Д. Кодатенко[1], Д. С. Кондратьева[1], С. А. Бирицкая[1], Д. Ю. Карнаухов[1,2]

[1]Иркутский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2]Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл., пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
**Автор для переписки: aguliguev29@gmail.com*

Аннотация. В данном исследовании в лабораторных условиях была изучена способность к адсорбции частиц микропластика разных типов несколькими таксонами макрофитов оз. Байкал. Кроме того, была дана оценка эффективности применяемой методики. Исследование показало, что в лабораторных условиях фрагменты микропластика адсорбируются в большем количестве, чем волокна.

Ключевые слова: микропластик, Байкал, макрофиты, адсорбция, пресные водоемы

Значимой составляющей экосистемы оз. Байкал являются макрофиты. Они же могут подвергаться потенциальному воздействию микропластика. Уже показано, что частицы микропластика отрицательно влияют на растения, например, замедляют рост и развитие, снижают интенсивность фотосинтеза. Кроме того, частицы пластика могут негативно влиять и на ассоциированных с данными макрофитами гидробионтов. Адсорбированный на поверхности растения пластик может быть ошибочно принят за объект питания, что может привести к повреждению внутренних органов, а также дальнейшей передаче по трофическим уровням, вплоть до консументов высших порядков.

Целью работы было в экспериментальных условиях определить возможность и уровень адсорбции частиц микропластика различной морфологии макрофитами оз. Байкал, а кроме того, дать оценку эффективности применяемой методики.

Для эксперимента были выбраны макрофиты трех распространенных таксонов *Myriophyllum spicatum* (L., 1753), *Stuckenia sp.* (Börner, 1912) и *Draparnaldioides baicalensis* (Meyer, 1922) оз. Байкал. В результате лабораторных экспериментов были получены следующие данные. Для *M. spicatum* среднее количество адсорбированных волокон составило – 104,07±78,9 част./г сухой массы на самом растении и 3431,87±1915 част./г сухой массы на фильтрах. Среднее количество фрагментов на макрофите – 10707,53±2157,07 част./г сухой массы; на фильтре – 145764,23±30971,65 част./г сухой массы. Для *Stuckenia* sp. среднее количество волокон составило – 186,93±76,72 част./г сухой массы на растение и 5477,47±3332,63 част./г сухой массы на фильтрах. Среднее количество фрагментов на растение – 15323,5±5067,41 част./г сухой массы, а на фильтре – 318470,1±118553,26 част./г сухой массы. К сожалению, пробы *D. baicalensis* удалось отобрать в меньшем количестве, но полученные результаты соответствуют общей картине распределения частиц микропластика.

Работа подтвердила возможность адсорбции данными видами макрофитов частиц микропластика в лабораторных условиях. В случае применения данной методики для макрофитов в естественных условиях показатели могут быть занижены.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00371, https://rscf.ru/project/24-24-00371/.

УДК 556

РАСТВОРЕННЫЙ КИСЛОРОД И ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ В ДОЛГОСРОЧНОМ МОНИТОРИНГЕ СОСТОЯНИЯ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

М. А. Гусева[1]*, Т. Н. Петрова[2]

[1]Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 199053, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 26)
[2]Институт озероведения РАН (Россия, 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9)
**Автор для переписки: velapandere@gmail.com*

Аннотация. Ладожское озеро в период наблюдений с 2003 г. по настоящее время сохраняет статус олиготрофного водоема, кислородный режим изменяется незначительно и в основной водной массе за период открытой воды насыщение кислородом по всему столбу воды в среднем близко к 100 %. Водородный показатель при этом демонстрирует тенденцию к снижению. Связь между этими показателями максимальна в периоды весеннего развития фитопланктона и осенней деструкции, а также летом в литоральных зонах, которые можно охарактеризовать как эвтрофные.

Ключевые слова: кислородный режим, водородный показатель, продукционно-деструкционный баланс, карбонатное равновесие

Содержание кислорода и водородный показатель в воде тесно связаны с балансом продукционно-деструкционных процессов в водоеме, а доступность их измерения позволяет проводить достаточно регулярные наблюдения с хорошим пространственным разрешением. В экологическом мониторинге, который ориентирован на оценку устойчивости экосистемы, выявление наблюдаемых трендов ее развития и прогноз качества воды, достаточная длина ряда наблюдений является одним из важнейших условий достоверности оценок. В работе использованы гидрохимические данные, полученные в ходе ежегодных экспедиций Института озероведения РАН с 2003 по 2021 г. в период открытой воды. Станции были равномерно расположены в четырёх основных зонах Ладожского озера: в прибрежной зоне (глубина до 15 м), которая максимально подвержена влиянию притоков, в деклинальной, профунальной и ультрапрофундальной (глубоководной). Отдельно в 2014 г. была исследована литоральная область.

В этот период наблюдений водородный показатель в различных зонах Ладожского озера демонстрировал статистически значимую тенденцию к уменьшению. При этом средняя относительная концентрация кислорода в воде озера менялась незначительно: вследствие того, что достаточно большой запас кислорода содержится в гиполимнионе основной массы озера, а также благодаря термической циркуляции, проходящей два раза в год весной и осенью, общий запас кислорода сохраняется на уровне, близком к 100 % насыщения. Однако возрастает неравномерность распределения концентрации кислорода, в частности, в период летней стратификации фиксируется увеличение частоты случаев локального дефицита кислорода в приповерхностном слое [Guseva, Petrova, Krylova, 2025]. Поэтому с целью ранней диагностики, чтобы зафиксировать первые изменения кислородного режима, целесообразно оценивать дополнительные показатели распределения, внутригодовую и пространственную дисперсию, частоту отдельных случаев локального дефицита кислорода в воде на существующей сетке станций и т. д.

Различные авторы неоднократно оценивали связь концентрации кислорода и водородного показателя в водоемах как в относительных единицах насыщения воды O_2 [Цветкова, Неверова-Дзиопак, 2019], так и в абсолютных концентрациях O_2 [Comparison ... , 2011]. В большинстве описанных водоемов теснота связи между содержанием кислорода и водородным показателем достаточно высока – коэффициент корреляции от 0,7 (озёра Ярославской области) до 0,9 (Невская губа) [Цветкова, Неверова-Дзиопак, 2019].

Теснота связи O_2, % насыщения, и pH в данном случае хорошо отражает различие функциональной роли различных зон Ладожского озера в сезонном развитии экосистемных процессов. В период открытой воды для всех зон Ладожского озера в среднем коэффициент корреляции между этими параметрами является значимым. Максимальным коэффициент корреляции был отмечен весной в зоне 0–10 м (0,8 в ультрапрофундальной зоне и 0,6 в профундальной), в период максимального развития фитопланктона, когда увеличивается и относительное содержание кислорода, и водородный показатель за счет потребления CO_2 и соответствующего смещения карбонатного равновесия, а также осенью, в период преобладания деструкции, когда, напротив, снижается и pH, и содержание кислорода.

В летний период наблюдений по отдельным зонам почти не отмечается значимых корреляций между указанными показателями, так как процессы продукции и деструкции в летний период могут балансировать друг друга. Исключение – эвфотический слоя деклинальной зоны, где преобладают продукционные процессы, и придонный слой прибрежной зоны, где в то же время продолжают преобладать выраженные процессы минерализации органического вещества. Функциональное разделение зон становится более очевидным. В центральной части озера коэффициент корреляции не превышает 0. 4.

Отдельно был рассчитан коэффициент корреляции для литоральной зоны в летний период (данные экспедиции 20–30 июля 2014 г.), он составил 0,8. По микробиологическим показателям большая часть литоральной зоны Ладожского озера в 2014 г. характеризовалась как мезотрофная [Митрукова, Капустина, Курашов, 2020], водородный показатель также в отдельных областях, подверженных антропогенной нагрузке, достигал значения 9,0 и выше.

Таким образом, наиболее высокие коэффициенты корреляции ожидаемо отмечаются в зонах наиболее интенсивной продукции и деструкции органического вещества в соответствующие сезоны. Сами по себе значения водородного показателя и относительного содержания кислорода в низкопродуктивных водоемах не всегда информативны для оценки направленности и интенсивности продукционно-деструкционных процессов: более показательной является теснота связи этих показателей. Также важно учитывать, что морфология и гидрологические факторы в крупных озёрах могут быть причиной функционального разделения зон, как это происходит в Ладожском озере, где выражены как трофолитические, так и трофогенные зоны.

Список литературы

Митрукова Г. Г., Капустина Л. Л., Курашов Е. А. Экологическая оценка качества вод литоральной зоны Ладожского озера по результатам микробиологических исследований // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. № . 9. С. 88–100.

Цветкова Л. И., Неверова-Дзиопак Е. Как оценить опасный уровень антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6. С. 262–270.

Comparison of relationships between pH, dissolved oxygen and chlorophyll a for aquaculture and non-aquaculture waters / C. Zang [et al.] // Water, Air, & Soil Pollution. 2011. Vol. 219. P. 157–174.

Guseva M. A., Petrova T. N., Krylova V. Y. The current hydrochemical regime of Lake Ladoga as an indicator of changes of its ecosystem // Водные ресурсы. 2025. Т. 52, № 2. С. 84–99.

УДК 556.551

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ЦВЕТЕНИЯ ПОДМОСКОВНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Ю. С. Даценко*

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
(Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1)
**Автор для переписки: yuri0548@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрены особенности проявления абиотических факторов развития фитопланктона в Можайском, Рузском, Озернинском и Истринском водохранилищах, осуществляющих долгосрочное регулирование стока Москвы-реки и ее притоков. Из гидрологических факторов наибольшее внимание уделяется колебаниям уровня водохранилища и различиям в форме ложбин водохранилищ долинного типа. Отмечена гидроклиматическая особенность последних двадцати лет – повышенная водность притоков водохранилища обусловленная не весенним паводком, а летним половодьем. Характер формирования гидрологической структуры водных масс определяется межгодовой изменчивостью суммарной (внешней и внутренней) фосфорной нагрузки вблизи плотин и центральных участков простых водохранилищ.

Ключевые слова: фитопланктон, гидрологические факторы, водохранилище, колебания уровня, структура водных масс

Комплекс абиотических факторов эвтрофирования по характеру влияния и формам проявления в экосистеме водоема целесообразно разделить на гидрологические, гидрофизические и гидрохимические. В настоящей работе на примере подмосковных водохранилищ многолетнего регулирования – Можайское, Рузской, Озернинское и Истринское – рассматриваются особенности действия гидрологических факторов, к которым относятся в первую очередь форма ложа, колебания уровня и режим весеннего наполнения водохранилищ.

Колебания уровня воды в безледный, вегетационный период года ведут к изменению соотношения толщины и объема трофогенного (верхнего прогретого) и трофолитического (глубинного холодного) слоев экосистемы водохранилищ, что изменяет степень окисления образующегося при фотосинтезе фитопланктона органического вещества, скорость его осаждения на дно и возврата в трофогенный слой регенерируемых при этом биогенных веществ. Эти колебания также ведут к изменению размеров акватории водохранилищ и соотношения площадей и объемов трофогенной мелководной и трофолитической зон, что также влияет на интенсивность продукционных процессов в этих водоемах, на развитие сообществ фитопланктона, вызывающего цветение. Кроме того, чем больше колебания уровня воды в водохранилище, тем сильнее угнетается развитие высшей водной растительности.

Размах внутригодовых колебаний уровня в водохранилищах Москворецкой водной системы и соотношение мелководий и глубоких зон неодинаков не только из-за различий притока воды и ее сработки, но и вследствие морфологических особенностей ложа водоемов, различий их размеров, сильно изменяющихся при колебании уровня воды. Поэтому морфометрические параметры каждого из водохранилищ Москворецкой водной системы необходимо считать, как и их водный режим, – важным гидрологическим фактором процесса эвтрофировани [Гидроэкологический … , 2015].

Степень выраженности этих особенностей формы водоемов долинного класса различна при сравнении Можайского и Рузского водохранилищ (морфологически простых) с формой морфологически сложных – Озернинского и Истринского, отличающихся наличием более крупных заливов в приустьевых участках долин своих притоков. Эти различия разнотипных водохранилищ наиболее ярко отражают значения коэффициентов разветвленности и расчлененности акватории – в первых – площадь заливов 6–7 %, во вторых она достигает четверти акватории. Поэтому в Истринском и Озернинском водохранилищах больше пространственная неоднородность состава воды – речные водные массы, заполняющие заливы, медленнее выдвигаются в центральные районы, где при их смешении формируется

более однородная по физическим, химическими и биологическим характеристиками основная водная масса водохранилищ.

Средний за многолетний период размах колебаний уровня в течение водохозяйственного года в Истринском водохранилище равен 2,7 м, в Можайском он вдвое больше. В многоводную весну 1994 г. подъем уровня достигал первом 5,3 м, во втором превышал 7 м. В то же время бывали годы с намного меньшим подъемом уровня – всего 0,8 м (1979) в Истринском и 2,6 м (1981) в Можайском. Это свидетельствует о крайне нестабильном режиме уровня, что подтверждается и значениями его коэффициента вариации. Величины Cv рассматриваемой важнейшей для состояния экосистемы гидрологической характеристики превышают 20 %. В большем размахе колебаний уровня в Можайском водохранилище видится главная причина существенно меньшего распространения в нем зарослей макрофитов по сравнению с Истринским водохранилищем.

При сопоставлении хронограмм размаха уровня в Истринском и Можайском водохранилищах выделяются годы с асинхронным колебанием этого параметра уровенного режима. В этом может быть причина несовпадения лет интенсивного цветения воды в этих водохранилищах. Существенно различаются в обоих водохранилищах и типы внутригодового хода уровня, что служит дополнительной характеристикой большой нестабидьности и асинхронности уровенного режима Можайского и Истринского водохранилищ. Это приводит к различиям в интенсивности продукционно-деструкционных процессов в экосистемах даже расположенных в регионе с одинаковыми погодными условиями. Кроме того, как показал анализ водных балансов водохранилищ за многолетний период в многоводные годы и половина средневодных своей водностью обязаны не весеннему половодью, а паводкам. Поэтому и связь между значениями стока за половодье и за весь год невысока (r = 0,58).

Эта гидроклиматическая особенность последнего двадцатилетия, не отмечавшаяся ранее гидрологами в Подмосковье, по-видимому, и служит первопричиной увеличившейся нестабильности уровенного режима Можайского водохранилища.

Как показали результаты регулярного мониторинга химический состав и биогенная нагрузка весенней водной массы в водохранилищах может особенно сильно варьировать от года к году в зависимости от соотношения объемов образующих ее водных масс. Суммарный объем зимних вод определяется глубиной предвесенней сработки полезного объема водохранилища – чем она больше, тем этот объем меньше. А соотношение в нем объемов составляющих масс зависит от глубины слоя отбора и расхода воды при этой сработке. В периоды снижения расхода до величины санитарного попуска у плотины накапливаются воды зимней речной водной массы, поступающие. Объем речной весенней водной массы, определяется объемом половодья на притоках, существенно различающихся в рассматриваемых водохранилищах. Именно этим сочетанием гидрологических процессов и объясняется межгодовая изменчивость общей (внешней и внутренней) фосфорной нагрузки приплотинных и центральных районов водохранилищ в период весенней вспышки цветения преимущественно диатомовыми водорослями.

Список литературы

Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). М. : Перо, 2015. 286 с.

УДК 504.3.054

АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ОЗ. БАЙКАЛ В ПЕРИОД ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В СИБИРИ

А. Л. Дементьева[1,2]*, Г. С. Жамсуева[1], А. С. Заяханов[1], Т. В. Ходжер[2], В. В. Цыдыпов[1], Т. С. Бальжанов[1], А. В. Стариков[1]

[1]Институт физического материаловедения СО РАН (Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)
[2]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: ayunadem@gmail.com*

Аннотация. Представлены результаты комплексных исследований аэрозольного загрязнения атмосферы на юго-восточном побережье оз. Байкал (научный стационар «Боярский») в весенне-осенний период. Выявлено повышенное замутнение атмосферы на ст. «Боярский» в период длительного заноса дымового аэрозоля, аэрозольная оптическая толща (АОТ) увеличивается до 0,4–0,5 на длине волны 0,5 мкм. При этом отмечается рост массовой концентрации аэрозоля фракции $PM_{2,5}$, PM_{10} и счетной концентрации субмикронного аэрозоля (СМА). Проведен анализ космоснимков MODIS MAIAC, Blue Aerosol Type и результаты расчетов обратных траекторий путей переноса воздушных масс, которые позволили выявить источник и тип аэрозоля.

Ключевые слова: атмосфера, аэрозоль, лесные пожары, Байкал, MODIS

В последние годы дымовой аэрозоль от лесных пожаров оказывает большое влияние на атмосферу как на региональном, так и на глобаАльном уровне.

Проведены комплексные исследования аэрозольного загрязнения атмосферы на научном стационаре «Боярский» весной-осенью 2024 г. За весь период измерений средняя массовая концентрация $PM_{2,5}$ составила 9,3 мкг/м^3 и 23,1 мкг/м^3 для PM_{10}. В случаях заноса дымового аэрозоля отмечено увеличение АОТ до 0,4–0,5 на длине волны 0,5 мкм в июле – августе 2024 г. В результате чего отмечается рост массовой концентрации $PM_{2,5}$ с 15 мкг/м^3 до 35,5 мкг/м^3 и PM_{10} с 31 мкг/м^3 до 87,6 мкг/м^3. Максимальные концентрации аэрозолей $PM_{2,5}$ – 42 мкг/м^3, PM_{10} – 104,4 мкг/м^3 зафиксированы 31 июля по 1 августа, 16 и 20 августа 2024 г. Анализ космоснимков MODIS MAIAC, Blue Aerosol Type с целью выявления типа аэрозолей и результаты расчетов обратных траекторий переноса воздушных масс по траекторной модели HYSPLIT позволили выявить источники происхождения аэрозолей в атмосфере. Результаты анализа показали, что в июле на ст. «Боярский» из-за заноса дымовых аэрозолей из очагов лесных пожаров в Иркутской области, Республики Бурятия и Якутии, а также переноса дымов промышленных выбросов со стороны долины Ангары при прохождении атмосферных фронтов.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (средства бюджета ИФМ СО РАН в рамках Госзадания № 124041500027-2) в части научного оборудования и частично при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ) в рамках научного проекта № 19-77-20058-П в части анализа и обработки данных.

УДК 591.5

НЕРЕСТОВОЕ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ФОРМЫ ПОВЕДЕНИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ ДЛИННОКРЫЛОЙ ШИРОКОЛОБКИ *COTTOCOMEPHORUS INERMIS* (JAKOWLEW, 1890) (SCORPAENIFORMES, COTTOIDEI)

С. И. Дидоренко[1]*, А. А. Этингова[1], Н. С. Мюге[2], А. В. Барминцева[2], А. Б. Купчинский[1]

[1]Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл, пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
(Россия, 105187, Москва, Окружной просп.,19)
**Автор для переписки: didorenkos@mail.ru*

Аннотация. Описаны элементы нерестового и сопутствующих ему форм поведения байкальской длиннокрылой широколобки *Cottocomephorus inermis* (Jakowlew, 1890) (Pisces, Scorpaeniformes, Cottoidei).

Ключевые слова: Байкал, длиннокрылая широколобка, *Cottocomephorus inermis*, нерестовый и посленерестовый периоды, поведение, забота о потомстве

Введение. Длиннокрылая широколобка, или длиннокрылка (*Cottocomephorus inermis* (Jakowlew, 1890) – эндемичный байкальский представитель подотряда Cottoidei, распространённый по всей акватории озера [Талиев, 1955]. Бóльшую часть жизни рыбы этого вида проводят в толще воды на глубинах от 200 до 1000 м от поверхности летом и от 5 до 700 м зимой [Рыбы ... , 2007]. Основным кормом рыбам со 2-го года жизни служат планктонный бокоплав макрогектопус Браницкого (*Macrohectopus branickii* Dybowsky, 1874) и молодь байкальских коттоидей [Коряков, 1972; Зубин, 1992]. В преднерестовый период у крупных половозрелых самцов отмечались случаи каннибализма – поедание взрослых самок своего вида (Черняев, 2019).

Длиннокрылки, в свою очередь, являются объектом питания байкальской нерпы (*Phoca sibirica* Gmelin, 1788), а также байкальского омуля (*Coregonus migratorius* (Georgi, 1775), сига (*Coregonus lavaretus* (L, 1758) и других рыб [Талиев, 1955].

Нерест вида происходит с февраля по конец апреля, на глубинах >3–80 м [Атлас … , 2003; Черняев, 2019; Рыбы … , 2007]. В литературе представлены лишь предположения о пространственной локализации и других параметрах нерестилищ длиннокрылки. Единственным объективным свидетельством первого и однократного (2019 г.) группового нереста длиннокрылок в проливе Ольхонские Ворота на глубине ≈ 40 м являются подводные видеоролики ст. науч. сотр. ЛИН СО РАН И. В. Ханаева. Считается [Талиев, 1955; Черняев, 2019], что после нереста самки уходят на глубину, а кладку икры охраняет и защищает прекративший питание самец. Однако достоверных сведений о нерестовом и сопутствующих ему формах поведения вида до настоящего времени не существовало. Нашими наблюдениями этот пробел заполнен.

Материал и методика. Наблюдения проведены в марте – июне 2022 и 2024 гг. в аквариумах, в рамках Гос. программы НИР «121032900077-4. Экологическая диагностика изменений некоторых элементов биогеоценозов территории Восточной Сибири», на материальной базе ФГБНУ «Байкальский музей СО РАН».

Результаты наблюдений сформулированы в виде следующих тезисов.

Самцы длиннокрылок, ожидавшие нереста, временами пытались сменить первоначально выбранное жильё на другое. Если другое жильё было занято ожидавшим же самцом, то между ними происходили ожесточённые схватки, в которых «захватчик» старался выгнать хозяина из занятой им пещерки, а хозяин, в свою очередь, прогнать захватчика. Драка могла доходить до травмирования покровов головы рыб.

Самцы – как ожидавшие нереста, так и уже опекавшие кладки, – не проявляли физической агрессии к навещавшим их самкам, независимо от того, готовы ли те к нересту, уже отнерестились, или в данном сезоне стерильны.

Самки многократно участвовали в брачных играх с разными ожидавшими самцами, но нерестились только у одного из них – выбравшего и удерживавшего более просторное «жильё»: протяжённую по горизонтали пещерку, по сравнению с короткой.

В процессе нереста самка размещалась под самцом; её голова находилась между брюшными плавниками самца; обе рыбы располагались брюшками к субстрату; их клоаки были приближены к поверхности, куда позже прикреплялась икра. Самец удерживал пару в этом положении, упершись грудными плавниками в «стены» и «пол» жилища. Вышедший ком икры напоминал толстую короткую рыхлую колбаску.

Ком оплодотворённой икры самец сразу, на несколько минут, плотно притискивал боком и грудным плавником к субстрату, упёршись другим грудным плавником и хвостом в стенку аквариума (рис. 1). В результате притискивания самцом кладка приобретала форму округлой выпуклой лепёшки, прилипала к субстрату и затвердевала.

Один самец мог поочерёдно принять до 5 самок, оплодотворить их икру и опекать все кладки. Кладки могли располагаться рядом друг с другом, либо примыкать и даже налегать краями друг на друга (рис. 2).



Рис. 1. Притискивание к субстрату самцом длиннокрылой широколобки только что выметанной кладки (просвечивает через нижнюю часть левого грудного плавника)



Рис. 2. Опекание самцом длиннокрылой широколобки объединённой кладки из 5 индивидуальных кладок

После нереста самка покидала гнездо, а биологический отец оставался в нём, почти непрерывно «вентилируя» кладку движениями тела и плавников.

Самцы, опекавшие кладки, не покидали своего жилья и лишь изредка выдвигались из гнезда на несколько сантиметров для питания. При появлении самцов-«захватчиков» опекавшие самцы широко раскрывали рты, часто вздрагивали и быстро направлялись к захватчикам. При этом они не покидали гнёзд. Захватчики сразу уплывали, не проявляя агрессии к хозяевам, опекавшим кладки (в противоположность интенсивным конфликтам между ожидающими самцами).

Развитие икры длилось ≈ 2 мес. После начала выклева личинок самцы за несколько часов / дней разбирали кладку, выкусывая комки икры и тут же отпуская их, тем самым, очевидно, освобождая личинкам из более глубоких слоёв кладки выход наружу.

В глубине кладок, среди десятков повреждённых и опустошённых икринок, присутствовали активные нимфы прибрежных амфипод с длиной тела 4–6 мм.

Выклюнувшиеся личинки устремлялись в верхние слои воды.

После завершения заботы о потомстве самцы оставались в гнезде, покидая его лишь на короткое время для питания;

Ожидавшие нереста и опекавшие кладки самцы отказывались от хищничества и каннибализма, типичных для них в период преднерестового нагула.

Ожидавшие самцы в течение первых недель нахождения в занятых пещерках, а инкубирующие икру – в течение всего времени её инкубирования активно питались оказавшимися в доступности амфиподами с длиной тела 7–15 мм.

Все питающиеся рыбы предпочитали донно-обитающих амфипод, отказываясь от пелагобионтных макрогектопусов, которые являются одним из основных кормовых объектов длиннокрылок вне брачного периода.

Отнерестившиеся самки в наших случаях почти, либо совсем не питались, слабели и умирали в течение срока от нескольких суток до 2 мес., почти всегда заболев дерматомикозом.

«Отвергнутые» самками самцы, не покидая своего жилья, прекращали питаться и в течение 2–3 недель умирали, пройдя стадию дерматомикоза.

Взрослые обоих полов и крупные ювенильные длиннокрылки в репродуктивный период вида не употребляли в пищу икру своего вида, даже неоплодотворённую, а также выклюнувшихся личинок.

Список литературы

Атлас пресноводных рыб России. М. : Наука, 2003. Т. 2. 242 с.

Зубин А. А. Питание байкальских бентопелагических подкаменщиковых рыб (Scorpaeniformes, Cottoidei) // Вопросы ихтиологии. 1992. Т. 32, вып. 1. С. 147–151.

Коряков Е. А. Пелагические бычковые Байкала. М. : Наука, 1972. 156 с.

Рыбы озера Байкал и его бассейна / Н. М. Пронин, А. Н. Матвеев, В. П. Самусенок [и др.]. Улан-Удэ : Изд-во Бурят. науч. центра СО РАН, 2007. 284 с.

Талиев Д. Н. Бычки-подкаменщики Байкала (Cottoidei). М. : Изд-во АН СССР, 1955. 603 с.

Черняев Ж. А. Биология размножения и развития эндемичных коттоидных рыб озера Байкал. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2019. 235 с.

УДК 57.084.1

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОХРАНЕНИЯ ЖИВЫХ ЭКЗЕМПЛЯРОВ БАЙКАЛЬСКИХ ГЛУБОКОВОДНЫХ РЫБ ПОДОТРЯДА COTTOIDEI ПРИ ОТЛОВЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ

С. И. Дидоренко[1]*, А. А. Этингова[1], Н. С. Мюге[2], А. В. Барминцева[2], А. Б. Купчинский[1]

[1]Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл, пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
(Россия, 105187, Москва, Окружной просп.,19)
**Автор для переписки: didorenkos@mail.ru*

Аннотация. Представлен комплекс мер, позволяющих сохранять живьём до 100 % изначально неповреждённых особей байкальских глубоководных рыб подотряда Cottoidei в процессе их отлова и транспортировки, с возможностью последующей долговременной жизнедеятельности в стационарных аквариумах.

Ключевые слова: Байкал, глубоководные рыбы, Cottoidei, отлов и транспортировка, сохранение живых экземпляров

Введение. Байкальские Cottoidei представлены 33 видами, преимущественно эндемичными для Байкала [Талиев, 1955; Атлас … , 2003]. К настоящему времени они хорошо изучены морфологически и продолжают изучаться как с морфометрических [Sideleva, 2003], так и с молекулярно-генетических позиций [Teterina, Bogdanov, Kirilchik, 2022]. Однако детальное сравнительное изучение физиологии, биохимии и поведения этих рыб было, по нашему мнению, достаточно фрагментарным [Черняев, 2019; Смирнова, 1997]. Пролить свет на эти аспекты байкальской ихтиологии могли бы, в частности, наблюдения в аквариумных условиях. Однако до недавних пор [Разработка ... , 2020] сколь-нибудь длительное аквариумное содержание байкальских глубоководных рыб не представлялось возможным. Все пойманные экземпляры умирали в течение сроков от часов до нескольких недель.

Настоящее сообщение посвящено разрабатываемой методике, при применении которой выживаемость байкальских глубоководных рыб при их отлове и транспортировке приближалась к 100 %.

Материалы и методы. Методика разрабатывалась с 2018 по 2025 г., в рамках Гос. программы НИР «121032900077-4. Экологическая диагностика изменений некоторых элементов биогеоценозов территории Восточной Сибири», на материальной базе ФГБНУ «Байкальский музей СО РАН». Работы проводили в ходе экспедиций на научно-исследовательских судах.

Отлов материала производили:

1) бим-тралом с размером прямоугольного устья 100×50 см, с глубин от 250 до 750 м;

2) круглым в сечении конусовидным пелагическим тралом с диаметром устья 150 см, с глубин от 150 до 350 м;

3) гидробиологическим сачком с борта судна – сеголетков рыб, поднимавшихся ночью к поверхности над глубинами от 150 до 800 м и привлечённых светом прожекторов.

За время исследований отловлено более 800 экз. байкальских глубоководных рыб, относящихся к 16 видам.

Результаты. Суть представляемой методики кратко изложена в следующих тезисах:

1. **Скорость протяжки трала и длительность тралений.** Скорость протяжки пелагического и бим-тралов следует ограничивать 1–4 км/ч. Желательно делать оптимальные по времени периоды тралений. Например, для бим-трала 30–45 мин.

2. **Температура поверхностной воды при подъёме и промывке массива улова**. Отлов глубоководных рыб важно производить в периоды, когда поверхностные слои воды

имеют температуру от 3 до 12 °С. При наличии ила и глины в сборнике бим-трала предпочтительна его «пассивная» промывка на медленном ходу судна.

3. **Извлечение рыб из снасти**. Целесообразно быстрое, но бережное извлечение рыб из снасти, без соприкосновения их с руками и без сдавливания их тела, с помощью пластиковых «шумовко»-подобных и других, обрезиненных инструментов.

4. **Температура и солёность воды в принимающих ёмкостях**. 1-я рекомендация: незамедлительное кратковременное помещение рыб, извлечённых из снасти, в «сортировочный» контейнер с байкальской водой, охлаждённой до температуры, близкой к температуре принимающего транспортировочного контейнера. 2-я рекомендация: перемещение отобранных живых экземпляров в принимающие контейнеры с раствором NaCl 3 ‰ для *Cottocomephorus* и 5–7 ‰ для остальных рыб.

5. **Размеры и виды перевозимых рыб**. Глубоководных рыб, близких по размеру, целесообразно перевозить отдельно от рыб с другими размерами. Представителей родов *Comephorus*, *Cottocomephorus, Neocottus,* крупных *Limnocottus* и *Batrachocottus* предпочтительно перевозить отдельно от других рыб.

6. **Плотность посадки перевозимых рыб**. Рыб родов *Neocottus*, *Asprocottus*, *Abyssocottus*, *Cottinella*, *Limnocottus* и *Batrachocottus* в описываемых условиях допустимо перевозить при длине тела 6–10 см – до 20 экз. на 8–10 л в течение до 2 недель; представителей рода *Cottocomephorus*: при длине тела 8–12 см – до 10 экз., при длине тела 12–18 см – до 5 экз., однако сеголетков *Cottocomephorus* длиной 4–5 см – до 50 экз. – в 8–10 л ёмкости, в течение ≤ 2 сут. Даже одноразмерных взрослых *Comephorus baicalensis* – не больше 3 экз.; взрослых *Comephorus dybowskii* – не больше 5 экз. в 8–10 л ёмкости в течение нескольких часов.

7. **Ёмкости и субстраты**. Перевозку рыб целесообразно осуществлять в пластиковых бесцветных прозрачных/полупрозрачных контейнерах с гладкими стенками и достаточно большой площадью дна. Для рассредоточения перевозимых рыб можно помещать в ёмкости небольшие фрагменты затонувшей древесины и древесной коры.

8. **Температура транспортировки и аэрации; свет**. Важно транспортировать живой материал в аэрируемых ёмкостях с заданной концентрацией NaCl, при температурах 1,5–7,5 °С, без доступа прямого солнечного света. Воздушные компрессоры следует располагать в том же холодильнике, что и ёмкости с рыбами.

9. **Кормление перевозимых рыб**. В течение 1-й недели транспортировки рыб предпочтительно не кормить. Однако экземпляры, которые проявляют агрессию к соседним особям, желательно отсаживать в отдельную ёмкость и предлагать им живых бокоплавов подходящего размера с гладкими покровами. По истечении 1-й недели перевозки мелким рыбам можно предлагать живых мелких гладких бокоплавов. Крупных рыб лучше не кормить всё время транспортировки.

10. **Подмены воды, инспектирование контейнеров, уход за рыбами.** Подмены воды в контейнерах следует производить на ≈ 70 % от объёма: в 1-е сут 2 раза, позже – 1 раз в день. Важно следить, чтобы температура новой воды не отличалась от температуры сменяемой воды больше, чем на 0,3 °С как в сторону повышения, так и – понижения. Для инспектирования контейнеров можно применять сачки, пинцеты с обрезиненными концами, пластиковые манипуляторы с прямыми и отогнутыми концами. Умершие экземпляры следует извлекать из контейнеров сразу после обнаружения. После изъятия умерших *Cottocomephorus, Neocottus* и *Limnocottus* важно внепланово подменить воду или, как минимум, извлечь из старой воды слизистые сгустки, которые обильно выделяют стрессированные и умирающие рыбы перечисленных родов.

Заключение. В результате применения описанных мер удавалось сохранить живыми от 80 до 100 % отловленных глубоководных рыб, не имевших видимых повреждений, либо нарушений поведения. Методика была полностью успешной для видов родов *Asprocottus*, *Abyssocottus*, *Cottinella*, *Neocottus*, *Batrachocottus*.

Методика была частично успешной для видов рода *Cottocomephorus*: молодь длиннокрылки и желтокрылки 4–5-месячного возраста с длиной тела 3,5–5,5 см удовлетворительно переносила транспортировку и длительную последующую жизнь в стационарных аквариумах. Длиннокрылки 2–3-летнего возраста с длиной тела 8–15 см удовлетворительно переносили транспортировку, но в стационарных аквариумах объёмом ≈ 60 л выживали в количествах ≤ 10 %. Однако выжившие рыбы в дальнейшем поддерживали нормальную жизнедеятельность вплоть до полового созревания. Половозрелые *Cottocomephorus* удовлетворительно переносили < 1-суточную транспортировку, и при последующем содержании в стационарных аквариумах могли прожить от 2 мес. до > 2,5 лет.

Методика значительно продлевала жизнь, но не обеспечивала последующей длительной жизнедеятельности в аквариумах рыб родов *Comephorus* и *Limnocottus*. Эти рыбы неудовлетворительно переносили транспортировку длительностью > 1 сут, а выжившие, при последующем размещении в стационарных аквариумах, могли прожить от нескольких дней до ≤ 4 мес.

Варианты описанного метода могут быть использованы для: экспериментальной работы ихтиологов на Байкале; учебно-полевых практик на Байкале студентов биологических специальностей ВУЗов; сохранения глубоководных рыб из других снастей.

Благодарности. Авторы выражают благодарность капитанам научно-исследовательских судов СО РАН: В. И. Реброву, А. В. Натяганову, А. М. Шипицыну и членам их команд.

Список литературы

Атлас пресноводных рыб России. М. : Наука, 2003. Т. 2. 242 с.

Разработка метода поддержания жизнедеятельности глубоководных рыб – байкальских голомянок (*Comephorus baikalensis* (Pal.), *C. dybowskii* Korotn.) – при нормальном атмосферном давлении / С. И. Дидоренко, А. А. Этингова, В. А. Фиалков, А. Б. Купчинский, Н. С. Мюге // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. 2020. Вып. 3. С. 157–162.

Смирнова О. Г. Строение органов зрения байкальских подкаменщиковых рыб (Cottoidei) в связи с особенностями их экологии : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иркутск, 1997. 19 с.

Талиев Д. Н. Бычки-подкаменщики Байкала (Cottoidei). М. ; Л. : Изд-во Акад. наук СССР, 1955. 604 с.

Черняев Ж. А. Биология размножения и развития эндемичных коттоидных рыб озера Байкал. М., 2019. 235 с.

Teterina V., Bogdanov B., Kirilchik S. Complete mitochondrial genomes and phylogenetic analysis of four Baikal endemic *Batrachocottus* species (Scorpaeniformes: Cottoidei) // Mitochondrial DNA. Part B. 2022. Vol. 7, N 1. P. 123–124. DOI: 10.1080/23802359.2021.2013741

Sideleva V. G. The endemic fishes of lake Baikal. Leiden, Backhuys publishers, 2003. 270 p.

УДК 574.583

СЕЗОННАЯ И ВЕРТИКАЛЬНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ В РАЙОНЕ КАРБОНОВОГО ПОЛИГОНА В 2021–2022 ГГ.

О. А. Дмитриева[1,2,4]*, А. С. Семенова[1,3,4]

[1]Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 236022, Калининград, ул. Дм. Донского, 5)
[2]Институт Океанологии им. П. П. Ширшова РАН (Россия, 117997, Москва, Нахимовский просп., 36)
[3]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский район, пос. Борок)
[4]Балтийский федеральный университет им. И. Канта (Россия, 236041, Россия, Калининград, ул. А. Невского, 14)
**Автор для переписки: phytob@yandex.ru*

Аннотация. Исследования сезонной динамики вертикальной структуры, вертикальных миграций и количественного развития планктонных сообществ Балтийского моря в районе морской площадки Калининградского карбонового полигона в марте–декабре 2021–2022 гг. показали различия их распределения в зависимости от температурных условий рассматриваемых лет. В 2021 г. отмечалось интенсивное «цветение» динофитовых водорослей весной и диатомей осенью. В результате в среднем за сезон биомасса фитопланктона была выше в более теплом 2021 г. в 9 раз по сравнению с 2022 г. Сезонная динамика зоопланктона характеризовалась весенне-летним максимумом развития. Биомасса зоопланктона не имела ярко выраженной межгодовой динамики. Ее значения в 2021 г. были выше по сравнению с 2022 г. только в 1,8 раза.

Ключевые слова: Балтийское море, фитопланктон, зоопланктон, вертикальная структура, суточные миграции

Введение. Из-за повышения температуры и эвтрофирования Балтийского моря в течение последних десятилетий отмечается рост биомассы фитопланктона, удлинение периода его вегетации в различных районах моря, перестройка сообществ зоопланктона. Цель работы – исследование особенностей сезонной динамики вертикальной структуры и количественного развития планктонных сообществ как элементов биологического насоса в юго-восточной части Балтийского моря.

Материалы и методы. Исследования планктонных сообществ выполняли стандартными методами с марта по декабрь 2021–2022 гг. [Методы … , 2024]. Пробы фито- и зоопланктона отбирали батометром на 8 горизонтах фотического слоя (0–25 м), также дополнительно были отобраны пробы над термоклином и галоклином, на 4 м выше дна (дно+4 м) и у дна. Для установления характера вертикальных миграций массовых и доминирующих видов зоопланктона в августе 2022 г. были выполнены дополнительные исследования в дневное и вечернее время суток (полусуточная станция).

Результаты. Фитопланктон на исследуемой станции был представлен в 2021 г. 105, а в 2022 г. – 148 таксонами из 8 систематических отделов и группы Cercozoa. Наибольшее видовое разнообразие имели отделы диатомовых, динофитовых, синезеленых и зеленых водорослей, представители этих отделов доминировали также по численности и биомассе. В целом на исследуемой станции численность водорослей в 2021 г. была в более чем в 7 раз, а биомасса в 9 раз выше, чем в 2022 г. Исследование вертикального распределения фитопланктона в разное время суток показало, что в среднем для слоя 0–25 м максимальные значения численности были зарегистрированы в 13 ч 15 мин 2145,1±526,0 мг/м^3. К 17 ч 30 мин численность снижалась до 839,5±195,0 млн орг./м^3 и оставалась на том же уровне в 20 ч 50 мин – 747,9±154,0 тыс. экз./м^3. В течение исследованных периодов численность формировалась в основном за счет мелкоклеточных криптофитовых, зеленых и динофитовых водорослей. Биомасса фитопланктона в среднем для слоя 0–25 м была близка в 13 ч 15 мин – 0,43±0,01 г/м^3 и в 17 ч 30 мин – 0,42±0,01 г/м^3 и снижалась к 20 ч 50 мин –

0,21±0,04 г/м^3. В слое 0–5 м в 13 ч 15 мин и 17 ч 30 мин доминировали динофитовые водоросли, главным образом, *Heterocapsa rotundata*, в слое 7,5–25 м диатомовые *Actinocyclus normanii, Coscinodiscus granii*, их максимум на горизонте 25м отмечался в 13 ч 15 мин и 17 ч 30 мин. В 20 ч 50 мин в слое 0–5 м регистрировалась максимальная доля цианобактерий, диатомеи, как и в предыдущие часы, регистрировались в слое 20–25 м, но не формировали максимумов.

В 2021 г. зоопланктон в районе исследований был представлен 29, в 2022 г. – 32 видами и таксонами более высокого ранга. Наиболее массовыми видами во все сезоны были веслоногие ракообразные *Acartia* spp. (в основном *A. longiremis*), *Temora longicornis*, *Centropages hamatus*, *Pseudocalanus elongatus* и их науплии, локальные вспышки развития весной и осенью давали *Synchaeta baltica*, *Evadne nordmanni*, *Fritillaria borealis*, летом – *Keratella quadrata* и *Bosmina (Eubosmina) coregoni*. В 2021 г. максимальные значения численности и биомассы были отмечены в апреле, затем численность резко снижалась к концу июня, а биомасса оставалась примерно на том же уровне вплоть до августа, когда она также снижалась, минимальные значения численности и биомассы были отмечены в конце ноября. В 2022 г. численность и биомасса зоопланктона возрастали от марта к началу июня, когда были отмечены их максимальные за сезон значения, а затем снижались вплоть до декабря. Численность зоопланктона в 2021 г. была в 3,5 раз, а биомасса в 1,8 выше, чем в 2022 г. В связи с активными миграциями ряда видов была отмечена большая разница в вертикальном распределении зоопланктона в разное время суток в августе, при том что средние для слоя 0–25 м значения численности и биомассы были близки в 13 ч 15 мин – 6,9±1,4 тыс. экз./м^3 и 357±190 мг/м^3, в 17 ч 30 мин – 6,3±1,8 тыс. экз./м^3 и 203±72 мг/м^3, в 20 ч 50 мин – 11,4±3,5 тыс. экз./м^3 и 370±131 мг/м^3. В 13 ч 15 мин численность зоопланктона была довольно равномерно распределена в слое 0–10 м, а в слое 15–20 м снижалась, высокие значения численности были отмечены над термо-и галоклином, тогда как биомасса в это время была распределена очень неравномерно – минимальные ее значения были в поверхностном горизонте 0 м, затем с глубиной она возрастала, пик на 15 м был связан с присутствием единичных крупноразмерных особей *Cercopagis pergoi.* В 17 ч 30 мин ярко выраженный пик численности и биомассы был отмечен в поверхностном горизонте 0 м, куда из нижележащего слоя совершали миграцию *Keratella quadrata, Bosmina (Eubosmina) coregoni* и *Podon intermedius,* с глубиной численность и биомасса снижались, вновь возрастая над термо-и галоклином и у дна. В 20 ч 50 мин пик численности был отмечен на глубине 2,5 м за счет миграции на этот горизонт *Keratella quadrata* и *Bosmina (Eubosmina) coregoni,* пик биомассы – на глубине 25 м за счет миграции на этот горизонт *Podon intermedius* и *Evadne nordmanni.*

Выводы. Структура и количественное развитее планктонных сообществ были связаны с климатическими условиями исследуемых лет. Характер суточных миграций зоопланктона был обусловлен развитием в составе сообществ слабо или активно мигрирующих для активного поиска пищи видов.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках программы консорциума «ОКЕАН МОНИТОРИНГ И АДАПТАЦИЯ".

Список литературы

Методы гидробиологических исследований внутренних вод / под ред. А. В. Крылова ; ИБВВ РАН. Ярославль : Филигрань, 2024. 592 с.

УДК 574.583

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ВИСЛИНСКОГО ЗАЛИВА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

О. А. Дмитриева[1,3,4]*, А. С. Семенова[1,2,4]

[1]Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 236022, Калининград, ул. Дм. Донского, 5)
[2] Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский район, пос. Борок)
[3]Институт Океанологии им П. П. Ширшова РАН (Россия, 117997, Москва, Нахимовский просп., 36)
[4]Балтийский федеральный университет им. И. Канта (Россия, 236041, Россия, Калининград, ул. А. Невского, 14)
**Автор для переписки:phytob@yandex.ru*

Аннотация. Многолетние мониторинговые исследования 2002–2024 гг. планктонных сообществ Вислинского залива показали значительную сезонную и межгодовую вариабельность их структуры и уровня количественного развития. Водоем характеризуется как эвтрофный с летними цианобактериальными «цветениями» воды. На фоне вселения и натурализации моллюска *Rangia cuneata* (с 2011 г.) в бентосные сообщества залива, отмечалось снижение количественных показателей развития планктонных сообществ, а также интенсивности и продолжительности цианобактериальных «цветений» воды. В 2021 г. на фоне понижения показателей развития моллюска-вселенца, цианобактериальные «цветения» возобновились.

Ключевые слова: Вислинский залив, фитопланктон, зоопланктон, цианобактериальные «цветения» воды

Введение. Вислинский залив – мелководная лагуна, расположенная в юго-восточной части Балтийского моря. На основании многолетних мониторинговых наблюдений установлено, что первичная продукция водоема и биомасса фитопланктона, при достаточной обеспеченности минеральным питанием, не достигает максимально возможного уровня. Вероятно, фактором, регулирующим уровень как продукции, так и биомассы фитопланктона служит высокая степень его утилизации зоопланктоном. Вселение моллюска-фильтратора *Rangia cuneate* в бентосные сообщества Вислинского залива вызвало снижение содержания хлорофилла «а» в фитопланктоне [Александров, 2024]. Цель работы – выявить особенности изменения структуры и уровня количественного развития планктонных сообществ, возникающих на фоне загрязнения и эвтрофирования акватории залива, вселения чужеродных видов за многолетний период.

Материал и методы. Изучение фито- и зоопланктона выполняли в 2002–2024 гг. ежемесячно с марта по ноябрь на 6 пелагических станциях Российской части Вислинского залива. Количественную обработку осадочных 0,5 литровых интегральных проб фитопланктона проводили по общепринятой методике. К доминирующим были отнесены виды, биомасса которых превышала 10 % суммарной биомассы фитопланктона. Зоопланктон отбирали и обрабатывали стандартными методами [Методы … , 2024].

Результаты. В целом за исследуемый период средняя за вегетационный сезон биомасса фитопланктона варьировала от 3,75 до 16,23 г/м^3. Было отмечено два сезонных максимума биомассы – весенний, когда в марте–мае биомасса варьировала от 0,36 до 38,47 г/м^3 и составляла в среднем 8,83 г/м^3; и летний, когда биомасса в июне-августе варьировала от 0,58 до 42,8 г/м^3 и в среднем составляла 9,29 г/м^3. Осенью в сентябре-ноябре биомасса изменялась от 0,81 до 14,11 г/м^3 и составляла в среднем 4,75 г/м^3. Доминирующий комплекс видов во все года составляли в основном динофитовые, диатомовые, зеленые водоросли и цианобактерии. Стоит отметить, что в 2010 и 2021 гг. показатели биомассы фитопланктона были самыми высокими за период наблюдения, начиная с 2002 г. и в среднем за сезон составили 16 и 20 г/м^3. Летом отмечался ярко выраженный пик биомассы фитопланктона, обусловленный массовым развитием цианобактерий.

Средние за сезон численность и биомасса зоопланктона в исследуемый период варьировали в широких пределах от 71,3 до 326,9 тыс. экз./м^3 и от 0,72 до 2,92 г/м^3. Для зоопланктона также, как и для фитопланктона были отмечены два пика развития – весенний в апреле-мае и летний – в августе, при этом количественное развитие зоопланктона во время весеннего пика (до 724 тыс. экз./м^3 и 7,51 г/м^3), как правило, превышало его показатели во время летнего пика (до 530 тыс. экз./м^3 и 6,13 г/м^3). К осени количественные показатели зоопланктона снижались. В течение всего вегетационного периода основным доминирующим видом зоопланктона Вислинского залива была *Eurytemora affinis*, в весенний и летний период также значительно возрастала роль коловраток особенно *Keratella quadrata*, pp. *Synchaeta* и *Brachionus*, в летний период ветвистоусых ракообразных в особенности p. *Diaphanosoma* и видов-вселенцев *Cercopagis pengoi* и *Moina micrura*. Необходимо отметить, что по сравнению с семидесятыми-восьмидесятыми годами в период с 2002 по 2010 гг. в заливе отмечался рост биомассы фитопланктона, а с 2011 по 2018 г., в период вселения и натурализации моллюска *Rangia cuneata* биомасса фитопланктона снижалась. Количественное развитие зоопланктона в целом оставалось на среднемноголетнем уровне, но происходило снижение количественного развития зоопланктона в летний период и возрастание величины весенних пиков. В 2008–2009 гг. в среднем за вегетационный период зоопланктоном Вислинского залива могла потребляться значительная часть биомассы фитопланктона (до 49 % в среднем за сезон). Исключением был 2010 г., в котором из-за низкой биомассы зоопланктона процент потребления биомассы фитопланктона был очень низким 4 %. В 2011–2018 гг. процент потребления варьировал в широких пределах от 14 до 78 %, в отдельные года (2014, 2017, 2018 гг.) в мае потребление превышало 100 %, что свидетельствовало о напряженных трофических взаимоотношениях в планктонном сообществе. Отношение B_Z/B_{Ph} в Вислинском заливе в современный период варьировало от 0,05:1 до 0,37:1, что в среднем составляло 0,23:1 и было в 2 раза ниже аналогичного показателя, полученного в 1974–1984 гг.

Выводы. Таким образом, интенсивность летних цианобактериальных «цветений» воды была высокой до вселения моллюска *Rangia cuneata* (2002–2010 гг.), после вселения (2011–2020 гг.) она значительно снизилась. Самое интенсивное «цветение» воды отмечалось в 2021 г., в период снижения количественных показателей развития моллюска. В период вселения и натурализации *R. cuneata* передача большей части энергии происходила по пастбищной пищевой цепи, что способствовало снижению биомассы и интенсивности цианобактериальных «цветений» воды в Вислинском заливе.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках программы консорциума «ОКЕАН МОНИТОРИНГ И АДАПТАЦИЯ».

Список литературы

Александров С. В. Многолетние изменения первичной продукции в лагунной экосистеме Вислинского залива Балтийского моря // Биология внутренних вод. 2024. Т. 17, № 1. С. 43–54.

Методы гидробиологических исследований внутренних вод / под ред. А. В. Крылова ; ИБВВ РАН. Ярославль : Филигрань, 2024. 592 с.

УДК 556.5

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СВЕЧЕНИЯ АНГАРСКОЙ ВОДЫ

В. И. Добрынин*

Иркутский национальный исследовательский технический университет
(Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83)
**Автор для переписки: dvi12345@yandex.ru*

Аннотация. Проведены измерения температурной зависимости свечения проб воды р. Ангара. Температурный ход интенсивности свечения сопоставлен со скоростью роста ряда планктонных водорослей. Подобие кривых и проведенные ранее эксперименты дают основание предполагать, что фотосинтезирующие микроорганизмы являются наиболее вероятными источниками свечения байкальской и ангарской воды.

Ключевые слова: Ангара, Байкал, счетчик фотонов, свечение, температура, фотосинтез, микроводоросли

С момента обнаружения явления свечения байкальской воды [О свечении … , 1984] вопрос о природе источников свечения является приоритетным в исследованиях, проводимых автором [Добрынин, 1991, 2011, 2012а, 2012б, 2013; Добрынин, Краснояров, Ченский, 2010].

Для проведения исследований был разработан лабораторный фотометр [Добрынин, Краснояров, Ченский, 2010]. С его помощью установлена связь интенсивности свечения проб байкальской воды с концентрацией хлорофилла [Добрынин, 2011], обнаружено действие внешнего освещения на собственное свечение ангарской и байкальской воды [Добрынин, 2012а], проведены наблюдения за изменениями интенсивности свечения ангарской воды в течение ряда лет.

Наблюдения за действием температуры на интенсивность свечения байкальской воды носили разовый характер [Добрынин, 1991, 2012б]. Для восполнения пробела в подобных исследованиях за период с 13.07.2021 по 19.01.2024 нами проведено более 50 циклов нагрев – охлаждение на 30 пробах ангарской воды, отобранных в разные сезоны года. Река Ангара является доступным и удобным объектом исследований, поскольку ее гидрохимические и гидробиологические показатели близки к таковым для вод оз. Байкал.

Результаты типичных экспериментов с пробами ангарской воды показаны на рисунке. Значения $Ip(T)$ нормированы на максимальное значение интенсивности свечения пробы при первом нагреве Ip_1^{max}. В ходе эксперимента, выполненного 23.07.2021 (рис., *а*), проведен трехкратный нагрев пробы (красные линии *1, 3, 5*) с последующим ее охлаждением (синие линии *2, 4, 6*).

Зависимость $Ip(T)$ в интервале 2–3 ºС от начала нагрева и охлаждения имеет немонотонный характер, что мы интерпретируем как влияние теплового стресса на живые микроорганизмы. В первом цикле $Ip_{1,2}(T)$ в интервале 7–17 ºС изменяется в 2,5 и 3,9 раза при нагреве и охлаждении соответственно, что согласуется с правилом Вант-Гоффа (зависимости скорости ферментативной реакции от температуры). Наличие максимумов $Ip(T)$ мы связываем с ингибированием ферментов микроорганизмов после достижения оптимума вблизи $T_{опт} = 20$ °С. Возможно, что превышение значений Ip^{max} для кривых *2, 4* над *1, 3* и их смещение в область более низких температур T обусловлено разными скоростями нагрева и охлаждения.

Результаты эксперимента с пробой ангарской воды от 13.07.2021 показаны на рис., *б*. Здесь к нашим измерениям добавлены нормированные на единицу данные работы [Акимов, Соломонова, 2019] по скорости роста ряда планктонных водорослей *Skeletonema costatum, Ditilum brightwelli, Thalassiosira parva, Hetecapsa triquetra* (*5–8*, зеленые штриховые линии). $T_{max} = 22–23$ °С – максимальная температура для роста водорослей, выше которой происходит их постепенная деградация. Как видно из рисунка после нагрева до 25,3 °С (кривая *3*) в

процессе дальнейшего охлаждения (кривая *4*) максимум ***Ip(T)*** не проявляется, а интенсивность свечения пробы убывает до нуля. Это мы интерпретируем это как результат тепловой денатурации ферментов водных микроорганизмов. Аналогичные результаты получены нами в ряде экспериментов с нагревом проб до температур выше 25 °С, в том числе ранее с байкальской водой [Добрынин, 1991, 2012б].

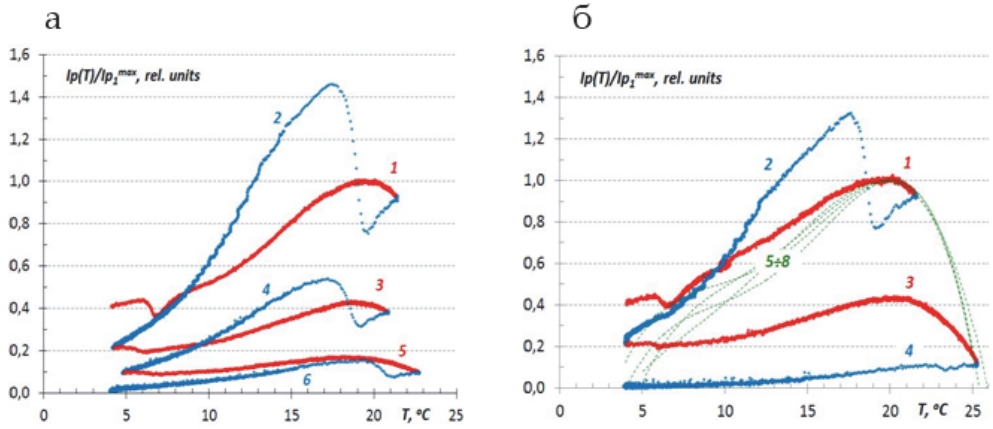


Рис. Зависимость интенсивности свечения воды р. Ангары от температуры.
а) 23.07.2021; *1, 3, 5* – нагрев; 2, 4, *6* – охлаждение; Ip_1^{max} = 2000 cps (cps – counts per second); б) 13.07.2021; *1, 3* – нагрев; *2, 4* – охлаждение; Ip_1^{max} = 980 cps; *5–8* – скорость роста планктонных водорослей (8)

Подобие форм кривых (*1, 3* и *5–8*); близкие значения $T_{опт}$ и T_{max} в наших измерениях и данных работы [Акимов, Соломонова, 2019], указывают на то, что наиболее вероятными природными источниками свечения ангарской и байкальской воды могут быть фотосинтезирующие микроорганизмы. Дополнительными аргументами в пользу этой гипотезы являются результаты работ [Добрынин, 2011, 2012а, 2013].

Список литературы

Акимов А. И., Соломонова Е. С. Характеристики роста и флуоресценции некоторых видов водорослей при акклиматизации к различным температурам в условиях культур // Океанология. 2019. Т. 59, № 3. С. 347–359.

Добрынин В. Загадка свечения Байкальских вод // Наука в России. 2013. № 2 (194). С. 11–16.

Добрынин В. И. Действие синего света на спонтанную люминесценцию природных вод // Оптика атмосферы и океана // Физика атмосферы : сб. докл. XVIII Междунар. симп. Томск : Изд-во ИОА СО РАН, 2012а. С. 234–239.

Добрынин В. И. К вопросу о типе кинетики спонтанной люминесценции воды озера Байкал // Международная молодежная конференция по люминесценции и лазерной физике : тез. лекций и докл. (т/б «Песчанка», Иркутская область, 16–22 июля 2012 г. Иркутск, 2012б. С. 61–62.

Добрынин В. И. О корреляции свечения байкальской воды с флуоресценцией хлорофилла // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24, № 5. С. 366–370.

Добрынин В. И. Свечение водной среды озера Байкал и экологический мониторинг // Мониторинг и оценка состояния Байкала и Прибайкалья. Л. : Гидрометеоиздатб 1991. С. 79–85.

Добрынин В. И., Краснояров А. Е., Ченский А. Г. Лабораторный фотометр для исследования слабого свечения водных сред // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 5 (45). С. 341–345.

О свечении глубинных вод оз. Байкал / Л. Б. Безруков, Н. М. Буднев, В. И. Добрынин [и др.] // Доклады АН СССР. 1984. Т. 277, № 5. С. 1240–1244.

УДК 556:504.455

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ

В. М. Домышева*, М. В. Сакирко

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: hydrochem@lin.irk.ru*

Аннотация. Анализируется межгодовая динамика содержания биогенных элементов в воде литоральной зоны Южного Байкала за период с 2005 по 2024 г. Установлено, что в концентрации кремния наблюдается устойчивый тренд к снижению, в то время как содержание фосфатов и нитратов, несмотря на выраженные сезонные колебания, остается относительно стабильным на протяжении всего исследуемого периода.

Ключевые слова: нитраты, фосфаты, кремний, Байкал, литораль

Литораль Байкала представляет собой уникальную зону с богатым биологическим разнообразием. Она занимает важнейшее место в экосистеме озера и отличается особой чувствительностью к изменениям природного и антропогенного характера.

В последние десятилетия наблюдались значительные изменения гидрологического режима Байкала, в том числе экстремальное снижение уровня воды, сокращение периода ледового покрова и т. д. [Уровенный ... , 2017; Heat ... , 2018]. Параллельно усиливалось антропогенное воздействие, связанное с развитием туристической инфраструктуры и поступлением в озеро недостаточно очищенных сточных вод. Эти факторы привели к трансформации видового состава планктонных и бентосных сообществ в прибрежной зоне озера [Groundwater ... , 2018; Структурные ... , 2023]. В работе представлены результаты анализа межгодовой динамики концентрации биогенных элементов на фоне современных климатических изменений и биологических преобразований в экосистеме Байкала.

В разные сезоны 2005–2024 гг. было выполнено 68 циклов измерений в литорали Южного Байкала у пос. Большие Коты (стационар ЛИН СО РАН). Пробы воды отбирали с глубины 50 см на расстоянии 30 м от берега. В каждом цикле в течение 5–20 дней отбор проб осуществлялся 6–8 раз в сутки.

Определение концентрации фосфатов, нитратов и кремния проведено общепринятыми гидрохимическими методами. Оценка временной динамики биогенных элементов выполнена на основе анализа средних значений их концентраций в каждом цикле.

Показано, что суточный ход биогенных элементов прослеживается во все сезоны и характеризуется высоким их содержанием в утренние часы и низкой концентрацией в послеполуденное время. В сезонных изменениях содержания минерального азота и фосфора выявлено два максимума и два минимума – глубокие минимумы в августе-сентябре и максимумы в декабре-феврале и менее выраженные минимумы в марте-апреле и максимумы в июне-июле [Carbon … , 2020].

Для корректной оценки многолетней тенденции биогенных элементов необходим учет сезонных факторов. Чтобы снизить влияние межгодовой сезонной изменчивости при анализе рассмотрены данные, полученные в периоды минимальных и максимальных концентраций: 2 или 4 значения в течение одного года, например, концентрация в декабре или феврале и в августе или сентябре, в марте или апреле и в июне или июле (рис.).

Выяснено, что концентрации фосфатов и нитратов за 20 лет исследования оставались примерно на том же уровне. В то же время содержание кремния в воде значительно уменьшилось. Вероятно, основной причиной снижения концентрации кремния стало сокращение стока р. Селенги в период с 2001 по 2017 г., что привело к уменьшению поступления этого элемента в озеро [Low ... , 2019]. Кроме того, всплеск развития диатомовой водоросли

Synedra acus subsp. radians (Kützing) Skabitchevsky во всех котловинах Байкала в 2014 г. также мог способствовать снижению содержания кремния в воде [Long-term ... , 2023].

В результате многолетнего мониторинга биогенных элементов в литоральной зоне оз. Байкал установлено, что климатические изменения и биологические преобразования привели к значительному снижению концентрации кремния. В то же время, несмотря на выраженные сезонные колебания, в содержании фосфатов и нитратов устойчивых однонаправленных трендов не наблюдается.

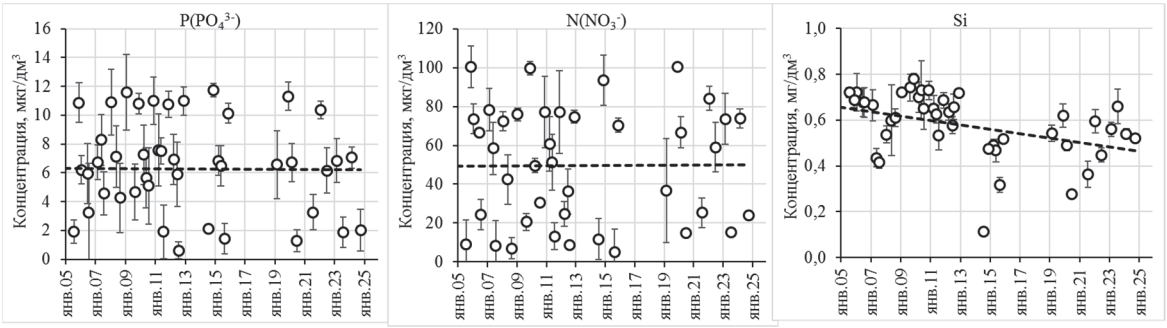


Рис. Многолетняя динамика концентрации минерального фосфора, азота и кремния в воде литорали оз. Байкал (СКО для каждого цикла измерений)

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственных заданий ЛИН СО РАН, тема № 0279-2021-0014 (121032300199-9).

Список литературы

Структурные перестройки фито- и зоопланктона под воздействием климатических изменений и антропогенной нагрузки (оз. Байкал, Россия) / Н. А. Бондаренко, И. В. Томберг, О. Г. Пенькова, Н. Г. Шевелева // Биология внутренних вод. 2023. № 6. С. 727–739. DOI: 10.31857/S0320965223060050

Уровенный режим озера Байкал: ретроспектива и современное состояние / Е. Ж. Гармаев, Б. З. Цыдыпов, Д. Б. Дабаева [и др.] // Водное хозяйство России. 2017. № 2. С. 4–18.

Carbon dioxide in the atmosphere-water system and biogenic elements in the littoral zone of Lake Baikal during period 2004–2018 / M. V. Panchenko, V. M. Domysheva, D. A. Pestunov [et al.] // Journal of Great Lakes Research. 2020. Vol. 46, N 1. P. 85–94. DOI: 10.1016/j.jglr.2019.10.016

Groundwater contamination by sewage causes benthic algal outbreaks in the littoral zone of Lake Baikal (East Siberia) / O. A. Timoshkin, M. V. Moore, N. N. Kulikova [et al.] // Journal of Great Lakes Research. 2018. Vol. 44, N 2. P. 230–244. DOI: 10.1016/j.jglr.2018.01.008

Heat balance of Lake Baikal and the relationship of its ice-thermal and water regime with global atmospheric circulation in the Northern Hemisphere during the modern period / M. N. Shimaraev, V. N. Sinyukovich, L. N. Sizova, E. S. Troitskaya // Limnology and Freshwater Biology. 2018. N 1. P. 10–14. DOI: 10.31951/2658-3518-2018-A-1-10

Long-term dynamics of dominant diatom species abundance of spring phytoplankton in three basins of the pelagic zone of Lake Baikal in 1964–1984 and 2007–2016 / M. V. Usoltseva, L. A. Titova, A. D. Firsova, Yu. R. Zakharova // Limnology and Freshwater Biology. 2023. N 2. P. 55–62. DOI: 10.31951/2658-3518-2023-A-2-55

Low water level in the Selenga River and reduction of silica input to Lake Baikal / L. M. Sorokovikova, I. V. Tomberg, V. N. Sinyukovich [et al.] // Inland Waters. 2019. Vol. 9, N 4. P. 464–470.

УДК 575.8:595.371

БОЛЬШИЕ И МАЛЕНЬКИЕ ГЕНОМЫ АМФИПОД БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

П. Б. Дроздова[1]*, Е. В. Тэльнес[1], Ю. Э. Озерова[2], А. Е. Саранчина[1], М. А. Тимофеев[1]

[1]Иркутский государственный университет, НИИ биологии (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2]Университет Лейпцига (Германия, D-04107, Лейпциг, Хэртельштрассе, 16–18)
**Автор для переписки: drozdovapb@gmail.com*

Аннотация. В работе изучены размеры и структура геномов различных амфипод Байкальского региона – группы достаточно близкородственных видов, размер геномов в которой варьирует по крайней мере в 15 раз. Показано, что добавление длинных прочтений ДНК существенно улучшает качество сборки сложного генома *Eulimnogammarus verrucosus*. Обнаружены различия в размерах геномов криптических видов комплекса *E. verrucosus*. Показано, что спектр повторяющихся элементов схож для видов со сходными экологическими характеристиками. Эти данные подтверждают важность повторов в эволюции геномов изучаемой группы.

Ключевые слова: эволюция геномов, бокоплавы, повторяющиеся последовательности, эндемичные букеты видов, сборка сложных геномов

Введение. Известно, что между размером генома и сложностью организации живого организма нет очевидной связи (так называемый C-парадокс [Elliott, Gregory, 2015]). Для размера генома найдена корреляция со множеством экологических факторов, но стоящие за этой корреляцией причинно-следственные связи не всегда очевидны. Удобным объектом для изучения эволюции геномов являются группы близкородственных видов, такие как амфиподы (Crustacea: Amphipoda: Gammaroidea) оз. Байкал. В этой группе описано более 350 морфологических видов и подвидов [Тахтеев, Березина, Сидоров, 2015], но данная оценка, по всей видимости, является заниженной: внутри большинства морфологических видов, для которых изучено генетическое разнообразие, найдены несколько генетических линий. Для порядка 30 видов изучены размеры геномов и кариотипы, и оказалось, что в то время как размеры геномов варьируют приблизительно в 15 раз, кариотипы очень стабильны. Это говорит о большом вкладе в размер генома повторяющихся последовательностей, и действительно, для байкальских амфипод выявлено высокое разнообразие повторов [Сравнение ... , 2023]. К настоящему времени нет опубликованных сборок ядерных геномов амфипод. Единственная сборка получена для *Eulimnogammarus verrucosus* и является крайне фрагментарной (см. обзор [Байкальские ... , 2024]). Также следует отметить, что ранее не были изучены размеры геномов в комплексах криптических видов, хотя различия в размере и структуре геномов непосредственно связаны с процессом видообразования. Наконец, накоплен ряд противоречий. В частности, ранее размер генома *E. verrucosus* был определён как около 10 млрд. п. н. (10 пг) при помощи выравнивания коротких прочтений на последовательности, кодирующие микроРНК [A first ... , 2014]. В то же время оценка с помощью цитологических методов, таких как проточная цитометрия и денситометрия ядер, окрашенных по Фёльгену, составила 7 и 6 пг соответственно [Jeffery, Yampolsky, Gregory, 2017].

Результаты и обсуждение. В рамках данной работы дополнены сведения о размерах и составе генома нескольких видов амфипод Байкальского региона. В частности, мы более подробно изучили вопрос размера генома *E. verrucosus*, а именно оценили размеры геномов представителей трёх криптических видов этого комплекса методом проточной цитометрии и выявили, что они различаются и составляют 6,1, 6,9 и 8,0 пг для видов E, W и S соответственно, что даёт гораздо более близкое совпадение с предыдущими цитометрическими данными. Для вида *E. verrucosus* W были получены данные секвенирования длинных последовательностей ДНК с помощью технологии Oxford Nanopore до покрытия генома около 6x и дополнительные данные секвенирования короткими прочтениями (технологии Illumina

и DNBseq); общее покрытие короткими прочтениями составило более 70х. Были проверены различные алгоритмы и комбинации настроек. Оказалось, что сборка с помощью MaSuRCa только из коротких чтений (N50=750 н. п., полнота по BUSCO – C:23%[S:22%,D:1%],F:50%,M:27%) сходна по качеству с полученной ранее с помощью алгоритма ABYSS (N50=200 н. п., C:12%[S:11%,D:0,3 %],F:37%,M:51%). В то же время черновая гибридная сборка с помощью MaSuRCA на промежуточном этапе обладала лучшим качеством: N50=319 т. п. н.; C:77%[S:25%,D:52%],F:14%,M:8%, хотя окончательная гибридная сборка оказалась значительно хуже (N50=67 т. п. н.; C:50%[S:49%,D:1%],F:12%,M:38%). Сборка на основе только чтений Nanopore с использованием Flye занимала промежуточную позицию (C:71%[S:67%,D:4%],F:9%,M:20%). Планируется создание на основе полученных данных гибридной сборки, которая будет являться первой полноценной сборкой ядерного генома для байкальских амфипод. Геномы ряда других видов были изучены с помощью секвенирования в низком покрытии, что позволило проанализировать спектры повторяющихся элементов. Положительная взаимосвязь между долей повторов в геноме и его размером прослеживается, однако свести её к линейной корреляции сложно. Также уточнён размер генома *Gammarus lacustris* из Байкальского региона, он составляет около 7 пг, что входит в пределы, описанные для этой группы видов (от 7 до 12 пг). Сравнение спектра повторов у разных видов показало, что состав повторов внутри четырёх биологических видов комплекса *E. verrucosus* принципиально схож, в то время как различия повторов этих видов и близких видов *E. vittatus* и *E. cyaneus* гораздо более значительны. Также были получены новые данные для малоизученного вида *E. messerschmidtii*, который является «экологическим двойником» хорошо изученного *E. cyaneus* по размеру, внешнему виду и сезону размножения, хотя эти виды не являются сестринскими. Оказалось, что геномы этих видов также близки по размеру и составу повторяющихся элементов. Таким образом, морфологическое сходство в обоих случаях коррелирует со сходством повторов.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-14-00128П, https://rscf.ru/project/22-14-00128/.

Список литературы

Байкальские амфиподы и их геномы, большие и малые / П. Б. Дроздова, Е. В. Мадьярова, А. Н. Гурков [и др.] // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2024. Т. 28, № 3. С. 317–325. DOI: 10.18699/vjgb-24-36

Сравнение эволюционных паттернов ДНК-повторов у представителей древних и молодых букетов видов из озера Байкал / В. Юйсян, Т. Е. Перетолчина, Е. В. Романова, Д. Ю. Щербаков // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023. Т. 27, № 4. С. 349–356.

Тахтеев В. В., Березина Н. А., Сидоров Д. А. Checklist of the Amphipoda (Crustacea) from continental waters of Russia, with data on alien species // Arthropoda Selecta. Русский артроподологический журнал. 2015. Т. 24, № 3. СР. 335–370. DOI: 10.15298/arthsel.24.3.09

A first glimpse at the genome of the Baikalian amphipod *Eulimnogammarus verrucosus* / L. Rivarola-Duarte, C. Otto, F. Jühling [et al.] // Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution. 2014. Vol. 322, N 3. P. 177–189. DOI: 10.1002/jez.b.22560

Elliott T. A., Gregory T. R. What's in a genome? The C-value enigma and the evolution of eukaryotic genome content // Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2015. N 370(1678). Art. 20140331. DOI: 10.1098/rstb.2014.0331

Jeffery N. W., Yampolsky L., Gregory T. R. Nuclear DNA content correlates with depth, body size, and diversification rate in amphipod crustaceans from ancient Lake Baikal, Russia // Genome. 2017. Vol. 60, N 4. P. 303–309. DOI: 10.1139/gen-2016-0128

УДК 575:595

ФИЛОГЕНИЯ РОДОВ *SENECELLA* JUDAY, 1923 И *ORTHOCYCLOPS* FORBES, 1897 (COPEPODA) С ФРАГМЕНТИРОВАННЫМИ АРЕАЛАМИ

О. П. Дубовская[1]*, Т. Ю. Майор[2]

[1]Институт биофизики СО РАН (Россия, 660036, Красноярск, Академгородок 50/50)
[2] Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: dubovskaya@ibp.krasn.ru*

Аннотация. Проведен молекулярно-филогенетический анализ для двух малочисленных родов Copepoda: *Orthocyclops* и *Senecella*, которые имеют фрагментированный ареал в Евразии и Северной Америке. Выяснено, что *S. siberica* является сестринским видом *S. calanoides* и представляет единую генетическую линию в оз. Собачьем и в Обской Губе. Для *O. bergianus* показана генетическая обособленность по фрагментам рДНК от представителей его подсемейства.

Ключевые слова: биоразнообразие, Байкал, Сибирь, Calanoida, Cyclopoida

Род *Orthocyclops* Forbes, 1897 (Cyclopidae, Cyclopinae) включает два вида: эндемичный для оз. Байкал *O. bergianus* Mazepova, 1952 и широко распространенный в Соединенных Штатах и на юге Канады *O. modestus* (Herrick, 1883). Последний также был недавно найден в Пакистане и прибрежной зоне оз. Байкал [Биология ... , 2013; Study ... , 2020]. *O. bergianus* ведет придонный образ жизни, встречается на глубинах от 5 до 610 м [Sheveleva, Mirabdullaev, Khanaev, 2017], редок и включен в Красную книгу Республики Бурятия. *O. modestus* отмечен в планктоне, подземных водах и в умеренно глубоких озёрах вблизи дна. Молекулярные данные для обоих видов *Orthocyclops* отсутствуют. Род *Senecella* (Calanoida, Aetideidae) также включает 2 вида: *S. calanoides* Juday, 1923, и *S. siberica* Vyshkvartzeva, 1994. Первый обитает в глубоких озёрах Северной Америки, второй – в Сибири, в эстуариях Оби, Енисея и Лены, в прибрежных водах морей Карского и Лаптевых, в пресных озёрах п-ва Гыдан, и недавно найден в Больших Норильских озёрах [Дубовская, Глущенко, 2018]. Эти виды считаются морскими и ледниковыми реликтами, являются моноциклическими с зимним размножением, населяют холодные слои воды (см. обзор: [Дубовская, Глущенко, 2018; Дубовская, 2020]). Есть мнение [Khlebovich, Abramova, 2000], что это 2 морфы одного вида, обусловленные разной соленостью разных местообитаний; напротив, Вышкварцева [Vyshkvartzeva, 1994] полагала, что в пресных озёрах Сибири может быть третья форма, таксономически отличная от выделенного ей по особям из залива Неелова моря Лаптевых вида *S. siberica*. Чтобы уточнить неясные филогенетические связи и классификацию *Senecella*, необходимы молекулярно-генетические исследования.

Целью данного исследования было выяснение филогении представителей *Orthocyclops* и *Senecella* с помощью молекулярно-генетических методов.

O. bergianus был собран с восточный стороны оз. Байкал в сентябре 2022 г. в ходе экспедиции на НИС «Папанин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»), с глубины 25 м. *S. siberica* были собраны в средней части оз. Собачьего (Большие Норильские озёра) 27 сентября 2021 г. и в Обской Губе 15 августа 2022 г., а две особи *S. calanoides* были собраны в оз. Champlain (штат Вермонт, США) 18 января 2024 г. Молекулярно-генетический анализ был проведен согласно протоколу, описанному ранее [Biodiversity ... , 2024]. В качестве молекулярных маркеров выбраны ген первой субъединицы цитохром-*c*-оксидазы (COI) мтДНК и фрагменты внутренних транскрибируемых спейсеров (ITS1, ITS2) и гена 18S рРНК рДНК.

На COI, ITS1 и ITS2 древах нуклеотидные последовательности представителей двух популяций *S. siberica* генетически близки и образуют единый кластер. Генетические расстояния (K2P) между ними составили не более 0,6 % по ITS1, ITS2 и 1,4 % по COI. COI по-

следовательности *S. calanoides* из водоемов США, полученные в ходе нашего исследования и заимствованные из GenBank, принадлежат единой генетической линии, в пределах которой K2P дистанции не превышают 1,2 %. *S. siberica* достоверно сестринский вид *S. calanoides*. Генетические расстояния между этими двумя видами по ITS1 составили 2,5–3,8 % и около 17 % по COI, что сопоставимо с межвидовыми генетическими расстояниями, известными для Copepoda в богатых по числу видов родах [Sukhikh, Zavarzin, Alekseev, 2023; Biodiversity … , 2024]. Последовательности *S. siberica* объединились на ITS1, ITS2 древах с представителями своего семейства: с морскими видами родов *Gaetanus* Giesbrecht, 1888*, Euchaeta* Philippi, 1843*, Paraeuchaeta* Scott A., 1909 и *Euchirella* Giesbrecht, 1888.

Филогения *O. bergianus* остается под вопросом. По 18S рРНК и ITS1, ITS2 данным этот вид генетически обособлен от представителей своего подсемейства.

Применение генетических методов позволило подтвердить статус псевдокриптического вида *S. siberica,* который является сестринским *S. calanoides,* но достаточно генетически обособленным от него. В пресном оз. Собачье обитает тот же вид *S. siberica*, что и в Обской Губе.

Благодарности. Выражаем искреннюю благодарность А. П. Федотову (ЛИН СО РАН), Г. Вингаард (Университет Джеймса Мэдисона) и Е. С. Чертопруд (ИПЭЭ РАН) за помощь в сборе материала. Секвенирование и микроскопирование части материала проводились в Приборном центре коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикроанализ»). Сбор материала из оз. Байкал и молекулярно-генетический анализ проводили за счет финансирования в рамках темы государственного задания № 0279-2021-0005 (121032300224-8), сбор и анализ материала по Senecella – в рамках госзадания № FWES-2024-0024.

Список литературы

Биология прибрежной зоны озера Байкал. Сообщение 4. Таксономическое разнообразие бентосной фауны заплесковой зоны озера Байкал в районе Мыс Берёзовый – Бухта Бол. Коты / Н. Г. Шевелева, В. И. Провиз, А. Г. Лухнев [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2013. Т. 6, № 2. С. 132–143.

Дубовская О. П., Глущенко Л. А. Первые находки Senecella siberica Vyshkvartzeva 1994 (Copepoda, Calanoida) в больших Норильских озёрах (бассейн реки Пясина, Центральная Сибирь) // Зоологический журнал. 2018. Т. 97, № 10. С. 1264–1271.

Дубовская О. П. Жизненный цикл и таксономический статус Senecella siberica Vyshkvartzeva 1994 (Copepoda, Calanoida) в больших Норильских озёрах (бассейн р. Пясина, Центральная Сибирь) // Зоологический журнал. 2020. Т. 99, № 11. С. 1263–1267.

Biodiversity assessment of Eucyclops Claus, 1893 (Copepoda: Crustacea) in the Baikal region using genetic methods / T. Yu. Mayor, O. A. Chaban, K. A. Kaskova, N. M. Sukhikh // Acta Biologica Sibirica. 2024. Vol. 10. P. 1269–1291. DOI: 10.5281/zenodo.14029856

Khlebovich V. V., Abramova E. N. Some problems of crustacean taxonomy related to the phenomenon of Horohalinicum // Hydrobiologia. 2000. N 417. P. 109–113.

Markhaseva E. L. Calanoid copepods of the family Aetideidae of the World Ocean. St. Petersburg: Zoological Institute of Russian Academy of Science, 1996. 331 p.

Sheveleva N. G., Mirabdullaev I. M., Khanaev I. K. Redescription of *Orthocyclops bergianus* Mazepova, 1952 (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida) from lake Baikal // Ракообразные: разнообразие, экология и эволюция : материалы Междунар. науч. конф. Москва, 30 окт. – 1 нояб. 2017 г. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2017. С. 44.

Study on zooplankton diversity during spring season in Chashma lake, Pakistan / S. Hayat, M. Naeem, M. Ramzan [et al.] // Biological and Clinical Sciences Research Journal. 2020. Vol. 9. DOI: 10.54112/bcsrj.v2020i1.9

Sukhikh N. M., Zavarzin D. S., Alekseev V. R. Origin and taxonomic position of Far Eastern island populations of Eurytemora caspica tethysiana subsp. nov. // Zoologischer Anzeiger. 2023. Vol. 306. P. 119–137. DOI: 10.1016/j.jcz.2023.07.004

Vyshkvartzeva N. V. Senecella siberica n. sp. and the position of the genus Senecella in Calanoida classification // Hydrobiologia. 1994. N 292/293. P. 113–121.

УДК 911.52

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДОННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Д. С. Дудакова *, В. М. Анохин, М. О. Дудаков

Институт озероведения РАН (Россия, 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9)
**Автор для переписки: Judina-D@yandex.ru*

Аннотация. Целью проводимой работы было совершенствование методики изучения подводных ландшафтов Ладожского озера (на типологическом уровне) с помощью комплекса дистанционных методов, включающих аэрофотосъемку мелководной зоны, подводную видеосъемку и гидроакустические исследования. Работы проводились в период 2014–2025 гг. в разных частях Ладожского озера на нескольких тестовых полигонах с различными характеристиками ландшафтов. В результате применения комплекса дистанционных методов и ландшафтного картирования на основе полученных данных проведен анализ особенностей донных ландшафтов разных зон озера. Показано, что наиболее существенную роль в формировании структуры и мозаичности ландшафтных фаций в зоне кристаллического шита (север Ладожского озера) играют абиотические компоненты, такие как рельеф, обусловленный геологией района, и характер донных отложений, тогда как биотические компоненты выступают ландшафтообразующим элементом на юге озера в зоне формирования ветландов, где заросли высшей водной растительности занимают значительные площади прибрежного мелководья. Новым элементом являются подводные антропогенные ландшафты, образованные хозяйственной деятельностью человека.

Ключевые слова: гидроакустическое сканирование, гидролокатор бокового обзора (ГЛБО), подводная фотовидеосъемка, Ладожское озеро, подводный ландшафт, картирование донных ландшафтов

Изучение подводных ландшафтов на крупных озёрах и картирование биотопов для оценки распределения биоресурсов является все более развивающимся направлением географических и эколого-биологических исследований. В большой мере значительный прогресс в этой области связан с бурным развитием технических устройств и большей доступностью дистанционных методов [Пьянов, 2019; Дистанционные ... , 2014; Olenin, 2006; McIntyre, Eleftheriou, 2005].

Исследования донных ландшафтов на всей акватории Ладожского озера с крупномасштабным картированием отдельных ландшафтных полигонов в разных его частях проводятся в Институте озероведения РАН (на настоящий момент ИНОЗ РАН-СПб ФИЦ РАН) с 2014 г. [Дудакова, Анохин, Дудаков 2021]. Целью настоящей работы было совершенствование методики изучения подводных ландшафтов Ладожского озера (на типологическом уровне) с помощью комплекса дистанционных методов. Использован комплекс современных дистанционных методов, включающих аэрофотосъемку мелководной зоны, подводную видеосъемку и гидроакустические исследования. Применялись: беспилотный летательный аппарат (БПЛА) Phantom2, гидролокатор бокового обзора (ГЛБО) Hummingbird SOLIX10 SI+G3 и подводный телеуправляемый аппарат Limnoscout. Массив полученных данных, на который опираются сведения о донных ландшафтах озера, включают 236 станций подводной видеосъемки дна (по результатам исследований 2014–2025 гг.), 103 видеопрофиля (протяженностью в среднем порядка 1 км каждый) со сплошной видеосъемкой дна и точной координатной и глубинной привязкой (диапазон глубин от 0,5 до 230 м), 45 участков аэрофотосъемки с БПЛА по всей береговой зоне Ладожского озера и его островов (2014–2017 гг.), 22 полигона гидроакустических исследований (площадью до 2 км^2) с ГЛБО с получением мозаик сонограмм в прибрежной зоне до глубин от 0 до 30 м (2022–2025 гг.). Участки детализации (ландшафтные выделы) дают возможность сравнивать ландшафты разных районов между собой.

В результате анализа картографических данных по отдельным ландшафтным выделам, полученных с использованием данных дистанционных методов, было показано различие в структуре и пространственной организации ландшафтов разных зон озера. Северный

шхерный район на кристаллическом щите отличается многокомпонентностью геологического состава, сложностью рельефа, резкими различиями гидродинамических условий. На ландшафтных полигонах в этом районе характерной чертой является чередование резких перепадов глубин. Именно этот район характеризуется наличием субвертикальных глубоководных уступов, предположительно неотектонических, которые были обнаружены в результате проведения видеосъемки при ландшафтных исследованиях [Анохин, Дудакова, 2024]. Каменистые моренные гряды в восточной и западной прибрежных частях озера и моренные постройки в центральной зоне озера формируют несколько различных типов донных ландшафтов с характерной поясной структурой вблизи побережья и мозаичной – в открытой акватории. Южная часть имеет значительные площади занятые ветландами, слагаемыми ассоциациями тростника с различными видами макрофитов, что выводит биотический фактор в разряд ландшафтообразующих.

Участки, где заметное влияние на состояние дна оказывает антропогенная деятельность, выделяются в отдельный тип подводных ландшафтов Ладожского озера. Так в проводимых работах были изучены и описаны характеристики дна в районе объектов садковой аквакультуры, деревообрабатывающей промышленности. Оценивались масштабы проблемы загрязнения дна водоема бытовым мусором. Эти элементы успешно выявляются при применении комплекса методов дистанционных устройств, позволяют заверять границы их распределения (мозаики ГЛБО с картографической привязкой) и оценивать при визуальных наблюдениях, получаемых при видеосъемке на тестовых участках. Что говорит о важности используемых инструментов в ландшафтных исследованиях.

Итак, использованный комплекс дистанционных методов и методика их применения для изучения подводных ландшафтов Ладожского озера показали свою высокую эффективность.

Благодарности. Публикация составлена при поддержке Гостемы ИНОЗ РАН–СПб ФИЦ РАН № FFZF-2024-0001 «Экосистемы Ладожского озера, водоемов его бассейна и прилегающих территорий в условиях воздействия природных и антропогенных факторов на фоне климатических изменений».

Список литературы

Анохин В. М., Дудакова Д. С. Послеледниковые тектонические уступы на дне Ладожского озера // Известия Русского географического общества. 2024. Т. 156, № 1. С. 3–15.

Дистанционные методы экологических исследований и мониторинга в лимнологии и океанологии и их применение на озере Байкал / В. В. Тахтеев, Д. Ю. Карнаухов, А. С. Мишарин, Е. Б. Говорухина // Развитие жизни в процессе абиотических изменений на Земле. 2014. Вып. 3. С. 374–381.

Дудакова Д. С., Анохин В. М., Дудаков М. О. Донные ландшафты Ладожского озера // Современное состояние и проблемы антропогенной трансформации экосистемы Ладожского озера в условиях изменяющегося климата. 2021. С. 136–146.

McIntyre A. D., Eleftheriou A. Methods for the study of marine benthos / ed. by A. Elefteriou. Blackwell, Oxford, UK: Blackwell Science, 2005. Vol. 34. 418 p.

Olenin S., Ducrotoy J.-P. The concept of biotope in marine ecology and coastal management // Marine Pollytion Bulletin. 2006. Vol. 53. P. 20–29.

УДК 543.94

БИОАККУМУЛЯЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ, АКТИВНОСТЬ МЕТАЛЛОФЕРМЕНТОВ И ОКИСЛИТЕЛЬНЫЙ СТРЕСС БАЙКАЛЬСКОЙ ГУБКИ *LUBOMIRSKIA BAIKALENSIS*

С. Д. Дылгерова[1,2], Г. В. Пашкова[1], Г. М. Чуйко[3], Н. С. Сизов[3], А. В. Юдин[3], И. В. Ханаев [2], А. А. Никонова[2]*

[1]Институт земной коры СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128)
[2]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[3]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (Россия, 152742, Борок, 109)
**Автор для переписки: alenaxis@list.ru*

Аннотация. Изучение биоаккумуляции биогенных переходных *d*-металлов Fe, Cu, Zn, Mn, Ni может дать ценную информацию для понимания причин окислительного стресса губки *Lubomirskia baikalensis*. Получены первые данные уровней биоаккумуляции указанных *d*-металлов в губках. Найдена прямая зависимость содержаний Cu и Zn в губке и отмечена значительная координация Cu (до 72 %) и Zn (до 56 %) с глобулином, что говорит об их важной биологической роли в составе металлоферментов. Получены первые данные оксидативного статуса губок включая содержание общего белка, карбогидратов и маркеров перекисного окисления липидов, оценку активности каталазы, супероксиддисмутазы и глутатион-S-трансферазы.

Ключевые слова: тяжелые металлы, биогенные элементы, переходные металлы, *Lubomirskia baikalensis*, РФА-ПВО, СОД

Тяжелые металлы (ТМ) относятся к наиболее распространенным загрязнителям водоемов и способны проявлять высокую токсичность. Вместе с тем ряд переходных ТМ, таких как Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, являются биогенными, участвуют в Red-Ox процессах клеткок в составе металлоферментов [Hekmat, Saso, 2023]. В случае анализа ТМ в гидробионтах важно понимание их природы, а оценка уровней их накопления в организме может дать ценную информацию для понимания причин окислительного стресса губок в оз. Байкал. Цель данной работы – определение биогенных переходных *d*-металлов в губках *L. baikalensis* с применением метода рентгенофлуоресцентного анализа с полным внешним отражением (РФА ПВО) и оценка оксидативного статуса с использованием классических биохимических методов.

Пробы губок *L. baikalensis* (n = 12) отбирали с использованием легкого водолазного снаряжения в прибрежной зоне оз. Байкал с глубин 3–15 м. Ветви губок длиной ≥15 см срезали на расстоянии ~5–10 см от места прикрепления к камню, замораживали и хранили при −70 °C до анализа. Губки № 1–6 (внешне здоровые, зеленые, запах свежий) отбирали в фоновом районе (Мыс Елохин) в 2022 г. Больные губки отбирали в районе БЦБК (№ 7–8, около 25 % губки поражено пятнами, оскулумы хорошо видны, запах затхлый), в районе ж./д. ст. Шарыжалгай (№ 9, губка с черными пятнами, запах затхлый) и в районе пос. Б. Коты (№ 10–12, с коричневыми пятнами, запах затхлый) в 2019, 2022 гг.

Перед анализом путем квартования и сокращения промежуточных проб отбирали лабораторную пробу, из которой для анализа отбирали клеточную биомассу. Экстракцию белков проводили с использованием методик, описанных ранее [Ribeiro, Teixeira, Ferreira, 2021; Enhancement ... , 2016] с модификациями. Все работы с белками проводили при +4 °C. Анализ ТМ проводили на рентгеновском спектрометре с полным внешним отражением S2 Picofox (Bruker, Германия). Коэффициенты вариации при оценке внутрилабораторной прецизионности варьировались от 6,3 до 16 %.

Определение водорастворимого белка (ВРБ), карбонильных групп белка (КГ), продуктов взаимодействия с 2-тиобарбитуровой кислотой включая малоновый диальдегид (TBARS (МДА)), активность каталазы (КАТ), глутатион-s-трансферазы (GST) и супероксиддисмутазы (СОД) проводили по стандартным методикам с использованием спектрофо-

тометра BMG Labtech SPECTROStar Nano в микропланшетах. Статистическая значимость различий оценивалась с помощью *U*-критерия Манна – Уитни при $p = 0{,}05$.

Определены концентрации Fe, Cu, Zn и Mn во внешне здоровых ($n = 6$) и больных ($n = 6$) особях губок *L. baikalensis* (как целый организм), а также в их белковых фракциях. Средние значения содержаний Cu и Zn выше для здоровых особей, а содержание Fe и Mn – для больных. Максимальные содержания Cu (72 %) и Zn (56 %) в здоровых губках координированы с глобулинами, Fe (75 %) сосредоточено в остаточной фракции губок после экстракции альбумина и глобулина, а Mn распределен между альбуминами (49 %) и остаточной фракцией (39 %). Для больных губок содержание Cu и Zn, координированных с глобулинами, резко падает (рис. 1). Найдено увеличение доли Fe и Mn в остаточной фракции больных губок (96 и 65 % соответственно). В альбуминовой фракции больных губок содержание Fe не превышает 2 %. Важным является тот факт, что Cu и Zn преимущественно координированы с глобулинами, а основным глобулярным белком гидробионтов является именно Cu/Zn-СОД, защищающая организм от окислительного стресса. Активность СОД, доля карбонильных групп и TBARS (МДА) у больных особей статистически значительно ниже, чем у здоровых, что может быть вызвано необратимыми изменениями в тканях. При этом для здоровых и больных губок не отмечено статистически значимого различия содержания ВРБ в гомогенатах биомассы, активности КАТ и ГST. Т. о., отмечена корреляция данных содержания Cu и Zn в губке (рис., *В*), фракции глобулинов губки (рис., *Г*), активностью Cu/Zn-СОД (рис., *А*), что указывает на биогенную природу этих ТМ и снижением доли МДА у больных особей (рис., *Б*) в результате отмирания тканей.

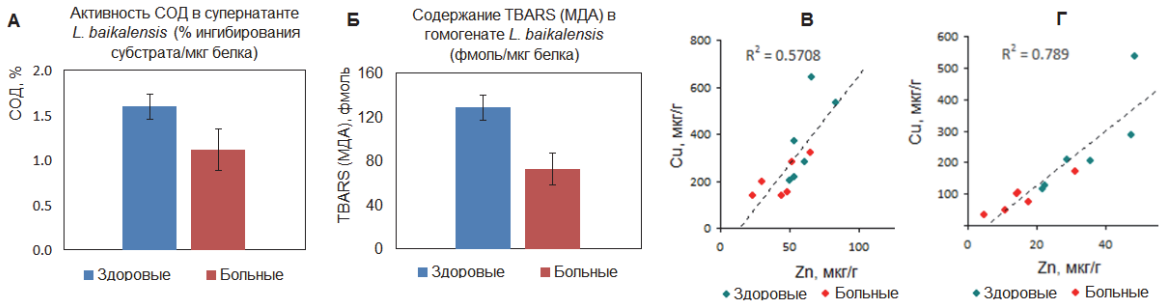


Рис. Оксидативный статус *L. baikalensis*: снижение активности СОД (*А*) и содержания TBARS (МДА) в больных губках (*Б*); снижение аккумуляции Cu и Zn в больных губках (биомасса клеток) (*В*) и глобулинах (*В*) из-за снижения активности Cu/Zn-СОД

Благодарности. Исследование выполнено в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ № 0279-2021-0005 «Исследование трансформации водоемов...».

Список литературы

Enhancement of yield, nutritional and nutraceutical properties of two common bean cultivars following the application of seaweed extract (*Ecklonia maxima*) / A. Kocira, M. Świeca, S. Kocira [et al.] // Saudi J. of Biol. Sci. 2016. Vol. 25. P. 563–571. DOI: 10.1016/j.sjbs.2016.01.039

Hekmat A., Saso S. L. Superoxide dismutases inhibitors. Chapter 8.1 // Metalloenzymes. From Bench to Bedside / ed. by C. T. Supuran, W. A. Donald. Academic Press, 2023. P. 523–531. DOI: 10.1016/B978-0-12-823974-2.00004-8

Ribeiro A. C., Teixeira A. R., Ferreira R. B. Characterization of Globulins from Common Vetch (*Vicia sativa L.*) // J. Agric. Food Chem. 2021. Vol. 52. P. 4913–4920. DOI: 10.1021/jf049833p

УДК 556:504.455

СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА ПРИБРЕЖНЫХ ВОД СЕВЕРНОГО БАЙКАЛА ПО СОДЕРЖАНИЮ ОБЩЕГО АЗОТА И ОБЩЕГО ФОСФОРА

Е. В. Елецкая *, О. А. Тимошкин, И. В. Томберг

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: lilitanna@lin.irk.ru*

Аннотация. Для оценки экологического состояния прибрежной зоны оз. Байкал в 2017–2024 гг. проводили исследования химического состава воды севернее тансекты м. Большой Солонцовый-Большой Ушканий остров. На основании полученных данных о содержании общего азота и фосфора, дана характеристика трофического статуса прибрежных вод изученного района озера. В ходе исследований обнаружено, что по содержанию общего фосфора прибрежные воды в основном относятся к мезотрофному типу. По содержанию общего азота воды района, в основном, относились к олиготрофному типу. Исключение составляют воды в районе г. Северобайкальска, где в результате поступления сточных вод трофический статус прибрежных вод повышался до гипертрофного.

Ключевые слова: Байкал, прибрежные воды, соединения азота и фосфора, трофический статус

Исследования химического состава воды проводились в контексте общей оценки экологического состояния прибрежной зоны озера на НИС «Академик В. А. Коптюг» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»). В данном сообщении приведены сведения, полученные за период 2017–2024 гг. На химический анализ пробы воды отбирали в 1 м и 100 м от берега с поверхности два раза в год (в июне и сентябре) на 8 станциях, всего собрано 169 образцов (рис.). Пробы проанализированы на содержание общих и минеральных форм азота и фосфора. Химический анализ выполняли на базе аккредитованной Лаборатории гидрохимии и химии атмосферы общепринятыми в гидрохимии пресных вод методами [Аналитические … , 2017].



Рис. Схема отбора проб

Известно, что «цветение» воды обычно становится возможным, когда содержание азота превышает 0,4 мг/л, а фосфора – 0,01 мг/л, поэтому изучение динамики этих компонентов и изменений соотношений различных их форм позволяет оценить экологическое состояние водоёма [Неверова-Дзиопак, Цветкова, 2020]. Ранее было проведено определение трофического статуса прибрежных вод юго-восточной и юго-западной частей оз. Байкал. Результаты показали, что в большинстве районов западного побережья (летом, и осенью) и юго-восточного побережья (летом) концентрации общего азота соответствовали значениям, характерным для олиготрофного водоема, а общего фосфора для мезотрофного [Eletskaya, Tomberg, 2020; Елецкая, Тимошкин, Томберг, 2024]. Также было отмечено доминирование

в летний период органических форм азота и фосфора над минеральными в прибрежной воде юго-западной части оз. Байкал.

Анализ полученных данных показал, что содержание минеральных форм азота и фосфора в приурезовой воде северной части озера не превышало 0,17 мг N/л и 0,020 мг P/л соответственно, когда как содержание органического азота достигало 0,216 мг N/л, а фосфора 0,118 мг P/л. В поверхностной воде в 100 метрах от берега размах концентраций был ниже, до 0,096 мг N/л минерального азота и до 0,01 мг P/л фосфора, органические же их формы достигали 0,274 мг N/л и 0,045 мг P/л соответственно. Так же, как для юго-западной части озера, в прибрежной воде северной оконечности отмечается доминирование органических форм фосфора и азота над минеральными. Самая сложная ситуация наблюдается в районе г. Северобайкальска. Недоочищенные сточные воды города сбрасываются в р. Тыя и с ее водами поступают в Байкал, результате в прибрежной полосе озера наблюдаются гигантские скопления водорослей [Rapid ... , 2016]. Содержание органического азота и фосфора здесь в 1м от уреза достигало 3,142 мг N/л и 0,178 мг P/л соответственно.

По содержанию общего азота трофический статус прибрежных вод северного Байкала преимущественно соответствовал водам олиготрофного типа как в 1 м, так и в 100 м от берега. Содержание этого компонента в приурезовой зоне северного Байкала варьировало от 0,06 мг N/л до 3,18 мг N/л. Максимальное содержание было отмечено в июне 2017 г. на станции г. Северобайкальск (Заречное) и соответствовало значениям для гипертрофных вод [Неверова-Дзиопак, Цветкова, 2020]. При этом в 100 м от уреза концентрации общего азота в этом районе составляли 1,12 мг N/л (эвтрофный статус). Стоит отметить, что в 2024 г. ситуация улучшилась и воды северной части озера по содержанию этого компонента полностью относились к водам олиготрофного типа. По содержанию общего фосфора прибрежные воды района относятся преимущественно к водам мезотрофного типа. Его содержание менялось от 0,006 мг P/л до 0,178 мг P/л. Максимальные значения, соответствующие водам гипертрофного типа, наблюдались на станции г. Северобайкальск (Заречное). Значительного улучшения экологического состояния по содержанию этого компонента к 2024 г. отмечено не было.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзаданий Лимнологического института СО РАН 0279-2021-0007, 0279-2021-0014.

Список литературы

Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / под ред. П. А. Лозвика, Н. А. Ефременко. СПб. : Нестор-История, 2017. 272 с.

Елецкая Е. В., Тимошкин О. А., Томберг И. В. Оценка трофического статуса прибрежных вод западной части озера Байкал по гидрохимическим показателям // Известия Иркутского Государственного Университета. Серия Биология. Экология. 2024. Т. 49. С. 19–32. DOI: 110. 26516/2073-3372.2024.49.19

Неверова-Дзиопак Е. В., Цветкова Л. И. Оценка трофического состояния поверхностных вод. СПб. : С.-Петерб. гос. архитект.-строит. ун-т, 2020. 176 с.

Eletskaya E. V., Tomberg I. V. The concentration of mineral and total phosphorus in the coastal water of southeast coast of Lake Baikal // Limnology and Freshwater Biology. 2020. N 4. P. 896–898. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-896

Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? / O. A. Timoshkin, D. P. Samsonov, M. Yamamuro [et al.] // J. Great Lakes Res. 2016. N 42. P. 487–497. DOI: 10.1016/j.jglr.2016.02.011

УДК 556.115

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ БАКТЕРИЙ В МАЛЫХ СОЛЕНЫХ ОЗЕРАХ ЮГО-ЗАПАДА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Ю. А. Енова[1, 2], Е. А. Коноводова[1], А. Н. Накоскин[1], О. В. Козлов[1]*

[1]Курганский государственный университет (Россия, 640020, Курган, ул. Советская, 63/4)
[2] Тюменский государственный университет (Россия,625003,Тюмень, ул. Володарского, 6)
**Автор для переписки: hydrobiology@list.ru*

Аннотация. Для изучения связей биологической продуктивности микроорганизмов соленых озер с процессами их минерализации и разложением лабильных органических веществ микроорганизмами разных эколого-трофических групп бактерий было выбрано шесть гипергалинных озер на востоке Курганской области, которые отличны не только физико-химическими характеристиками, но и степенью антропогенного воздействия. Динамику численности микроорганизмов изучали по сезонам в течение года. Учет микроорганизмов проводили микробиологическим посевом на элективные твердые питательные среды. Установлено, что количество микроорганизмов различных эколого-трофических групп изменяется вследствие сезонных изменений физико-химических показателей воды. Среди функциональных групп можно выделить фототрофные микроорганизмы (цианобактерии, пурпурные бактерии); хемоавтотрофы, восстанавливающие неорганические соединения; вторичные анаэробы, замыкающие циклы биогенных элементов; анаэробные хемолитоавтотрофные бактерии (нитрификаторы, бесцветные серобактерии, железобактерии); гетеротрофные бактерии, минерализующие белковые вещества.

Ключевые слова: гипергалинные озера, эколого-трофические группы бактерий, Западная Сибирь

Соленые озера небольшой и средней величины обладают минимальной как физической и химической стратификацией, так и биологической. Гипергалинные экосистемы характеризуются упрощенностью экологических взаимоотношений. Важным звеном в механизмах стабильности таких озер являются экологические группы микроорганизмов, объединенных трофикой. На юге Западной Сибири имеется значительный пул малых гипергалинных озер, изучению микробиоты которых ранее не придавалось большого значения. Целью наших исследований было изучение эколого-трофических групп бактерий в малых мелких периодически высыхающих озёрах с высокой минерализацией водной среды.

Существуют разнонаправленные связи между величинами биологической продуктивности конкретных сообществ микроорганизмов, процессами минерализации, разложением лабильных органических веществ с процессами формирования биологической массы живого вещества, интенсивностью метаболизма в водоеме и круговоротом веществ. В формировании биологической продуктивности в соленых озёрах принимают участие различные экологические группы бактерий, в трофических связях которых происходит передача конкретной доли вещества и энергии по пищевой цепи. Выявление особенностей функционирования и количественный состав эколого-трофических групп микроорганизмов являются важным элементом в трофической структуре гипергалинных лимноэкосистем.

Для изучения численности микроорганизмов разных эколого-трофических групп было выбрано шесть типичных гипергалинных озер в Макушинском муниципальном округе на востоке Курганской области, которые отличаются не только физико-химическими характеристиками природных вод, но и степенью антропогенного воздействия на них.

Динамику показателей эколого-трофических групп микроорганизмов изучали по сезонам в течение года. В полевых условиях производился отбор проб воды и донных иловых отложений с использованием стандартных методик гидробиологических исследований. Учет микроорганизмов проводили микробиологическим посевом на элективные твердые питательные среды. Определение численности микроорганизмов проводили с использованием метода прямого счета и предельных разведений. Для точности количественных показателей микроорганизмов было проведено не менее трех параллельных посевов.

В результате проведенных исследований было установлено, что количество микроорганизмов различных эколого-трофических групп изменяется вследствие сезонных изменений физико-химических показателей воды. Многообразие микробоценоза соленых озер высоко, но принципиально различно в отношении использования органического вещества и свободного кислорода. Среди определенных нами можно выделить следующие эколого-трофические функциональных группы:

- фототрофные микроорганизмы, объединяющие цианобактерии и пурпурные бактерии;
- хемоавтотрофы, восстанавливающие неорганические соединения;
- вторичные анаэробы, замыкающие циклы биогенных элементов;
- анаэробные хемолитоавтотрофные бактерии, такие, как нитрификаторы, бесцветные серобактерии, железобактерии;
- гетеротрофные бактерии, минерализующие белковые вещества.

Эти разнообразные группы микроорганизмов играют важную роль в поддержании трофической структуры соленых лимноэкосистем, участвуя в сложных биохимических процессах. Трофические взаимоотношения микроорганизмов, установившиеся в водоемах, во многом определяют функционирование экосистемы в целом.

Нашей группой начато изучение микробиологической активности обмена серы в экосистемах малых гипергалинных озер. Являясь основным химическим элементом, формирующим состав как водной, так и донной среды в таких озёрах, он способствует развитию в водоемах специфических трофических групп микроорганизмов. Первоначально можно акцентировать внимание на некоторых аспектах. В придонной илово-водной фазе присутствуют сульфатредуцирующие бактерий. В дальнейшем на протяжении 2025 г. будут исследоваться взаимодействия данной эколого-трофической группы с группами железоокисляющих и мавранцеокисляющих бактерий.

УДК 582.26:581.9

РАЗНООБРАЗИЕ ФИТОПЛАНКТОНА КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

Т. В. Еремкина[1]*, Д. Е. Корбут[1], М. И. Ярушина[2]

[1]Уральский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 620014, Екатеринбург, ул. 8 Марта 5)
[2] Институт экологии растений и животных УрО РАН (Россия, 620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202)
**Автор для переписки: eremkina@ural.vniro.ru*

Аннотация. Представлены результаты инвентаризации альгофлоры Белоярского, Волчихинского, Рефтинского и Черноисточинского водохранилищ Свердловской области. Показано высокое разнообразие водорослей и цианобактерий, сводный список которых составляет 61,7 % от общего видового состава фитопланктона водоемов региона. В Белоярском водохранилище выявлено 624 таксона водорослей и цианобактерий, Волчихинском – 124, Рефтинском – 360, Черноисточинском – 229. Наиболее разнообразны альгофлоры водоемов-охладителей. Показаны флористические различия фитопланктона исследуемых водоемов на уровне родовых спектров.

Ключевые слова: фитопланктон, водохранилище, Свердловская область, биоразнообразие

В связи с дефицитом водных ресурсов, обусловленных отсутствием крупных рек и озер, строительство водохранилищ на территории современной Свердловской области началось в 1700 г. и продолжалось до второй половины XX в. Практически все водоемы этого типа имеют комплексное назначение и используются как источники технического и хозяйственно-питьевого водоснабжения, рекреации, промышленного и любительского рыболовства, аквакультуры. Территория области характеризуется разнообразием ландшафтов, что обусловливает индивидуальные черты водохранилищ и представляет большой интерес для изучения их биоразнообразия. Альгологические исследования в водохранилищах области не имеют систематического характера, за исключением Белоярского водохранилища. Сведения о видовом составе их альгофлор отрывочны [Еремкина, 2020; Генкал, Еремкина, 2023].

В настоящей работе обобщены результаты оригинальных исследований (1976– гг.) и литературные данные о видовом разнообразии водорослей и цианобактерий водохранилищ Свердловской области (Черноисточинского, Рефтинского, Волчихинского и Белоярского). Отбор, обработка проб и приготовление постоянных препаратов для определения видового состава диатомовых водорослей выполнялись по стандартным методикам Методика ... , 1975]. При определении видов использовались отечественные и зарубежные систематические сводки, за основу классификации при оценке разнообразия водорослей принята система, используемая в альгологической базе данных Algaebase [Guiry, Guiry, 2025].

Сводный список водорослей и цианобактерий исследуемых водоемов составляет 792 таксона (61,7 % от общего таксономического списка альгофлоры водоемов Свердловской области). Таксономическое разнообразие фитопланктона исследуемых водоемов представлено в таблице. Наиболее разнообразны водоросли в Белоярском и Рефтинском водохранилищах. В Белоярском и Черноисточинском водохранилищах основу разнообразия формируют представители Heterokontophyta, преимущественно диатомовые водоросли (86,6 и от общего таксономического состава отдела, соответственно), в Волчихинском и Рефтинском – зеленые водоросли (38,7 и 38,6 % соответственно). Доля цианобактерий в общем разнообразии альгофлоры наиболее существенная в Волчихинском водохранилище), самая низкая – в Рефтинском (8,9 %). Сравнение видового состава водохранилищ показало, что наиболее близкими являются альгофлоры водоемов-охладителей (Белоярского и Рефтинского водохранилищ) с коэффициентом Серенсена 0,53, наиболее различаются альгофлоры Белоярского и Волчихинского водохранилищ (Кс = 0,25), водоема-охладителя и водохранилища-источника питьевого водоснабжения.

Таблица. Разнообразие фитопланктона исследуемых водохранилищ

Отдел	Количество таксонов			
	Белоярское	Волчихинское	Рефтинское	Черноисточинское
Charophyta	54	9	33	10
Chlorophyta	176	48	139	55
Cryptista	5	0	5	1
Cyanobacteria	96	20	32	22
Dinoflagellata	17	3	8	6
Euglenophyta	59	12	33	16
Heterokontophyta	216	32	110	119
Rhodophyta	1	0	0	0
Всего	624	124	360	229

Индивидуальные черты альгофлор водоемов более всего проявляются на уровне родовых спектров: **Белоярское водохранилище** – *Trachelomonas* (26 таксонов), *Closterium* (22), *Desmodesmus* (21), *Nitzschia* (21), *Cosmarium* (17), *Navicula* (13), *Microcystis* (11), *Gomphonema* (11), *Chlamydomonas* (9), *Dolichospermum* (8), **Волчихинское** – *Trachelomonas* (10), *Desmodesmus* (9), *Anabaena* (4), *Microcystis* (4), *Closterium* (3), *Staurastrum* (3), *Coelastrum* (3), *Oocystis* (3), *Dolichospermum* (3), *Mallomonas* (3), **Рефтинское** – *Trachelomonas* (24), *Desmodesmus* (18), *Cosmarium* (9), *Staurastrum* (9), *Nitzschia* (7), *Closterium* (6), *Oocystis* (6), *Aulacoseira* (6), *Pinnularia* (5), *Aphanocapsa* (5), **Черноисточинское** – *Nitzschia* (10), *Fragilaria* (7), *Trachelomonas* (7), *Closterium* (6), *Navicula* (6), *Desmodesmus* (5), *Monoraphidium* (5), *Gomphonema* (5), *Sellaphora* (5), *Dinobryon* (5).

Полученные данные являются основой для мониторинговых исследований и свидетельствуют о высоком разнообразии альгофлоры водоемов Свердловской области.

Список литературы

Еремкина Т. В. Разнообразие цианопрокариот (цианобактерий) в водохранилищах Свердловской области (Средний Урал) // Информационные технологии в исследовании биоразнообразия : материалы III Нац. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 100-летию со дня рождения акад. РАН П. Л. Горчаковского. Екатеринбург, 5–10 окт. 2020 г. Екатеринбург : Гуманитар. ун-т, 2020. С. 193–196. URL: https://insma.urfu.ru/images/ science/conf/BDI2020Proceedings.pdf

Генкал С. И., Еремкина Т. В. Диатомовые водоросли разнотипных водохранилищ Свердловской области (Средний Урал) // Биология внутренних вод. 2023. № 3. С. 291–300. DOI: 10.31857/S0320965223030087.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М. : Наука, 1975. 240 с.

Guiry M. D., Guiry G. M. *AlgaeBase.* World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2025. URL: https://www.algaebase.org (дата обращения: 12.05.2025).

УДК 574.5

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОГО И ХОЛОДНОГО СВЕТА МАЛЫХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ НА ПОВЕДЕНИЕ АМФИПОДЫ *EULIMNOGAMMARUS CYANEUS* (DYBOWSKY, 1874)

Я. К. Ермолаева[1], Д. Ю. Карнаухов[1,2]*, Ю. А. Пастухова[3], Е. Д. Варакина[4], С. М. Сидоров[5], А. И. Сидорова[5], М. А. Масленникова[1], Е. А. Зилов[1]

[1]Иркутский государственный университет
(Россия, 664025, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2]Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл., пос. Листвянка, ул. Академическая, 1а)
[3]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
(Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1)
[4]Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
(Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33)
[5]Институт водных проблем Севера КНЦ РАН
(Россия, 185030, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50)
**Автор для переписки: karnauhovdmitrii@gmail.com*

Аннотация. С каждым годом всё большую актуальность приобретает изучение светового загрязнения, негативно влияющего на организмы. Известно, что искусственный свет по-разному влияет на организмы, в том числе на амфипод, и в этом исследовании мы решили оценить влияние теплого и холодного света с интенсивностями 2 лк и 10 лк на поведение байкальской амфиподы *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky, 1874). В экспериментах амфиподам давался выбор между двумя типами света, либо между светом и темнотой. В результате было обнаружено, что и теплый, и холодный свет влияет на поведение особей. Однако стоит отметить, что оба типа света влияли на поведение амфипод одинаково. При этом значимое влияние на поведение *E. cyaneus* оказала интенсивность света у теплого освещения.

Ключевые слова: световое загрязнение, цветовая температура, светодиодный свет, Байкал, амфипода, искусственное освещение ночью

В современном мире широкое распространение приобретает световое загрязнение, которое возникает в результате использования искусственных источников освещения в ночной период. Ранее было показано, что искусственный свет по-разному влияет на организмы, в том числе амфипод [Disruptive effect … 2021 ; Hassan, Kobak, Czarnecka, 2024]. Поэтому в данной работе мы решили выяснить, как свет с разными спектральными характеристиками и небольшими интенсивностями влияет на поведение байкальской амфиподы *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky, 1874).

Для экспериментов использовался специальный аквариум, одна половина которого была раздвоена с помощью перегородки. С раздвоенной стороны аквариума размещался источник освещения с теплым или холодным светом, в другой конец аквариума одновременно помещались 5 особей на 3 мин, движение которых ограничивалось с помощью прозрачного цилиндра. По истечении данного времени цилиндр убирался, и особям давался выбор между сторонами аквариума, разделенных перегородкой, в течение 1 мин. В ряде экспериментов амфиподы делали выбор между следующими условиями освещения: 1) теплым 10 лк и холодным 10 лк светом; 2) теплым 10 лк и темнотой; 3) холодным 10 лк и темнотой; 4) теплым 2 лк и холодным 2 лк; 5) теплым 2 лк и темнотой; 6) холодным 2 лк и темнотой; 7) правой (теплый свет) и левой (холодный свет) сторонами аквариума в контроле (освещение полностью отсутствовало). Для каждого типа эксперимента проводилось по 24 повторности. Для сравнения частот выбора зон аквариума амфиподами между разными типами эксперимента использовался Хи-квадрат Пирсона с поправкой FDR на множественные сравнения.

В результате использования Хи-квадрата Пирсона было показано, что условия освещения влияют на поведение особей (рис.). При попарном сравнении выборок статистически значимые различия ($p < 0,05$) были обнаружены между следующими условиями освещения: 1 и 7, 2 и 7, 3 и 7, 4 и 7, 1 и 2, 1 и 3, 1 и 5, 1 и 6, 2 и 4, 2 и 5, 3 и 4, 4 и 5, 4 и 6.

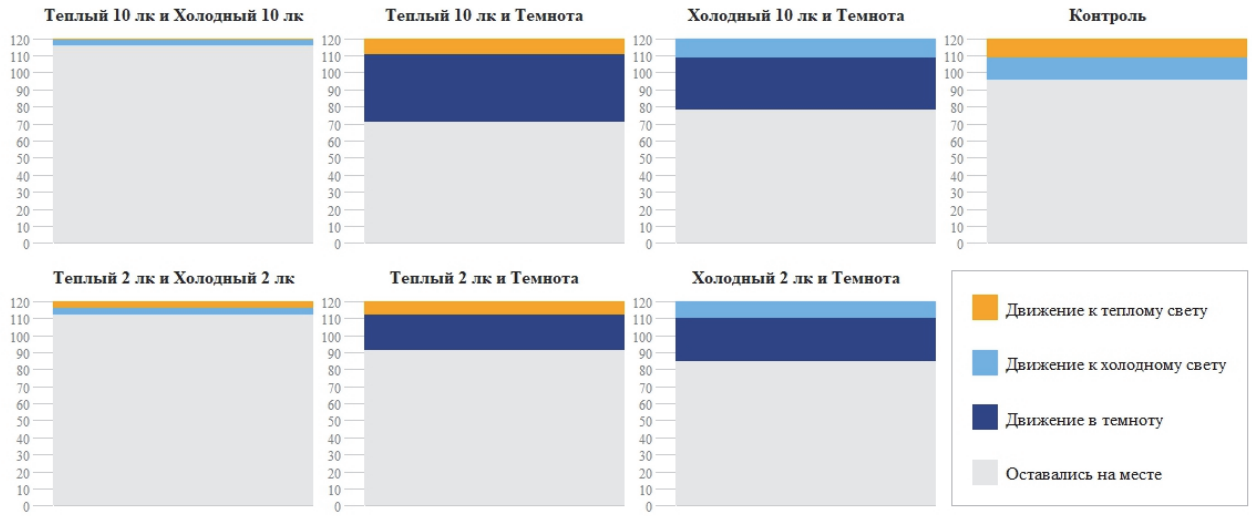


Рис. Выбор условий освещения особями *E. cyaneus*

Часть особей *E. cyaneus* как привлекалась на искусственный свет, так и избегала его. При этом отсутствие различий в поведении амфипод между теплым и холодным светом как при 10 лк, так и 2 лк может говорить о том, что спектральный состав света не оказывает влияние на поведение *E. cyaneus*. Полученные нами результаты противоречат ранее проведенным работам, в которых было показано влияние спектра света на поведение амфипод [Disruptive effect … 2021 ; Hassan, Kobak, Czarnecka, 2024], однако данные противоречия могут быть объяснены видоспецифичностью реакций разных видов на свет. Наличие статистически значимых различий между 10 лк и 2 лк теплого света может говорить о значимости интенсивности теплого освещения в формировании реакций на свет у *E. cyaneus*. Особи статистически достоверно в большей степени избегали теплого света с освещенностью 10 лк по сравнению с 2 лк. В целом продемонстрированная амфиподами слабая реакция избегания искусственного света в естественных условиях может привести к излишнему обнаружению особей хищниками и к соответствующим изменениям в трофических связях на отдельных участках литорали оз. Байкал, подверженных световому загрязнению.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00365, https://rscf.ru/project/24-24-00365/.

Список литературы

Disruptive effect of artificial light at night on leaf litter consumption, growth and activity of freshwater shredders / Czarnecka M., Kobak J., Grubisic M., Kakareko T. // Science of The Total Environment. 2021. N 786. Art. 147407. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147407

Hassan W., Kobak J., Czarnecka M. Artificial light at night alters foraging behavior of freshwater amphipods depending on the light spectrum and the presence of predation cues // Current Zoology. 2024. Art. zoae061. DOI: 10.1093/cz/zoae061

УДК 550.47

ВЛИЯНИЕ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

О. А. Ельчининова[1,2]*, О. В. Кузнецова[1,2], С. Я. Двуреченская[1], А. А. Кудачинова[1], О. К. Дементьева[1]

[1]Институт водных и экологических проблем СО РАН
(Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1)
[2]Горно-Алтайский государственный университет
(Россия, 649000, Горно-Алтайск, ул. Ленкина,1)
**Автор для переписки: eoa59@mail.ru*

Аннотация. Следствием рекреационного влияния на экосистемы прибрежной зоны Телецкого озера является развитая тропиночная сеть, приводящая к трансформации естественных биотопов. Цель исследований – изучение содержания и распределения биогенных элементов (Ca, K, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo) в почвах и растительности как одного из диагностических показателей, характеризующих эколого-биогеохимического состояния территории. В настоящее время не обнаружено значительных изменений в элементном химическом составе почв, обусловленных влиянием туристско-рекреационной деятельности. Содержания Mn, Cu, Zn не превышают нормируемых значений, Ca, K, Fe, Mo – в пределах фоновых значений. Анализ элементного химического состава разных частей растительных ассоциаций (корни, опад, живая надземная масса) показал, что основные закономерности поглощения и распределения химических элементов под влиянием туристско-рекреационной деятельности не изменились. Несмотря на некоторую стабильность элементного химического состава почв и растений, вследствие нарушения соотношения массы корней, живой надземной массы и опада под влиянием туристско-рекреационной деятельности происходит нарушение биогеохимических циклов химических элементов, выражающееся в изменении запасов конкретного элемента на единице площади.

Ключевые слова: туристско-рекреационная деятельность, тропиночная сеть, почвенно-растительный покров, живая надземная масса, опад и корни, биогенные элементы

Телецкое озеро – уникальный природный объект мирового значения, экосистемы озера и его водосборного бассейна выполняют особую рекреационную роль на Алтае и нуждаются во всестороннем исследовании. Значительная часть Телецкого озера и прилежащей территории (восточная и северо-восточная) относится к Алтайскому государственному природному биосферному заповеднику. В настоящее время возрастающая рекреационная нагрузка на окружающую среду сопровождается явным ущербом для неё. Наиболее наглядно этот процесс прослеживается в лесных массивах и береговых зонах водоемов. Экологические проблемы именно этих территорий привлекают большое внимание как отечественных, так и зарубежных ученых. Изучению влияния рекреации на почвенный и почвенно-растительный покров береговых зон водоемов посвящены работы Л. Д. Балсановой, А. Б. Гыниновой [2011], Г. Д. Рудаковой [2018], В. В. Чупровой, Г. Д. Рудаковой [2012], Е. А. Белоновской и др. [2019], R. Buckly [2004].

Следствием рекреационного влияния на экосистемы исследуемой территории являются развитая тропиночная сеть, приводящая к трансформации естественных биотопов. Отбор проб проводили на типичных для исследуемой территории тропах, с одновременным отбором на незатронутой рекреацией территории с ненарушенным почвенно-растительным покровом для получения исходных параметров состояния. Объектами исследования были почвы, и растительность. Отбор проб почв осуществляли по ГОСТ 17.4.3.01-83. Опад и растительность отбирали в местах, сопряженных с местом отбора почвенных проб с площади 0,25 м^2. Растительные ассоциации с единицы площади разделяли на живую надземную массу, корни и опад. Определение содержания химических элементов в почве и растениях проводили методом РФА СИ (рентгено-флуоресцентный анализ с использованием синхротронного излучения) в Институте ядерной физики СО РАН [Piminov, Baranov, Bogomyakov, 2016].

В настоящее время нами не обнаружено значительных изменений в элементном химическом составе почв, обусловленных влиянием туристско-рекреационной деятельности. Содержания биогенных элементов (Mn, Cu, Zn) не превышают нормируемых значений для почв легкого гранулометрического состава (ОДК, 2009). Содержание остальных биогенных элементов (Ca, K, Fe, Mo) находится в пределах фоновых значений.

Содержание и распределение химических элементов в почвах и растительности рассматриваются как один из диагностических показателей, характеризующих эколого-биогеохимическое состояние территорий. Анализ элементного химического состава разных частей растительных ассоциаций (корни, опад, живая надземная масса) показал, что основные закономерности поглощения и распределения (транслокации) химических элементов под влиянием туристско-рекреационной деятельности не изменились.

Наибольшее количество калия и молибдена накапливается в живой надземной массе, затем в опаде и корнях. Для остальных биогенных элементов (Ca, Fe, Mn, Cu, Zn) распределение по частям растительных ассоциаций выглядит следующим образом: корни> >опад>надземная масса. Но вследствие нарушения под влиянием туристско-рекреационной деятельности соотношения массы корней, живой надземной массы и опада происходит нарушение биогеохимических циклов химических элементов.

Несмотря на некоторую стабильность элементного химического состава почв и растений, вследствие нарушения соотношения массы корней, живой надземной массы и опада под влиянием рекреации происходит нарушение биогеохимических циклов химических элементов, выражающееся в изменении запасов конкретного элемента на единице площади.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (номер гос. регистрации 121031200177-1, FUFZ-2021-0003).

Список литературы

Балсанова Л. Д., Гынинова А. Б. Влияние рекреаций на некоторые свойства почв прибрежных ландшафтов озера Котокельское // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2011. № 3 (24). С. 37–44. DOI: 10.34655/bgsha

Оценка рекреационного потенциала национального парка «Валдайский» / Е. А. Белоновская, В. В. Виноградова, М. А. Пономарев [и др.] // Известия РАН. Серия географическая. 2019. № 4. С. 97–111. DOI: 10.31857/S2587-55662019497-111

Рудакова Г. Д. Оценка рекреационного воздействия на основные компоненты экосистемы в приозерной зоне Чулымо-Енисейской котловины. Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2018. 167с.

Чупрова В. В., Рудакова Г. Д. Влияние рекреации на почвы в приозерной зоне Чулымо-Енисейской котловины // Почвы Сибири: особенности функционирования и использования : сб. науч. ст. 2012. Вып. 4. С. 78–89.

Buckly R. Environmental impacts of ecotourism. Cambridge. USA : CABI Publ., 2004. 389 p.

Piminov P. A., Baranov G. N., Bogomyakov A. V. Synchrotron radiation research and application at VEPP-4 // Physics Proceedia. 2016. Vol. 84. P. 19–26. DOI: 10.1016/j.phpro.2016.11.005

УДК 574.23

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОЙ АДАПТАЦИИ И ОСТРОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СТРЕССА У СИГОВЫХ РЫБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАНСКРИПТОМНОГО И ЭПИГЕНОМНОГО АНАЛИЗОВ

А. А. Епифанцев*, А. Г. Королева, Т. В. Сидорова, Л. В. Суханова, О. Ю. Глызина, Е. А. Вахтеева, Л. И. Толстикова, В. М. Черезова, Ю. П. Сапожникова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: epifantsevalexander@yandex.ru*

Аннотация. Исследование направлено на изучение влияния тепловой преадаптации икры и последующего острого теплового стресса на транскрипционные перестройки и эпигенетические изменения у личинок байкальского сига. Метод корреляции Пирсона выявил три четких кластера дифференциально экспрессирующихся генов: стресс-ответ (HSP); метаболизм; кислородный обмен и иммунитет. Адаптированные особи демонстрируют более эффективную регуляцию клеточных процессов при остром тепловом стрессе, повышенную экспрессию генов, связанных с кислородным обменом и иммунным ответом, а также специфические паттерны метилирования: гиперметилирование экзонов и гипометилирование интронов. Таким образом, температурная адаптация на ранних стадиях развития формирует устойчивость за счет эпигенетических и транскрипционных механизмов, обеспечивая лучшую адаптацию к температурным колебаниям.

Ключевые слова: байкальский сиг, температурный стресс, гормезис, HSP, транскриптомика, эпигенетика

Температурный стресс оказывает значительное влияние на рыб, в особенности на холодолюбивые виды. Температурные изменения способны влиять на физиологию, нерестовое поведение и репродуктивный успех рыб. На молекулярном уровне отклонение от температурного оптимума вызывает окислительный стресс и денатурацию белков, что изменяет клеточные процессы [Thermal ... , 2023]. Несмотря на хорошо изученные механизмы эндогенной защиты, включая реакцию на тепловой шок, влияние острых температурных колебаний на холодолюбивые виды в условиях аквакультуры изучено недостаточно. Перспективным решением для развития стрессоустойчивости холодолюбивых рыб в аквакультуре может стать температурная предварительная адаптация на ранних стадиях развития, способствующая поддержанию физиологических функций в условиях изменяющейся среды [Transcriptional ... , 2024].

Данная работа направлена на исследование эффектов температурной адаптации икры на последующую стрессоустойчивость молоди ценных сиговых рыб, на примере байкальского сига *Coregonus baicalensis* Dybowski, 1874, с применением методов транскриптомного и эпигеномного анализа. Оплодотворенная икра инкубировались при следующих условиях: 1) контроль при температуре 3–6 °C; 2) температурная адаптация, начиная с 30-го дня после оплодотворения (повышение температуры на 6 °C по сравнению с контролем с последующим снижением до исходных значений два раза в неделю). Общая продолжительность адаптации составила три месяца. Далее были разработаны методы содержания месячной молоди при температуре 10–12 °C и последующей термической экспериментальной обработкой после выклева. В эксперименте учитывались контрольные особи и особи, подвергавшиеся воздействию стрессовой температуры (+12 °C относительно контроля) (обе группы включали две подгруппы – с адаптацией и без). Всего было проанализировано 45 особей (8–16 рыб на группу).

Для изучения транскрипционных перестроек, связанных с температурным стрессом и адаптацией у байкальского сига, была проведена de novo сборка транскриптома. Кластеризация по схожим паттернам экспрессии показала разделение дифференциально экспрессирующихся генов на три группы: (I) отвечающие за передачу сигнала, активирующего реак-

цию на стресс (*HSP-30* (*YRO1*), *HSP-40* (*DNAJ*), *HSP-47* (*SERPIN*), *HSP-70* (*HSPA*), *HSP-90* (*HSPC*) *TRIM16*; (II) отвечающие за регуляцию метаболизма (*MtCK*, *ARF*, *aFGF*, *D-DT* и *CRYGB*); (III) отвечающие за уровень кислорода, рост и иммунный ответ (*HBB*, *MHC*, *Plumieribetin*, *TnI*, *HBA*, *Myosin VI*, *Myosin VII*, *CYP450* и *LDB3*). Гены в первой группе значительно увеличили свою экспрессию в ответ на острый тепловой стресс, независимо от адаптации, в то время как экспрессия генов в третьей группе была выше только у особей, которые ранее подверглись адаптации на стадии икры. Гены, отвечающие за регуляцию метаболизма, также различались между исследованными группами: они показали повышенную активность у неадаптированных особей после острого теплового стресса.

Дополнительные исследования включали комплексный анализ метилирования ДНК методом бисульфитного секвенирования. На основе полученных данных была оценена связь профиля метилирования и дифференциальной экспрессии генов: насколько активность генов связана с метилированием и насколько сильно профиль метилирования меняется при стрессе. Анализ метилирования включал: общую плотность метилирования и идентификацию дифференциально метилированных генов (ДМГ). Эти анализы использовались для построения профиля метилирования каждой экспериментальной группы.

Сравнительный анализ выявил существенные различия в эпигенетических профилях между группами: адаптированные особи демонстрировали наиболее выраженное гипометилирование ДМГ, тогда как у неадаптированных доминировало гиперметилирование ДМГ. Установлено, что адаптация приводит к гипометилированию интронов и промоторов генов, а экзоны, напротив, гиперметилируются, что влияет на регуляцию клеточных процессов и метаболизм макромолекул. У неадаптированных особей после острого температурного стресса гипометилируются интроны, экзоны и другие регионы, т. е. происходит активация генома. В адаптированных группах острый температурный стресс вызывает гиперметилирование интронов и гипометилирование экзонов, что затрагивает регуляцию клеточных процессов, сигнальную трансдукцию, протеолиз, мембранные процессы и клеточную адгезию.

Полученные результаты дают возможность утверждать, что адаптация к температурному стрессу у байкальского сига на ранних этапах развития способствует формированию устойчивости (эффект гормезиса) за счет изменения экспрессии отдельных генов и их эпигенетической регуляции, что позволяет эффективнее справляться с последующими колебаниями температуры.

Благодарности. Работа выполнена на базе УНУ «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» ЛИН СО РАН в рамках бюджетной темы № 0279-2021-0005 (121032300224-8), а также проектов РНФ № 23-24-00644 (рук. Сапожникова Ю. П.) и № 25-24-00634 (рук. Суханова Л. В.).

Список литературы

Thermal Preconditioning Alters the Stability of Hump-Snout Whitefish (*Coregonus fluviatilis*) and Its Hybrid Form, Showing Potential for Aquaculture / Yu. P. Sapozhnikova, A. G. Koroleva, V. M. Yakhnenko [et al.] // Biology. 2023. Vol. 12, N 10. P. 1348.

Transcriptional Rearrangements Associated with Thermal Stress and Preadaptation in Baikal Whitefish (*Coregonus baicalensis*) / Y. P. Sapozhnikova, A. G. Koroleva, T. V. Sidorova [et al.] // Animals. 2024. Vol. 14, N 21. P. 1–29.

УДК 575.174

АНАЛИЗ *DE NOVO* МУТАЦИЙ *CYPRINUS CARPIO* ПРИ ХИМИЧЕСКОМ МУТАГЕНЕЗЕ И ТЕПЛОВОМ СТРЕССЕ

Б. Э. Ефименко[1,2*], А. В. Кузьмин[1], К. В. Гунбин[1], Н. С. Мюге[3], К. Ю. Попадьин[1]

[1]Балтийский федеральный университет им. И. Канта (Россия, 236041, Калининград, ул. Александра Невского, 14)
[2]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[3]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 105187, Москва, Окружной просп.,19)
**Автор для переписки: bogdan-efimenko@list.ru*

Аннотация. В работе исследовано влияние теплового стресса на очищающий отбор при индуцированном химическом мутагенезе у обыкновенного карпа. Анализ 30 геномов потомства выявил: 1) пятикратное увеличение частоты однонуклеотидных замен при химическом мутагенезе с сохранением характерного мутационного спектра; 2) отсутствие влияния температуры на частоту мутаций; 3) признаки усиленного очищающего отбора в группе «мутагенез+тепло». Полученные результаты показывают, что тепловой стресс усиливает элиминацию вредных мутаций, не влияя на их возникновение, что открывает перспективы для разработки методов снижения генетического груза в аквакультуре.

Ключевые слова: *de novo* мутации, очищающий отбор, N-нитрозо-N-этилмочевина, тепловой стресс, очищающий отбор, генетический груз

Стада культивируемых видов рыб, таких как обыкновенный карп (Cyprinus carpio), в условиях аквакультуры часто подвергаются близкородственному скрещиванию и существуют в ограниченных по размеру популяциях. Это приводит к накоплению слабовредных мутаций, которые снижают общую приспособленность особей и негативно влияют на ключевые селекционные признаки: скорость роста, массу тела и устойчивость к стрессовым факторам [Moyers, Morrell, McKay, 2018].

Для изучения механизмов снижения генетического груза мы провели эксперимент, сочетающий химический мутагенез спермы и тепловое воздействие на эмбрионы карпов [Improving ... , 2023]. Цель работы – оценить, может ли тепловой стресс усилить эффективность очищающего отбора. Мы предположили, что тепловое воздействие усиливает негативные эффекты вредных мутаций, снижая приспособленность особей, что приводит к более строгой элиминации мутантных особей очищающим отбором, уменьшая генетический груз в популяции. Для проверки данной гипотезы мы использовали N-нитрозо-N-этилмочевину (НЭМ) – химический мутаген, индуцирующий однонуклеотидные замены и служащий для воссоздания долговременного эффекта мутагенеза, – и контролируемый тепловой стресс.

Эксперимент проводили на обыкновенном карпе в филиале по пресноводному рыбному хозяйству «ВНИРО» («ВНИИПРХ») и ОСПХ «Якоть». Сперму одного самца разделили на две группы: контрольную и группу, подверженную химическому мутагенезу (2 мМ НЭМ). Оплодотворение проводили икрой одной самки. После оплодотворения на стадии 22 сомитов часть эмбрионов была подвергнута тепловому воздействию (38 °C, 50 мин). Параметры воздействий были оптимизированы в предшествующих исследованиях [Improving … , 2023].

Для генотипирования отобрали 32 особи: двух родителей и 30 сеголеток (10 контрольных, 10 после обработки НЭМ и 10 после комбинированного воздействия НЭМ + тепло). Группу, подвергнутую только тепловому воздействию, не секвенировали. ДНК выделяли из брюшных плавников. Полногеномное секвенирование выполняли на платформе BGI (DNBSEQ, PE150). Полученные прочтения обрабатывали стандартным образом и выравнивали на референс ASM1834038v1, после чего фильтровали ПЦР-дубликаты и низкокачественные прочтения. Совместный коллинг вариантов проводили в GATK4, аннота-

цию – в VEP. *De novo* мутации идентифицировали как варианты с генотипом 0/1 у потомков при генотипе 0/0 у родителей.

Генотипирование 32 образцов выявило 14 млн вариантов с покрытием (DP) >10 и качеством (GQ) >20 при медианном покрытии 20. Для анализа *de novo* мутаций (ДНМ) использовали варианты с DP>25 и GQ>40. Всего было получено 1390 мутаций на 30 сеголеток. В контрольной группе средняя скорость однонуклеотидных замен составила 10^{-8} на сайт за поколение (рис.), что согласуется с литературными данными [Evolution ... , 2023]. В экспериментальных группах обработка НЭМ привела к пятикратному увеличению скорости однонуклеотидных замен (SNP) без значимых изменений для инделов, что соответствует профилю данного мутагена [A Compendium … , 2019]. Тепловой стресс не повлиял на частоту мутаций. Мутационный спектр 20 обработанных НЭМ образцов показал высокое сходство с эталонным спектром НЭМ в клетках человека (косинусное сходство = 0,7) [A Compendium … , 2019], подтверждая эффективность мутагенеза. При сравнении групп НЭМ+тепло и НЭМ обнаружены (i) рост отношения Ka/Ks ($p < 0,05$, критерий Манна – Уитни) и (ii) снижение дистанции Грэнтхема для аминокислотных замен ($p < 0,05$), что указывает на усиление очищающего отбора при тепловом стрессе. Это согласуется с гипотезой о селективной элиминации особей с вредными мутациями.

Таким образом, тепловой стресс, предположительно, усиливает очищающий отбор, снижая генетический груз в потомстве. Воздействие тепловым стрессом на эмбрионы может быть перспективным методом селекции обыкновенного карпа и других культивируемых рыб, посредством элиминации слабовредных мутаций.

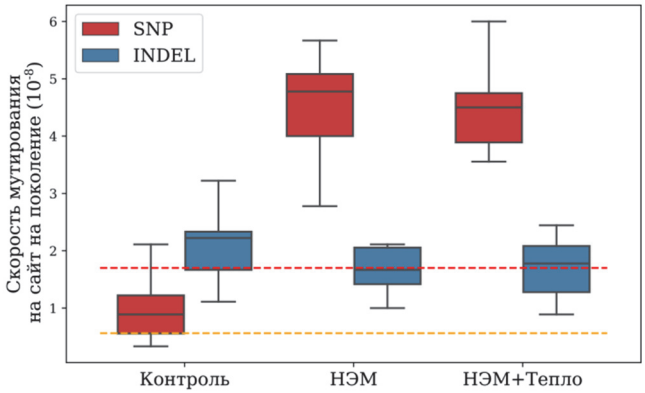


Рис. Скорости мутирования, разделенные по типу мутаций, для трех исследуемых групп. Пунктирные линии отображают среднее (оранжевая) и максимальное (красная) значения скорости мутирования SNP обыкновенного карпа на основе [Evolution ... , 2023]

Благодарности. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-15-2021-1084 и № 075-15-2025-479).

Список литературы

A Compendium of Mutational Signatures of Environmental Agents / J. E. Kucab, Z. Xueqing, M. Sandro [et al.] // Cell. 2019. Vol. 177, N 4. P. 821–836. e16. DOI: 10.1016/j.cell.2019.03.001

Evolution of the Germline Mutation Rate across Vertebrates / L. A. Bergeron, S. Søren, Z. Jiao [et al.] // Nature 2023. N 615 (7951). P. 285–291. DOI: 10.1038/s41586-023-05752-y

Improving Genome Quality through Artificial Truncating Purifying Selection Using Heat Shock: Case of Carps / A. Kuzmin, E. Vinogradov, D. Balashov [et al.] // bioRxiv. 2023. DOI: 10.1101/2023.01.20.524958

Moyers B. T., Morrell P. L., McKay J. K. Genetic costs of domestication and improvement // Journal of Heredity, 2018. Vol. 109, *N* 2. P. 103–116. DOI: 10.1093/jhered/esx069

УДК 556.531

СОВРЕМЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОДЫ РЕК БАССЕЙНА ЗАПАДНОЙ ДВИНЫ

Л. Е. Ефимова*, Е. О. Льюмменс, В. А. Ефимов

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Географический факультет (Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1)
**Автор для переписки: ef_river@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрен современный химический состав воды верхней (российской) части бассейна Западная Двина. Он формируется под влиянием природных факторов. Выявлены реки, водосборы которых характеризуются ландшафтными особенностями, определяющими их гидрохимические показатели (минерализацию и pH воды, концентрации биогенных элементов и цветность). В водных объектах бассейна Западной Двины преобладают растворенные формы биогенных элементов, их доля достигает 90 %.

Ключевые слова: река, водосбор, ландшафт, биогенные элементы, органическое вещество

В настоящее время экологическое состояние вод Западной Двины на территории РФ можно охарактеризовать как «условно-фоновое». Основные природные факторы, формирующие химический состав и режим вод бассейна, это гидрологические особенности и ландшафтно-геохимическая структура территории. Существенную роль в питании реки играют воды болотных массивов. Источниками загрязнения вод являются коммунально-бытовые стоки населенных пунктов и диффузный поверхностный сток с сельскохозяйственных территорий. На водосборе в небольших масштабах происходит добыча полезных ископаемых (торфа, бурого угля, песчано-гравийного материала).

Цель работы – охарактеризовать современный химический состав вод бассейна Западной Двины, проанализировать пространственную и сезонную изменчивость содержания органических и биогенных веществ в водах реки и ее притоков.

Исследование основано на материалах полевых кампаний 2017–2018, 2020 и 2021 гг., данных литературных источников [Кольмакова, Маслова, Гриб, 2011; Схема … , 2010]. Использованы ландшафтно-гидрологические методы анализа.

На территории водосбора Западной Двины, выделены 4 ландшафтных района: Торопо-Западнодвинский, Велесо-Межский, Обшинский [Дорофеев, Хохлова, 2016; Тихомиров, Пахомов, 2017], к которым нами добавлен Касплинский район. В пределах основных районов выделены водосборы рек, которые характеризуются определенными ландшафтными особенностями и набором гидрохимических характеристик. Так, р. Туросна характеризует участки с высокой заозеренностью водосбора, р. Белейка – со значительной долей подземных вод в ее питании. Сосенка – типичная река с высокой заболоченностью водосбора, что определяет кислую среду (pH 4,3–5,2) и низкую минерализацию (30–50 мг/л).

В бассейне Западной Двины основным фактором, определяющим биогенную нагрузку и влияющим на ее изменения является природный. Концентрации и соотношения между формами фосфора отличаются в разных частях бассейна и изменяются в зависимости от сезона в диапазоне от 15 до 145 мкг/л. Содержание валового фосфора в большинстве исследуемых объектов наиболее высокое в летне-осенний период. Относительно пониженными концентрациями валового фосфора характеризуются водотоки верхней части бассейна Западной Двины. Суммарный растворенный фосфор в период прохождения половодья составляет более 60 % валового фосфора. В период зимней межени практически во всех обследованных водотоках доля растворенного минерального фосфора составляет 40–55 мкг/л (60–75 % суммарного минерального фосфора). Взвешенный минеральный фосфор составляет около 30 %, при этом взвешенный органический фосфор в период зимней межени практически равен нулю. Таким образом, для значительной части рек характерна большая доля растворенной органической формы фосфора (превышает 50 % общего).

Самые высокие концентрации растворенного органического азота достигают 10–13 мг/л в периоды повышенной водности, в то время как в зимнюю межень они не превышали 1,1 мг/л. Концентрации взвешенного азота во все рассматриваемые сезоны меняются незначительно – в пределах 0,5–2 мг/л.

Растворенный органический содержится в водах бассейна в диапазоне 24–36 мг/л, в то время как его содержание во взвешенной форме не превышало 10 мг/л. Наиболее высокие концентрации углерода отмечены в водотоках Велесо-Межского и Обшинского ландшафтных районов.

Концентрация кремния в водотоках бассейна Западной Двины варьирует от 1 до 10 мг/л. Наибольшее содержание элемента отмечается в реках, где значимую роль в питании играют подземные воды, а также на заболоченных территориях. К таким водным объектам можно отнести водотоки, расположенные в Велесо-Межском и Обшинском ландшафтных Самые низкие концентрации (2–3 мг/л) выявлены в реках Торопо-Западнодвинского района, во все сезоны содержание показателя в среднем составляет 2–3 мг/л. На спаде половодья в водах бассейна Западной Двины отмечен значительные разброс между концентрациями кремния по сравнению другими сезонами. Такая особенность может быть связана с замедленным поступлением кремния из болот.

Цветность воды является физико-химическим показателем ее качества и считается косвенным показателем содержания органического вещества. Максимальная цветность воды характерна для водотоков с заболоченными водосборами и достигает значений более 700º. В водотоках юго-западной части бассейна величина цветности в 10–15 раз меньше, а минимумы характерны для водотоков с преимущественно подземным питанием.

Заключение. 1. Современный гидрохимический фон в бассейне трансграничной р. Западной Двины на территории России формируется под влиянием природных факторов. 2. Влияние антропогенного фактора на химический состав воды невелико. Разрушение мелиоративных систем и трансформация агроландшафтов (зарастание и заболачивание) приводят к увеличению содержания в воде органических веществ. 3. В водах бассейна Западной Двины преобладают растворенные органические формы фосфора, азота и углерода. 4. Полученные в работе результаты могут быть использованы для усовершенствования системы мониторинга качества вод и создания региональных ПДК.

Список литературы

Дорофеев А. А., Хохлова Е. Р. Ландшафты Тверской области. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2016. 120 с.

Кольмакова Е. Г., Маслова О. И., Гриб С. В. Биогенный сток рек бассейна Западной Двины как показатель агрохозяйственного освоения водосборов // Вестник Брестского государственного технического университета. 2011. Вып. 7, ч. 2. С. 79–88.

Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Западная Двина (Российская часть). Смоленск, 2010. 143 с.

Тихомиров О. А., Пахомов П. М. К формированию системы мониторинга эколого-гидрохимического состояния водных объектов региона // Вестник ТвГУ. Серия «Химия». 2017. № 2. С. 140–151.

УДК 556.555.4

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР КАРЕЛИИ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Т. В. Ефремова[1]*, Н. И. Пальшин[1], Р. Э. Здоровеннов[1], Г. Э. Здоровеннова[1], С. Р. Богданов[1], Т. Г. Кравченкова[2], С. И. Смирнов[1]

[1]Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (Россия, 185030, Петрозаводск, просп. А. Невского, 50)
[2]Карельский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Россия, 185031, Петрозаводск, Наб. Варкауса, 3)
**Автор для переписки: efremova@nwpi.krc.karelia.ru*

Аннотация. Целью данной работы является анализ изменений, т. е. трендов и климатических сдвигов режима в долгосрочных временных рядах температуры поверхности воды в 10 разнотипных озёрах Карелии за период 1950–2022 гг.

Ключевые слова: озеро, климат, температура воды, тренд, климатический сдвиг

Для выявления реакции термического режима разнотипных озер Карелии на изменения климата использованы многолетние данные (1953–2022 гг.) инструментальных ежедневных измерений температуры поверхностного слоя воды у берегов 10 озер Карелии (гидрологические посты Росгидромета). Исследуемые озёра расположены в северной, центральной и южной Карелии от 61° до 66° с. ш. и от 31°до 37° в. д. В выборку включены крупнейшие озёра Европы (Ладожское и Онежское), крупные и глубоководные озёра (Топозеро, Сегозеро), крупное и мелководное (Выгозеро), средние (Сямозеро, Водлозеро, Ведлозеро) и малые озёра (Ругозеро, Тулмозеро).

Климатические изменения проявляются прежде всего в изменении температуры воздуха, поэтому для каждого озера подбиралась ближайшая репрезентативная метеостанция. Проведенный анализ данных наблюдений приземной температуры воздуха позволяет сделать вывод о сохраняющемся устойчивом потеплении регионального климата Карелии во все сезоны года. Анализ временных рядов среднемесячной, сезонной и среднегодовой приземной температуры воздуха на метеостанциях за 1953–2022 гг. показал, что потепление наблюдается во все сезоны года. Скорость роста среднегодовой температуры воздуха (линейный тренд) составила +0,32–0,36 °С/10 лет, летом – +0,14–0,15 °С/10 лет на северных метеостанциях 0,25–0,27 °С/10 лет на южных метеостанциях.

На всех озёрах наблюдались положительные тренды температуры поверхностного слоя воды во все месяцы периода открытой воды (май – октябрь). Значения скорости роста температуры поверхности воды летом составляли в среднем за исследуемый период от +0,25 °С/10 лет на северном оз. Топозеро до +0,54 °С/10 лет на Ладожском озере (Валаам). В последние тридцать лет темпы роста температуры поверхности воды увеличились на всех озёрах в полтора-два раза. Линейные тренды статистически значимы на уровне $p < 0,05$.

Поскольку регрессионный анализ не учитывает резкие изменения во временном ряду (сдвиги), использовался метод, предложенный в [Rodionov, 2004]). Климатический сдвиг режима приземной зимней температуры воздуха (декабрь – март) произошел в регионе в 1988/89 г., а весенней и летней на 10 лет позже: в 2000 г. Положительный сдвиг в значениях температуры поверхности воды также отмечен во всех озёрах в 1999 и 2000 гг.

Список литературы

Rodionov S. A sequential algorithm for testing climate regime shifts // Geophysical Research Letters. 2004. Vol. 31, N 9. DOI: 10.1029/2004GL019448

УДК 504.4.054

ДИНАМИКА СЛУЧАЕВ ВЫСОКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ В 2015–2024 ГГ.

Е. А. Жадановская[1], С. А. Громов[1,2]*

[1]Институт глобального климата и экологии им. академика. Ю. А. Израэля (Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б)
[2] Институт географии РАН (Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29)
**Автор для переписки: sergey.gromov@igce.ru*

Аннотация. Проведен статистический анализ случаев высокого и экстремально высокого химического загрязнения поверхностных пресных вод, полученных по данным государственного мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды, в границах Байкальской природной территории за период 2015–2024 гг. Определены основные загрязнители водотоков исследуемого региона. Показано, что высокие уровни загрязнения водных объектов бассейна оз. Байкал носят локальный характер и обусловлены не только постоянной нагрузкой от промышленных комплексов и населенных пунктов, но и являются результатом аварийных ситуаций в городах.

Ключевые слова: поверхностные пресные воды, высокие уровни загрязнения, бассейн оз. Байкал

Критерии экстремально высокого и высокого загрязнения (ВЗ и ЭВЗ) окружающей природной среды установлены Приказом Росгидромета от 31.10.2000 № 156 и применяются территориальными органами Росгидромета для подготовки и передачи в ФГБУ «ИГКЭ» оперативной информации о высоком и аварийном загрязнениях окружающей среды на территории Российской Федерации.

ЭВЗ поверхностных пресных вод – уровень загрязнения, при котором концентрация загрязняющего вещества превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) в 5 и более раз для веществ 1–2 классов опасности и в 50 и более раз для веществ 3–4 классов; ВЗ – в 3–5 раз для веществ 1–2 классов опасности, в 10–50 раз для веществ 3–4 классов, в 30–50 раз для нефтепродуктов, фенолов, ионов марганца, меди и железа.

В работе использовалась информация о ВЗ и ЭВЗ поверхностных пресных вод из ежемесячно пополняемой базы данных «Оперативный мониторинг» ФГБУ «ИГКЭ».

За период 2015–2024 гг. в границах территорий Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края ЭВЗ поверхностных пресных вод веществами 1–4 классов опасности было зарегистрировано 110 раз, ВЗ – 219 раз; из них 41 % приходился на Байкальскую природную территорию (БПТ) – 64 и 72 раза соответственно.

Анализ межгодовой динамики суммарного количества ВЗ и ЭВЗ для БПТ выявил тенденцию к его увеличению: 2015 г. – 0 случаев; 2016, 2017 и 2020 гг. – по 3 случая в год; 2018 г. – 6; 2019 г. – 23; 2021 – 14; 2022 – 16; 2023 г. – 29; 2024 г. – 39 (13 из них получено лицензиатами Росгидромета).

Приоритетными загрязняющими веществами для водных объектов исследуемого региона являются кадмий, марганец и фториды, на долю которых приходилось 60 % от общего количества случаев ВЗ и ЭВЗ за 10 лет (табл.). За весь рассматриваемый период концентрации фторидов не достигали уровня ЭВЗ, при этом 2/3 случаев загрязнения кадмием и половина случаев марганцем превысили пороговые значения ЭВЗ.

Самым загрязненным водотоком БПТ стала р. Модонкуль в районе г. Закаменска (Республика Бурятия), где было зарегистрировано наибольшее количество случаев ВЗ и ЭВЗ за период 2015–2024 гг. – 92, треть их них – уровня ЭВЗ. Суммарный вклад соединений кадмия, марганца и фторидов в загрязнение данного водного объекта составил 79 %, соединений меди и цинка – 20 %. Все случаи загрязнения поверхностных пресных вод соединениями молибдена были зафиксированы в р. Кае на территории Иркутского района и г. Иркутска и явились результатом аварийной ситуации на пульпопроводе Ново-Иркутской

ТЭЦ. Ртутное загрязнение водотоков Забайкальского края (9 случаев) было установлено лицензиатом Росгидромета в зоне влияния свалки ТКО. Аварийное загрязнение нефтепродуктами в границах БПТ фиксировалось в акватории р. Ангары в черте г. Иркутска (февраль 2018 г.), г. Усолья-Сибирского (на уровне ЭВЗ, октябрь 2018 г.), ледовой поверхности оз. Байкал вблизи о. Огой (апрель 2022 г.), Ершовского залива Иркутского водохранилища (октябрь 2022 г.).

Таблица. Высокие уровни загрязнения поверхностных пресных вод в границах БПТ (суммарный показатель): *N*/Δ*C*, где N – количество случаев, Δ*C* – диапазон изменения концентрации загрязняющих веществ в ПДК

Ингредиент (класс опасности)		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
I	Кадмий (2)									3 /4-**10**
	Молибден (2)								6 /**5-84**	5 /4-**22**
	НП (3)			1 /**129**						
	Ртуть (1)					1 /**8**			7 /3-**25**	
II	Азот амм. (4)									1 /24
	Алюминий (4)				1 /46					
	Кадмий (2)			1 /3	6 /**6-24**	2 /**5**	4 /3-4	2 /3-4	6 /4-**10**	6 /3-**11**
	Марганец (4)				2 /34-45		6 /32-**192**	5 /37-**119**	6 /32-**140**	6 /31-**187**
	Медь (3)				3 /**61-166**			1 /38	1 /**91**	2 /34-**60**
	Фосфаты (4)									1 /21
	Фториды (3)	2 /14-18	2 /12	2 /11-12	8 /10-21		2 /17	4 /11-13	1 /11	2 /11
	Цинк (3)				2 /11-18		2 /14-31	4 /10-13	2 /13	1 /11
III	Азот нитр. (4)	1 /13	1 /24							
	БПК5 (в мг/дм^3)									2 /28
	Марганец (4)			2 /30-48						1 /**59**
	Ртуть (1)									9 /3-**274**
	ДДТ (1)				1 /4					

Примечание: жирным шрифтом выделена концентрация, достигающая уровня ЭВЗ; НП – нефтепродукты; I – Иркутская обл., II – Респ. Бурятия, III – Забайкальский край.

Таким образом, загрязнение поверхностных пресных вод на территории БПТ обусловлено сочетанием антропогенных и природных факторов. Несмотря на то что анализ данных за 10 лет показал увеличение количества случаев ВЗ и ЭВЗ в регионе, нельзя однозначно говорить о росте загрязнения водных объектов, поскольку с 2022 г. увеличилось количество источников информации и ее объем в результате реорганизации государственной системы наблюдений согласно Постановлению Правительства РФ от 06.06.2013 № 477 (ред. от 02.10.2024).

Благодарности. Сбор, систематизация и оценка данных проведены в рамках темы 4.5 Плана НИТР Росгидромета (рег. № 125031703848-8) на 2025 г. Географический анализ проведен в работах по Госзаданию FMWS-2024-0009 № 1023032700199-9 Института географии РАН.

УДК 574.24

ВЛИЯНИЕ МИКРОПЛАСТИКА НА ПАРАМЕТРЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВЕТВИСТОУСОГО РАЧКА *MOINA MACROCOPA*

Е. С. Задереев*, Т. С. Лопатина, К. В. Хорошко, Д. Д. Яскеляйнен

Институт биофизики Красноярского научного центра СО РАН
(Россия, 660036, Красноярск, ул. Академгородок 50/50)
**Автор для переписки: egor@ibp.ru*

Аннотация. Загрязнение окружающей среды микропластиком и его влияние на биоту – предмет пристального внимания исследователей по всему миру. Микропластик в водных экосистемах может попадать в трофические цепи в первую очередь через зоопланктон. В данном исследовании выполнена оценка влияния четырех видов микропластика (полиэтилен (PE), полистирол (PS), поливинилхлорид (PVC), полипропилен (PP)) на параметры жизненного цикла ветвистоусого рачка *Moina macrocopa* в острых и хронических экспериментах. Показано, что в диапазоне «природных» концентраций микропластик не оказывает влияние на выживаемость и размножение исследованного вида.

Ключевые слова: микропластик, зоопланктон, параметры жизненного цикла, загрязнение, токсичность

Загрязнение окружающей среды пластиком вызывает беспокойство у ученых и широкой общественности. Пластиковые отходы в окружающей среде фрагментируются, образуя микропластик (МП). При огромном массиве статей по обнаружению микропластика в водных экосистемах, обзорных статей по загрязнению водных экосистем микропластиком и его присутствию в различных звеньях трофической сети, отмечается, что 1) характеристики МП (размер, форма и тип полимера) могут влиять на его воздействие на организмы. Необходимы исследования с использованием МП неправильной формы, разного размера и состава; 2) концентрации МП, используемые в большинстве исследований, превышают природные концентрации. Рекомендуется проводить эксперименты с экологически значимыми концентрациями.

Мы исследовали влияние микропластика «естественной» формы и размера на параметры жизненного цикла ветвистоусого рачка *Moina macrocopa* в острых и хронических лабораторных экспериментах. Методика проведения острых и хронических тестов подробно описана ранее [Влияние ... , 2020].

Для получения микропластика разной формы и размера мы использовали бытовой пластик (полиэтилен (PE), полистирол (PS), поливинилхлорид (PVC), полипропилен (PP)) измельчённый с помощью промышленной мельницы с набором сит (от 250 до 800 мкм). После помола и просеивания 5–10 г микропластика помещали в 100 мл воды и оставляли в режиме интенсивного перемешивания с помощью магнитной мешалки не менее чем на одну неделю. После этого полученный концентрат пропускали через сетку с диаметром пор 80 мкм. Концентрацию и размерное распределение микропластика в фильтрате определяли с помощью проточного цитометра с визуализацией FlowCam (FluidImaging, США), пропуская 1 мл фильтрата через проточную ячейку диаметром 100 мкм (рис. 1).

В острых экспериментах было протестировано влияние концентраций МП (100 000, 10 000, 1000, 100, 10, 1 частиц/мл) на выживаемость ювенильных рачков, в хронических – концентраций МП (10 000, 1000, 100, 10 частиц/мл) на удельную скорость роста ювенильных самок, выживаемость и плодовитость взрослых рачков. Эксперименты показали, что в диапазоне концентраций, который превышает встречающиеся в природе, частицы «естественной» формы не оказывали влияния на выживаемость рачков в острых тестах (табл. 1) и параметры размножения в хроническом тесте.

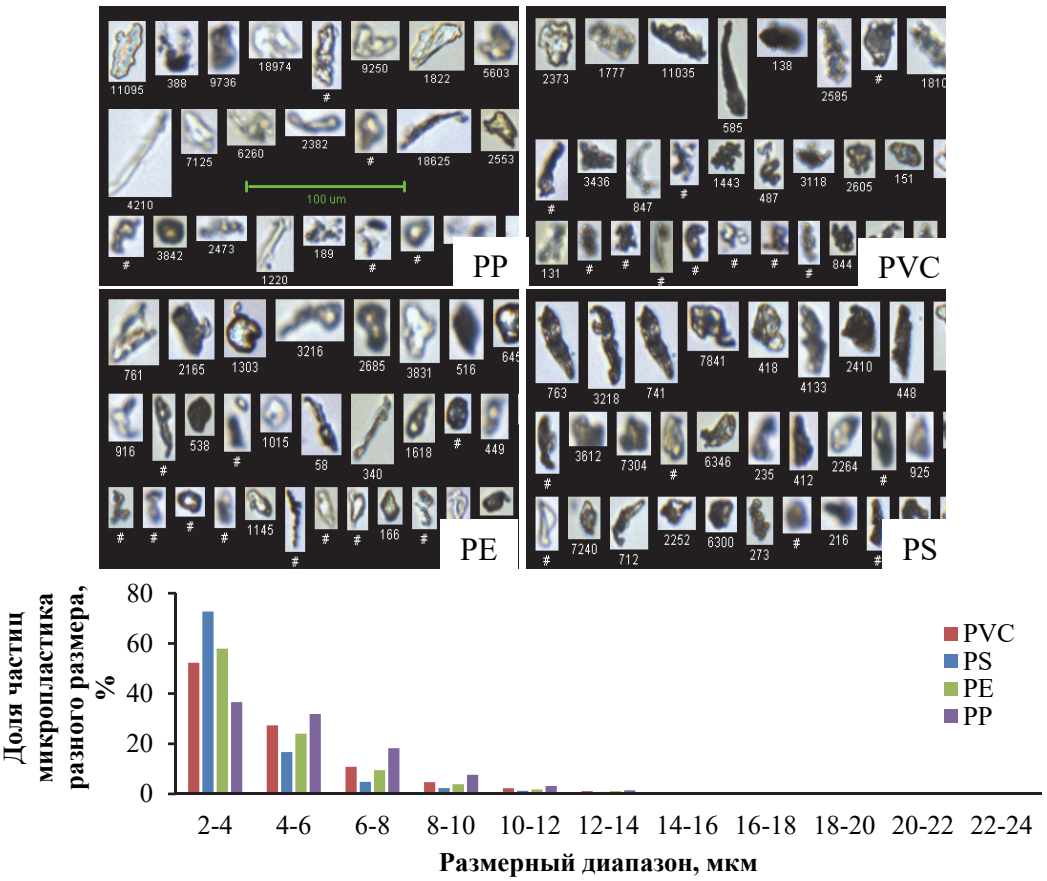


Рис. Изображения частиц микропластика и их размерное распределение в образцах, использованных для проведения острых и хронических экспериментов

Таблица. Выживаемость самок *M. macrocopa* (%) в остром тексте с различными концентрациями микропластика

Тип пластика	Контроль	Концентрация микропластика, частиц/мл					
		100 000	10 000	1000	100	10	1
	Выживаемость, %						
PVC	100	100	100	100	100	100	100
PP	100	100	100	100	100	100	100
PE	100	100	100	100	100	100	100
PS	100	95	100	100	100	100	100

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 25-24-00163).

Список литературы

Влияние растворов противогололёдной смеси на *Moina macrocopa* и *Allium cepa* в биотестовом эксперименте / Т. С. Лопатина, Ю. В. Александрова, О. В. Анищенко [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2020. № 51. С. 162–178.

УДК 574.583:595.3

РОЛЬ ХИМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СОСУЩЕСТВОВАНИИ ПЛАНКТОННЫХ РАКООБРАЗНЫХ

Е. С. Задереев*, И. Г. Прокопкин

Институт биофизики, Красноярский научный центр СО РАН
(Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/50)
**Автор для переписки: egor@ibp.ru*

Аннотация. Парадокс планктона, заключающийся в сосуществовании множества видов в условиях ограниченных ресурсов, долгое время оставался загадкой для экологов. В работе исследуются механизмы, позволяющие планктонным ракообразным избегать конкурентного исключения, включая роль покоящихся яиц и химических взаимодействий. Особое внимание уделено влиянию продуктов жизнедеятельности на формирование жизненных стратегий и поддержание биоразнообразия в водных экосистемах.

Ключевые слова: планктон, сосуществование видов, эффект хранения, покоящиеся яйца, продукты жизнедеятельности

Согласно принципу конкурентного исключения Гаузе, виды с идентичными экологическими потребностями не могут сосуществовать длительное время. Однако в планктонных сообществах наблюдается обратное: десятки видов ракообразных, водорослей и микроорганизмов успешно делят одну и ту же среду. Хатчинсон [Hutchinson, 1961] предположил, что ключевую роль играет неоднородность условий, включая временные колебания ресурсов и хищничество.

Одним из важнейших механизмов сосуществования зоопланктона является «эффект хранения» (storage effect), при котором виды переживают неблагоприятные периоды благодаря покоящимся стадиям (яйцам, цистам). У ветвистоусых ракообразных (Cladocera) такие яйца формируются в ответ на ухудшение условий (снижение температуры, нехватку пищи) и могут сохраняться в донных отложениях годами, обеспечивая восстановление популяции при изменении среды.

Помимо абиотических факторов (температура, освещенность), на образование покоящихся яиц влияют плотностно-зависимые факторы, опосредованные продуктами жизнедеятельности. Эксперименты показали, что: высокая концентрация продуктов жизнедеятельности в воде служит сигналом перенаселения, запуская образование покоящихся яиц [Stross, 1987; Задереев, Губанов, 1996], реакция на химические сигналы видоспецифична, что снижает прямую конкуренцию между видами [Zadereev, Lopatina, 2007].

Для изучения динамики конкуренции двух близких видов зоопланктона мы использовали ранее разработанную дискретную модель циклического размножения ветвистоусых ракообразных [Individual-based ... , 2003], учитывающую разные механизмы стимулирования самок к образованию покоящихся яиц (FoodControl – зависимость только от уровня пищи; DensDependControl – влияние общих продуктов жизнедеятельности; DensDependConspecificControl – реакция на видоспецифичные продукты жизнедеятельности).

Результаты моделирования показали, что количество образованных покоящихся яиц существенно различалось в зависимости от механизма регуляции их образования. При исключительно пищевой регуляции (FoodControl) наблюдался наиболее низкий уровень продукции – в среднем 0,11 покоящихся яиц в день на 1000 клеток/мл пищи, что составляло лишь 4 % от усвоенных ресурсов. Введение в модель плотностно-зависимых факторов (DensDependControl) увеличивало продукцию покоящихся яиц на 70 %. Наибольшая эффективность отмечалась при видоспецифичной регуляции (DensDependConspecificControl), где популяция демонстрировала стабильное производство покоящихся яиц на протяжении всего сезона с четкой зависимостью от концентрации пищи.

В условиях прямой конкуренции двух близких видов наиболее быстрый исход наблюдался при FoodControl – вытеснение одного вида происходило в течение 5–15 дней. Введение общих продуктов жизнедеятельности (DensDependControl) замедляло этот процесс до 30–50 дней, а видоспецифичная регуляция обеспечивала стабильное сосуществование на протяжении всего 200-дневного модельного эксперимента. Анализ межсезонной динамики показал, что при FoodControl вымирание одного из видов происходило в среднем за 6 сезонов, при DensDependControl – за 9,7 сезонов, тогда как DensDependConspecificControl поддерживал сосуществование видов на протяжении более чем 50 сезонов.

Ключевым фактором, определяющим исход сезонной конкуренции, оказалось соотношение производимых видами покоящихся яиц. Критическим порогом для сосуществования видов было соотношение 5:1, при DensDependControl этот показатель увеличивался до 10:1, а при DensDependConspecificControl даже 16-кратное преимущество в производстве яиц не гарантировало вытеснения конкурента.

Сравнительный анализ стратегий регуляции образования покоящихся яиц выявил четкую градацию их эффективности. FoodControl характеризовался высокой скоростью конкурентного исключения (95 % случаев) и низкой устойчивостью к изменениям среды. DensDependControl демонстрировал промежуточные показатели – 65 % случаев вытеснения и умеренную устойчивость. Наиболее эффективной оказалась видоспецифичная регуляция, обеспечивавшая сосуществование в 85 % случаев.

Таблица. Сравнительная эффективность механизмов регуляции образования покоящихся яиц в обеспечении долговременного сосуществования видов зоопланктона

Показатель	FoodControl	DensDepend Control	DensDependConspecific Control
Скорость конкурентного исключения одного из видов	Высокая	Средняя	Низкая
Роль банка покоящихся яиц	Минимальная	Средняя	Ключевая
Вероятность сосуществования	5 %	35 %	85 %

Эволюционные последствия выявленных закономерностей заключаются в формировании различных направлений отбора. При пищевой регуляции доминирует отбор на скорость роста, приводящий к быстрой потере менее конкурентоспособных видов. Введение плотностно-зависимых факторов смещает акцент на эффективность продукции покоящихся яиц, что способствует поддержанию генетического разнообразия. Видоспецифичная регуляция создает условия для сосуществования даже при сильной конкуренции, снижая давление отбора на отдельные признаки и способствуя формированию устойчивых многовидовых сообществ.

Список литературы

Задереев Е. С., Губанов В. Г. Роль плотности популяции в индукции гамогенеза у *Moina macrocopa* (Crustacea: Cladocera) // Журнал общ. биологии. 1996. Т. 57, № 3. С. 360–367.

Hutchinson G. E. The paradox of the plankton // The American Naturalist. 1961. Vol. 95. P. 137–145.

Individual-based model of the reproduction cycle of *Moina macrocopa* (Crustacea: Cladocera) / Zadereev E. S., Prokopkin I. G., Gubanov V. G., Gubanov M. V. // Ecological Modelling. 2003. N 162. P. 15–31.

Stross R. G. Photoperiodism and phased growth in *Daphnia* populations: coactions in perspective // Mem. Ist. Idrobiol. 1987. N 45. P. 413–437.

Zadereev E., Lopatina T. The induction of diapause in *Moina* by species-specific chemical cues // Aquatic Ecology. 2007. N 41. P. 255–261.

УДК 575.8

EPISCHURA ИЛИ *EPISCHURELLA*? ТЕСТИРОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ

И. Ю. Зайдыков*, Л. В. Суханова, Н. Г. Шевелева, Д. Ю. Щербаков, Е. Ю. Наумова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: igorrock11@mail.ru*

Аннотация. На основе последовательностей фрагмента COI представителей семейства Temoridae (Copepoda, Calanoida) с применением программы MrBayes 3. 2. 6 было проведено тестирование топологических гипотез. Тестировались гипотезы на наличие и отсутствие монофилии у представителей рода *Epischura.* Результаты анализа показали высокою поддержку в пользу монофилии рода**.**

Ключевые слова: Temoridae, Copepoda, тестирование топологических гипотез, филогения, MrBayes

Некоторое время назад в одном из исследований [Revealing … , 2019] был поставлен вопрос об отнесении азиатских представителей рода *Epischura Forbes,* 1882 (Copepoda, Calanoida) к роду *Epischurella.* Такой пересмотр систематического статуса рода рассматривался как возврат к номенклатуре, введенной С. С. Смирновым в 1936 г. [Smirnov, 1936]. Несмотря на то что С. С. Смирнов предлагал ввести лишь подрод, а не род *Epischurella,* вопрос этот весьма интересен.

На основе имеющихся у нас нуклеотидных последовательностей фрагмента COI, а также загруженных из Gen Bank последовательностей представителей семейства Temoridae (всего 190 уникальных последовательностей) проведено тестирование филогенетических гипотез на монофилию и полифилию групп. Все использованные последовательности были приведены к общей длине фрагмента 547 п. н., для такого набора данных тест Xia et al. [2003] реализованный в программе Dambe v.6.4. [Xia, Lemey, 2009] не выявил эффект насыщения. Выбор наиболее оптимальной модели замещения ДНК проводили в программе Mega 7 [Kumar Steche, Tamura, 2016], для использованного набора данных, на основе информационных критериев BIC и AICc. Тест на монофилию выполняли в программе MrBayes 3.2.6 [MrBayes 3.2: Efficient ... , 2011] с библиотекой BEAGLE 3.1.0 [BEAGLE: ... , 2012].

Сравнивались две гипотезы, род *Epischura* является монофилетическим или не является таковым. Количество генераций Марковских цепей составило 25 млн, запись через каждые 1000. Показатели сходимости были в норме, все значения эффективного размера выборки (ESS) – значительно больше 200, PSRF = 1,0, а среднее стандартное отклонение разделенных частот находилось в диапазоне (0,006–0,008). Показатель логарифма правдоподобия для гипотезы о монофилии составил –7276,02, в то время как показатель правдоподобия для ее альтернативы –7287,75. Достоверным различием между показателями считается разница более 5 [Ronquist, Huelsenbeck, Teslenko, 2019]. Таким образом, гипотеза о монофилии рода имеет достоверно лучшую поддержку, нежели ее альтернатива, соответственно идея о необходимости разделения рода *Epischura* на два новых рода не поддерживается.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке проектов Минобрнауки России 0279-2021-0005 «Исследование трансформаций состояния водоемов и водотоков Восточной Сибири в сезонных и долговременных аспектах в контексте изменений климата, геологической среды и антропогенных нагрузок».

Список литературы

Смирнов С. С. *Epischura baicalensis* q. o. Sars на Камчатке (Crustacea, Copepoda) // Труды Зоологического института. 1936. Т. 3. С. 59–65.

An index of substitution saturation and its application / X. Xia, Z. Xie, M. Salemi [et al.] // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2003. Vol. 26, N 1. P. 1–7.

BEAGLE: An Application Programming Interface and High-Performance Computing Library for Statistical Phylogenetics / D. L. Ayres, A. Darling, D. J. Zwickl [et al.] // Systematic Biology. 2012. Vol. 61, N 1. P. 170–173. DOI: 10.1093/sysbio/syr100

Kumar S., Stecher G., Tamura K. MEGA7: Molecular Evolutionary Genetics Analysis version 7.0 for bigger datasets // Molecular Biology and Evolution. 2016. N 33. P. 1870–1874. DOI: 10.1093/molbev/msw054

MrBayes 3.2: Efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space / F. Ronquist, M. Teslenko, P. van der Mark [et al.] // Systematic Biology. 2011. Vol. 63. P. 539–542. DOI: 10.1093/sysbio/sys029

Revealing paraphyly and placement of extinct species within Epischura (Copepoda: Calanoida) using molecular data and quantitative morphometrics / L. L. Bowman, D. J. MacGuigana, M. E. Gorchelsb [et al.] // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2019. N 140 (106578). DOI: 10.1016/j.ympev.2019.106578

Ronquist F., Huelsenbeck J., Teslenko M. MrBayes version 3.2 Manual: Tutorials and Model Summaries. 2019.

Xia X., Lemey P. Assessing substitution saturation with DAMBE // The phylogenetic handbook / eds. Lemey P., Salemi M., Vandamme A. M. Cambridge : Cambridge University Press, 2009. P. 615–630.

УДК 639.21:639.2.05

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЗАПАСА БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ

Н. Г. Западаева*, А. Е. Бобырев, А. И. Михайлов

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 105187, Москва, Окружной просп.,19)
**Автор для переписки: ng_petukhova@mail.ru*

Аннотация. Описана и реализована процедура оценки состояния запаса байкальского омуля за период с 1995 по 2024 г., основанная на применении методов математического моделирования.

Ключевые слова: байкальский омуль, Байкал, оценка запасов

Байкальский омуль (*Coregonus migratorius* Georgi, 1775) – один из наиболее изученных пресноводных видов рыб России. История промысла эндемика насчитывает не одно столетие. Однако статистически достоверные промысловые данные стали поступать только в начале 2000-х гг.

Процедура оценки состояния запаса предваряется анализом полноты и качества доступной информации. Ежегодно в БайкалНИРО проводятся работы по государственному мониторингу состояния водных биоресурсов и экосистемы оз. Байкал, что позволяет получить необходимые массивы данных для дальнейшей оценки параметров жизненного цикла эндемика. Имеющаяся информация по морфо-экологическим группам (МЭГ) считается более надёжной, чем по популяциям. Причинами этому являются, прежде всего, невозможность идентификации особей некоторых популяций в силу схожести их морфологических характеристик и общей акватории нагула, и, следовательно, отсутствие достоверных промысловых и биологических данных для каждой популяции.

За период промысла (1995–2017 гг.) в качестве входной информации служили данные о возрастной динамике массы тела, половой зрелости, мгновенных коэффициентах естественной смертности, возрастном составе и величине промышленного вылова, в том числе незаконного, несообщаемого и нерегулируемого (ННН) промысла, а также индексах численности – среднегодовых уловах на сетевой порядок. Используемые данные получены на основе анализа прямых наблюдений и биологического анализа рыб, за исключением мгновенного коэффициента естественной смертности, который не поддаётся прямому измерению. Существует множество методов его расчёта, результаты которых могут быть достаточно разнородны. Тем не менее зачастую удаётся определить диапазон правдоподобных значений. Коэффициенты, используемые при анализе состояния запаса омуля, вписываются в диапазон, характерный для среднецикловых видов рыб.

С 2018 г., после введения моратория на вылов, информационное обеспечение запаса байкальского омуля значительно изменилось. Поскольку основной источник промысловых данных недоступен, в качестве данных по уловам использовалась обобщённая по трём МЭГ информация об объёмах вылова в целях традиционного рыболовства, искусственного воспроизводства, научных исследований, а также экспертные оценки ННН промысла. Индексами численности послужили обобщённые данные об учитываемых личинках в основных, впадающих в Байкал, реках. Оценки параметров жизненного цикла байкальского омуля усреднены по трём МЭГ.

Имеющаяся информация позволила применить когортные модели, как за период промысла, так и за период моратория на вылов. Особенностью таких моделей является расчёт численности поколений запаса (МЭГ), убывающей под воздействием вылова и от естественных причин. Таким образом, выполнено четыре серии расчётов – три для каждой МЭГ в период промысла и одна – для обобщённого запаса байкальского омуля в период морато-

рия. С помощью математического моделирования восстановлена динамика общей и нерестовой биомасс омуля, его пополнения, промысловой смертности и селективности орудий лова за весь исследуемый период. Результаты когортной модели позволили построить соотношение «родители – потомки» типа Рикера для общего запаса.

Следует отметить, что зависимость «запас – пополнение», построенная для обобщённого запаса, не всегда применима к отдельным его составляющим. Так, из трёх МЭГ придонно-глубоководная группа является самым сложным объектом для моделирования, поскольку наиболее многочисленная популяция, формирующая эту группу, посольская – воспроизводится полностью за счёт искусственного воспроизводства. В таких случаях пополнение полностью зависит от объёмов выпуска с рыбзавода, а его связь с величиной нерестового запаса нарушена, что может внести погрешности в результаты моделирования, пропорционально доле этой МЭГ (15 %) в общем запасе. Поэтому к полученным результатам моделирования следует относиться с осторожностью.

Неотъемлемой частью процедуры оценивания состояния запасов является диагностика полученных результатов. Для этого выполнены анализ возможных рассогласований в рядах исходных данных, а также оценка статистических ошибок, профилей компонент целевой функции моделей, доверительных интервалов и ретроспективная диагностика – серия расчётов с последовательным исключением последнего года из исходных данных (за период промысла). В результате анализа найдена такая совокупность параметров каждой модели, которая обеспечила её статистическую устойчивость.

Выполнение основного положения предосторожного подхода к управлению запасами подразумевает обеспечение их эксплуатации в границах биологически безопасной области [Бабаян, 2000]. Для определения такой области рассчитан граничный ориентир по биомассе, а также целевой – характеризующий оптимальное состояние системы запас-промысел. Согласно проведённому анализу в период промысла наблюдалось снижение биомассы запаса, как нерестовой, так и общей. В 2015–2017 гг. нерестовая биомасса запаса опустилась ниже граничного ориентира и находилась в биологически опасной зоне. За период моратория на вылов отмечается постепенное восстановление запаса. Оценка общего запаса байкальского омуля за 2024 г., 8 тыс. т, близка к результатам гидроакустических исследований, проведённых в 2024 г. на всей акватории Байкала – 8,6 тыс. т [Состояние ... , 2024]. Прогнозные оценки нерестовой биомассы на 5 лет относительно биологических ориентиров показали, что в настоящее время говорить о полном восстановлении запаса преждевременно.

Таким образом, процедура обоснования режима эксплуатации эндемика проводится в соответствии с предосторожным подходом к управлению промыслом, концепцией максимального устойчивого улова и принципами устойчивого развития рыболовства. Описанная методология оценки состояния запаса байкальского омуля соответствует отечественным [Методические … , 2018] и международным стандартам, применяемым в научных рыбохозяйственных организациях [ICES, 2023; NAFO, 2024].

Список литературы

Бабаян В. К. Предосторожный подход к оценке общего допустимого улова (ОДУ): Анализ и рекомендации по применению. М. : Изд-во ВНИРО, 2000. 192 с.

Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов / В. К. Бабаян, А. Е. Бобырев, Т. И. Булгакова [и др.]. М. : ВНИРО, 2018. 312 с.

Состояние запасов омуля озера Байкал и прогноз до 2030 года / О. А. Булатов, С. М. Гончаров, С. Б. Попов [и др.] // Рыбное хозяйство. 2024. № 5. С. 74–86. DOI: 10.36038/0131-6184-2024-5

ICES. 2023. Guide to ICES advisory framework and principles. In Report of the ICES Advisory Committee, 2023. ICES Advice 2023, section 1.1.

NAFO. 2024. Report of the NAFO Precautionary Approach Working Group Meeting (PA-WG), 13 May 2024, via Webex. NAFO SCS Doc. 24/13.

УДК 579.26

МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА КУЛТУКСКОГО ПОДЗЕМНОГО РЕЗЕРВУАРА, РАСПОЛОЖЕННОГО В ЗОНЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ (БАЙКАЛЬСКАЯ РИФТОВАЯ ЗОНА)

А. С. Захаренко [1]*, С. В. Букин [1], И. А. Асламов[1], М. В. Сакирко[1], Е. П. Чебыкин[1, 2], С. В. Рассказов[2, 3], Т. И. Земская[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Институт земной коры СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128)
[3]Иркутский государственный университет (Россия, 664003, ул. Карла Маркса, 1)
**Автор для переписки: zakharenko@lin.irk.ru*

Аннотация. Впервые изучен состав и разнообразие микробных сообществ в двух скважинах подземного резервуара на Култукском полигоне, входящем в Байкальскую рифтовую зону. Выявлены взаимосвязи между структурой сообществ и гидрохимическими характеристиками.

Ключевые слова: подземные воды, микробные сообщества, скважины, физико-химический анализ, Байкал

Подземные воды представляют собой крупнейший резервуар пресной воды на Земле [Crustal … , 2021] и являются критически важным ресурсом, обеспечивающим питьевой водой значительную часть населения мира [Longnecker, Kujawinski, 2011; Factors … , 2024]. Прибайкалье – один из сложных участков земной коры по гидрогеологическим условиям с многочисленными резервуарами подземных вод, на которые влияют движения земной коры и связанные с ними тектонические разломы [Пиннекер, Писарский, Ломоносов, 1968]. Для исследования были выбраны две скважины подземных вод трещинного типа на Култукском полигоне, входящие в Байкальскую рифтовую зону: скважины 9 и 184, находящиеся на расстоянии 1624 м друг от друга. Скважина 184 – одна из основных, расположенных на разломе, соединяющем активное окончание Обручевского разлома с активным фрагментом Главного Саянского в удалении от Байкала (960 м). Скважина 9 находится в зоне активного Обручевского разлома на расстоянии 242 м от оз. Байкал [Первый … , 2023]. Для детализации характеристик водной среды и характера распределения микробного сообщества в исследуемых скважинах использованы гидрохимический анализ, классические методы культивирования и секвенирование гена 16S рРНК.

По химическому составу вода в скважинах различалась: более высокие значения суммы измеренных ионов (198 мг/л) и биогенных элементов (SO_4^{2-} – 28,7 мг/л; NO_3^- – 51,1 мг/л) зарегистрированы в скважине 184. Данные показатели в обеих скважинах в несколько раз превышали таковые в байкальской воде [The major … , 1991; Dynamics … , 2020]. Общая численность микроорганизмов и численность органотрофов были низкими, что свойственно для подземных вод. В сообщества скважин (9 и 184 соответственно) основной вклад вносили бактерии филумов *Pseudomanadota* (90,4 и 39,9 %), *Actinomycetota* (2,7 и 8,7 %) и *Patescibacteria* (2,5 и 22 %) со значительными различиями на уровне рода. Среди архей в сообществах наиболее представлены филумы *Thermoproteota* (71,1 и 41,9 %) и *Nanoarchaeota* (24,5 и 23,2 %). Кроме того, в сообществе скважины 184 значительную долю составляли представители филы *Thermoplasmatota* (33,6 %).

По химическим параметрам и составу микробных сообществ вода из скважин отличалась от воды и донных отложений южной оконечности оз. Байкал. Основными факторами окружающей среды, влияющими на микробные сообщества подземных вод, являлись концентрации биогенов (NO_3^-, SO_4^{2-}). Другие экологические переменные оказывали определенную степень корреляции с микробными сообществами, но не столь значительную.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках госзаданий ЛИН СО РАН: № 0279- 2021-0006 – микробиологические, № 0279-2021-0004 – гидрохимические.

Список литературы

Первый опыт мониторинга косейсмических и асейсмических вариаций ОВП, pH и температуры подземных вод Култукского резервуара в режиме реального времени (Байкальская рифтовая система) / С. В. Рассказов, И. А. Асламов, С. В. Снопков [и др.] // Геология и окружающая среда. 2023. Т. 3, № 4. С. 161–181.

Пиннекер Е. В., Писарский Б. И., Ломоносов И. С. Гидрогеология Прибайкалья. М. : Наука, 1968. 170 с.

Crustal Groundwater Volumes Greater than Previously Thought / G. Ferguson, J. C. McIntosh, O. Warr [et al.] // Geophysical Research Letters. 2021. Vol. 48, N 16. e2021GL093549. DOI: 10.1029/2021GL093549/

Dynamics of nutrients in the water of the pelagic zone of Lake Baikal / V. M. Domysheva, M. V. Sakirko, N. A. Onischuk [et al.] // Limnology and Freshwater Biology. 2020. N 4. P. 836–837. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-836

Factors Influencing Microbial Contamination of Groundwater: A Systematic Review of Field-Scale Studies / F. Bagordo, S. Brigida, T. Grassi [et al.] // Microorganisms. 2024. Vol. 12, N 5. Art. 913. DOI: 10.3390/microorganisms12050913

Longnecker K., Kujawinski E. B. Composition of Dissolved Organic Matter in Groundwater // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2011. Vol. 75, N 10. P. 2752–2761. DOI: 10.1016/j.gca.2011.02.020

The major and minor element geochemistry of Lake Baikal / K. K. Falkner, C. I. Measures, S. E. Herbelin [et al.] // Limnology and Oceanography. 1991. N 36. P. 413–423. DOI: 10.4319/lo.1991.36.3.0413

УДК 579.2

ХАРАКТЕРИСТИКА ПСИХРОТРОФНОГО ВИОЛАЦЕИН ПРОДУЦИРУЮЩЕГО ШТАММА *JANTHINOBACTERIUM* SP. ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ЕГО АЛЬГИЦИДНОЕ ДЕЙСТВИЕ НА ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ

Ю. Р. Захарова*, Е. Д. Бедошвили, Г. А. Федорова, М. В. Башенхаева, А. М. Марченков, Д. П. Петрова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: julia.zakharova@gmail.com*

Аннотация. Исследован психротрофный образующий фиолетовый пигмент бактериальный штамм, изолированный из оз. Байкал. В экстрактах фиолетового пигмента были идентифицированы виолацеин и деоксивиолацеин. На основании культуральных, морфологических и биохимических свойств, а также по результатам анализа последовательности гена 16S рРНК штамм был отнесен к *Janthinobacterium* sp. Было показано, что исследуемый штамм оказывает альгицидное действие на культуру диатомовых водорослей *Ulnaria acus* AxBK497, которое приводит к подавлению роста и цитологическим изменениям клеток в виде увеличения митохондрий и деструкции органелл клетки.

Ключевые слова: *Janthinobacterium*, виолацеин, цитотоксический эффект, диатомовые водоросли

Представители рода *Janthinobacterium* одни из наиболее распространенных грамотрицательных бактерий из семейства *Oxalobacteraceae*, обнаруживаемых в различных средах обитания [De Ley, Segers, Gillis, 1978]. Некоторые виды этого рода имеют фиолетовый цвет, который придает им вырабатываемый водонерастворимый пигмент виолацеин. Виолацеин является коммерчески важной биомолекулой, так как обладает различными биологическими свойствами, а именно антиоксидантными, противоопухолевыми, антибактериальными, противовирусными, противопротозойными и фотозащитными [Advances ... , 2015, Violacein … , 2015], однако активность его альгицидного действия недостаточно изучена. Целью работы было – таксономическая идентификация виолацеин-продуцирующего штамма, изолированного из оз. Байкал и изучение его влияния на клетки диатомовых водорослей.

Бактериальный изолят S-LB1, образующий фиолетовый пигмент, был выделен из поверхностной воды оз. Байкал согласно методам, описанным ранее [Isolation … , 2025]. Штамм S-LB1 был первоначально отнесен к роду *Janthinobacterium* на основе сравнений последовательности гена 16S рРНК с последовательностями из базы данных GenBank. Молекулярная характеристика *Janthinobacterium* sp. S-LB1 показала 98,7 % сходства последовательности с штаммом *Janthinobacterium lividum* BR01, изолированного из не вечномерзлой почвы Аляски [Psychrotrophic … , 2010] и штаммом *Janthinobacterium* sp. JMAGS2_2 из воды пещеры Магура [Into the … , 2022]. Колонии *Janthinobacterium* sp. S-LB1 на твердой питательной среде имели фиолетовую пигментацию, круглую с волнистым краем форму, плотную консистенцию, способность к эмульгированию проявлялась слабо. Бактериальные клетки размером 2,18±0,32×0,59±0,03 μm были одиночными, палочковидными, неподвижными, окрашенными Грам-отрицательно, не образующими спор. *Janthinobacterium* sp. S-LB1 рос в характерном для психротолерантных бактерий температурном диапазоне от 0 до 30 °C с оптимумом 26 °C, при 0–1,5 % (w/v) NaCl. При температуре культивирования 0 °C, 4 °C, 8 °C показана способность образовывать цепочки клеток в виде длинных нитей, покрытых экзополимерным слоем, с наибольшей длиной при 30 °C. Клетки положительны по ферментативной активности каталазы, уреазы, желатиназы, казеиназы, липазы, фосфолипазы, фосфатазы, аргинин дигидролазы. В качестве субстратов способны усваивать арабинозу и глюкозу. Проверка на антибиотикорезистентность показала устойчивость к цефиксиму, имипенему, фурадонину, цефотаксиму, цефтазидиму, бензилпенициллину, оксациллину, клиндамицину и линезолиду. Методом MALDI-TOF масс-спектрометрии в экстракте фио-

летового пигмента были идентифицированы виолацеин и деоксивиолацеин по наличию в их масс-спектрах интенсивных молекулярных ионов [M]+ с характеристичными отношениями m/z 343.5 и m/z 327.5.

Для определения альгицидного действия бактерий клетки *Janthinobacterium* sp. добавляли в концентрациях 10^3, 10^4, 10^5, 10^6 и 10^7 кл/мл к культуре диатомей *Ulnaria acus* AxBK497 на экспоненциальной фазе роста и совместно культивировали в течение 16 дней при температуре 4 °C. Во всех со-культурах, а также при добавлении бактериального фильтрата показано отсутствие деления клеток диатомовых водорослей. Для оценки динамики гибели клеток диатомей со-культуру окрашивали Cell Labeling Kit (ab176735, Great Britain) и исследовали с помощью флуоресцентной микроскопии (Olympus IX83, Япония), живые клетки после окрашивания учитывали по наличию флуоресценции зеленым цветом. Выявлено, что жизнеспособность клеток диатомей снижается на 26, 37, 81, 96 и 99 % при концентрации бактерий 10^3, 10^4, 10^5, 10^6 и 10^7 кл/мл соответственно, в течение 144 ч со-культивирования. При наибольшей концентрации бактерий 10^7 кл/мл гибель клеток *U. acus* наступала уже через 4 ч. Также исследование ультраструктуры *U. acus* с помощью просвечивающей электронной микроскопии (Leo 906 E, Zeiss, Германия) выявило на срезах у некоторых клеток увеличенные митохондрий и фрагменты видоизмененных хлоропластов в виде закрученных мембран. Также при исследовании этого образца через 24 ч после инокуляции бактерий были обнаружены многочисленные мертвые клетки диатомей с разрушенными органеллами.

Таким образом, из оз. Байкал изолирован новый психротолерантный виолоцеин-продуцирующий штамм *Janthinobacterium* sp. S-LB1, выявлены его альгицидные свойства, приводящие к гибели диатомей, а также показан цитотоксический эффект в виде увеличения митохондрий и деструкции органелл клетки.

Благодарности. Исследование выполнено с использованием оборудования Приборного центра коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикроанализ») при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ № 121032300186-9.

Список литературы

Advances in Chromobacterium Violaceum and Properties of Violacein its Main Secondary Metabolite: A review / N. Dur´an, G. Z. Justo, M. Dur´an [et al.] // Biotechnol Adv. 2016. N 34. P. 1030–1045.

De Ley J., Segers P., Gillis M. Intra and intergeneric similarities of *Chromobacterium* and *Janthinobacterium* Ribosomal Ribonucleicacid Cistrons // Int J Syst Bacteriol. 1978. N 25. P. 154–168.

Into the Unknown: Microbial Communities in Caves, Their Role, and Potential Use / K. Kosznik-Kwaśnicka, P. Golec, W. Jaroszewicz [et al.] // Microorganisms. 2022. Vol. 10, N 2. Art. 222. DOI: 10.3390/microorganisms10020222

Isolation and Characterization of a Violacein Pigment-Producing Psychrotolerant Bacterium Iodobacter sp. Strain S-LB17 / Yu. R. Zakharova, A. M. Marchenkov, G. A. Fedorova [et al.] // Microbiology. 2025. Vol. 94, N 2. P. 302–307. DOI: 10.1134/S0026261724608893

Psychrotrophic Strain of *Janthinobacterium lividum* from a Cold Alaskan Soil Produces Prodigiosin / P. D. Schloss, H. K. Allen, A. K. Klimowicz [et al.] // DNA Cell Biol. 2010. Vol. 29, N 9. P. 533–541. DOI: 10.1089/dna

Violacein: Properties and Production of a Versatile Bacterial Pigment / S. Y. Choi, K. H. Yoon, J. I. Lee [et al.] // BioMed Research International. 2015. DOI: 10.1155/2015/465056

УДК 504.3.054

ЛИДАРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПОЛЕЙ НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В ПЕРИОД КОРАБЕЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В АВГУСТЕ 2023 г.

А. С. Заяханов [1,2]*, Г. С. Жамсуева[1], Т. В. Ходжер[2], В. В. Цыдыпов[1], А. Л. Дементьева[1], Т. С. Бальжанов[1], А. В. Стариков[1]

[1]Институт физического материаловедения СО РАН
(Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)
[2]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: azayakhanov@gmail.com*

Аннотация. Выявлены особенности формирования структуры аэрозольных полей над акваторией оз. Байкал в условиях дальнего переноса воздушных масс и от источников выбросов, расположенных в прибрежной зоне оз. Байкал в период корабельной экспедиции на НИС «Верещагин Г. Ю.» в августе 2023 г. Было показано, что пространственно-временная неоднородность распределения аэрозольного поля в котловине озера в значительной мере формируется вследствии экранирования горными массивами и накопления примесей, за счет переносов в циркуляционных ячейках в нижнем приводном слое.

Ключевые слова: лидар, аэрозоль, Байкал, дальний перенос

Аэрозольные примеси являются радиационно-активными компонентами атмосферы, и их пространственно-временная изменчивость оказывает существенное влияние на климат и экосистемные изменения в регионе оз. Байкал.

Наиболее перспективными и эффективными инструментами для исследования аэрозольных полей и атмосферных процессов являются лидары. Они позволяют оперативное и дистанционное получение необходимой информации с высоким пространственным и временным разрешением. Особенно важно проводить такие исследования для обширного по масштабам региона оз. Байкал, поскольку наблюдения отдельных компонент аэрозольного состава атмосферы в настоящее время ведутся только на береговых «континентальных» станциях [Аэрозольно-рамановский … , 2011; Лидарные … , 2016, Variability … , 2022] и лишь эпизодически – с борта судна, например [Балин, Ершов, Пеннер, 2003; Экспериментальные … , 2007; Specific … , 2019].

В данной работе представлены результаты лидарных измерений пространственно-временной структуры аэрозольных полей в приводном слое атмосферы оз. Байкал на научно-исследовательском судне (НИС) «Верещагин Г. Ю.» с 5 по 15 августа 2023 г. во время комплексной экспедиции ЛИН СО РАН, ИФМ СО РАН. Измерения оптических параметров атмосферы проводились с использованием мобильного аэрозольно-рамановского лидара «ЛОЗА-М2» [Аэрозольно-рамановский … , 2011].

В период экспериментов в районе Южного Байкала наблюдались устойчивые аэрозольные слои, которые сконцентрированы в основном в нижней тропосфере до высот 1300–1500 м.

В Северном Байкале преобладали юго-восточные заносы воздушных масс, о чем свидетельствуют и формирование плотных аэрозольных слоев на высотах до 2000 м. В пределах пограничного слоя (2600–3400 м) отчетливо проявляются слои до 1000 м, выше 1200–1500 м, и от 2000–2500 м. Нижние слои аэрозоля до высот 1500 м, как показывают результаты анализа обратных траекторий движения воздушных масс с использованием модели HYSPLIT (http://ready.arl.noaa.gov/hysplit-bin/trajtype.pl.runtype=archive) формируются за счет переноса воздушных масс с юго-восточных направлений которые сконцентрированы в котловине между Байкальским хребтом и озером, а верхние слои аэрозоля на высотах выше горного массива Байкальского хребта (от 2100 м) формируются за счет заносов с юго-

западных направлений с высоким содержанием аэрозоля от антропогенных источников выбросов Иркутской промышленной зоны.

Лидарные наблюдения свидетельствуют о сложном характере распределения примесей над акваторией озера, связанной с пространственно неоднородной орографией береговой зоны озера приводящей к вертикально неоднородной слоистой структуре в распределении примесей вследствии экранирования потоков воздушных масс горными массивами, накопления примесей и переносов в циркуляционных ячейках в нижнем приводном слое. Такой вывод следует также из ранее проведенных самолетных измерений [Феномен … , 1992] когда был обнаружен эффект внутренней котловинной циркуляции воздуха в пограничном слое атмосферы оз. Байкал и наземных шаропилотных наблюдений [Spatiotemporal … , 2001]. Бассейновая циркуляция (создание циркуляционных ячеек вдоль западного побережья с севера на юг и вдоль восточного побережья с юга на север) на Байкале достаточно устойчива во времени.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (средства бюджета ИФМ СО РАН в рамках Госзадания № 121032500027-3) в части научного оборудования и частично при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ) в рамках научного проекта № 19-77-20058 П в части организации и проведения экспедиционных работ.

Список литературы

Аэрозольно-рамановский лидар «ЛОЗА-М2» / Ю. С. Балин, Г. С. Байрашин, Г. П. Коханенко [и др.] // Квантовая электроника. 2011. № 10. С. 945–949.

Балин Ю. С., Ершов А. Д., Пеннер И. Э. Лидарные корабельные исследования аэрозольных полей в атмосфере оз. Байкал. Ч. 1. Продольные разрезы // Оптика атмосферы и океана. 2003. Т. 16, № 5–6. С. 438–446.

Лидарные исследования вертикальной структуры аэрозольных полей атмосферы над оз. Байкал в период лесных пожаров / Ю. С. Балин, М. Г. Клемашева, Г. П. Коханенко [и др.]. // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29, № 8. С. 689–693.

Феномен круговой циркуляции в котловине озера Байкал / В. Е. Зуев, В. В. Антонович, Б. Д. Белан [и др.] // Доклады РАН. 1992. Т. 325, № 6. С. 1146–1150.

Экспериментальные и модельные исследования пространственного распределения атмосферного аэрозоля над акваторией оз. Байкал / Ю. С. Балин, А. Д. Ершов, И. Э. Пеннер [и др.] // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20, № 2. С. 114–121.

Spatiotemporal characteristics of air circulation in the hollow of Lake Baikal / M. Y. Arshinov, B. D. Belan, G. A. Ivlev, T. M. Rasskazchikova // Atmos. Ocean. Opt. 2001. N 14. P. 263–266.

Specific features of transport and transformation of atmospheric aerosol and gas admixtures in the coastal zone of Lake Baikal / A. S. Zayakhanov, G. S. Zhamsueva, V. V. Tsydypov [et al.] // Atmospheric and Oceanic Optics. 2019. Vol. 32, N 2. P. 158–164. DOI: 10.1134/S1024856019020192

Variability of the Chemical Composition of the Atmospheric Aerosol in the Coastal Zone of the Southern Basin of Lake Baikal (East Siberia, Russia) / L. P. Golobokova, T. V. Khodzher, G. S. Zhamsueva [et al.] // Atmosphere. 2022. N 13. Art. 1090. DOI: 10.3390/atmos13071090

УДК 556.08

МЕТОДИКИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ОЗЕРАХ

Р. Э. Здоровеннов*, Ю. С. Новикова, Н. И. Пальшин, С. Р. Богданов, Г. Э. Здоровеннова

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
(Россия, 185030, Петрозаводск, просп. А. Невского, 50)
**Автор для переписки: romga74@gmail.com*

Аннотация. Приведено краткое описание методик, разработанных на основании 30-летнего опыта гидрофизических измерений на автономных станциях в озёрах Карелии в периоды ледостава и открытой воды. Длительные измерения температуры воды в эпи-, мета- и гиполимнионе позволяют установить даты начала и продолжительность этапов годового термического цикла, рассчитать параметры устойчивости водного столба, изучить режим перемешивания озер. Измерения температуры датчиками, вмороженными в лед и размещенными в верхнем слое донных отложений, в подледном и придонном слоях воды, позволяют проследить эволюцию тепловых потоков на границах *вода – дно* и *вода – лед*. Измерения профилографами течений позволяют оценить параметры турбулентности перемешанного/стратифицированного слоев озер в суточном и синоптическом циклах. Длительные записи потоков солнечной радиации на нескольких глубинах направлены на выявление особенностей суточной, синоптической и сезонной эволюции глубины фотической зоны, степени ослабления радиации в воде как в период открытой воды, так и зимой.

Ключевые слова: озеро, автономная станция, температура воды, течения, потоки солнечной радиации, теплопоток

Гидрофизические параметры (температура воды, потоки солнечной радиации, течения и др.) формируют среду обитания гидробионтов, что определяет важность изучения их изменений в суточном, синоптическом, сезонном масштабах для выявления реакции водных экосистем на происходящие изменения погоды и климата. Ниже приведены краткие описания методик гидрофизических измерений на автономных станциях, разработанные и применяемые на разнотипных озёрах Карелии сотрудниками Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН в течение последних 30 лет.

Измерения температуры воды. Автономные станции – косы с распределенными по водному столбу датчиками температуры воды – устанавливаются обычно в центральных глубоководных районах озер. Датчики распределяются в эпи-, мета- и гиполимнионе, что позволяет изучать динамику температуры в верхнем перемешанном слое, зоне скачка температуры, нижнем стратифицированном слое. Величина минимального расстояния между датчиками по возможности увязывается с характерным масштабом турбулентных пульсаций в обозначенных слоях. Временная дискретность измерений выбирается с учетом характерного времени изменений температуры, которое определяется множеством факторов (внутренние волны, интенсивность турбулентности и т. п.). Обычно косы растягиваются между якорем и буем, плавающим на некоторой глубине в верхнем слое озера. Такая постановка обеспечивает сохранность дорогостоящего оборудования, но измерения в верхнем слое не проводятся. Зимой косы устанавливаются со льда, что позволяет охватить наблюдениями весь водный столб. Наиболее длительные ряды измерений на автономных термокосах накоплены в Петрозаводской губе Онежского озера (2015–2017, 2019–2024 гг.), оз. Вендюрское (1994–2005 гг. – ледостав, с июля 2007 г. до настоящего времени – круглогодичный режим), малом лесном оз. Голубая ламба (2019–2023 гг.), малом лесном оз. Чудесная ламба (с апреля 2024 г. до настоящего времени). В оз. Голубая ламба в летний период 2022 г. коса крепилась к плавающему в центре озера плоту, что позволило охватить наблюдениями весь столб воды, однако ветровое воздействие на плот приводило к высокочастотной изменчивости показаний датчиков косы, поэтому этот опыт был признан неудачным. Для оз. Вендюрское по данным автономной термокосы изучен ледовый режим за 25 лет [Contrasting … , 2025], устойчивость водной толщи за 15 лет [Parameters … , 2024].

По данным измерений в малых лесных озёрах изучен радиационный механизм перемешивания [Особенности ... , 2024].

Ледовые и донные косы. Измерительные комплексы, включающие температурные датчики, вмороженные в лед и расположенные в подледном слое воды, придонном слое воды и верхнем слое донных отложений, позволяют получать уникальные данные по эволюции температуры в системе лед-вода-донные отложения и оценивать величину теплового потока из донных отложений в воду и из воды в лед [Calculation … , 2023; Heat ... , 2024].

Измерения течений. Автономная станция для измерения течений устанавливается с фиксацией относительно льда, дна или плота. В зависимости от количества используемых измерителей течений наблюдения проводятся только в поверхностном или придонном слоях или по всему водному столбу. В период ледостава приборы устанавливаются в лунку, что позволяет проводить измерения в подледном слое. При измерениях двумя приборами Aquadopp Nortek Profiler HR разработаны схемы такого их взаимного расположения, при котором некоторые лучи пересекаются на определенных глубинах, что позволяет рассчитывать компоненты тензора Рейнольдса и анализировать параметры турбулентности [Towards … , 2023].

Измерения фотосинтетической активной солнечной радиации. Косы с датчиками фотосинтетической активной солнечной радиации (ФАР) устанавливаются обычно так, чтобы верхний датчик находился на глубине 0,1–0,5 м, остальные распределяются по фотической зоне (обычно первые метры), что позволяет оценить коэффициент экстинкции в предположении экспоненциального затухания радиации с глубиной. В период ледостава ФАР-коса устанавливается со льда [Optical ... , 2016]. Длительные (более месяца) постановки ФАР-косы нецелесообразны, так как датчики постепенно покрываются налетом, что может искажать их показания.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН.

Список литературы

Особенности перемешивания водной массы небольшого озера при ночном выхолаживании / С. Р. Богданов, Г. Э. Здоровеннова, Р. Э. Здоровеннов, И. А. Максимов, Н. И. Пальшин // Труды КарНЦ РАН. 2024. № 3. С. 25–38. DOI: 10.17076/lim1874

Calculation of Black Ice Thickness and Heat Fluxes inside the Ice and at the Water–Ice Boundary in a Boreal Lake / S. Bogdanov, N. Palshin, R. Zdorovennov [et al.] // Limnological Review. 2023. Vol. 23, N 3. P. 138–156. DOI: 10.3390/limnolrev23030009

Contrasting Changes in Lake Ice Thickness and Quality Due to Global Warming in the Arctic, Temperate, and Arid Zones and Highlands of Eurasia / G. Zdorovennova, T. Efremova, I. Novikova [et al.] // Water. 2025. Vol. 17, N 3. Art. 365. DOI: 10.3390/w17030365

Heat Exchange at the Water–Ice Interface and Ice Growth in a Small Boreal Lake / N. P. Palshin, G. E. Zdorovennova, T. V. Efremova [et al.] // Water Resources. 2024. Vol. 51, N 2. P. 231–244. DOI: 10.1134/S0097807824701501

Optical properties of Lake Vendyurskoe / R. Zdorovennov, G. Gavrilenko, G. Zdorovennova [et al.] // Geography, Environment, Sustainability. 2016. N 3. P. 74–87.

Parameters of Water Column Stability in a Small Polymictic Lake in Years of Different Weather Conditions / S. I. Smirnov, R. E., T. V. Efremova [et al.] // Water Resources. 2024. Vol. 51, N 3. P. 299–313. DOI: 10.1134/S0097807824700817

Towards Turbulent Stresses Estimates by Special Geometric Adjustment of Two ADCPs / S. Bogdanov, I. Maksimov, G. Zdorovennova [et al.] // Water. 2023. Vol. 15. Art. 28. DOI: 10.3390/w15010028

УДК 556.555

ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ И СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРЕННОГО КИСЛОРОДА В МАЛОМ ОЗЕРЕ КАРЕЛИИ В ГОДОВОМ ЦИКЛЕ

Г. Э. Здоровеннова*, Р. Э. Здоровеннов, Ю. С. Новикова, С. Р. Богданов, Н. И. Пальшин, Т. В. Ефремова, С. И. Смирнов

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (Россия, 185030, Петрозаводск, просп. А. Невского, 50)
**Автор для переписки: zdorovennova@gmail.com*

Аннотация. Цель исследования – выявление изменений в термическом и кислородном режимах малого озера южной Карелии на фоне потепления регионального климата. По данным измерений на автономной станции в 2023–2024 гг. установлены особенности термического режима и кислородных условий в озере в периоды ледостава и открытой воды. Зимой анаэробная зона в придонных слоях озера существовала более 3,5 мес., летом – более 1,5 мес. На фоне пониженной ветровой активности и аномально теплых погодных условий лета и начала осени 2024 г. стратификация продолжалась нетипично долго – около 4 мес., и режим перемешивания озера был димиктическим. Выявленные особенности температурного и кислородного режимов озера и режима перемешивания могли оказать негативное воздействие на состояние его экосистемы.

Ключевые слова: малое озеро, температура воды, растворенный кислород, дефицит кислорода, режим перемешивания

Повышение глобальной приземной температуры воздуха сопровождается ростом повторяемости климатических аномалий. На территории южной Карелии с 2020 г. каждый год наблюдаются аномальные погодно-климатические явления: экстремально теплая зима 2019–2020 гг., рекордно жаркий и сухой июнь 2021 г., рекордно теплый август 2022 г., рекордно теплый сентябрь 2023 г. и 2024 г. Такие изменения погодных условий обусловливают изменения термического и кислородного режимов озер.

Измерения температуры воды и содержания растворенного кислорода (РК) проводятся в малом оз. Вендюрское (площадь поверхности 10,2 км^2, средняя и максимальная глубины 5,3 и 13,4 м), начиная с июля 2007 г. на автономной станции (косе с датчиками температуры и кислорода RBR), расположенной в центральной глубоководной котловине озера.

По данным косы за период ее нахождения в озере с октября 2023 г. по октябрь 2024 г. установлены особенности термического режима и кислородных условий.

В предледоставный период 2023 г. озеро охлаждалось в полностью перемешанном состоянии, водная толща была хорошо насыщена кислородом (90–100 %) Постоянный лед установился 17 ноября 2023 г. при температуре воды в верхнем слое озера 0,38 °С, в придонном слое 0,65 °С (среднее по столбу 0,56 °С). Сразу после установления льда началось повышение температуры придонного слоя воды, и к концу зимы она достигла 5,3 °С. В верхнем слое (глубина 1,67 м) слабое повышение температуры началось в начале января. Весенняя подледная конвекция развивалась с конца марта, охватив водную толщу до глубины 9 м. Температура конвективно-перемешанного слоя достигла 3,85 °С к концу ледостава. Взлом льда произошел 8 мая 2024 г. Ледостав продолжался 174 сут.

Уменьшение содержания РК в придонном слое началось с первых дней ледостава. К началу второй декады января содержание РК уменьшилось до 20 % в метровом придонном слое, к концу февраля толщина обедненной кислородом придонной зоны увеличилась до 1. 5 м. Придонная анаэробная зона была разрушена только после взлома льда, то есть, существовала около 3,5 мес. К концу зимы содержание РК на глубине 5,5 м понизилось до 50–55 %. В верхнем слое (до 3,5 м) зимой содержание РК составляло 80–90 %, с началом подледной конвекции понизилось до 70 % в связи с тем, что в перемешивание вовлекались нижележащие обедненные кислородом слои воды. После взлома льда произошло полное пе-

ремешивание водной толщи озера, и содержание РК в первые дни после взлома льда составляло 80–90 %.

Период весеннего перемешивания водной толщи в условиях открытой воды продолжался 8 сут; с 16 мая установилась стратификация, которая, периодически усиливаясь при жаркой погоде и ослабевая при прохождении циклонов, просуществовала до конца второй декады сентября, то есть более четырех месяцев. В предыдущие годы исследований стратификация продолжалась от нескольких дней/недель до 1–1,5 мес. То есть в период открытой воды 2024 г. режим перемешивания оз. Вендюрское соответствовал димиктическому типу.

Температура верхнего слоя озера в июне-июле составляла 17–21 °С, в августе 19–20 °С. Годовой максимум (24,7 °С) был достигнут 28 июля 2024 г. На фоне аномально теплой погоды начала осени температура верхнего слоя озера оставалась в пределах 18–19 °С до 18 сентября. Температура придонного слоя к концу мая повысилась до 10 °С, затем к середине июля – до 12,6 °С, и в следующие 1,5 мес. слабо повышалась и достигла 13,7 °С. В конце августа произошло скачкообразное повышение температуры придонного слоя до 16–17 °С и на этом уровне температура придонного слоя оставалась до конца второй декады сентября. С 20 сентября водная толща озера охлаждалась в полностью перемешанном состоянии.

Период с температурой воды выше 10 °С, так называемое «биологическое лето», продолжался с 19 мая по 9 октября, т. е. 142 сут, что соизмеримо с продолжительностью этого периода в 2023 г. (с 15 мая по 8 октября), и больше большинства значений предыдущих лет исследований.

Истощение кислорода в придонном слое центральной котловины озера началось с конца мая, и к середине июля толщина придонной зоны с содержанием кислорода меньше 20 % достигла 1 м, а к началу августа – 3 м. Придонная анаэробная зона существовала около 1,5 мес. В сентябре содержание кислорода в придонном слое центральной котловины составляло 40–80 %, в октябре – 80–100 %. В верхнем слое содержание кислорода в мае повышалось и достигло максимума 120 % в начале июня, предположительно, на фоне активного развития фитопланкона. В июне – октябре в верхнем слое озера содержание кислорода изменялось в пределах 90–110 %.

Таким образом, продолжительность ледостава (174 сут.) в зимний сезон 2023–2024 гг. попала в диапазон многолетних значений (145–192 сут). Продолжительность стратификации в период открытой воды была аномально длительной – около четырех месяцев, что заметно превосходит данные предыдущих лет исследований, и позволяет охарактеризовать режим перемешивания озера в 2024 г. как димиктический. Причиной этого стали довольно теплые погодные условия летних месяцев, пониженная ветровая активность и аномально теплые погодные условия сентября 2024 г., когда температура воздуха превышала климатическую норму на 4–6 °С.

Кислородный режим озера в зимний период характеризовался длительным – более 3,5 мес. – существованием придонной анаэробной зоны в центральной котловине озера. В период открытой воды кислородные условия также были неблагоприятными, придонная анаэробная зона существовала более 1. 5 мес., при этом толщина ее достигла 3,0 м.

Выявленные особенности температурного и кислородного режимов озера и режима перемешивания в зимний сезон 2023–2024 гг. и период открытой воды 2024 г. могли оказать негативное воздействие на состояние бентосного сообщества, как за счет длительных периодов дефицита кислорода в придонных слоях озера в период ледостава и летом, так и за счет нетипичного сезонного распределения температуры придонного слоя воды – длительного периода невысоких температур летом.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН.

УДК 579

МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА В ОСАДКАХ РИФТОВОГО ОЗЕРА БАЙКАЛ

Т. И. Земская*, С. В. Букин, С. М. Черницына, А. В. Ломакина, О. Н. Павлова

Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: tamara.zemskaya@gmail.com*

Аннотация. С использованием метабаркодирования проанализированы разнообразие и структура микробных сообществ в осадочной толще оз. Байкал в районах со спокойным осадконакоплением и разгрузки нефте-газосодержащих минерализованных флюидов. Разнообразие микробных сообществ в осадках разных районов оз. Байкал перекрывалось на уровне филумов и демонстрировало возрастающее несходство микроорганизмов ниже уровня класса и семейства. Наибольшие различия отмечены между сообществами окисленных и восстановленных донных отложений, а также в зонах разгрузки газосодержащих минерализованных флюидов. Для сообществ окисленных слоев характерна высокая относительная численность метаболически разнообразных таксонов, с высоким вкладом микроорганизмов, участвующих в цикле углерода и азота. В восстановленных осадках преобладали микроорганизмы, участвующие в анаэробной ферментации, гидролизе и конечных этапах деструкции органических веществ (ОВ). В зонах разгрузок, с высоким содержанием метана разного генезиса и нефтяных углеводородов доминировали прокариоты, в геномах которых преобладали гены путей автотрофной фиксации углерода, нитрификации, нитрат и сульфатредукции, а также окисления метана.

Ключевые слова: Байкал, донные отложения, микробные сообщества, структура, ген 16S рРНК

Проанализированы метабаркодинговые данные (платформа Illumina) 78 бактериальных (регион V2-V3 гена 16S рРНК) и 75 архейных (регион V5-V6) образцов, полученных за период 2018–2023 гг. из разных экотопов оз. Байкал. Как и ранее, наибольшие различия на уровне доминирующих филумов наблюдались между окисленными и восстановленными осадками с возрастающим несходством сообществ на уровне таксонов более низкого ранга в разных типах осадков (фоновые, грязевые вулканы (г/в), нефтяные сипы). Для сообществ из окисленных осадков характерна более высокая относительная численность метаболически разнообразных таксонов, осуществляющих минерализацию ОВ и широко представленных в озерных отложениях [A guide ... , 2011]. В восстановленных осадках присутствовали филумы *Atribacterota* и *Caldisericota* с наибольшим их вкладом в сообщества осадков грязевых вулканов и нефтяных сипов. Сообщества всех типов осадков, характеризовались значительным вкладом представителей *Chloroflexota, Actinomycetota, Acidobacterota, Nitrospirota, Bacteroidota, Desulfobacterota*. Одними из наиболее представленных в исследованных сообществах были представители органогетерофных *Chloroflexota*, участвующие в разных этапах ферментации сложных соединений.

Структура архейной компоненты сообществ также в значительной степени отличалась между окисленными и восстановленными слоями осадочной толщи. Одним из отличий являлся вклад филума *Thermoproteota*, представленных в восстановленных слоях археями класса *Bathyarchaeia*, а в поверхностных илах аэробными представителями класса *Nitrososphaeria.* Основной группой микроорганизмов, способных образовывать метан из C_1-метилированных субстратов являлись археи порядка *Methanomassilicoccales* (*Thermoplasmatota*), встречающиеся в сообществах восстановленных и окисленных слоёв. Кроме того, в сообществах разных экотопов выявлены ацетокластические, гидрогенотрофные и метилотрофные метаногены принадлежащие филумам *Halobacterota* (*Methanocellaceae*, *Methanomicrobiaceae*, *Methanoregulaceae*, *Methanospirillaceae*, *Methanosarcinaceae*, *Methanotrichaceae, Candidatus* Methanoflorentales) и *Euryarchaeota* (*Methanobacteriaceae*, *Methanofastidiosaceae*). Наибольшая относительная численность метаногенных архей фиксируется в донных отложениях нефте-метановых сипов (до 50 %). Единственными участниками процесса анаэробного окисления метана среди архей являлись микроорганизмы се-

мейства *Methanoperedenaceae* (ранее ANME-2d) [A microbial ... , 2006], равномерно представленные во всех экотопах, за исключением восстановленных осадков нефте-метановых сипов. В разных пропорциях выявлены представители *Woesearchaeales* (*Nanoarchaeota*), миксотрофных H_2 продуцирующих архей Marine Benthic Group D (сейчас *Thermoprofundales*). Представители *Hadarchaeota* были многочисленны в донных отложениях г/в. Для них декларируют способность к автотрофии с использованием CO_2 при ацетогенезе, а также к гидрогеногенному окислению CO до CO_2 [Genomic ... , 2016; Expanding ... , 2019]. Минорную часть архейной компоненты составляли микроорганизмы филумов *Aenigmarchaeota*, *Altiarchaeota*, *Micrarchaeota*, *Lainarchaeota,* представленные как свободно живущими, так и симбионтными формами общей чертой которых является малый размер генома и ограниченные метаболические возможности. Детальный анализ состава микробных сообществ донных отложений различных геологических структур показал, что возрастание доли метаногенных микроорганизмов происходит в ряду от фоновых к осадкам нефте-метановых сипов. На структуру микробных сообществ донных отложений оказывали влияние поступающие из глубинной зоны газосодержащие флюиды. На поверхности донных отложений в зонах с особо интенсивными потоками минерализованных газосодержащих флюидов обнаружены и описаны микробные маты двух типов: в бухте Фролиха (северная котловина) с доминированием бесцветных серных бактерий при значительном вкладе микроорганизмов цикла метана и в районе г/в Санкт-Петербург (средняя котловина) над массивными слоями газовых гидратов с доминированием метанотрофных/метаногенных прокариот. Филогенетический анализ байкальских последовательностей свидетельствовал об их отдаленном родстве с таковыми из пресноводных озер, морских осадков и горячих источников, что подтверждается метагеномными данными.

Благодарности. Авторы выражают благодарность А. В. Хабуеву, О. М. Хлыстову, а также сотрудникам ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала», «Ультрамикроанализ» ЛИН СО РАН, ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ за помощь в отборе образцов и проведении анализов. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (НИОКТР 121032300223-1 [0279-2021-0006]) и гранта РНФ 22-14-00084.

Список литературы

A guide to the natural history of freshwater lake bacteria / R. J. Newton, S. E. Jones, A. Eiler [et al.] // Microbiology and Molecular Biology Reviews. 2011. Vol. 75, N 1. P. 14–49. DOI: 10.1128/mmbr.00028-10

A microbial consortium couples anaerobic methane oxidation to denitrification / A. A. Raghoebarsing, A. Pol, K. T. van de Pas-Schoonen [et al.] // Nature. 2006. N 440 (7086). P. 918–921. DOI: 10.1038/nature04617

Expanding anaerobic alkane metabolism in the domain of Archaea / Y. Wang, G. Wegener, J. Hou, F. Wang, X. Xiao // Nature Microbiology. 2019. Vol. 4 (4). P. 595–602. DOI: 10.1038/s41564-019-0364-2

Genomic inference of the metabolism of cosmopolitan subsurface Archaea, *Hadesarchaea* / B. J. Baker, J. H. Saw., A. E. Lind [et al.] // Nature Microbiology. 2016. Vol. 1. Art. 16002. DOI: 10.1038/nmicrobiol.2016.2

УДК 556.114.7:556.55

ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР ОТЧЛЕНЕННЫХ ЗАЛИВОВ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

И. И. Зиганшин*, Д. В. Иванов, Р. Р. Хасанов, Л. К. Мухаметзянова

Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан
Россия, 420087, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Даурская, 28
**Автор для переписки: Irek.Ziganshin@tatar.ru*

Аннотация. Приводятся результаты исследования процессов аккумуляции углерода в донных отложениях отчлененных заливов Куйбышевского водохранилища, расположенных в Волжско-Камского заповеднике. Установлены пространственные закономерности распределения и мощности донных отложений озер, варьирующей от 5 до 48 см. Показано, что скорость седиментации увеличивается с глубиной от 0,8–3,0 мм/год на мелководьях (<1 м) до 3,9–7,2 мм/год на глубинах свыше 2 м, а потоки осадочного материала достигают 680–3186 г/(м²·год). Установлено, что максимальные значения накопления углерода характерны как для глубоководных, так и для мелководных, но продуктивных зон с интенсивным развитием макрофитов. Рассчитанные общие запасы органического углерода в донных отложениях всех исследованных озёр, составили 3246 т (11 930 т в CO_2-эквиваленте).

Ключевые слова: отчлененные заливы, донные отложения, седиментация, депонирование углерода, Куйбышевское водохранилище.

Проведено исследования процессов аккумуляции и запасов углерода в донных отложениях 12 озер – отчлененных заливов Куйбышевского водохранилища, расположенных в Волжско-Камском заповеднике и его охранной зоне. Происхождение озер связано с изоляцией образовавшихся после создания Куйбышевского водохранилища заливов от основной акватории абразивно-аккумулятивными пересыпями или искусственным путем.

Батиметрические измерения и грунтовая съемка озёр, выполнялась в период летней межени 2024 г. Для оценки вклада терригенной составляющей в формирование вещественного состава отложений выполнен отбор смешанных образцов гумусовых горизонтов почв водосборной территории. Аналитические исследования почв и донных отложений включали определение гранулометрического состава и плотности, а также содержания в них органических веществ. Для вычисления доли углерода в общей массе органического вещества использовался коэффициент 0,58.

По площади акватории, изучаемые объекты относятся к классу озерков и маленьких озёр с максимальной глубиной от 1 до 2,7 м. Толщина накопленных в их ложе за 70-летний период донных отложений колеблется от 5 до 48 см, в среднем составляя 21 см. Показано, что скорость седиментации увеличивается с глубиной и варьирует в пределах 0,8–7,2 мм/год, что согласуется с данными по другим водоёмам Средней Волги. Средняя скорость накопления осадочного материала в озёрах равна 1748 г/м^2 при медианном значении 1500 г/м² в год**.** На глубинах 2 и 3 м данный показатель достигает 2000–2500 г/м^2 в год.

Выявлена сильная положительная корреляция между глубиной водоёма и скоростью аккумуляции органического углерода, которая в среднем составляет 29, 53 и 66 гС/м²·год для глубин <1 м, 1–2 м и >2 м соответственно. Установлено, что максимальные значения накопления углерода характерны как для глубоководных зон, так и для мелководных, но продуктивных изолированных озёр с интенсивным развитием макрофитов. Рассчитанные общие запасы органического углерода в донных отложениях всех исследованных озёр, составили 3246 т (11 930 т в CO_2-эквиваленте).

Полученные данные важны для понимания роли малых водоёмов в углеродном балансе региона и могут быть использованы при разработке мер по снижению углеродного следа.

УДК 576.7:571.27

ГЕМОЦИТЫ БАЙКАЛЬСКИХ АМФИПОД: НОВЫЕ ДАННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КЛЕТОЧНОГО ИММУННОГО ОТВЕТА

Е. Д. Золотовская *, А. Н. Назарова, Г. А. Арбузова, П. Б. Дроздова, М. А. Тимофеев

Иркутский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
**Автор для переписки: zolotovskaya.elena.dm@gmail.com*

Аннотация. Впервые изучен состав гемоцитов у байкальских амфипод методом проточной цитометрии, отработан метод пробоподготовки образцов гемолимфы. У исследуемых видов амфипод (за исключением *P. cansellus*) выявлены популяции плазмоцитов и гранулоцитов с доминированием первых. Обнаружены значительные межвидовые различия в соотношении клеточных популяций (от 87 % к 13 % до 55 % к 45 %) и внутривидовая вариабельность. Полученные данные важны для понимания иммунной адаптации и разработки моделей оценки видовой устойчивости к патогенам.

Ключевые слова: проточная цитометрия, гемоциты, врожденный иммунный ответ, амфиподы, Байкал

Гемолимфа и содержащиеся в ней гемоциты представляют собой ключевой компонент клеточного иммунитета ракообразных, обеспечивая защитные функции от патогенов и инородных тел. Согласно наиболее распространенной классификации у ракообразных выделяют три основных типа гемоцитов, различающихся по морфологическим признакам и функциональной активности: плазмоциты (фагоцитоз), гранулоциты (экспрессия иммунных факторов) и полугранулоциты (распознавание патогенов) [Crustacean … , 2010]. Для идентификации и разделения этих клеточных популяций применяют различные методы, включая световую и электронную микроскопию, проточную цитометрию и гистохимические исследования [Cytometric … , 2025]. При этом состав и функциональная специализация гемоцитов может различаться у разных групп ракообразных [Söderhäll, 2016]. Особый интерес представляют байкальские амфиподы, отличающиеся чрезвычайным видовым разнообразием (360 видов и подвидов) и занимающие различные экологическим нишам [Amphipods ... , 1945], однако знания о структурной организации гемоцитов остаются крайне ограниченными. Поскольку соотношение клеточных популяций гемоцитов может служить индикатором иммунологического статуса, определение типов гемоцитов и их соотношение у разных родов амфипод будет полезным для расширения представления о механизмах их иммунной адаптации. Цель настоящего исследования – первичная оценка популяций гемоцитов эндемичных байкальских амфипод на примере четырех родов: *Eulimnogammarus*, *Pallasea*, *Accanthogammarus*, *Ommatogammarus*.

Байкальских амфипод вылавливали в районе пос. Листвянка, глубина 0,5–1 м (51°52'05.5"N 104°49'47.1"E) – сбор *E. verrucosus*, *E. maackii*, *E. marituji*, *E. cruentus*, *P. cancellus*; район пос. Листвянка, глубина 6 м и 40 м (51°50'24.1"N 104°53'36.8"E и 51°50'23.2"N 104°53'47.7"E) – сбор *A. lapaceus longispinus*, *A. victorii maculosus*; район пос. Большие Коты, глубина 250–300 м (51°53'46.1"N 105°04'20.8"E) – сбор *O. flavus, O. albinus*. Собранных животных акклимировали в лабораторных условиях не менее недели (в аэрируемых аквариумах с байкальской водой). Для анализа популяций методом проточной цитометрии из половозрелых особей отбирали гемолимфу из центрального кровеносного сосуда и смешивали с антикоагулянтом (150 мМ NaCl, 5 мМ Na2HPO4, 10 мМ EDTA, 30 мМ цитрат натрия, pH 8,0) в соотношении 1:1 для предотвращения слипания клеток. Для одного измерения использовали гемолимфу одного животного, увеличивая до двух, в случае детекции низкого количества событий (для *E. marituji*, *O. albinus*). Анализ проводили с помощью проточного цитофлуориметра Longcyte, Challenbio (синий лазер с длинной волны 488 нм) и программного обеспечения ModelFlower V3.0.1.5382. Для визуализации данных

использовали точечные графики, где каждая точка представляет событие, располагающаяся в соответствии с зернистостью (шкала SSC, боковое рассеяние света) и размером (шкала FSC, прямое рассеяние света). Целые интактные клетки отделяли от дебриса (разрушенные клетки и ядра) пропорционально размеру частиц по шкале FSC. Популяции гемоцитов разных типов разделяли по размеру, степени зернистости (гранулярности), плотности расположения частиц и оценивали их процентное соотношение.

Методом проточной цитометрии была первично проанализирована вариабельность состава гемоцитов четырех родов байкальских амфипод, обитающих от литорали (*Eulimnogammarus*, *Pallasea*, *Accanthogammarus*, *Ommatogammarus*) и сублиторали (*Accanthogammarus*) до глубоководной зоны (*Ommatogammarus*). У представителей всех родов кроме *Pallasea* клетки разделялись на две популяции – плазмоциты и гранулоциты, тогда как у *Pallasea* выраженного разделения гемоцитов на популяции не обнаружено. В случае присутствия двух популяций гемоцитов, плазмоциты всегда наблюдались в большем количестве. Однако соотношение плазмоцитов к гранулоцитам сильно варьировало между видами: от сильно выраженного преобладания (87 % к 13 % от общего количества гемоцитов для *E. marituji*) до почти одинакового соотношения обоих популяций (55 % к 45 % для *E. verrucosus*).

Кроме межвидовой также была пронализирована внутривидовая вариабельность популяций гемоцитов относительно друг друга (на примере семи животных *A. lapaceus longispinus*) и изменения количества гемоцитов в пределах одной популяции (на примере восьми животных *P. cancellus*). У *P. Cancellus* в популяции клеток, с преобладанием плазмоцитов наибольшее количество клеточных событий составляло 3,5 тыс. кл/мкл, минимальное – 780 кл/мкл, медианное значение – 1135,0 кл/мкл. Для *A. lapaceus longispinus* максимальное количество клеток на образец – 1,7 тыс. кл/мкл, минимальное – 52 кл/мкл, медианное значение составило 207,5 кл/мкл. Также в популяции гранулоцитов и плазмоцитов у амфипод этого вида преобладают последние, а процентное соотношение сильно варьирует (от 78 % к 22 % до 49 % к 50 %), что соотносится с данными по межвидовой вариабельности. Стоит отметить, что количество дебриса может составлять до 50 % (для *P. cancellus*) и 60 % (*A. lapaceus longispinus*), что следует учитывать при анализе данных.

В данной работе впервые описаны популяции байкальских эндемичных ракообразных разных видов. Состав гемоцитов амфипод может варьировать как между видами, так и внутри одного вида. У исследованных родов амфипод (кроме *Pallasea*) обнаружены две популяции клеток – плазмоциты и гранулоциты, с преобладанием плазмоцитов. При этом соотношение плазмоцитов и гранулоцитов значительно различалось у разных видов – от резкого преобладания плазмоцитов до почти равного распределения. Также выражена внутривидовая изменчивость, показанная на примере количества и соотношения гемоцитов у амфипод *A. lapaceus longispinus*. Различия в клеточном составе гемолимфы, вероятно, отражают адаптационные механизмы, связанные с условиями обитания, что важно для понимания их устойчивости к инфекциям. Полученные данные могут служить основой для разработки модели оценки устойчивости иммунного ответа амфипод разных видов к патогенам.

Список литературы

Amphipods of lake Baikal / A. Y. Bazikalova [et al.] // Proceedings of Baikal Limnological Station. 1945. N 11. P. 1–440.

Crustacean immunity / L. Cerenius [et al.] // Invertebrate immunity. 2010. Vol. 708. P. 239–259.

Cytometric and morphological characterization of hemocytes from four species of freshwater decapod crustaceans / P. S. Reyes [et al.] // Biología Acuática. 2025. N 44: 045-045.

Söderhäll I. Crustacean hematopoiesis // Developmental & Comparative Immunology. 2016. N 58. P. 129–141.

УДК 597.553.2:574.3

ОСОБЕННОСТИ ИХТИОФАУНЫ ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЕМОВ 22 БАССЕЙНОВ РЕК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ФЕННОСКАНДИИ (БАССЕЙНЫ БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ, 1972–2024 ГГ. ИССЛЕДОВАНИЙ)

Е. М. Зубова[1]*, Н. А. Кашулин[1], П. М. Терентьев[1], Р. О. Иванченко[1], А. В. Мелехин[2]

[1]Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН (Россия, 184209, Мурманская область, Апатиты, Академгородок, 14а)
[2]Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина Кольского научного центра РАН (Россия, 184209, Мурманская область, Апатиты, Академгородок, 18а)
**Автор для переписки: seelewolf84@yandex.ru*

Аннотация. Обобщены данные по распределению видов рыб в 128 разнотипных пресноводных водоемах северо-восточной Фенноскандии (далее СВФ), принадлежащих к 22 речным бассейнам (бассейны Баренцева и Белого морей) за временной период с 1972 по 2024 г. Проанализированы факторы, определяющие наличие/отсутствие видов рыб. Выделены ключевые пробелы в данных, накопленных за всю историю ихтиологических исследований в регионе, в том числе по биологии европейского сига *Coregonus lavaretus* и параметрам среды обитания. Изучены тренды изменений структуры рыбной части населения водоемов СВФ в условиях изменений окружающей среды. Полученные результаты послужат научной основой для оценки современного состояния пресноводных экосистем Арктики и прогноза их изменений при различных сценариях изменений окружающей среды.

Ключевые слова: ихтиофауна, европейский сиг, сукцессии, пресноводные водоемы, Фенноскандия.

Ихтиофауна 128 пресноводных водоемов 22 речных бассейнов СВФ (бассейны Баренцева и Белого морей) включает до 20 видов рыб, относящихся к 17 родам и 8 семействам [Берг, Правдин, 1948; Галкин, Колюшев, Покровский 1966; Моисеенко, Яковлев, 1990 и др.]. Из них аборигенных и интродуцированных видов 16 и 4 соответственно. Основу нативной ихтиофауны водоемов составляет «северная» холодолюбивая группа рыб [Смирнов, 2023]. Число видов рыб в водоеме изменяется от 1 до 18. Распределение видов рыб определяется рядом факторов, включая географию, размер водосбора и морфометрию водоема. Число видов в бассейнах средних рек растет в направлении с северо-запада на юго-восток за счет увеличения таксонов более высокого ранга (семейств и родов). В крупных и глубоководных озёрах и озерных водохранилищах бассейна Белого моря обитает фактически весь спектр видов данного района исследования. Наиболее часто встречаемыми видами являются обыкновенный гольян *Phoxinus phoxinus*, девятииглая колюшка *Pungitius pungitius*, северная щука *Esox lucius*, налим *Lota lota*, европейский окунь *Perca fluviatilis* и европейский сиг (62–100 % встречаемость). Установлено, что в изученных водоемах европейский сиг представлен различными симпатрическими экологическими формами [Зубова, 2015; Diversity ... , 2022; Foraging … , 2023]. Изученные формы сига в водоемах 8 речных бассейнов СВФ имеют различия не только в строении жаберного аппарата и питании, но и в возрасте, росте и созревании рыб. Различия в структуре популяций сига наблюдаются как между водоемами различных речных бассейнов, так и внутри бассейнов этих рек [Зубова, 2015; Diversity ... , 2022; Foraging … , 2023]. В изученных водоемах СВФ наблюдается общая тенденция перехода сигово-лососевых водоемов к сигово-окуневым или сигово-корюшковым [Терентьев, Кашулин, Зубова, 2017; Комплексные … , 2018; European … , 2024]. Эти сукцессионные процессы связаны с изменениями условий обитания рыб под воздействием глобальных и региональных факторов: климатические изменения, изменение гидрологического режима, техногенное загрязнение, эвтрофирование, вселение чужеродных видов [Комплексные … , 2018; Зубова, Кашулин, Терентьев, 2020; Environmental … , 2015].

Благодарности. работа выполнена в рамках двух тем НИР FMEZ-2025-0061 «Оценка и прогноз состояния арктических пресноводных экосистем в условиях потепления климата и современных вариаций антропогенной нагрузки» и FMEZ-2024-0014 «Мониторинг природных объектов в условиях изменения климата, специфических природных геохимических ландшафтов, урбанизации и промышленного освоения Арктики».

Список литературы

Берг Л. С., Правдин И. Ф. Рыбы Кольского полуострова. Л. : Известия ВНИОРХ, 1948. 267 с.

Галкин Г. Г., Колюшев А. А., Покровский В. В. Ихтиофауна водохранилищ и озер Мурманской области. Рыбы Мурманской области. Условия обитания, жизнь и промысел. Мурманск : ПИНРО1966. С. 177–193.

Зубова Е. М. Линейный рост европейского сига *Coregonus lavaretus* (L.) в антропогенно-модифицированных водоемах европейской субарктики (на примере Мурманской области) : автореф. дис. … канд. биол. наук. Пермь, 2015.

Зубова Е. М., Кашулин Н. А., Терентьев П. М. Современные биологические характеристики сига *Coregonus lavaretus*, европейской ряпушки *C. albula* и европейской корюшки *Osmerus eperlanus* оз. Имандра // Вестник Пермского университета. Биология. 2020. № 3. С. 210–226.

Комплексные исследования пресноводных экосистем Фенноскандии / Н. А. Кашулин, В. А. Даувальтер, Д. Б. Денисов [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Науки о Земле и смежные экологические науки. 2018. № 9. С. 34–86. DOI: 10.25702/KSC. 2307-5252.2018.9.9.34-86

Моисеенко Т. И., Яковлев В. А. Антропогенные преобразования водных экосистем Кольского Севера. Л. : Наука, 1990. 219 с.

Смирнов А. К. Зоогеографический анализ особенностей температурных предпочтений рыб европейской части России // Вопросы ихтиологии. 2023. Т. 63, № 2. С. 132–143.

Терентьев П. М., Кашулин Н. А., Зубова Е. М. Роль европейской корюшки *Osmerus eperlanus* (Linnaeus) в структуре ихтиофауны бассейна оз. Имандра (Мурманская область) // Труды Зоологического института РАН 2017. Т. 321, № 2. С. 228–243.

Diversity and distribution of European whitefish (*Coregonus lavaretus*) in watercourse of northwestern Russia / E. Zubova, N. Kashulin, P. Terentjev, A. Melekhin // Polish Polar Research. 2022. Vol. 43, N 1. P. 69–99. DOI: 10.24425/ppr.2021.138589

Environmental Challenges in the Joint Border Area. Reports 41 / J. Ylikörkkö, G. N. Christensen, N. Kashulin [et al.]. Centre for Economic Development, Transport and the Environment for Lapland. Kokkola : Juvenes Print, 2015. 41 p.

European whitefish *Coregonus lavaretus*of the Nizhnetulomskoye Reservoir (Tuloma River basin, Murmansk region) and its habitat conditions / E. Zubova, P. Terentjev, N. Kashulin [et al.] // Limnology and Freshwater Biology. 2024. N 2. P. 58–97.

Foraging morphology and diet divergence of European whitefish (*Coregonus lavaretus*) in water courses of Murmansk Region / E. M. Zubova, N. A. Kashulin, P. M. Terentjev [et al.] // Limnologica. 2023. Vol. 99, N 8. Art. 126053

УДК 574.5:57.072

ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИИ ЗАПАДНО-КАРЕЛЬСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ НА ОСНОВЕ КЛАДОЦЕРНОГО АНАЛИЗА

А. Г. Ибрагимова[1]*, Д. Г. Селезнев[2], Д. А. Субетто[3], А. А. Котов[1]

[1]Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
(Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33)
[2]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
(Россия, 152742, Борок)
[3]Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена
(Россия, 191186, Санкт-Петербург, набережная реки Мойки, 48)
**Автор для переписки: Ais5_ibragimova@mail.ru*

Аннотация. Исследованы тафоценозы Cladocera донных отложений двух озёр Западно-Карельской возвышенности – оз. Южное Хаугилампи и оз. Торосярви. Проведен сравнительный анализ данных, выявлены общие черты в формировании тафоценозов в позднем плейстоцене-голоцене. По данным о встречаемости видов в двух озёрах был проведен анализ ассоциированности, который выделил шесть групп положительно ассоциированных видов. Результаты исследования указывают на значительное изменение условий среды, происходившее в озёрах в период, приходящийся на границу двух групп.

Ключевые слова: Cladocera, субфоссильные остатки, донные отложения, анализ ассоциированности

Целью данного исследования являлось сравнение состава кладоцерных тафоценозов двух озер Западно-Карельской возвышенности, выявление общих закономерностей и особенностей в формировании их состава. Нами исследованы тафоценозы кладоцер из колонок донных отложений двух озер – оз. Южное Хаугилампи [Палеолимнология ... , 2022] и оз. Торосярви [Cladoceran … , 2025]. Обе колонки охватывают поздний плейстоцен и весь голоцен. Радиоуглеродное датирование установило, что возраст колонки из оз. Южное Хаугилампи составляет более 12805 кал. л. н., а из оз. Торосярви – более 11242 кал. л. н. Всего в двух озёрах идентифицировано 47 таксонов Cladocera, относящиеся к 8 семействам (*Chydoridae, Bosminidae, Sididae, Macrothricidae, Daphniidae, Cercopagididae, Polyphemidae, Holopedidae*): 42 в оз. Торосярви и 35 в оз. Южное Хаугилампи. В озёрах не были выявлены доминанты сообществ. *Bosmina* (*Eubosmina*) cf. *longispina*, *Biapertura affinis* и *Alona quadrangularis* были субдоминантами в тафоценозе оз. Торосярви. В оз. Южное Хаугилампи роль субдоминанта выполняла *B. affinis.* В нижних слоях колонок обоих озер обнаружены преимущественно холодолюбивые виды, что весьма характерно для формирования фауны в послеледниковый период. Вверх по колонке количество видов Cladocera возрастает, в основном из-за развития видов, ассоциированных с растительностью. Увеличивается количество обнаруженных остатков *Camptocercus rectirostris*, что обычно связывают с потеплением климата. Дальнейшие климатические колебания проявились в увеличении в составе ракообразных оз. Торосярви доли северных и пелагических видов при наличии участков литоральной зоны с высокой степенью зарастания макрофитами. Наиболее современные отложения оз. Южное Хаугилампи отличаются развитием фауны, связанной с увеличением трофического статуса водоемов. Увеличивается значимость *Chydorus* cf. *sphaericus* со снижением снижение доли холодноводного олиготрофного *B.* (*E.)* cf. *longispina*. Озеро Торосярви во все периоды своего существования было и остается холодноводным, олиготрофным и довольно глубоким, что подтверждается результатами анализа диатомовых водорослей [Shelekhova, Tikhonova, 2022], тогда как оз. Южное Хаугилампи на современном этапе существования является эвтрофным [Палеолимнология ... , 2022].

По данным о встречаемости видов в двух озёрах Западно-Карельской возвышенности был проведен анализ ассоциированности [Cladoceran ... , 2025], который может указывать на существование условий, препятствующих распространению видов в озёрах на протяжении всего исследованного периода. Анализ выделил шесть групп положительно ассоциированных видов (рис.). Две крупных группы содержат 5 и 13 видов с высокой встречаемостью

в колонках, остальные группы состоят из видов с низкой или единичной встречаемостью. Пять видов первой группы встречаются преимущественно в нижних, более ранних частях колонок, а 13 видов второй группы – в верхних, более современных. С помощью кластерного анализа CONISS была определена граница между двумя группами, которую мы датировали возрастом 11 000 кал. л. н. Существование двух крупных обособленных групп ассоциированных видов, связанных только одной сравнительно слабой (p = 0,042) межкластерной связью указывает на значительное изменение условий среды, происходившее в озёрах в период, приходящийся на границу двух групп.

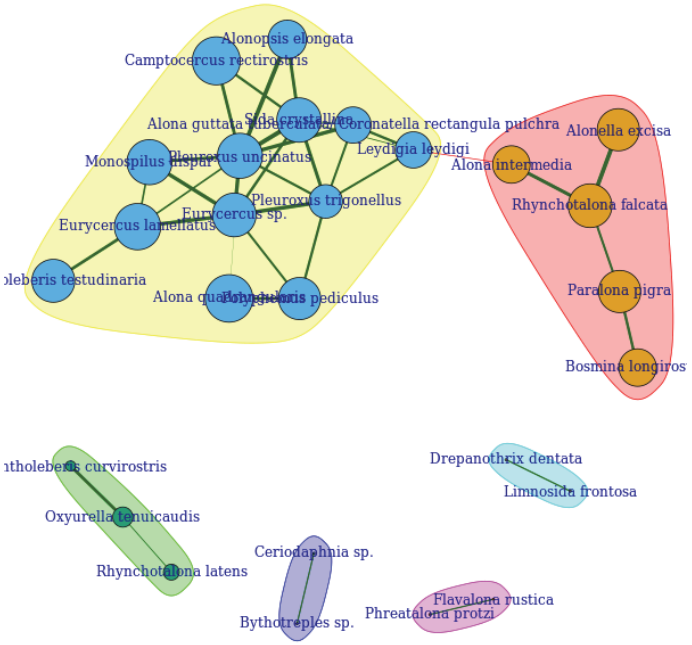


Рис. Граф положительно ассоциированных видов Cladocera в оз. Торосярви и оз. Южное Хаугилампи

Благодарности. Работа по анализу состава Cladocera в донных отложениях оз. Южное Хаугилампи и оз. Торосярви была выполнена при поддержке гранта РНФ 25-74-00023.

Список литературы

Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям: П14 [коллективная монография] / Д. А. Субетто, Н. А. Белкина, В. Д. Страховенко [и др.] ; отв. ред. Д. А. Субетто. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2022. 333 с.

Cladoceran remains as a tool for reconstruction of past environmental conditions during the Late Pleistocene–Holocene in Central Karelia (NW Russia). Part I. Traditional quantitative analysis / A. G. Ibragimova, D. G. Seleznev, L. A. Frolova, D. A. Subetto, M. S. Potakhin, N. A. Belkina, A. A. Kotov // Arthropoda Selecta. 2025a. Vol. 34, Is. 2. P. 192–204.

Cladoceran remains as a proxy for reconstruction of past environmental conditions during the Neopleistocene-Holocene in Central Karelia (NW Russia). Part II. Qualitative approach including species co-occurrence analysis / A. G. Ibragimova, D. G. Seleznev, L. A. Frolova, D. A. Subetto, M. S. Potakhin, N. A. Belkina, A. A. Kotov // Arthropoda Selecta, 2025. In press.

Shelekhova T. S., Tikhonova Yu. S. Diatom complexes in bottom surface sediments from lake Torosjarvi, Central Karelia, Russia // Actual problems of the modern palynology : материалы XV Всерос. палинолог. конф. М. : ГЕОС, 2022. С. 404–407.

УДК 556.114

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ МЕТАНА В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

В. Г. Иванов*, В. Н. Синюкович, И. Б. Мизандронцев, И. А. Асламов

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: vigo@lin.irk.ru*

Аннотация. Обсуждаются результаты измерения концентрации растворенного метана в водной толще оз. Байкал с 2017 по 2024 г. Установлено, что в деятельном слое (0–200 м) всех котловин содержание метана росло до 2021 г., после чего начался устойчивый спад. Сравнение этих материалов с данными по притокам выявило ведущую их роль в формировании фоновых концентраций растворенного метана деятельного слоя по всей акватории оз. Байкал. Изменение во времени содержания растворенного метана в основной глубинной зоне озера, отличающейся пониженной интенсивностью вертикального турбулентного обмена, носит другой характер, обусловленный влиянием потоком метана из донных отложений и окислением аэробной метанотрофной микрофлорой. После максимальных значений концентраций в 2017–2019 гг. наблюдается их равномерное понижение, без выраженного влияния межгодовых колебаний речного притока. К настоящему времени, содержание метана в деятельном слое оз. Байкал вернулось на уровень 2003 г., на фоне 1,5–2-кратного снижения его концентраций в глубинных слоях.

Ключевые слова: растворенный в воде метан, метод парофазного равновесия, газовый состав, Байкал

Содержание метана в озерной воде формируется под влиянием ряда конкурирующих факторов. С одной стороны, это поступление метана с речным стоком, анаэробное разложение органического вещества и его поток из донных отложений (как диффузионный, так и пузырьковый) и образование метана в самой воде, а с другой – окисление метана в водной толще и его эмиссия в атмосферу. На соотношение этих составляющих метанового круговорота влияют как климатические и гидрологические условия, которые определяют сезонную и суточную динамику физико-химических и биогеохимических процессов, так и накладывающееся антропогенное воздействие.

Предыдущие исследования [Вертикальное ... , 2020; Распределение ... , 2023; Пространственное ... , 2023] показали, что распределение растворенного метана в оз. Байкал носит неоднородный характер как по акватории, так и по глубине озера. Вертикальное распределение растворенного метана в Байкале формируется в условиях хорошо аэрированного водоема. Самые высокие концентрации обнаруживаются в верхнем 100-метровом слое. Для многих станций характерен приповерхностный пик концентрации метана на глубинах 25–50 м [Вертикальное ... , 2020; Распределение ... , 2023]. Далее, с ростом глубин, концентрации метана постепенно снижаются до значений ниже равновесных с атмосферой, выходя на плато в глубинной зоне (>400 м). Не редко в придонных слоях могут наблюдаться небольшие повышения концентраций. Максимальные концентрации метана отмечаются в приустьевых участках рек, в районах подводных выходов газа и грязевых вулканов, а также в зоне влияния бывшего Байкальского целлюлозно-бумажного комбината [Вертикальное ... , 2020; Распределение ... , 2023]. Было показано, что по сравнению с 2003 г. концентрация метана в воде Байкала к 2018 г. значительно возросла, как в глубинной зоне озера (в среднем в 2–3 раза), так и в верхних слоях 0–200 м (в 1,2–1,7 раза) [Вертикальное ... , 2020]. В связи с этим был организован регулярный мониторинг концентрации метана в пелагиали оз. Байкал. Ежегодно проводилось до трех экспедиций в весенний, летний и осенний периоды.

Исследования последних лет (с 2017 по 2024 г.) позволили детально проследить изменение концентрации растворенного метана в водной толще оз. Байкал, выявить межкотловинные особенности. По материалам экспедиционных рейсов в июле каждого года было установлено, что постепенный рост содержания метана в деятельном слое во всех котловинах озера продолжался до 2021 г., после чего к 2024 г. его концентрации довольно быстро

понизились до уровня 2003 г. Совместный анализ с данными о притоках выявил связь (R^2 > 0,7) содержания метана в деятельном слое котловин (0–200 м) с суммарным водным расходом впадающих рек. Полученные связи позволяют сделать вывод о существенной роли притоков в формировании фоновых концентраций растворенного метана в деятельном слое всей акватории оз. Байкал, а не только в приустьевых участках.

Изменение во времени содержания растворенного метана в основной глубинной зоне озера (400 м – дно), отличающейся пониженной интенсивностью вертикального турбулентного обмена обусловлено влиянием потока метана из донных отложений и его окислением аэробной метанотрофной микрофлорой, и носит другой характер. После максимальных значений концентраций в 2017–2018 гг. в Южном и Среднем Байкале и в 2019 г. в Северном, наблюдается устойчивое снижение его содержания во всех котловинах озера. При этом в южной и средней котловине к 2024 г. концентрации уменьшились в 1,5 раза по сравнению с уровнем 2003 г., а в северной – почти в 2 раза. Средняя скорость снижения концентрации растворенного метана в глубинной зоне южной и средней котловин составила 3,7 нл $л^{-1}$ $год^{-1}$, что эквивалентно $10 \cdot 10^{-3}$ нл $л^{-1}$ $сут^{-1}$. Полученные значения сопоставимы со средними скоростями окисления метана $7{,}3–7{,}9 \cdot 10^{-3}$ нл $л^{-1}$ $сут^{-1}$, оцененными с учетом возраста водных масс [Окисление … , 2013]. По тренду за 2019–2024 гг. скорость снижения концентрации метана в глубинной зоне северной котловины была несколько выше и достигала 5,2 нл $л^{-1}$ $год^{-1}$ или $14{,}2 \cdot 10^{-3}$ нл $л^{-1}$ $сут^{-1}$. По оценкам Гранина с соавторами для Северного Байкала средняя скорость окисления также была повышена и равнялась $17 \cdot 10^{-3}$ нл $л^{-1}$ $сут^{-1}$. Таким образом показано, что межгодовые колебания речного притока не оказывают выраженного влияния на содержание растворенного метана в глубинной зоне озера в отличии от деятельного слоя Байкала.

Благодарности. Работа выполнена в рамках гос. темы ЛИН СО РАН 0279-2021-0004.

Список литературы

Вертикальное распределение метана в водной толще Байкала / И. Б. Мизандронцев, В. В. Козлов, В. Г. Иванов, К. М. Кучер, Е. С. Корнева, Н. Г. Гранин // Водные ресурсы. 2020. № 1

Окисление метана в водной толще озера Байкал / Н. Г. Гранин, И. Б. Мизандронцев, А. И. Обжиров, О. Ф. Верещагина, Р. Ю. Гнатовский, А. А. Жданов // Доклады Академии наук (Науки о земле). 2013. Т. 451, № 3. С. 332–335.

Пространственное распределение метана поверхностной воде оз. Байкал в весенний период / Д. А. Пестунов, А. М. Шамрин, В. М. Домышева, М. В. Сакирко, М. В. Панченко // Оптика атмосферы и океана. 2023. Т. 36, № 12. С. 1038–1047. DOI: 10.15372/AOO20231211

Распределение метана в водах озера Байкал / Д. Н. Гарькуша, Ю. А. Фёдоров, Н. С. Тамбиева, Ю. А. Андреев, Р. А. Аджиев // Водные ресурсы. 2023. Т. 50, № 3. С. 308–323. DOI: 10.31857/S0321059623020098

УДК 591.431:599.51/.53

АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЯГКОГО НЕБА БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ

Д. Р. Иконникова*, Н. И. Рядинская, И. В. Аникиенко

Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского
(Россия, 664038, Иркутская обл., пос. Молодежный, 1/1)
**Автор для переписки: dasha2002.30anim@gmail.com*

Аннотация. Посредством анатомических методов исследовано мягкое небо байкальской нерпы. Выявлено что, в отличии от наземных хищников у байкальской нерпы отсутствует язычок, а вместо него – каудальный край, слегка вогнутый в сторону ротовой полости. При глотании мягкое небо напрягается с помощью мышцы и закрывает хоаны для предотвращения попадания пищи в нос. С оральной стороны органа слизистая оболочка состоит из неороговевающего эпителия, а с носовой – многорядным мерцательным эпителием. В основании мягкого неба, в большой крипте располагаются небные миндалины.

Ключевые слова: байкальская нерпа, ротовая полость, мягкое небо

Байкал – уникальное озеро с пресной водой и огромным количеством эндемиков, их около полутора тысяч, среди которых и наш объект исследования – байкальская нерпа (*Phoca sibirica* Gmelin, 1798). Многие учёные и исследователи внесли значительный вклад в изучение биологических особенностей байкальской нерпы, её систематики и происхождения [Пастухов, 1971, 1993; Петров, 1978].

Очень длительное время обитая в пресной воде, морское млекопитающее приобрело анатомические особенности в строении организма. Интерес к изучению анатомии байкальской нерпы появился после обращения ветеринарных врачей городских клиник г. Иркутска за консультационной помощью. С 2013 г. изучаются почти все системы и аппараты организма эндемика, не является исключением и пищеварительный аппарат [Иконникова, Аникиенко, 2021; Иконникова, 2021; Анатомические … , 2021; Особенности … , 2022].

Мягкое небо является продолжением твердого неба, язычок отсутствует, а вместо него – каудальный край, слегка вогнутый в сторону ротовой полости. В мягком небе различают ротовую (оральную) и носовую (аборальную) поверхности. Мягкое небо при глотании напрягается мышцей – напрягателем мягкого неба и закрывает хоаны для предотвращения попадания пищи в нос. Напрягатель мягкого неба начинается от сосцевидной части каменистой кости и веерообразно заканчивается в толще мягкого неба (рис.).

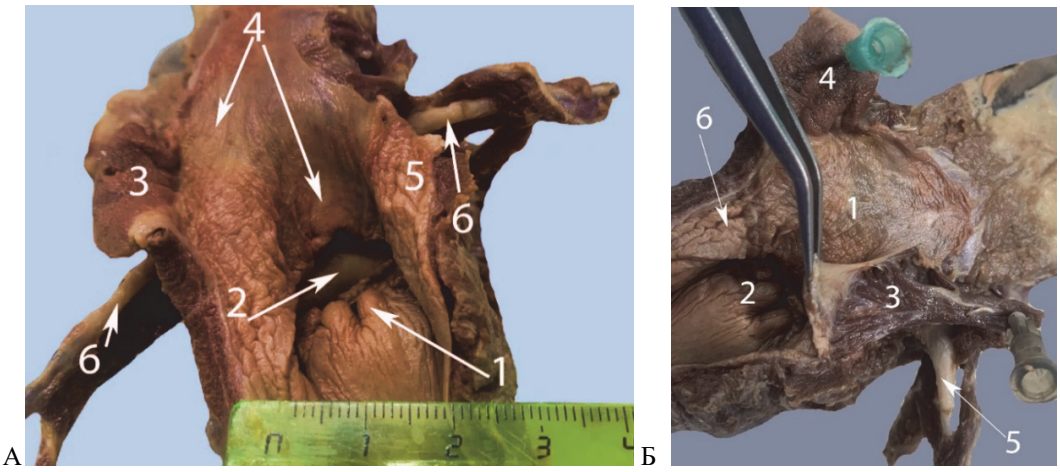


Рис. Носоглотка (дорсальный разрез) байкальской нерпы в возрасте 9 лет (*А*).
Напрягатель мягкого неба байкальской нерпы в возрасте 4 лет (*Б*). А: *1* – черпаловидные хрящи гортани; *2* – надгортанник; *3* – дорсальная поверхность слизистой, прикрепляющейся к хоанам; *4* – каудальная (носовая) поверхность мягкого неба; *5* – боковая стенка глотки; *6* – подъязычная кость. Б: *1* – носовая поверхность мягкого неба; *2* – черпаловидные хрящи; *3* – напрягатель мягкого неба; *4* – слизистая дорсальной части глотки; *5* – подъязычная кость; *6* – боковая стенка глотки

Слизистая оболочка ротовой части мягкого неба покрыта многослойным плоским неороговевающим эпителием. Собственная пластинка слизистой оболочки, состоящая из рыхлой волокнистой неоформленной соединительной ткани, образует высокие узкие сосочки, глубоко вдающиеся в эпителий. Глубже имеется выраженная подслизистая основа, образованная рыхлой волокнистой неоформленной соединительной тканью с большим количеством жировых элементов и слизистыми слюнными железами. Выводные протоки этих желез открываются на ротовой поверхности мягкого неба. Небные миндалины располагаются в основании мягкого неба, в большой крипте. В каудальной (носовой) части мягкого неба слизистая оболочка покрыта многорядным мерцательным эпителием. В собственной пластинке слизистой оболочки есть отдельные протоки слюнных желез. Подслизистая основа отсутствует. Для мягкого неба характерно наличие большого количества кровеносных сосудов, благодаря чему его слизистая оболочка отличается красноватым цветом.

Таким образом, мягкое небо является продолжением твердого неба с оральной и носовой поверхностями, но в отличии от наземных хищников у байкальской нерпы отсутствует язычок, а вместо него – каудальный край, слегка вогнутый в сторону ротовой полости. При глотании мягкое небо напрягается с помощью мышцы и закрывает хоаны для предотвращения попадания пищи в нос. С оральной стороны органа слизистая оболочка состоит из неороговевающего эпителия, а с носовой – многорядным мерцательным эпителием. В основании мягкого неба, в большой крипте располагаются небные миндалины.

Список литературы

Анатомические особенности преддверия ротовой полости у байкальской нерпы / Н. И. Рядинская, А. А. Плиска, И. В. Аникиенко, Д. Р. Иконникова // Морфология в XXI веке: теория, методология, практика : материалы Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. М., 2021. С. 168–173.

Иконникова Д. Р., Аникиенко И. В. Костная основа ротовой полости у байкальской нерпы // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Молодежный, 2021. С. 20–27.

Иконникова Д. Р. Анатомические особенности твердого неба у байкальской нерпы // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии АПК региона : сбор. науч. тез. студентов. Молодежный, 2021. С. 77–78.

Особенности анатомического строения крыши ротовой полости байкальской нерпы / Н. И. Рядинская, Д. Р. Иконникова, И. В. Аникиенко, Е. А. Баранов // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии. Матер. XI Межд. научно-практ. конф. Молодежный, 2022. С. 458–466.

Пастухов В. Д. О концентрации, распределении и питании нерпы // Лимнология придельтовых пространств Байкала. Л. : Наука, 1971. С. 278–286.

Пастухов В. Д. Нерпа Байкала. Биологические основы рационального использования и охраны ресурсов. Новосибирск : Наука, 1993. 272 с.

Петров Е. А. К строению легких байкальской нерпы // Морские млекопитающие : тез. докл. VII Всесоюзного совещания. М. : Наука, 1978. С. 260–262.

УДК 574.58

МНОГОЛЕТНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА СЯМОЗЕРА В УСЛОВИЯХ РАЗНОФАКТОРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Н. В. Ильмаст*, Я. А. Кучко

Институт биологии Карельского научного центра РАН
(Россия, 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11)
**Автор для переписки: ilmast@mail.ru*

Аннотация. Представлены результаты многолетних исследований (более 80 лет) экосистемы оз. Сямозера, что позволило проанализировать состояние водоема в природном состоянии и при разных факторах антропогенного воздействия. В результате усиления хозяйственной деятельностью человека изменился гидрохимический и гидробиологический режим озера. Эвтрофирование и появление в ихтиофауне водоема корюшки привело к перестройке пищевых цепей, изменению общих продукционных возможностей озера.

Ключевые слова: мониторинг, эвтрофирование, пресноводная экосистема, гидробиологические сообщества, биологическая инвазия

Антропогенное воздействие на водоемы и их обитателей становится все более многофакторным, что подтверждается длительными наблюдениями по многим параметрам экосистемы Сямозера [Изменение ... , 1982; Экосистема ... , 2002; Криксунов, Бобырев, Бурменский 2010]. Относительная стабильность в экосистеме Сямозера наблюдалась с 1932 г. (первые исследования) по 1970 г. Начиная с 1971 г. и по 2000 г. в водоем существенно увеличился приток биогенов (азот и фосфор). Значительному росту концентрации биогенов способствовало увеличение хозяйственной деятельности человека. Существенное антропогенное эвтрофирование привело к изменениям в гидрохимическом и гидробиологическом режимах озера. Эвтрофирование озера способствовало обильному «цветению» воды и уменьшению ее прозрачности. В Сямозере отмечено увеличение биомассы фитопланктона более чем в 1,5 раза.

В структуре зоопланктона произошла замена длинноцикловых и крупных форм на мелкие и короткоцикловые, что привело к снижению их индивидуальных размеров и массы тела [Кучко, Ильмаст, 2018]. Таким образом, биомасса зоопланктона увеличилась с 1940-х гг. по 1990 гг. в шесть раз, по настоящее время – в четыре раза.

В макрозообентосе озера отмечены изменения в соотношении видов в семействе хирономид в сторону увеличения численности мелких форм с уменьшением индивидуальной массы на песчаных и илисто – песчаных грунтах литорали, которые в процессе эвтрофирования водоема сильнее подвержены заилению и зарастанию макрофитами.

Изменения в экосистеме озера отразились и на состоянии рыбного населения. До 1967 г. ихтиофауна озера было представлена 21 видом. В 1968 г. оно пополнилось еще тремя видами (пелядь *Coregonus peled* и угорь *Anguilla anguilla* – в результате рыбоводных работ и корюшка *Osmerus eperlanus* – в результате случайного заноса). В настоящее время в озере обитает 20 видов рыб, принадлежащих к 12 семействам. В последние 20 лет в озере не отмечены вселенцы (пелядь, угорь), а также аборигены – голавль и гольян, которые и ранее встречались единично [Стерлигова, Ильмаст, Савосин, 2016].

На протяжении длительного времени (с 1932 по 1970 г.) основной промысловой рыбой Сямозера всегда была ряпушка. Начиная с 1971 г. произошло резкое снижение ее численности и выловов (со 105 т в 1970 г. до 0,01 т в 2001 г.). Одной из причин депрессивного состояния ряпушки явилось антропогенное эвтрофирование водоема, которое ухудшило условия ее воспроизводства в результате заиления нерестилищ.

Значительное влияние на популяции сиговых рыб оказало случайное проникновение в водоем хищного вида – корюшки. В Сямозере корюшка с момента появления, пережила несколько этапов своего становления. В период с 1968 по 1977 г. происходило наращивание численности ее популяции и вылова (30 т). В 1978–1980 гг. был отмечен максимальный вы-

лов корюшки – 185 т, что соответствовало годовому вылову всей рыбы на озере в 1960–1970 гг. Столь быстрый рост связан с «эффектом акклиматизации», когда новый вид впервые годы после вселения, резко увеличивает свою численность [Изменение ... , 1982].

Появление в водоеме корюшки привело к перестройке пищевых цепей. В питании хищных рыб озера с 1935 по 1970 г. по массе доминировала ряпушка (75 %), с 1971 по 2000 г. – корюшка (80 %). Начиная с 1981 г. и по 1995 г. постепенно происходило снижение уловов корюшки. Вероятно, это было связано с ее заражением паразитом *Glugea hertwigi*. В период резкого снижения численности корюшки в водоеме в уловах стала единично встречаться ряпушка. Прекращение на водосборе мелиоративных и снижение сельскохозяйственных работ привело к уменьшению поступления биогенов в озеро и к снижению заиления нерестилищ сиговых рыб.

Таким образом, в водоеме происходят существенные перестройки в структуре сообщества, особенно в трофических целях. Начиная с 2009 г. и по настоящее время наблюдается увеличение вылова ряпушки (2020 г. – 80 т). Ряпушка вновь стала доминирующей рыбой в водоеме и в питании (70 %) хищных рыб. Коренным образом изменились пищевые отношения, если в 1940–1950 гг. было 2 равных потока веществ и энергии: зоопланктон – ряпушка – хищные рыбы и бентос – бентофаги– хищные рыбы. С конца 1970-х гг. и по настоящее время планктонный путь стал преобладать над бентосным. В планктонном потоке до 1970 г. доминировала ряпушка (до 60 %), с 1980 по 2000 г. – корюшка (до 80 %). Начиная с 2010 г. основной поток продолжает идти по планктонному пути, но теперь, как и ранее (до появления корюшки), с преобладанием ряпушки.

Анализ результатов исследований показал, что в 1940–1950 гг. водоем соответствовал олиготрофному типу. В 1960-х гг. были отмечены незначительные признаки его эвтрофирования. Начиная с 1970-х гг. и по настоящее время Сямозеро ближе к мезотрофному типу.

Список литературы

Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема / Ю. С. Решетников, О. А. Попова, О. П. Стерлигова [и др.]. М. : Наука, 1982. 248 с.

Криксунов Е. А., Бобырев А. Е., Бурменский В. А. Обеспеченность ресурсами и ее роль в развитии инвазионных процессов // Общая биология. 2010. Т. 71, № 5. С. 436–451.

Кучко Я. А., Ильмаст Н. В. Характеристика зоопланктона Сямозера (Южная Карелия) по результатам многолетнего мониторинга // Известия РАН. Серия биологическая. 2018. № 5. С. 557–564.

Стерлигова О. П., Ильмаст Н. В., Савосин Д. С. Круглоротые и рыбы пресных вод Карелии. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2016. 224 с.

Экосистема Сямозера (биологический режим, использование) / О. П. Стерлигова, В. Н. Павлов, Н. В. Ильмаст [и др.]. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2002. 200 с.

УДК 639.2

ВОЗРАСТ И РОСТ ЛЕЩА *ABRAMIS BRAMA* В РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е. А. Интересова*, Д. Л. Сукнев, В. А. Шаталин, М. А. Дорогин, В. Ф. Зайцев

Новосибирский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 630091, Новосибирск, ул. Писарева, 1)
**Автор для переписки: interesovaea@yandex.ru*

Аннотация. Лещ *Abramis brama* – чужеродный вид рыб, широко распространенный в бассейне Оби и обеспечивающий значительный объем рыбодобычи на юге Западной Сибири. При сравнительном анализе возрастного состава и размерных характеристик данного вида в промысловых уловах на основных рыбопромысловых водоемах региона – Новосибирском водохранилище и оз. Чаны – выявлено, что в водохранилище лещ характеризуется более длинным возрастным рядом (до 16+). При этом в водохранилище промысловая длина особей в возрасте 4+–6+ меньше, а масса – больше, чем в озере. Это может быть связано с более ранним наступлением половой зрелости у леща водохранилища. Максимальные размеры леща также выше в Новосибирском водохранилище.

Ключевые слова: лещ, *Abramis brama*, рост, биологические инвазии, Западная Сибирь

Лещ *Abramis brama* – наиболее успешный чужеродный вид рыб в бассейне Оби [Интересова, 2021], еще в середине XIX в. вселенный в пруды на ее уральских притоках [Иоганзен, Петкевич, 1951]. В XX в. его интродуцировали в озёра Обь-Иртышского междуречья, а также в Новосибирское водохранилище, откуда он быстро расселился как вниз, так и вверх по течению Оби. В настоящее время лещ распространен по всей Западной Сибири [Экология … , 2006], наибольшее значение в промысле имея на юге региона [Рыбные ... , 2023; Динамика … , 2023]. Целью данной работы был сравнительный анализ возрастного состава уловов и размерных характеристик данного вида в основных рыбопромысловых водоемах юга Западной Сибири – Новосибирском водохранилище и оз. Чаны.

Основу материалов для исследования составили данные, собранные в 2019–2023 гг. на оз. Чаны и Новосибирском водохранилище в ходе мониторинга состояния водных биологических ресурсов сотрудниками Новосибирского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» и используемые для подготовки материалов, обосновывающих рекомендованные объемы добычи (вылова) водных биологических ресурсов, общий допустимый улов которых не устанавливается.

Выявлено, что в оз. Чаны в последние годы в промысловых уловах леща преобладают особи в возрасте 2+–4+, составляющие до 88 % вылова. При этом в исследовательских сборах отмечены рыбы в возрасте 10+. Ранее максимальный зафиксированный возраст леща в оз. Чаны – 11+ [Общий … , 1986]. В Новосибирском водохранилище основу промысловых уловов обеспечивают рыбы в возрасте 3+…6+, экземпляры 7+…10+ составляют 10,5 %, при этом регулярно отмечают особей в возрасте 14+. В исследовательских уловах известны рыбы в возрасте до 16. Интересно, что ранее исследователи, изучавшие леща в Новосибирском водохранилище, не фиксировали экземпляры старше 14+ [Бабуева, 1971; Дорогин, 2011].

Максимальные размеры леща, отмеченные в оз. Чаны в последние годы – 44 см при массе 2420 г (самка, отловленная в весенний период, в возрасте 10). Ранее (в 1979 г.) был зафиксирован экземпляр с промысловой длиной 54 см и массой 3567 г [Общий … , 1986]. В Новосибирском водохранилище в 2015 г. отмечен экземпляр массой 5540 г при промысловой длине 57 см (самка, отловленная в весенний период, в возрасте 16). Ранее как максимальные зафиксированы размеры леща в данном водоеме 55 см при массе 5,0 кг [Бабуева, 1971].

При сравнении одновозрастных особей леща из анализируемых водоемов выявлено, что рыбы в возрасте 4+–6+ в оз. Чаны имеют несколько большие линейные размеры, но при этом меньшую массу по сравнению с экземплярами из Новосибирского водохранилища (рисунок). Вероятно, это связано с более ранним наступлением половой зрелости у леща водохранилища.

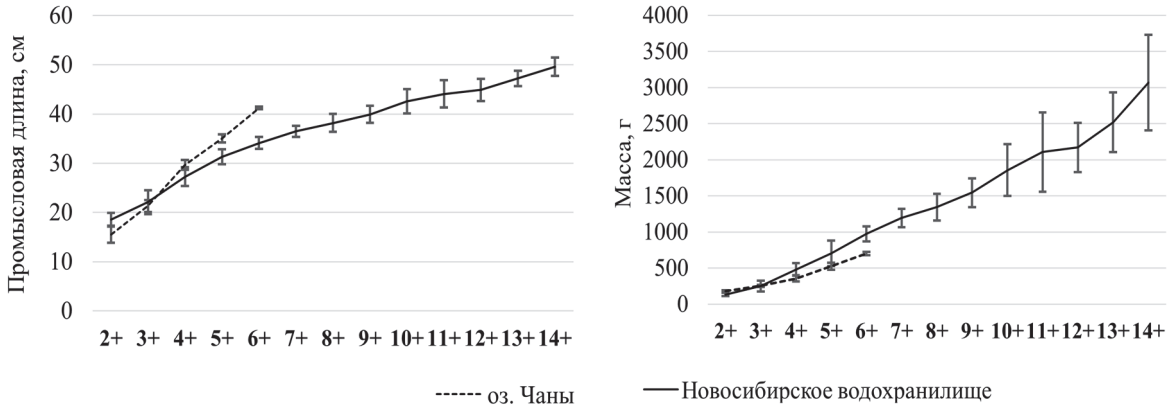


Рис. Размерные характеристики разновозрастных особей леща *Abramis brama* в промысловых уловах оз. Чаны и Новосибирского водохранилища (отмечено среднее значение и стандартное отклонение)

Благодарности. работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) № 24-26-00101, https://rscf.ru/project/24-26-00101/. Авторы также выражают признательность всем коллегам – сотрудникам Новосибирского филиала ФГБНУ «ВНИРО», в разные годы принимавшим участие в сборе материала.

Список литературы

Бабуева Р. В. Лещ Новосибирского водохранилища : автореф. дис. … канд. биол. наук. Томск, 1971. 23 с.

Динамика промысла леща *Abramis brama* в бассейне реки Оби как отражение успеха его акклиматизации / Е. А. Интересова, В. Ф Зайцев., В. А. Шаталин [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2023. № 10 (213). С. 661–674. DOI: 10.33920/sel-09-2310-02

Дорогин М. А. Биологические особенности леща *Abramis brama*, хозяйственное значение и его роль в экосистеме бассейна Верхней и Средней Оби : автореф. дис. … канд. биол. наук. Новосибирск, 2011. 23 с.

Интересова Е. А. Новые виды водных биологических ресурсов (рыбы) в бассейне реки Обь : автореф. дис. … д-ра биол. наук. Новосибирск, 2021. 44 с.

Иоганзен Б. Г., Петкевич А. Н. Акклиматизация рыб в Западной Сибири // Труды Барабинского отделения ВНИОРХ. 1951. Т. 5. С. 3–204.

Общий очерк ихтиофауны оз. Чаны / В. А. Воскобойников, А. Н. Гундризер, Б. Г. Иоганзен [и др.] // Экология оз. Чаны. Новосибирск, 1986. С. 158–197.

Рыбные ресурсы Новосибирской области: современное состояние промысла / А. Л. Абрамов, А. А. Ростовцев, В. Ф. Зайцев [и др.] // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2023. № 2 (205). С. 76–87. DOI: 10.33920/sel-09-2302-01

Экология рыб Обь-Иртышского бассейна. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2006. 596 с.

УДК 51.76:57.087.1

ПОЭТАПНОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЛАГИАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ: ТЕХНОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ

А. В. Казазаева*

Байкальский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Ленина, 11)
**Автор для переписки: kuz-ann@yandex.ru*

Аннотация. Формулируются основные проблемы систематизации, надежности и нехватки данных при исследовании сложных природных систем. Обосновывается выбор метода математического моделирования для решения данных проблем. Предлагается технология поэтапного моделирования на примере экосистемы пелагиали оз. Байкал, а также методы оценки параметров системы. Фиксируются полученные биологические и методологические результаты.

Ключевые слова: технология моделирования, моделирование сложной экосистемы, модель пелагиали оз. Байкал, верификация данных и гипотез, методы оценки параметров

Актуальными проблемами при исследовании сложных природных систем являются проблемы систематизации накопленных данных многолетних исследований, их проверка на полноту и надежность, а также восстановление недоступных непосредственному наблюдению данных о механизмах жизнедеятельности и взаимодействия организмов по косвенным данным. Решение обозначенных проблем возможно с использованием методов математического моделирования. С точки зрения методологии математического моделирования актуальной задачей также является разработка технологии моделирования, позволяющей выявлять недостатки основополагающих гипотез на ранних стадиях формирования модели, легко масштабировать модель с сохранением прозрачности функциональных связей и при этом состоящей из небольшого набора приемов.

В работе предлагается описание технологии поэтапного построения модели пелагиали экосистемы оз. Байкал. Выделены четыре основных этапа.

Этап 1. Структуризация системы. На этом этапе выделяются основные элементы системы, независимые подсистемы элементов, определяются основные параметры и модельные допущения. В качестве подсистем для модели оз. Байкал выбираются популяции большой и малой голомянок и макрогектопуса (так как на них приходится более 65 % продукции озера). Основными неделимыми элементами системы выбираются возрастные группы. Для большой и малой голомянок три возрастные группы – годовики, неполовозрелые и половозрелые особи. Для популяции макрогектопуса две возрастные группы – неполовозрелые и половозрелые особи. Формулируются основные модельные допущения – все процессы пропорциональны численности, особи характеризуются только возрастом и усреднены по всем другим показателям, модельное время 1 год, популяции находятся и в квазистационарном состоянии, в постоянной внешней среде (это позволяет использовать для оценки данные разновременных наблюдения с 1965 г.).

Этап 2. Автономные модели подсистем. На данном этапе происходит выбор методов и количественная оценка укрупненных параметров модели. Основными параметрами требующими количественной оценки являются параметры рождаемости и смертности особей. Коэффициенты рождаемости были оценены по опубликованным данным экспериментальных исследований. Для оценки коэффициентов смертности были разработаны уникальные методики: методика оценки коэффициентов смертности по данным времени начала и окончания репродуктивного периода и известным коэффициентам рождаемости описана в [Зоркальцев, Мокрый, Казазаева, 2011]; методика оценки на основе данных о размерном составе популяции макрогектопуса описана в [Мокрый, Зоркальцев, Конева 1999]. Значения коэффициентов смертности годовиков голомянок и особей макрогектопуса, полученных по дан-

ным методикам оказались очень близки. Этот факт позволил выдвинуть гипотезу о том, что одноразмерные организмы в единой среде обитания испытывают одинаковый пресс со стороны хищников и обладают одинаковым коэффициентом смертности. Коэффициенты смертности старших групп голомянок были подучены по опубликованным данным о возрастном составе популяций в уловах [Стариков, 1977] методом наименьших квадратов с весами равными удельному весу особей каждого возраста в улове. С применением полученных оценок строятся автономные модели для каждой популяции в условиях стационарной среды. Коэффициенты заданы константами. На моделях рассчитываются точки равновесного состояния, которые далее будут использоваться в качестве начальных значений для динамических моделей.

Этап 3. Динамические модели подсистем. Динамика моделей обеспечивается через настройку обратных связей. То есть коэффициенты смертности мелкоразмерных особей каждой популяции голомянок зависят от численностей старших возрастных групп, которые являются хищниками по отношению к собственной молоди и макрогектопусу, а коэффициенты рождаемости зависят от численности годовиков голомянок. Каждая популяция рассматривается изолированно. На данном этапе формулируется гипотеза для коэффициентов рождаемости, что количество половых продуктов хищников пропорционально разнице усвоенной и истраченной на движение энергии. Динамические модели реализуются в системе DYNAMO в виде отдельных программ. Система была разработана в ИСЭМ СО РАН И. В. Мокрым.

Этап 4. Сборка модели системы. Поэтапно производится наполнение модели динамическими связями между отдельными подсистемами. Коэффициенты смертности мелкоразмерных особей теперь зависят от суммы численностей старших групп обоих видов голомянок, а коэффициенты рождаемости от суммы численности годовиков голомянок и обеих групп макрогектопуса. По итогу численных экспериментов на модели происходит смена гипотез для коэффициентов рождаемости. Новая гипотеза о том, что количество половых продуктов пропорционально рациону, более адекватно описывает процессы размножения в модели годовой динамики численности.

Результаты численных расчетов на модели показали ее непротиворечивость реальной экосистеме – сохраняются соотношения численностей популяций, период колебаний системы 3 года соответствует реальной экосистеме (3–3,5 года) [Атлас … , 1995].

Биологические результаты: получены взаимосогласованные оценки основных параметров жизнедеятельности организмов оз. Байкал; полученные оценки обладают высоким уровнем достоверности и надежности; сформирована и протестирована гипотеза о едином коэффициенте смертности для мелких одноразмерных организмов гидробионтов.

Методологические результаты: представленная технология моделирования позволяет достаточно легко масштабировать модель; позволяет выявлять недостатки основополагающих гипотез на ранних стадиях.

Благодарности. В представляемых исследованиях активное участие принимали Н. Г. Мельник, Е. Н. Дзюба, П. Н. Аношко, О. Т. Русинек и другие ученые. Огромный вклад сделал канд. техн. наук И. В. Мокрый. Он был лидером многих методических и содержательных разработок. На базе реализованного им программного продукта осуществлялась поэтапная разработка, «сборка» и отладка моделей.

Список литературы

Атлас и определитель пелагобионтов Байкала: с краткими очерками по их экологии / О. А. Тимошкин [и др.]. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1995. 695 с.

Зоркальцев В. И., Мокрый И. В., Казазаева А. В. Моделирование пелагического сообщества озера Байкал // Вычислительные технологии 2011. Т. 16, № 1. С. 48–66.

Мокрый И. В., Зоркальцев В. И., Конева О. В. Исследование связей элиминации и продукции некоторых видов пелагиали оз. Байкал и методы оценки этих характеристик: препринт. № 8. Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 1999. 22 с.

Стариков Г. В. Голомянки Байкала. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 93 с.

УДК 574.1:575.21:575.22:595.14

НЕСООТВЕТСТВИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО И ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ КОЛЬЧАТЫХ ЧЕРВЕЙ ОЗЕРА БАЙКАЛ

И. А. Кайгородова*

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: irina@lin.irk.ru*

Аннотация. Точность атрибуции вида, как показатель качества исходных данных, напрямую влияет на достоверность экспериментальных и аналитических исследований. Таксономические ошибки не только искажают значение биоразнообразия, но и могут препятствовать четкому пониманию эволюционных, экологических и физиологических сигналов и признаков. Для более точного определения границ видов у байкальских аннелид предлагается данные ДНК-штрихкодирования интегрировать в биоинформатический конвейер, а затем применять рефлексивный поиск морфологических признаков для различения видов, что позволяет вывести традиционные описания таксонов.

Ключевые слова: Байкал, Annelida, криптические виды, молекулярная делимитация видов, рефлексивная морфология

Кольчатые черви (Annelida), будучи неотъемлемой частью фауны водных и почвенных экосистем, являются важным элементом пищевых сетей и перспективной группой для оценки качества и биологического мониторинга. Паразитические кольчатые черви (Acanthobdellida, Branchiobdellida и Hirudinea) также регулируют численность популяции хозяина и поддерживают ее в здоровом состоянии посредством естественного отбора. Применение молекулярной таксономии показывает, что номинальные виды кольчецов могут включать десятки морфологически неразличимых, но генетически различных видов [Кайгородова, 2000; Bely, Weisblat, 2006; Achurra, Rodriguez, Erseus 2015; Towards ... , 2024 и др.]. Хотя криптические виды вносят значительный вклад в глобальное видовое богатство, им редко присваивается формальный статус, они остаются неописанными и, следовательно, недоступными для природоохранной практики, поэтому формальное наименование морфологически криптических видов имеет решающее значение для их учета. Сегодня для быстрого и эффективного анализа биоразнообразия востребованы методы, универсальные для всех организмов. Выведение углубленного изучения морфологии за рамки экологических исследований открывает перспективы для рефлексивного поиска морфологических различий и классического описания таксонов [Goldstein, DeSalle, 2011; Pante, Schoelinck, Puillandre, 2015; The importance … , 2017]. Современный биоинформатический подход предполагает автоматизированный поиск пороговых значений и штрихкодовых разрывов для упрощения и стандартизации таксономических исследований [Hebert, Hollingsworth, Hajibabaei, 2016]. XXI век ознаменовался разработкой и апробацией множества методов молекулярной делимитации видов, основанных на различных биологически значимых подходах, к которым относятся: статистический расчет кластеризации организмов по генетическим расстояниям; популяционно-генетический анализ; теория коалесценции; а также специально разработанные программы для анализа мультилокусных данных. Все вышеперечисленные методы позволяют группировать исследуемые образцы в молекулярные операционные таксономические единицы, которые и являются предполагаемыми видами. Данный подход, используя комплекс дистантных, дискретных и коалесценционных методов молекулярной делимитации в сочетании с морфологическим анализом, позволил уточнить (подтвердить или опровергнуть) таксономический статус образцов и открыть новые виды олигохет, акантобделлид и пиявок [Kaygorodova, Bolbat, Bolbat 2020; Bolbat, Bukin, Kaygorodova, 2022; Kaygorodova, Matveenko, 2023; Kaygorodova, 2024].

В целом молекулярная делимитация видов стала эффективным шагом к пониманию разнообразия и распространения видов в оз. Байкал. В последние годы этот подход становится все более популярным и часто используется для идентификации псевдокриптических видов аннелид, что приводит к разграничению видов с последующей молекулярной или морфо-молекулярной диагностикой и научным наименованием, улучшая биотическую инвентаризацию, не отказываясь от принципов общепринятой зоологической систематики. В будущем систематика аннелид может перейти к высокопроизводительному ДНК-метабаркодированию для обнаружения видов и таксонов более высокого уровня, попытки чего уже предпринимаются [Bolbat, Bukin, Kaygorodova, 2022; Vences, Miralles, Dufresnes, 2024].

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, государственное задание № 0279-2021-0011 (121032300198-2).

Список литературы

Кайгородова И. А. Молекулярно-филогенетическое исследование эволюционной истории Байкальских люмбрикулид (Oligochaeta, Annelida) : дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2000. 127 л.

Achurra A., Rodriguez P., Erseus C. Pseudo-cryptic speciation in the subterranean medium: A new species of *Stylodrilus* Claparède, 1862, with a revision of the status of *Bichaeta* Bretscher, 1900 (Annelida, Clitellata, Lumbriculidae) // Zoologischer Anzeiger. 2015. N 257. P. 71–86. DOI: 10.1016/j.jcz.2015.05.003

Bely A. E., Weisblat D. A. Lessons from leeches: a call for DNA barcoding in the lab // Evolution & Development. 2006. Vol. 8, N 6. P. 491–501. DOI: 10.1111/j.1525-142X.2006.00122.x

Bolbat A., Bukin Y., Kaygorodova I. Genome-based taxa delimitation (GBTD): a new approach // Diversity 2022. N 14. Art. 948. DOI: 10.3390/d14110948

Goldstein P. Z., DeSalle R. Integrating DNA barcode data and taxonomic practice: determination, discovery, and description // BioEssays. 2011. N 33. P. 135–147. DOI: 10.1002/bies.201000036

Hebert P., Hollingsworth P., Hajibabaei M. From writing to reading the encyclopaedia of life // Philosophical Transactions of the Royal Society B. 2016. N 371. Art. 20150321. DOI: 10.1098/rstb.2015.0321

Kaygorodova I. Application of modern approaches to species delimitation in freshwater Erpobdellidae (Hirudinea: Arhynchobdellida) with a new interpretation of their genera // Water. 2024. N 16. Art. 1030. DOI: 10.3390/w16071030

Kaygorodova I., Bolbat N., Bolbat A. Species delimitation through DNA barcoding of freshwater leeches of the *Glossiphonia* genus (Hirudinea: Glossiphoniidae) from Eastern Siberia, Russia // J of Zool Syst and Evol Res. 2020. N 8. P. 1437–1446. DOI: 0.1111/jzs.12385

Kaygorodova I., Matveenko E. Diversity of the *Piscicola* species (Hirunea, Piscicolidae) in the Eastern Palaearctic with a description of three new species and notes on their biogeography // Diversity. 2023. N 15. P. 98. DOI: 10.3390/d15010098

Pante E., Schoelinck C., Puillandre N. From integrative taxonomy to species description: one step beyond // Systematic Biology. 2015. N 64. P. 152–160. DOI: 10.1093/sysbio/syu083

The importance of naming cryptic species and the conservation of endemic subterranean amphipods / T. Delić, P. Trontelj, M. Rendoš, C. Fišer // Scientific Reports. 2017. N 7. P. 3391. DOI: 10.1038/s41598-017-02938-z

Towards an integrative revision of Haplotaxidae (Annelida: Clitellata) / P. Martin, S. Fend, S. Martinsson [et al.] // Zoological Journal of the Linnean Society. 2024. N 202. Art. zlae141. DOI: 10.1093/zoolinnean/zlae141

Vences M., Miralles A., Dufresnes C. Next-generation species delimitation and taxonomy: Implications for biogeography // J Biogeography. 2024. N 51. P. 1709–1722. DOI: 10.1111/jbi.14807

УДК 591.9:595.143.2

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПИЯВОК РОДА *CYSTOBRANCHUS* DIESING (HIRUDINEA, PISCICOLIDAE) В ПРИБАЙКАЛЬЕ

И. А. Кайгородова*, Е. В. Дзюба

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: irina@lin.irk.ru*

Аннотация. Писциколиоз пресноводных налимов вызывается эктопаразитами рода *Cystobranchus*, представители которого занимают обширный ареал в циркумполярной части Северного полушария. Однако сведения об их распространении в Сибири все еще скудны. В данной работе впервые сообщается о массовом заражении (до 17 %) популяции налима в р. Уде, левом притоке Ангары. Несмотря на то что в улове было обнаружено шесть видов рыб (ленок, щука, окунь, хариус, елец и налим), пиявки обнаружены только на налимах. При этом эктопаразиты скрывались в жаберной полости (на жабрах или внутреннем эпидермисе жаберной крышки). Морфологический анализ показал, что налимьи пиявки относятся к виду *Cystobranchus mammillatus*, впервые обнаруженному в водосборном бассейне р. Ангары.

Ключевые слова: бассейн оз. Байкал, *Cystobrancus mammillatus*, распространение, пиявки, гостальная специфичность, паразитарная инвазия

Пиявки рода *Cystobranchus* DiesingБ 1859 – обитатели субарктических пресных и эстуарных вод Северного полушария. В настоящее время науке известно 11 видов этого рода, четыре из которых являются представителями палеарктической фауны и встречаются в Северной Евразии: *C. fasciatus* (Kollar, 1842), *C. mammillatus* (Malm, 1863), *C. pawlowskii* Sket, 1968 и *C. respirans* (Troschel, 1850). *Cystobranchus* spp. являются кровососущими паразитами рыб. Западноевропейские пиявки *C. respirans* и *C. pawlowski* являются мультигостальными паразитами, в их рацион входят разные виды рыб (форель, европейский хариус, обыкновенный и средиземноморский усач, обыкновенная уклейка, горчак, карп и др. [Эпштейн, 1987]. В свою очередь, *C. fasciatus* и *C. mammillatus* гостально моноспецифичны [Лукин, 1976], паразитируют на пресноводном соме *Silurus glanis* L., 1758 и налиме *Lota lota* (L., 1758) соответственно. Ареал *C. fasciatus* ограничен северо-западной Европой и юго-западными регионами России, тогда как *C. mammillatus* имеет голарктическое распространение, но приурочен к северным широтам обоих континентов [Эпштейн, 1987; Hovingh, 2022]. Несмотря на широкий ареал налимьей пиявки, имеются лишь отрывочные сведения о ее распространении в восточной части Прибайкалья [Пронин, 1979; Fauna ... , 2016].

Биологический материал получен в ходе судебно-ихтиологической экспертизы незаконного браконьерского улова из р. Уды (левый приток р. Ангары). Всего обследовано 306 экземпляров рыб. Эктопаразиты собирались вручную непосредственно с зараженных особей при визуальном осмотре рыб, после чего немедленно фиксировались в 80 % растворе этанола. Определение пиявок проведено с помощью таксономических определителей [Лукин, 1976; Эпштейн, 1987; Nesemann, Neubert, 1999] в соответствии с современной классификацией [NCBI Taxonomy ... , 2020].

Таксономический анализ рыб выявил шесть видов: ленок – 3 экз., окунь европейский – 3 экз., щука – 2 экз., байкальский черный хариус – 265 экз., сибирский елец – 21 экз. и обыкновенный налим – 12 экз.

Эктопаразиты были обнаружены на двух крупных налимах, что позволяет предположить 17%-ную пораженность писциколиозом в этой популяции рыб. Интенсивность инвазии составила 3–4. Всего обнаружено семь половозрелых пиявок. Все пиявки локализовались в жаберных полостях налимов. Пиявки имели средние размеры, длину тела от 19 до 23 мм.

Наличие крупных боковых пузырьков, четкое разделение тела на два отдела (трахелосома и уросома) и, главное, семь колец на сомит свидетельствуют о том, что пиявки, обнаруженные в р. Уде, относятся к роду *Cystobranchus*. В пределах этого рода вид

C. mammillatus отличается полосатой пигментацией тела, отсутствием глазков и радиальных пигментированных лучей на задней присоске, но наличием темных звездчатых пятен, обильно распределенных по всему телу, включая заднюю присоску, что полностью соответствует морфологическим признакам изученных пиявок. Кроме того, характерная локализация в жаберной полости налимов служит косвенным доказательством принадлежности к виду *C. mammillatus* [Malm, 1863].

Пиявки этого вида распространены в циркумполярном поясе Палеарктики и Неарктики и, являясь облигатным видоспецифичным паразитом, имеют жизненный цикл, строго связанный с единственным рыбным хозяином *Lota lota* (L., 1758). В России *C. mammillatus* распространен в водоемах Кольского полуострова, Карелии, близ Санкт-Петербурга, в бассейне Северной Двины, в реках Оби и Енисей, в озёрах п-ова Таймыр [Лукин, 1976]. Бассейн оз. Байкал является восточной границей палеарктического распространения *C. mammillatus*. Вид обнаружен только в Забайкалье: в реках Селенге, Хилок и Верхней Ангаре [Пронин, 1979]; в озёрах Баунт, Малое Леприндо и Леприндокан [Fauna ... , 2016] и восточнее не встречался. Наша находка указывает на новый водораздел как местообитание *C. mammillatus*, поскольку этот редкий вид ранее не отмечался в бассейне р. Ангары.

Благодарности. Авторы высоко ценят усилия Нижнеудинского линейного отдела Восточно-Сибирской транспортной полиции по борьбе с незаконным выловом рыбы и выражают благодарность И. В. Сереневу и И. В. Аверьянову за предоставленный биологический материал. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, государственные задания № 0279-2021-0011 (121032300198-2) и 0279-2021-0005 (121032300224-8).

Список литературы

Лукин Е. И. Пиявки. Л. : Наука, 1976. 484 с.

Пронин Н. М. Нахождение субарктических пиявок *Acanthobdella peledina* и *Cystobranchus mammillatus* в бассейне озера Байкал и причины отсутствия их в Байкале // Паразитология. 1979. № 3(5). С. 555–558.

Эпштейн В. М. Annelida // Определитель фауны паразитов пресноводных рыб / ред. О. А. Скарлато. Л. : Наука, 1987. Т. 3(2) : Паразитические многоклеточные. С. 340–372.

Fauna of parasites of burbot *Lota lota* (L.) (Gadiformes: Lotidae) from reservoirs of Baikal Rift Zone / Z. N. Dugarov, N. M. Pronin, M. D. Batueva [et al.] // Inland Water Biology. 2016. Vol. 9, N 4. P. 341–349. DOI: 10.1134/S1995082916030044

Hovingh P. A natural history study of leech (Annelida: Clitellata: Hirudinida) Distributions in Western North America North of Mexico: A Paleogeographic View. 4th ed. Salt Lake City, Utah, 2022. 441 p.

Klemm D. J. Leeches (Annelida: Hirudinea) of North America. U. S. Government Printing Office, Cincinnati, OH, USA, 1982. 177 p.

Malm A. W. Svenska Iglar, disciferae afbilade efter lefande exemplar och beskrifna // Göteborgs Konglike Vetenskaps och Vitterhets Samhälles Handlinger ny Tidsföljd. 1863. N 8. P. 151–262.

NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools / C. L. Schoch, S. Ciufo, M. Domrachev [et al.]. Database (Oxford). 2020. DOI: 10.1093/database/baaa062

Nesemann H., Neubert E. Annelida, Clitellata: Branchiobdellida, Acanthobdellea, Hirudinea, Susswasserfauna von Mitteleuropa. Spectrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Germany, 1999. 178 p.

УДК 504.054:547.6

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ НА ЮЖНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ БАЙКАЛА ПО ИХ НАКОПЛЕНИЮ В ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

О. В. Калугина[1]*, И. И. Маринайте[2], А. Г. Горшков[2]

[1]Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132)
[2]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: phytotox@sifibr.irk.ru*

Аннотация. Исследованы снежный покров и хвоя лиственницы сибирской (*Larix sibirica)* на южном побережье оз. Байкал как индикаторы загрязнения атмосферы. Накопление полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в снежном покрове исследованного района до 40 раз выше, чем на станции фонового мониторинга (пос. Монды), в хвое лиственницы *L. sibirica* – до 18 раз. Соотношение изомеров бензпиренов (бенз[а]пирена и бенз[е]пирена), указывает на локальный и региональный перенос ПАУ от источников. Уровень аккумуляции ПАУ в хвое *L. sibirica* свидетельствует о рассеивании атмосферных выбросов ПАУ в весенне-летний период, которое не приводит к значимому атмосферному переносу поллютантов на побережье озера.

Ключевые слова: полициклические ароматические углеводороды, снежный покров, хвоя *Larix sibirica,* Байкал

Включение в систему мониторинга природных объектов дает возможность оценить распределение стойких органических загрязнителей (СОЗ) на контролируемой территории по уровням накопления в аккумулирующих матрицах. Снежный покров в Прибайкалье сохраняется в течение 100–120 дней и отражает загрязнение атмосферы за зимнее время года, хвоя лиственницы *Larix sibirica* – в летний период, учитывая ее вегетативный период. Атмосферный перенос СОЗ на акваторию оз. Байкал отнесен к одному из доминирующих источников поллютантов этого класса в водной экосистеме озера. В течение зимнего времени года над территорией Прибайкалья устанавливается азиатский антициклон, в течение которого атмосферные выбросы локализуются в районах расположения источников, и мониторинг накопления СОЗ в снежном покрове позволяет установить источники поллютантов. Тогда как по накоплению СОЗ в хвое лиственницы возможна оценка рассеивания атмосферных выбросов на контролируемой территории в весенне-летний период. Выбор лиственницы для мониторинга обусловлен уникальными свойствами ее хвои накапливать поллютанты из атмосферы и широкой распространенностью этого вида в Прибайкалье. ПАУ относятся к приоритетным СОЗ в экосистеме оз. Байкал и установление их источников является важнейшей задачей в рамках контроля чистоты вод озера.

Исследования проводились на восьми тест-участках по профилям: район устья р. Утулик – район р. Переемной (южное побережье Байкала) и г. Иркутск – пос. Листвянка (направление атмосферного переноса загрязненных воздушных масс вдоль долины р. Ангары). Из отобранных проб хвои ПАУ выделяли ультразвуковой экстракцией в *n*-гексан, фракцию полиаренов из экстрактов – методом твердофазной экстракции. Пробы снега растапливали, снеговую воду фильтровали, для анализа собирали твердую фазу снеговой воды. В подготовленных образцах определяли 16 приоритетных ПАУ методом хромато-масс-спектрометрии [Горшков, 2008; Распределение … , 2013].

Суммарное количество накопленных ПАУ в снежном покрове южного побережья Байкала оценено диапазоном от 15 до 30 мкг/м^2 (рис.). Уровень накопления ПАУ на южном побережье до 30 раз выше, чем на станции фонового мониторинга пос. Монды (0,5 мкг/м^2) вследствие выбросов ПАУ в атмосферу из локальных источников – котельных и домовых

печей, сжигающих уголь. Соотношение изомеров бензпиренов (бенз[а]пирена и бенз[е]пирена), R = 0,55–0,65) подтверждает поступление ПАУ из локальных источников, расположенных на побережье. На городской территории (г. Иркутск) накопление ПАУ в снегу сопоставимо, но отличается качественным составом, большей долей высокомолекулярных полиаренов. Низкий уровень накопления ПАУ в Листвянке (не выше 5,0 мкг/м^2) указывает на отсутствие интенсивных источников ПАУ на этом участке западного побережья озера.

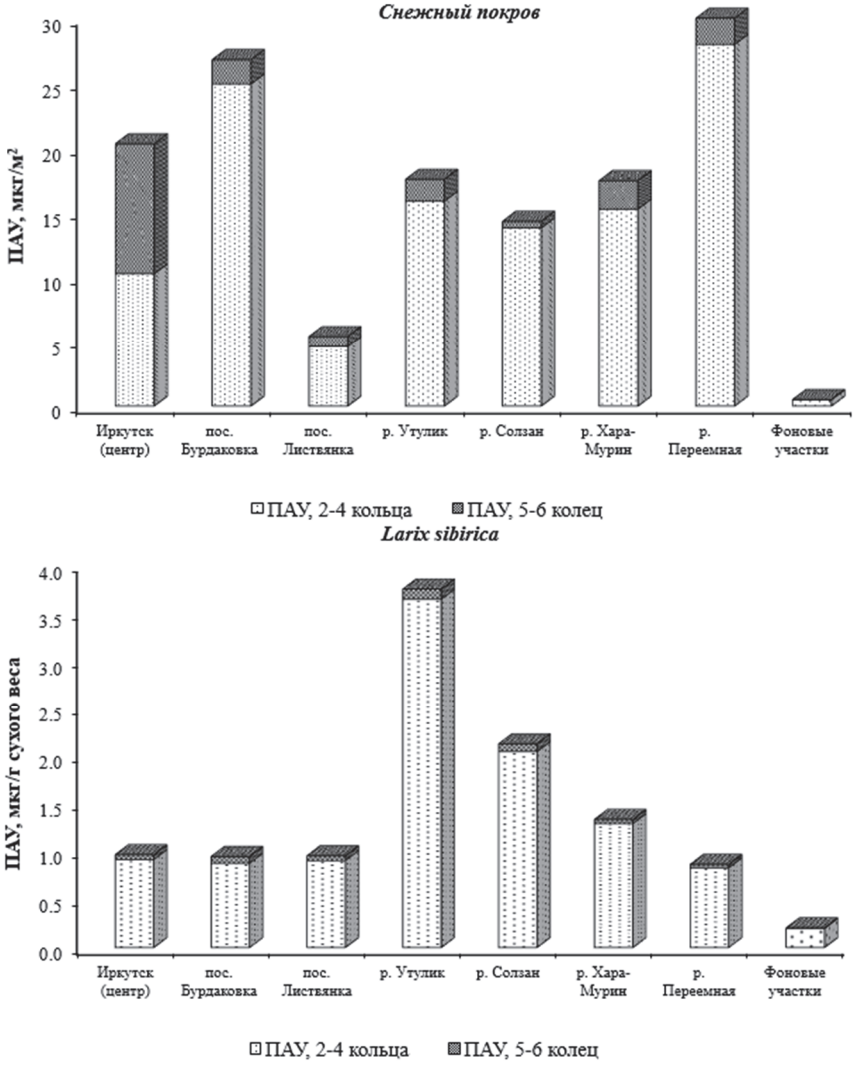


Рис. Накопление ПАУ в снежном покрове и в хвое *L. sibirica*

Хвоя лиственницы, собранная на южном побережье, характеризуется широким диапазоном массовой доли ПАУ от 1,0 до 3,8 мкг/г сухой массы, профиль г. Иркутск – пос. Листвянка отличается равномерным накоплением ПАУ ~1,0 мкг/г сухой массы хвои. Сопоставимое содержание ПАУ в хвое в районе устья р. Переемной и пос. Листвянка указывает на равномерное распределение поллютантов в атмосфере восточного и западного побережья на уровне выше фонового до четырех-пяти раз. Относительно высокое накопление ПАУ в хвое на участках устьев рек Утулик и Солзан связано, очевидно, с локальным загрязнением атмосферы в этих районах.

Уровни накопления ПАУ в снежном покрове на контролируемой территории указывают на локальные источники поллютантов этого класса и загрязнение атмосферы в районах их расположения. Оценка аккумуляции ПАУ в хвое лиственницы *L. sibirica* подтверждает рассеивание атмосферных выбросов ПАУ в весенне-летний период года, которое не

приводит к значимому атмосферному переносу воздушных масс, загрязненных ПАУ, из промышленной зоны Прибайкалья на южное побережье оз. Байкал.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственных заданий Министерства науки и высшего образования РФ (№ проекта – 0277-2025-0003, Рег. № 1250201702332-4; № проекта 0279-2021-0005, Рег. № 121032300224-8; № проекта 0279-2021-0014 Рег. № 121032300199-9) на оборудовании в ЦКП «Ультрамикроанализ» ЛИН СО РАН (г. Иркутск).

Список литературы

Горшков А. Г. Определение полициклических ароматических углеводородов в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – биомониторе загрязнения атмосферы // Журнал аналитической химии. 2008. Т. 63, № 8. С. 880–886.

Распределение полициклических ароматических углеводородов в природных объектах на территории рассеивания выбросов Иркутского алюминиевого завода (г. Шелехов, Иркутская область) / И. И. Маринайте, А. Г. Горшков, Е. Н. Тараненко, Е. В. Чипанина, Т. В. Ходжер // Химия в интересах устойчивого развития. 2013. Т. 21, № 2. С. 143–154.

УДК 578.42

ОЦЕНКА ВИРУЛЕНТНОСТИ ВИРУСА ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОГО ПОЛИЭДРОЗА СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА (DSCPV-1) НА ГЕМОЦИТАХ АМФИПОД

О. В. Калюжная[1]*, Е. В. Борвинская [1], А. А. Назарова[1], Е. Д. Золотовская[1], М. А. Тимофеев[1], В. В. Мартемьянов[2]

[1]Иркутский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
Институт систематики и экологии животных СО РАН
(Россия, 660091, Новосибирск, ул. Фрунзе 11)

Аннотация. Проведена оценка вирулентности вируса цитоплазматического полиэдроза сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Cypovirus-1, DsCPV-1) на первичных культурах гемоцитов трех литоральных видов байкальских амфипод. Экспозиция вируса DsCPV-1 на первичных культурах клеток гемоцитов байкальских амфипод, в двух концентрациях 50000 и 10000 вирусных единиц на миллилитр культуральной среды, не показала цитотоксического действия на клетки в первичных культурах. Выживаемость экспонируемых культур с вирусом не отличалась от контрольных, у всех исследуемых групп амфипод.

Ключевые слова: вируса цитоплазматического полиэдроза, амфиподы, гемоциты

Вирус DsCPV-1 является перспективным кандидатом на роль биологического инсектицида против гусениц сибирского шелкопряда, однако проверка экологической безопасности по отношению к нецелевым группам животных (таким, как байкальское амфиподы) очень важна, при разработке подобных инсектицидов [Субботина, Мартемьянов, Белоусова, 2023].

Оценка вирулентности DsCPV-1 была проведена на трех эндемичных доминирующих литоральных видах байкальских амфипод: *Eulimnogammarus verrucosus* (Gerstfeldt, 1858), *Eulimnogammarus vittatus* (Dybowsky, 1874) и *Pallasea cancellus* (Pallas, 1772). Для работы отбирали взрослых особей в сентябре-октябре 2023 г. в литорали оз. Байкал, с глубины 0,8–1,5 м, вблизи пос. Большое Голоустное и вблизи пос. Листвянка (Южный Байкал). В лаборатории амфипод содержали в аквариумах при температуре 9 °С (входит в диапазон предпочитаемых температур обитания) при постоянной аэрации [Timofeyev, Shatilina, Stom, 2001]. Кормление проводили каждые двое суток высушенной и измельчённой смесью водорослей и макробеспозвоночных из места отлова параллельно с частичной сменой воды [Diet … , 2019].

Гемолимфу амфипод отбирали из центрального сосуда, между 6 и 7 сегментами с дорсальной стороны тела. Для этого животное помещали на лёд, дорсальную поверхность обрабатывали 70%-ным раствором этилового спирта, и прокалывали стерильной иглой, затем стеклянными капиллярами отбирали гемолимфу. Сразу после отбора образцы гемолимфы смешивали с изотоническим антикоагуляционным раствором (150 мМ NaCl, 5 мМ Na2HPO4, 30 мМ цитрат натрия, 10 мМ ЭДТА, pH 8,0) в объемном соотношении 1:1 для минимизации процесса склеивания гемоцитов [Общая … , 2020]. Для получения первичной культуры гемоцитов у 10 особей одного вида отбирали гемолимфу по описанной выше методике, затем полученную смесь центрифугировали для осаждения клеток при 4 °С на минимальных оборотах – 23 g в течение 5 мин. Полученный осадок клеток ресуспендировали в полной питательной среде Лейбовича L-15 с добавлением L-глутамина и 15 % фетальной бычьей сыворотки в стерильных условиях. Суспензию клеток раскапывали в 96 луночный культуральный планшет по 100 мк/лунку. Для оценки действия вируса на гемоциты амфипод экспериментальную культуру гемоцитов сравнивали с контрольной культурой гемоцитов, культивируемой без вируса. Для гемоцитов каждого вида амфипод тестировали две

концентрации вируса: 50000 вир. ед/мл и 10000 вир. ед/мл и контроль 0 вир. ед/мл, по 5 лунок на каждую концентрацию. Клетки культивировали при 6 °С, 24 ч, затем первичную клеточную культуру анализировали на инвертированном флуоресцентном микроскопе Celena S (Logos Biosystems, Корея). Наличие цитотоксического эффекта оценивали по выживаемости клеток в культуре, в сравнении с контрольными лунками. Визуализацию мертвых клеток проводили окрашиванием специфичным флюоресцентным красителем – йодистым пропидием (PI; краситель, окрашивающий ДНК только мёртвых или поврежденных клеток), рабочая концентрация красителя составляла 10 мкг/мл. Флуоресценцию наблюдали в красном канале флуоресцентного микроскопа (максимум излучения PI – 617 нм) [Оценка … , 2018]. Выживаемость клеток рассчитывали по отношению количества погибших клеток к общему числу клеток в процентах по формуле: V(%) = (1–(Nм. кл./Nобщ.))·100 %, где V(%) – выживаемость клеток в первичной культуре, Nм. кл. – количество окрашенных ядер (мертвые и поврежденные клетки), Nобщ. – общее количество клеток.

Статистическую оценку различий в концентрации клеток гемоцитов в тестируемых группах амфипод, по сравнению с контрольными, а также выживаемость клеток гемоцитов в первичной культуре с вирусом, по сравнению с контрольными лунками, проводили по непараметрическому критерию Манна – Уитни в программе Past 3 с поправкой Хольма на множественные сравнения (в реализации в пакете R, www.r-project.org). Отличия между выборками считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Первичная культура клеток гемоцитов всех исследуемых групп через 24 ч культивирования показала высокую конфлюентность клеток в культуре, процент образования монослоя клеток на лунку планшета составил 80–90 % ее поверхности. Выживаемость клеток в культуре с вирусом DsCPV-1 была сопоставимо высокой, от 90 до 96 %, с клетками контрольной культуры без вируса. Статистически значимых отличий в выживаемости гемоцитов в исследуемых группах не обнаружено ($p > 0,05$).

Экспозиция вируса DsCPV-1 на первичных культурах клеток гемоцитов трех видов байкальских амфипод: *E. verrucosus, E. vittatus* и *P. cancellus* в концентрациях 50000 и вир. ед/мл среды, не показала цитотоксического действия на клетки в первичных культурах. Выживаемость экспонируемых культур не отличалась от контрольных у всех трех исследуемых групп амфипод.

Благодарности. Работа поддержана грантом РНФ 23-66-10015.

Список литературы

Общая характеристика гемоцитов байкальских эндемичных амфипод *Eulimnogammarus verrucosus* / А. А. Назарова, А. Е. Саранчина, А. Д. Мутин, Ю. А. Лубяга // Актуальные проблемы Прибайкалья. 2020. № 3. С. 33–136.

Оценка деструктивных процессов хроматина гранулезы овариальных фолликулов свиней, содержащих растущие или завершившие фазу роста ооциты / Т. И. Кузьмина, Т. И. Станиславович, А. В. Молчанов, Д. Н. Татарская // Аграрный научный журнал. 2018. № 9. С. 26–30.

Субботина А. О., Мартемьянов В. В., Белоусова И. А. Молекулярный метод детекции нового штамма *Dendrolimus sibiricus* Cypovirus-1 в альтернативном хозяине // VII съезд Паразитологического общества: итоги и актуальные задачи, 16–20 окт. 2023 г., Петрозаводск, Россия : тез. докл. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2023. С. 341.

Diet influence on mechanisms of non-specific stress-response in Baikal endemic amphipod species during long-term laboratory exposure / D. V. Axenov-Gribanov, D. S. Bedulina, Y. A. Shirokova [et al.] // Crustaceana. 2019. Vol. 92 (I). P. 1349–1368.

Timofeyev M. A., Shatilina J. M., Stom D. I. Attitude to temperature factor of some endemic amphipods from Lake Baikal and Holarctic *Gammarus lacustris* Sars, 1863: A comparative experimental study // Arthropoda selecta 2001. Vol. 10, N 2. P. 93–101.

УДК 576.5

КЛЕТОЧНАЯ КУЛЬТУРА ГОНАД КАМЕННОЙ ШИРОКОЛОБКИ *PARACOTTUS KNERII* (DYBOWSKI, 1874)

О. В. Калюжная*, Е. В. Борвинская, Е. П. Щапова, М. А. Тимофеев

Иркутский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)

Аннотация. Впервые была выделена перевиваемая клеточная культура из гонад коттоидных рыб (каменной широколобки). Клетки были выделены из женских гонад *P. knerii* методом ферментативной дезагрегации ткани и культивировались в среде Лейбовица L-15 с добавлением фетальной бычьей сыворотки, антибиотиков и антимикотиков при температуре 22°C без добавления CO_2. Клетки в культуре имели фибробластоподобную морфологию и в течение 7–14 дней образовывали плотный монослой в культуральном флаконе. Культура переносит как минимум два пассажа без существенной потери скорости роста. Пролифилирующие клетки после первого пассажа были заморожены в жидком азоте.

Ключевые слова: каменная широколобка, клеточная культура, эндемик

Клеточные культуры животных – незаменимые инструменты при проведении исследований *in vitro* в клеточной и молекулярной биологии, генетике, вирусологии и экологии. Поэтому создание клеточных линий рыб является перспективным направлением научной работы, особенно если объекты исследования – это редкие и эндемичные виды, обитающие в уникальных природных условиях. Тем не менее в отношении видов, населяющих оз. Байкал, подобные исследования до настоящего времени не проводились. Объектами данного исследования были выбраны представители коттоидных рыб оз. Байкал – каменные широколобки *Paracottus knerii* (Dybowsky, 1874). Рыбы были выловлены сачком на берегу Байкала летом 2023 г. в по. Большие Коты. До начала исследований рыб содержали в аквариумах с проточной водой и постоянной аэрацией в аквариальном комплексе НИИ биологии ИГУ при температуре 8–15 °C. Рыб кормили живым кормом (рачки Eulimnogammarus водной суспензией гвоздичного масла [Аквакультура … , 2011]. Поверхность рыб несколько раз обрабатывали 70%-ным этанолом, затем рыб вскрывали и в асептических условиях извлекали гонады. До выделения клеток гонады выдерживали при температуре 2–6 °C в стерильном фосфатном буфере PBS с добавлением антибиотиков. Первичные культуры клеток получали методом ферментативной дезагрегации тканей раствором 0,25%-ного трипсина в растворе Версена [Chen, Sha, Ye, 2003]. После удаления раствора трипсина полученный осадок клеток ресуспендировали в ростовой клеточной среде Лейбовица L-15 с добавлением 20 % фетальной бычьей сыворотки и смеси антибиотиков и антимикотиков. Далее суспензию клеток раскапывали на культуральные планшеты для адгезивных клеточных культур и культивировали при 22 °C в атмосфере воздуха (без добавления CO_2) с частичной заменой среды каждые 48 часов. Рост и выживаемость культуры клеток ежедневно оценивали с помощью инвертированного микроскопа в режиме фазового контраста. По достижении 70–растворе Версена, с последующим пассажем на новые культуральные планшеты. Для тестирования возможности криоконсервации и длительного хранения культуры часть клеток после субкультивирования заморозили в жидком азоте в ростовой среде с добавлением криопротектора ДМСО (20 %). Полученная клеточная культура гонад каменной широколобки представляла собой прикреплённую монослойную культуру крупных (до 100 мкм), фибробластоподобных или полигональных клеток, плотно прилежащих друг к другу. Клетки обладали крупными, хорошо различимыми ядрами с несколькими ядрышками. После субкультивирования клетки прикреплялись к культуральным флаконам поодиночке или не-

большими островками, зарастая клонально с сохранением фибробластной морфологии. Показано, что полученная культура способна перенести как минимум два пассажа без существенной потери скорости роста.

Таким образом, нами была впервые получена клеточная культура эндемичного байкальского вида рогатковых рыб – каменной широколобки *P. knerii.* Культура способна пролифилировать достаточно длительное время в стандартных лабораторных условиях и может применяться для молекулярных, эпизоотологических и эко-токсикологических исследований.

Список литературы

Аквакультура. Вып. 6. Руководство по применению анестетика «гвоздичное масло» в аквакультуре / сост. Е. В. Микодина, М. А. Седова, С. В. Пьянова. М. : Изд-во ВНИРО, 2011. 58 с.

Chen S.-L., Sha Z.-X., Ye H.-Q. Establishment of a pluripotent embryonic cell line from sea perch –4. P. 141–151.

УДК 574.5

К ВОПРОСУ О БИОРАЗНООБРАЗИИ ТОЛСТИХИНСКОГО ТЕРМАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА (БАРГУЗИНСКАЯ ДОЛИНА, РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

Д. Ю. Карнаухов[1,2]*, А. В. Лавникова[2], Я. К. Ермолаева[2], С. А. Бирицкая[2], Е. В. Минчева[1], А. Б. Купчинский[1]

[1]Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл, пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
[2]Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
**Автор для переписки: karnauhovdmitrii@gmail.com*

Аннотация. Представлен таксономический состав на уровне групп гидробионтов, отмеченный для Толстихинского термального источника. Выявлено, что термальная вода опосредовано может приводить к возникновению гипероксических условий.

Ключевые слова: Баргузинская долина, термальные источники, р. Баргузин, биоразнообразие, гипероксические условия

В Байкальском регионе известно около 100 термальных источников. Данные по флоре и фауне данных источников во многих случаях просто отсутствуют. Одним из таких источников является Толстихинский (53°35'49.5"N 109°35'28.4"E). Данный источник находится на левом берегу р. Баргузин (рядом с одноименным поселком) в непосредственной близости от береговой линии. В прибрежной части р. Баргузин теплая вода из источника способствует формированию протяженных зарослей нитчатых водорослей.

Цель исследования – оценка зооценоза ручья, берущего начало из родникового источника, а также анализ сообществ, ассоциированных с нитчатыми водорослями в р. Баргузин.

В составе планктонного и дрейфующего сообществ в разливе ручья от источника были выявлены представители Cyclopoida, Harpacticoida, Ostracoda, Hydrachnida, Oligochaeta, Coleoptera (larvae) и науплии Copepoda. В составе бентосного сообщества были обнаружены Cyclopoida, Cladocera, Ostracoda, Oligochaeta, Chironomidae, Gastropoda, Bivalvia, Hirudinea, Trichoptera (larvae) и науплии Copepoda. Нахождение представителей некоторых групп в несвойственных для себя зонах, видимо, связано с дрейфом, а также с достаточной размытостью границ этих зон (которая обусловлена небольшой глубиной).

В составе планктонного сообщества, ассоциированного с нитчатыми водорослями, были обнаружены представители Cyclopoida, Harpacticoida, Oligochaeta, Chironomidae, Gastropoda, Nematoda, Coleoptera (larvae), Trichoptera (larvae), Simuliidae.

В дополнение к проведенным отборам проб (28.03.2024) производилось измерение ряда физико-химических параметров среды: температуры, концентрации растворенного кислорода, степени насыщения воды кислородом. Полученные результаты показали низкую степень насыщения (29,54 %) в разливе ручья источника, но при этом высокое значение данного показателя (121,49 %) и гипероксические условия в зарослях нитчатых водорослей.

Результаты демонстрируют значимые различия в структуре зооценозов, обусловленные комплексом экологических факторов. Выявленные закономерности требуют продолжения исследований с расширением временных рамок наблюдений и спектра изучаемых параметров.

Благодарности. Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 121032900077-4 «Экологическая диагностика изменений некоторых элементов биогеоценозов территории Восточной Сибири».

УДК 574.5

СООБЩЕСТВА ГИДРОБИОНТОВ КАРЬЕРНЫХ ОЗЕР ЧЕРЕМХОВСКОГО РАЙОНА (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

Д. Ю. Карнаухов[1,2]*, А. В. Лавникова[2], Я. К. Ермолаева[2], С. А. Бирицкая[2], Е. В. Минчева[1], А. Б. Купчинский[1]

[1]Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл., пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
[2]Иркутский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
**Автор для переписки: karnauhovdmitrii@gmail.com*

Аннотация. Сопоставляются групп гидробионтов двух карьерных озер Черемховского района. Дается объяснение имеющимся различиям в разнообразии организмов на уровне групп.

Ключевые слова: карьерные озера, зоопланктон, абиотические факторы, биотические факторы, зообентос

Карьерными озерами называются водоемы, образовавшиеся в карьерах после добычи полезных ископаемых. Такие озера, как правило, заполняются за счет притока подземных, либо поверхностных вод. Подобные водоемы представляют интерес для исследователей со всего мира. Данный интерес связан как с процессами заселения данных озер различными группами представителей флоры и фауны, так и с процессами локального увеличения биоразнообразия отдельных территорий.

В Иркутской области насчитывается значительное количество подобных водоемов. В данном исследовании нами были изучены сообщества гидробионтов двух озер (отбор проб и измерение параметров среды были произведены 24.09.2024), которые располагаются в Черемховском районе Иркутской области. Образование обоих озер приходится на 90-е гг. XX в. Одно из озер, известное в народе как «Черемховские Мальдивы», активно используется для рекреации благодаря своей живописной бирюзовой воде и песчаным берегам.

Сообщество гидробионтов первого озера (53°07'00. 5"N 102°57'49. 9"E) достаточно бедное. При этом в первом озере четко прослеживается граница, которая разделяет водоем на две части. В одной части дно покрыто плотными зарослями мха (здесь отмечаются личинки Odonata и Chironomidae, а также, Nepomorpha и Hydrachnidia). Дно второй части абсолютно голое. Здесь также были обнаружены Nepomorpha и Hydrachnidia, а кроме того, Cladocera (1 вид). В противоположность первому озеру предстает второе (53°07'03.4"N 102°57'50.6"E). При этом расстояние между ближними точками обоих озер составляет менее 100 м. Здесь отмечаются следующие группы гидробионтов: Cyclopoida, Cladocera, Ostracoda, Calanoida, Hydrachnidia, Nepomorpha, Gastropoda, Oligochaeta, Chironomidae.

Выявленные различия в таксономическом разнообразии гидробионтов между двумя карьерными озерами, несмотря на их общее происхождение и близкое географическое расположение, обусловлены комплексом абиотических и биотических факторов. Ключевым лимитирующим фактором в первом водоеме выступает кислая среда (pH 3,05). Подобные условия создают экстремальную среду обитания, что приводит к значительному обеднению видового состава, не препятствуя при этом заселению водоема амфибиотическими насекомыми. В дополнение ко всему, на преобразование среды значительное влияние оказывают фитосообщества (здесь стоит отметить, что второе озеро со всех сторон окружено деревьями и кустарниками, а также, отмечается несколько видов макрофитов).

Полученные данные демонстрируют, что даже при общих геологических и географических условиях формирование гидробиоценозов в карьерных водоемах может происходить по разным сценариям.

Благодарности. Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 121032900077-4 «Экологическая диагностика изменений некоторых элементов биогеоценозов территории Восточной Сибири».

УДК 574.5:476

ВЛИЯНИЕ ВЕСЕННЕГО ТЕРМОБАРА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В ОЗ. ДОЛГОЕ (БЕЛАРУСЬ)

А. Ю. Карпаева[1], Н. Ю. Суховило[2]*, Д. Б. Власова[2], Б. О. Цыденов[3]

[1]Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам (Республика Беларусь, 220072, Минск, ул. Академическая, 27)
[2]Белорусский государственный университет (Республика Беларусь, 220030, Минск, пр-т Независимости, 4)
[3]Национальный исследовательский Томский государственный университет (Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 36)
**Автор для переписки: SukhoviloNY@bsu.by*

Аннотация. Целью исследования являлся анализ влияния весеннего термобара на вертикальное и горизонтальное распределение фитопланктона в оз. Долгое (Беларусь). Воздействие резкого весеннего потепления на фитопланктон заключается в том, что в мелководной теплоактивной зоне его биомасса была ниже, чем в глубокой холодной теплоинертной. Видовой состав также был различным: холодолюбивых видов диатомовых в теплоактивной зоне было меньше. В то же время «летнее» сообщество фитопланктона еще не успело сформироваться. Максимальная биомасса была зафиксирована на глубине прозрачности воды в плесе с максимальной глубиной, минимальная – в мелководной зоне.

Ключевые слова: озеро, термобар, перемешивание, весеннее нагревание, фитопланктон

Тепловой режим водоемов является результатом взаимодействия зональных климатических и азональных геоморфологических факторов и служит фоном для протекания всех внутриводоемных процессов. Микроводоросли первыми реагируют на загрязнения, поэтому они считаются надежными биологическими индикаторами качества воды [Дрозденко, 2018]. В данном контексте актуальным предствляется исследование влияния термобара на гидробионтов [Присклоновые … , 1999; Цыденов, 2019]. Целью исследования являлся анализ влияния весеннего термобара на вертикальное и горизонтальное распределение фитопланктона в оз. Долгое (Беларусь). Озеро Долгое, расположенное в Глубокском районе Витебской области, является самым глубоким естественным водоемом Беларуси (максимальная глубина – 53,6 м). Площадь равна 2,6 км^2. Котловина ледникового происхождения, ложбинного типа, вытянута с северо-запада на юго-восток. В период весеннего нагревания быстрее всего прогреваются мелководья.

Сбор фитопланктона осуществлялся 30 марта 2024 г. Пробы отбирали с помощью батометра и фиксировали раствором Утермеля. Отбор проб выполнялся в теплоактивной и теплоинертной зонах. Поскольку теплоактивная зона отличается мелководностью, отбор проб в ней выполнялся в двух точках на вертикали: в приповерхностном слое на глубине 0,1 м и на глубине прозрачности, которая на момент полевого обследования составила 4,2 м. В более глубокой теплоинертной зоне пробы отбирались также с глубин 15 и 22 м.

Обработку гидробиологического материала проводили по стандартной методике [Михеева, Лукьянова, Свирид, 2017; Неверова-Дзиопак, Цветкова, 2020; Mikheyeva, 1989]. Видовую идентификацию проводили с помощью как отечественных [Определитель … , 1951–1983], так и зарубежных определителей [Süßwasserflora von Mitteleuropa, 1978]. При выделении и расположении отделов водорослей использовали систему, принятую в справочнике «Альгофлора Беларуси» [Михеева, 1999]. При исследовании количественных проб фитопланктона проводили пересчет численности на 1 л воды согласно [Садчиков, 2003]. Биомассу водорослей рассчитывали методом «истинного объёма» (=геометрического подобия).

Численность фитопланктона на станциях, где пробы отбирали с поверхности и с глубины 4,2 м, равной одной прозрачности, была приблизительно одинаковой и составляла от 2,1 млн кл/л до 2,65 млн кл/л. Наибольшая численность фитопланктона отмечена на станции, пробы на которой отбирались с глубины 22 м. Численность фитопланктона составляла 3,01 млн кл/л. Наибольший процент на всех станциях приходится на отдел Bacillariophyta.

Доля этого отдела в общей численности составила от 32 до 61 %. Преобладание отдела диатомовых в общей численности и биомассе соответствует PEG-модели сезонной сукцессии планктонных сообществ и явно характеризует озеро в моменте преобладания холодолюбивых диатомовых [Sommer, 1986]. Небольшое увеличение численности и биомассы синезеленых водорослей на поверхности по всей видимости связано с лучшей освещенностью. Максимальная биомасса была отмечена в теплоинертной зоне на станции с глубиной, равной глубине прозрачности (4,2 м) и составила 1,81 мг/л. На станциях, где пробы отбирались с поверхности, отмечены самые низкие показатели биомассы.

Таким образом можно отметить, что в оз. Долгое во время развития весеннего термобара фитопланктон был распределен по водной массе неравномерно. Кластерный анализ показал, что наибольшее сходство наблюдалось между станциями, пробы с которых отбирали на одной глубине, либо с поверхности и глубины в одну прозрачность (77 %). Наибольшие различия отмечались между фитопланктоном поверхностного слоя и фитопланктоном средних глубин (61,5 %). Биомасса и численность фитопланктона возрастала с глубиной, что связано с преобладанием холодолюбивых видов, которые сохранялись в более холодных водах. В быстро нагреваемой мелководной зоне как численность, так и биомасса, были довольно низкими, т. к. «летнее» сообщество еще не сформировалось.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке БРФФИ, проект № Х23РНФМ-001 и РНФ, проект № 24-47-10001.

Список литературы

Дрозденко Т. В. Фитопланктон как индикатор экологического состояния водоема (на примере озера Барское, Псковская область) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, № 2. С. 225–231. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-225-231

Михеева Т. М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог : справ. пособие. Минск : БГУ, 1999. 96 с.

Михеева Т. М., Лукьянова Е. В., Свирид А. А. Структура и количественное развитие фитопланктона озерных водоемов Национального парка «Припятский» // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2017. № 1. С. 86–97.

Неверова-Дзиопак Е., Цветкова Л. И. Оценка трофического состояния поверхностных вод. СПб. : СПБГАСУ, 2020. 176 с.

Определитель пресноводных водорослей СССР / М. М. Голлербах, В. И. Полянский [и др.]. М., 1951–1983. 14 вып.

Присклоновые процесс и распределение микроорганизмов в озере Байкал / В. В. Парфенова и [др.]. Сибирский экологический журнал. 1999. № 6. С. 613–618.

Садчиков А. П. Методы изучения пресноводного фитопланктона : метод. руководство. М. : Университет и школа, 2003. 158 с.

Цыденов Б. О. Численное моделирование весенней динамики планктона на примере селенгинского мелководья оз. Байкал // Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 3. С. 114–123. DOI: 10.17076/lim948

Mikheyeva T. M. Methods of quantitative enumeration of nanophytoplankton (review) // Hydrobiological Jornal 1989. N 25. P. 3–21.

Sommer U. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters // Hydrobiologie. 1986. Vol. 106, N 4. P. 433–471.

Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 6. Freshwater Flora of Central Europe. Vols. 1–24 / eds.: A. Pascher, G. Fischer. 1978.

УДК 551.4

ЗАОЗЕРЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ КАК ИНДИКАТОР ИНТЕНСИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА АРГА (ДЕЛЬТА РЕКИ ЛЕНЫ)

А. А. Картозия*

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН
(Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3)
**Автор для переписки: andrei.kartoziia@igm.nsc.ru*

Аннотация. Представлен анализ заозеренности территории о. Арга (дельта Лены) и динамики изменений увлажненности земной поверхности под влиянием современных изменений климата. Методы включали совмещение морфометрического (TPI на основе ArcticDEM) и спектрального анализа (динамика mNDWI по Sentinel-2 за 2019–2024 гг.). Рассчитаны летние медианные композиты и тренды увлажнения. Локализованы участки, претерпевающие воздействие термокарстовых процессов и проведена оценка их интенсивности. Получены фактические данные о состоянии криогенного рельефа значительной части дельты р. Лены, а также представлена методика локализации и оценки интенсивности термокарстовых процессов.

Ключевые слова: о. Арга, дельта Лены, TPI, mNDWI, термокарст

Современный тренд повышения среднегодовой температуры поверхности Земли приводит к активизации опасных геологических процессов, которые связаны с деградацией подземных льдов. Методы ГИС-анализа данных дистанционного зондирования Земли являются ключевым инструментом для оперативной оценки угроз и изменений природной среды. В рамках исследования был выполнен анализ заозеренности территории и выполнена оценка интенсивности развития термокарстовых процессов.

Территорией исследования послужил участок площадью около 2000 км^2 в центральной части о. Арга (дельта р. Лены). Геоморфологические особенности территории значительно упрощают ГИС-анализ и интерпретацию результатов [Kartoziia, 2024]. Фактическими данными для анализа послужили космические снимки Sentinel-2 за 2019–2024 гг., а также ЦМР ArcticDEM. В ходе работы были вычислены медианные значения снимков за летние периоды, а также рассчитан ряд спектральных индексов. Результаты исследования: площадные карты заозеренности территории и динамика изменений площади озёр; расчеты изменений индекса mNDWI; карты TPI, на основе которых были выявлены локальные возвышенности и котловины; локализация участков, подверженных воздействию термокарстовых процессов и оценка их интенсивности.

Благодарности. Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400252-1).

Список литературы

Kartoziia A. Using Google Earth Engine to assess the current state of thermokarst terrain on Arga island (the Lena Delta) // Earth. 2024. Vol. 5, N 2. P. 228–243. DOI: 10.3390/earth5020012

УДК 575.22:597.5

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ *PARACOTTUS KNERII* (COTTIDAE) ОЗЕРА БАЙКАЛ НА ОСНОВЕ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ И ЯДЕРНЫХ МАРКЕРОВ

С. В. Кирильчик, Б. Э. Богданов, В. И. Тетерина *

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: veronika_t@inbox.ru*

Аннотация. Проведено исследование генетического полиморфизма и популяционной структуры каменной широколобки *Paracottus knerii* молекулярно-генетическими методами, с использованием нуклеотидных последовательностей митохондриального и ядерного генома. Обнаружена высокая степень подразделенности по митохондриальному геному с множеством различных генетических линий. Выделено четыре основные гаплогруппы – «юго-западная», «южная», «северо-западная» и «восточная». В сравнении с митохондриальным геномом, каменная широколобка имеет невысокий полиморфизм ядерной ДНК. Анализ ядерных участков генома указывает на частичную изоляцию южной линии. Центром видообразования каменной широколобки и источником заселения в Байкал, согласно полученным результатам, вероятно, являются реки Ангаро-Енисейского бассейна. Формирование внутривидовой структуры *P. knerii* могло происходить под влиянием геологических событий в Байкальском регионе, приводящих к образованию или исчезновению географических барьеров.

Ключевые слова: Cottoidei, *Paracottus knerii*, генетический полиморфизм, популяционная структура, Байкал

Каменная широколобка *Paracottus knerii* (Dybowski, 1874) – вид, широко распространённый в бассейнах Байкала и Енисея. Обитание приурочено в основном к рыхло упакованным каменистым грунтам. Проведенные ранее филогенетические исследования показали, что каменная широколобка, возможно, является одним из самых древних видов байкальских коттоидных рыб [Kontula, Kirilchik, Vainola, 2003]. Анализ изменчивости морфологических признаков показал, что каменная широколобка является полиморфным, сложно-структурированным видом [Богданов, 2007].

В качестве маркеров внутривидового генетического полиморфизма использовали нуклеотидные последовательности митохондриального гена цитохрома Б (*Cytb*), ядерного гена родопсина (*Rho*) и некодирующего участка ядерной ДНК (первый транскрибируемый спейсер рДНК – *ITS1*).

Генетическая структура *P. knerii*, основанная на анализе гена *Cytb* митохондриальной ДНК (мтДНК), выявила высокую степень подразделенности с множеством различных генетических линий. Все образцы можно разделить на четыре гаплогруппы (генетические линии). Первая, «юго-западная» линия, представлена выборками с юго-западного побережья Байкала, небайкальскими выборками из р. Ангары и ее притоков, а также выборками из Грамнинских озер (Северный Байкал). Во вторую, «южную» линию, входят выборки из притоков Южного Байкала – р. Утулик, р. Снежной и оз. Соболиного, а также р. Переемной. Третью, «северо-западную» линию, составляют выборки с побережья о. Ольхон и западного побережья северной котловины озера – мыса Елохин и бухты Солонцовая. В четвертую, «восточную» генетическую линию, входят выборки из оз. Фролиха (Северный Байкал), из района о. Большой Ушканий, из восточного побережья центральной и северной котловин Байкала, а также выборка из р. Хара-Мурин (Южный Байкал). Восточная линия является наиболее генетически отдаленной от юго-западной, южной и северо-западной линий. Наиболее генетически полиморфной является юго-западная линия. Ее центральный гаплотип встречается в основном у особей, населяющих р. Ангару и ее притоки, но также представлен в северо-западной и восточной выборках. Он имеет максимальное количество соединений, прямые связи с байкальскими и небайкальскими группами гаплотипов. Исходя из этого, можно предположить, что центром образования западной линии и возможно всего

вида являются реки Ангаро-Енисейского бассейна. Из этого же региона, вероятно, произошло вселение каменной широколобки в Байкал. Поскольку среда обитания каменной широколобки в основном связана с каменистыми субстратами, можно предположить, что основным изолирующим фактором, ограничивающим распространение этого вида, является наличие обширных илистых, глинистых или песчаных участков. Именно такими факторами для «восточной» генетической линии могут быть Селенгинское мелководье на южной границе этой генетической линии и в значительно меньшей степени – район о. Ярки и впадения северных притоков Байкала.

Наши данные свидетельствуют о том, что расхождение «юго-западной» и «восточной» линий *P. knerii* произошло приблизительно 0,8 млн л. н., что соответствует верхней границе периода интенсивного осадконакопления между 0,82 и 1,3 млн л. н. в районе Посольской банки, которые были обусловлены поступлением терригенных отложений из р. Селенги [High-resolution ... , 2004].

Образование группы гаплотипов из р. Хара-Мурин вероятно произошло в относительно недавнее геологическое время (приблизительно 0,16 млн лет назад). Эта оценка близка к геологическому периоду MIS 6 (191–130 тыс. л. н.). Предполагается, что уровень Байкала в это время был на ~200 м выше чем в настоящее время [Catastrophic ... , 2018]. Озеро в это время имело иной профиль береговой линии с многочисленными заводями и протоками, которые могли способствовать распространению *P. knerii.* С появлением ангарского стока в MIS 5e уровень Байкала снизился, это привело к восстановлению географического барьера.

У каменной широколобки *ITS1* и ген *Rho* имеют невысокий полиморфизм в сравнении с мтДНК, что объясняется меньшей скоростью эволюции ядерного генома. Анализ *ITS1* и *Rho* указывает на частичную изоляцию южной линии, а *ITS1* демонстрирует внутригеномный нуклеотидный вариант, характерный исключительно для восточной линии, но не один из них не показал изоляцию северо-западной линии. В целом отсутствие фиксированных нуклеотидных замен и повышенная гетерозиготность указывают на слабые генетические барьеры для передачи генов между линиями.

Значительные расхождения в уровне генетической структурированности по ядерным и митохондриальным генам может быть следствием различных скоростей дивергенции или разными репродуктивными стратегиями самок и самцов.

Благодарности. Исследование проведено в рамках бюджетной темы ЛИН СО РАН № 0279-2021-0005.

Список литературы

Богданов Б. Э. Изменчивость каменной широколобки *Paracottus knerii* (Cottidae, Scorpaeniformes) Байкала и водоёмов байкальского региона // Вопросы ихтиологии. 2007. № 47. С. 202–214.

Catastrophic events in the Quaternary out flow history of Lake Baikal / S. G. Arzhannikov, A. V. Ivanov, A. V. Arzhannikova [et al.] // Earth-Science Reviews. 2018. Vol. 177. P. 76–113. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.11.011

High-resolution sedimentary record in a new BDP-99 core from Posolsk Bank in Lake Baikal / E. Bezrukova, A. Bukharov, V. Bychinsky [et al.] // Russian geology and Geophysics. 2004. Vol. 45. P. 149–175.

Kontula T., Kirilchik S. V., Vainola R. Endemic diversification of the monophyletic cottoid fish species flock in Lake Baikal explored with mtDNA sequencing // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2003. Vol. 7. P. 143–155. DOI: 10.1016/S1055-7903(02)00376-7

УДК 574.1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ КАК ИНСТРУМЕНТ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ЭКОДНК БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ

С. В. Кирильчик*, В. М. Черезова, В. И. Тетерина, М. М. Макаров, П. Н. Аношко, Л. В. Суханова, Е. В. Дзюба

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: kir@lin.irk.ru*

Аннотация. Молекулы ДНК, выделяемые животными и растениями в окружающую среду (ДНКос, экоДНК), являются ценным материалом для исследований биоразнообразия. В водной среде экоДНК присутствует в связке с органическими частицами различной природы. В рамках данной работы на примере генетического материала байкальского омуля *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775) изучались закономерности изменения скорости деградации экоДНК, ассоциированной с частицами разного размера. Кроме этого, исследовались закономерности распределения частиц экоДНК в природных условиях открытого Байкала.

Ключевые слова: Байкал, ДНК окружающей среды, байкальский омуль, распределение размеров частиц

Молекулы ДНК, выделяемые животными и растениями в окружающую среду (ДНКос, экоДНК) являются ценным материалом для исследований биоразнообразия. Попадая в воду, почву или атмосферу в результате жизнедеятельности организмов, экоДНК служит «молекулярными следами видов», изучая которые можно получить информацию о составе и состоянии сообществ в экосистеме. Очень важными характеристиками экоДНК являются скорости её образования и разрушения [Quantification ... , 2016]. Эти параметры могут оказать определяющее влияние на результаты исследований. Для дифференцирования экоДНК по степени разрушения используют амплификацию ДНК с ампликонами разной длины, а также фракционирование по размерам частиц, с которыми она связана. Во внешней среде экоДНК присутствует в комплексе с органическими частицами различной природы – партиклями, которыми могут быть группы клеток, отдельные клетки и органеллы. В ряде исследований показано, что по мере деградации экоДНК происходит также разрушение партиклей. Таким образом, чем старее экоДНК, тем с более мелкими партиклями она будет связана, а наиболее старой будет очевидно свободная или несвязанная экоДНК. Анализ распределения партиклей (particle size distribution (PSD)) позволяет оценить возраст экоДНК в месте отбора проб.

Основной инструмент получения данных PSD – последовательное фильтрование воды через фильтры с разным размером пор. Последняя фракция представляет фильтрат с размером частиц менее 0,2 мкм и вероятно содержит фракцию свободной от частиц экоДНК (0 фракция). Выделение этой фракции проводится путем преципитации из определенного объема жидкости. Это ограничивает объем фильтрата до нескольких миллилитров, что может сильно уменьшать чувствительность анализа.

В настоящей работе мы проводили исследования PSD экоДНК байкальского омуля *Coregonus migratorius* (Georgi, 1775), полученной непосредственно из воды открытого Байкала. Наряду с этим исследования проводили в мезокосмах: в условиях, приближенным к байкальским, на базе уникальной научной установки «Экспериментальный пресноводный аквариумный комплекс байкальских гидробионтов» (ПАК). В работе использовали ПЦР с ампликонами от 70 до 1350 п. н., и методы дифференциального фильтрования воды через фильтры с размером пор 3, 0,7 и 0,2 мкм (фракции 3, 0,7 и 0,2 соответственно). Кроме этого, использовали новый подход выделения свободной ДНК с помощью колонок на основе DEAE групп (фракция 0). DEAE экстракция позволила нам увеличить объем фильтрата до 3–6 л воды. Для анализа количества экоДНК открытого Байкала использовали метод аллель-специфичной количественной ПЦР фрагмента митохондриального гена NADH4 раз-

мером 150 п. н. Разнообразие полученных фрагментов оценивали с помощью плавления с высоким разрешением и последующим секвенированием по Сенгеру. Сборы проб ДНКос в открытом Байкале проводили с различных глубин озера в южной котловине со льда и поздней весной на НИС «Г. Ю. Верещагин». Одновременно с отбором проб проводили наблюдения за изменением плотности биомассы и вертикальным распределением байкальского омуля подо льдом с помощью однолучевого мобильного программно-аппаратного комплекса «Эхо-Байкал» (ПАК «Эхо-Байкал») на базе эхолота Furuno FCV-1100 (Япония). Кроме этого, пробы воды с глубины 450 м были получены из системы водоснабжения ПАК (пос. Листвянка).

Результаты исследований скорости деградации экоДНК не выявили достоверных закономерностей как для ампликонов разной длины, так и для частиц разного размера. В целом скорость деградации экоДНК в байкальской воде при $t = 3{,}5–4$ °C оказалась низкой, и по истечении 30 дней в экстрактах выявлялись отдельные копии целевых фрагментов ДНК.

Анализ проб открытого Байкала показал различия в распределении экоДНК по глубинам в зимний (пробы со льда) и поздне-весенний период. В пробах со льда экоДНК фракций 0,7 и 0 присутствовали на всех горизонтах отбора проб (от 50 до 400 м). В поздневесенних пробах экоДНК выявлялась в гораздо меньших концентрациях, чем в зимних. Концентрация ДНК фракции 3 заметно росла с глубиной в отличии от более мелких фракций, что можно объяснить более интенсивным опусканием крупных частиц. Фракция 0 присутствовала во всех зимних пробах, а в поздне-весенних пробах она была выявлена в очень низких концентрациях только на глубинах ниже 400 м.

Фракция 0 экоДНК зимних проб оказалась наиболее генетически разнообразной по сравнению с другими фракциями. Это было показано по кривым плавления HRM, а затем подтверждено секвенированием. Можно предположить, что свободная ДНКос в значительной степени не принадлежала локальным скоплениям омуля, регистрируемым эхолотом в момент отбора проб, а поступила ранее, например, из удаленных районов с водными течениями.

Результаты наших исследований не выявили достоверных различий в скоростях деградации экоДНК различной длины и ассоциированной с частицами разного размера. Результаты исследований PSD экоДНК открытого Байкала, напротив, согласуются с предположением о том, что свободная ДНК является наиболее «старой» по сравнению с клеточной и субклеточной. Полученный противоречивый результат может быть связан с ограничениями условий экспериментальных работ в аквариумах. Подобные, не согласующиеся с теоретическими предположениями, результаты были получены и в других исследованиях [Zhao, van Bodegom, Trimbos 2021]. Использование анализа фракции 0 это длительный и трудоемкий процесс. Также он непригоден при исследовании распределения видов в пределах их ареала или для выявления границ популяций. К очевидным преимуществам данного подхода следует отнести его высокую чувствительность. Можно предположить, что с его помощью можно получать косвенную информацию о генетическом разнообразии и биомассе объекта исследований в более широких пространственно-временных масштабах (например, в пределах водоема в целом и его бассейна).

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания ЛИН СО РАН No 0279-2021-0005 (121032300224-8).

Список литературы

Quantification of Environmental DNA (eDNA) Shedding and Decay Rates for Three Marine Fish / L. Sassoubre, R. Yamahara, L. Gardner, B. Block, A. Boehm // Environmental Science & Technology 2016. Vol. 50, N 19. P. 10456–10464. DOI: 10.1021/acs. est. 6b03114

Zhao B., van Bodegom P. M., Trimbos K. 2021. The particle size distribution of environmental DNA varies with species and degradation // Science of The Total Environment 797: 149175. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149175

УДК 582.263-152:577

СОСТОЯНИЕ ПРООКСИДАНТНО-АНТИОКСИДАНТНОГО ГОМЕОСТАЗА В ТКАНЯХ, СВЯЗАННЫХ С РЕГЕНЕРАЦИЕЙ РАКОВИНЫ У ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОВРЕЖДЕНИЯХ

Е. С. Кладченко*, Э. С. Челебиева, О. Л. Гостюхина, Д. С. Лавриченко, Е. А. Богачева

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН
(Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова, 2)
**Автор для переписки: kladchenko_ekaterina@bk.ru*

Аннотация. Механические повреждения раковины у двустворчатых моллюсков широко распространены как в природных условиях, так и при их выращивании в рамках аквакультуры. Вместе с тем, влияние таких повреждений на оксидантно-антиоксидантный статус организма остаётся недостаточно изученным. Целью исследования стало изучение изменений прооксидантно-антиоксидантного баланса у моллюсков при искусственно вызванном повреждении раковины. В ходе работы оценивали уровень активных форм кислорода (АФК), степень повреждения ДНК, активность антиоксидантной системы и интенсивность перекисного окисления липидов в гемолимфе и мантии – ключевых тканях, участвующих в репарации раковины. Повреждение раковины сопровождалось значительным увеличением уровня АФК в гемоцитах и ростом показателей повреждения ДНК, что свидетельствует о развитии системного окислительного стресса. Установлено снижение антиоксидантной защиты в мантии и достоверное увеличение продуктов перекисного окисления липидов, указывающее на повреждение клеточных мембран. Полученные данные позволяют заключить, что механические повреждения раковины вызывают дестабилизацию прооксидантно-антиоксидантного гомеостаза.

Ключевые слова: мантия, гемоциты, двустворчатые моллюски, репарация раковины

Несмотря на высокую перспективность и ряд преимуществ по сравнению с традиционными видами животноводства, аквакультура двустворчатых моллюсков сталкивается с рядом технологических и экологических трудностей. Марикультурные фермы, расположенные в прибрежных зонах, подвержены воздействию различных факторов окружающей среды, которые могут вызывать повреждения раковины и нарушать ее репаративные процессы. Среди таких факторов – ацидификация морской воды, развитие эпибионтов, нападение хищников, а также механические воздействия на этапах производственного цикла. Хотя двустворчатые моллюски обладают способностью к регенерации поврежденных тканей, указанные стрессовые воздействия могут оказывать негативное влияние как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. К числу возможных последствий относится угнетение иммунного ответа при заражении патогенами, снижение активности антиоксидантной системы защиты, а также нарушение ключевых метаболических процессов.

В ходе лабораторного эксперимента было смоделировано повреждение раковины средиземноморской мидии (*Mytilus galloprovincialis)* путем механического повреждения. Это позволило создать контролируемые условия для оценки способности моллюсков к восстановлению физического защитного барьера при воздействии стрессовых факторов окружающей среды. Для анализа изменений в прооксидантно-антиоксидантном статусе двустворчатых моллюсков в процессе восстановления раковины тканей, непосредственно участвующих в регенерации раковины – мантии и гемолимфы оценивали активность ключевых антиоксидантных ферментов, перекисное окисление липидов, уровень продукции активных форм кислорода (АФК) и повреждение ДНК.

Повреждение раковины у двустворчатых моллюсков сопровождалось активацией окислительных процессов в организме. У экспериментальных особей наблюдалось значительное увеличение уровня АФК в гемоцитах, что коррелировало с ростом показателей повреждения ДНК в клетках. Данный факт свидетельствует о развитии системного окислительного стресса в ответ на нарушение целостности раковины. В мантии, ткани, непосред-

ственно участвующей в репарации раковины, отмечалось снижение активности антиоксидантной системы. Было зафиксировано уменьшение потенциала детоксикации свободных радикалов, что указывает на истощение компенсаторных механизмов клеток в условиях длительного стрессового воздействия. Кроме того, установлено достоверное увеличение уровня продуктов перекисного окисления липидов, что подтверждает нарушение стабильности клеточных мембран и прогрессирование оксидативного повреждения тканей. Рост интенсивности перекисного окисления липидов рассматривается как один из ключевых маркеров дестабилизации прооксидантно-антиоксидантного гомеостаза при механических повреждениях раковины.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что механическое повреждение раковины у двустворчатых моллюсков, в частности у средиземноморской мидии *M. galloprovincialis*, инициирует развитие системного окислительного стресса. Увеличение уровня АФК в гемоцитах сопровождается ростом показателей повреждения ДНК в клетках. Важным результатом исследования стало выявление снижения антиоксидантной защиты в мантии – ключевой ткани, ответственной за синтез и восстановление раковины. Снижение активности антиоксидантных ферментов и уменьшение общего резерва антиоксидантной защиты свидетельствуют об истощении компенсаторных механизмов организма в условиях продолжающегося стрессового воздействия.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Механизмы функционирования иммунной системы двустворчатых моллюсков и физиологические основы ее адаптации к абиотическим, биотическим и антропогенным факторам окружающей среды» (№ гос. регистрации 124030100090-4).

УДК 576.32/.36

СТИМУЛ-ЗАВИСИМАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ АКТИНОВЫХ МИКРОФИЛАМЕНТОВ В ВЕРШИНАХ ОБОНЯТЕЛЬНЫХ РЕЦЕПТОРНЫХ НЕЙРОНОВ

И. В. Клименков*, Н. П. Судаков

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: iklimen@mail.ru*

Аннотация. В экспериментах, проведенных на суматранском барбусе (*Barbus tetrazona* Bleeker, 1855), с помощью конфокальной микроскопии впервые обнаружен эффект стимул -зависимой полимеризации актиновых микрофиламентов в терминале дендрита у зрелых обонятельных рецепторных клеток. Предполагается, что регуляция чувствительности к химическим агентам в рецепторных клетках может реализовываться не только через биохимические каскады трансдукции сигналов, но и посредством структурных перестроек актинового цитоскелета, ассоциированного с апикальным участком чувствительного участка дендрита.

Ключевые слова: обонятельная рецепция, нейрон, сигнальная трансдукция, актиновые микрофиламенты

В процессе жизнедеятельности живые организмы воспринимают разнообразные сигнальные молекулы, которые определяют их пищевое, репродуктивное и социальное поведение. В обонятельных (ольфакторных) рецепторных нейронах (ОРН) различные механизмы обеспечивают их адаптацию к запахам, действующим в различных концентрациях и временных интервалах [Abbas, Vinberg, 2021].

Ранее нами показано [Rearrangement … , 2018], что в процессе морфогенеза у молодого ОРН значительная доля его ядерного материала проникает внутрь дендрита, под поверхностной мембраной которого формируется хорошо выраженный слой актиновых микрофиламентов. Благодаря этому клетка принимает наиболее удобную хот-дог подобную форму для миграции в межклеточном пространстве обонятельного эпителия (ОЭ). При этом передний участок дендрита имеет широкий примембранный футляр из F-актина с небольшим, лишенным актина «окном» в центре. После встраивания в поверхность ОЭ актиновые микрофиламенты дендритной терминали диссоциируют, расширяя свободное от актина «окно» до пределов адгезивного пояска. Таким образом, в зрелых ОРН рыб, не подвергнутых действию одорантов, F-актин в матриксе вершины клетки отсутствует. В связи с этим представляется важным вопрос – могут ли процессы полимеризации/деполимеризации актиновых микрофиламентов в рецептивном участке ОРН быть вовлечены в первичные процессы хеморецепции, поддерживая адекватный уровень их стимуляции при переменных режимах воздействия одорантов.

Для эффективного одорантного воздействия на обонятельную систему рыб мы использовали смесь аминокислот и пептидов (массовая доля – 0,0002 %; Tryptone, Helicon), являющихся типичными пищевыми раздражителями для рыб. Принимая во внимание, что ОРН моноспецифичны [Buck, Axel, 1991], данная смесь молекул с различной структурой способна существенно увеличить число стимулированных рецепторных клеток. В результате такого воздействия создаются более адекватные условия для стимуляции большого числа ОРН [The Phenomenon … , 2020], что, как мы ожидали, может вызвать соответствующие перестройки элементов цитоскелета в терминалях дендритов обонятельных клеток.

Данные конфокальной микроскопии показывают, что в отсутствии хемостимуляции полимеризованной формы актина в вершине ОРН не наблюдается. В отличие от этого, в ходе одорантного воздействия в течение 48 часов F-актин вначале формируется в виде небольшого (350–370 нм) слоя под поверхностной мембраной терминали дендрита и далее может в разной степени заполнять все ее пространство от вершины клетки до нижней границы адгезивных контактов.

По нашим представлениям, плотная сеть актина, формирующаяся в матриксе вершин обонятельных клеток при воздействии внеклеточных веществ, может выполнять, по меньшей мере, две функции. Во-первых, она может выступать в качестве высокоизбирательного фильтра в локальных процессах диффузии сопряженных с трансдукцией молекул из цитоплазмы клетки к рецепторному участку дендрита. Во-вторых, она может модулировать проведение биохимического сигнала от поверхностной мембраны внутрь клетки. Таким образом, наряду с адаптивными изменениями биохимических процессов, перестройки актина создают дополнительные структурные основы для регуляции чувствительности клеток к пахучим веществам, действующим в различных концентрациях. Обращает на себя внимание факт, что у экспериментальных рыб процессы полимеризации актина развиваются не во всех клетках. Руководствуясь положением о моноспецифичности рецепторных клеток [Buck, Axel, 1991], можно предположить, что из всего набора ОРН процессы полимеризации актина претерпевают только те клетки, рецепторы которых имеют высокую аффинность к действующим лигандам. Таким образом, можно говорить об избирательности одорант-зависимых перестроек актиновых микрофиламентов в клетках ОЕ. В дополнительных экспериментах удалось установить, что феномен одорант-зависимой полимеризации актина в ОРН рыб выявляется уже в первые 1–2 часа воздействия химических агентов.

Факты ремоделирования актина в дендритах ольфакторных клеток структурно сходны с процессами реорганизации актиновых микрофиламентов, которые являются неотъемлемой частью механизмов созревания и пластичности дендритических шипиков в нейронах центральной нервной системы. Динамическая реорганизация актина, развивающаяся в наноразмерных доменах шипиков, предопределяет многообразие их формы, подвижность, биохимическую компартментализацию и пластичность [Borovac, Bosch, Okamoto, 2018; Okabe, 2020]. Выявление динамических стимул-зависимых перестроек актина в чувствительном отделе ОРН может свидетельствовать о наличии общих структурно-функциональных принципов регуляции хеморецепции одорантов в обонятельных клетках и нейромедиаторов в дендритических шипиках нейронов мозга.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта № 121032300186-9 (Лимнологический институт СО РАН).

Список литературы

Abbas F., Vinberg F. Transduction and Adaptation Mechanisms in the Cilium or Microvilli of Photoreceptors and Olfactory Receptors From Insects to Humans // Front Cell Neurosci. 2021. N 15. Art. 662453. DOI: 10.3389/fncel.2021.662453

Borovac J., Bosch M., Okamoto K. Regulation of actin dynamics during structural plasticity of dendritic spines: Signaling messengers and actin-binding proteins // Mol Cell Neurosci. 2018. N 91. P. 122–130. DOI: 10.1016/j.mcn.2018.07.001

Buck L., Axel R. A novel multigene family may encode odorant receptors: a molecular basis for odor recognition // Cell. 1991. Vol 65, N 1. P. 175–87.

Okabe S. Regulation of actin dynamics in dendritic spines: Nanostructure, molecular mobility, and signaling mechanisms // Mol Cell Neurosci. 2020. Vol. 109. Art. 103564. DOI: 10.1016/j.mcn.2020.103564

Rearrangement of Actin Microfilaments in the Development of Olfactory Receptor Cells in Fish / I. V. Klimenkov, N. P. Sudakov, M. V. Pastukhov [et al.] // Sci Rep. 2018. Vol. 8, N 1. Art. 3692. DOI: 10.1038/s41598-018-22049-7

The Phenomenon of Compensatory Cell Proliferation in Olfactory Epithelium in Fish Caused by Prolonged Exposure to Natural Odorants / I. V. Klimenkov, N. P. Sudakov, M. V. Pastukhov, N. S. Kositsyn // Sci Rep. 2020. Vol. 10, N 1. Art. 8908. DOI: 10.1038/s41598-020-65854-9

УДК 574.58

ВИДОВОЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА ЗООПЛАНКТОНА БЕЛОЯРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА (СВЕРДЛОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Н. Б. Климова *

Уральский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 620014, Екатеринбург, ул. 8 Марта 5)
**Автор для переписки: klimova@ural.vniro.ru*

Аннотация. Рассматриваются результаты многолетних исследований видового разнообразия и структуры зоопланктона Белоярского водохранилища (Свердловская область). Обобщены фондовые, литературные и собственные (2016–2025 гг.) данные о составе сообщества за период с 1963 по 2025 г. Выявлены основные изменения в структуре зоопланктона в сезонной и многолетней динамике.

Ключевые слова: зоопланктон, видовое разнообразие, Белоярское водохранилище

Белоярское водохранилище (БВ) – самое крупное водохранилище (водоем-охладитель) Свердловской области, расположенное в 60 км к востоку от г. Екатеринбурга, на территории Белоярского и Березовского городских округов в лесной зоне Зауралья.

Детальные и систематические исследования зоопланктона Белоярского водохранилища ведутся с начала его образования (1959–1963 гг.). Подробный обзор изученности зоопланктона в БВ дан в работе Н. Б. Климовой [2019]. При отборе проб использовались следующие методы: тотальные ловы количественной сетью Джеди от дна до поверхности, траловый и сетный сетью Апштейна с фильтрацией 50–100 л воды. Камеральная обработка выполнялась по стандартной методике [Методические … , 1984]. В настоящей работе обобщены фондовые, литературные и собственные (2016–2025 гг.) данные о составе сообщества за период с 1963 по 2025 г.

Зоопланктон БВ по зоогеографическому составу является типичным для водоемов Европейской части России и не отличается богатым видовым разнообразием. К настоящему времени с учетом современных номенклатурных преобразований идентифицировано 63 вида планктонных организмов, характерных для пресных, слабоминерализованных водоемов. Наиболее разнообразной группой являются ветвистоусые ракообразные (Cladocera) – 25 видов (39,7 %), 23 вида (36,5 %) относятся к коловраткам (Rotifera), 15 видов (23,8 %) – к веслоногим ракообразным (Copepoda). В литературе [Кулаков, Макушенко, Верещагина, 2016] приводятся данные о 64 видах беспозвоночных (Copepoda – 6, Cladocera – 28, Rotifera – 30), однако полный список видов не опубликован. Многолетняя и сезонная динамика видового разнообразия зоопланктона отражает сложный характер развития и распределения гидробионтов по акватории водохранилища. Наибольшее разнообразие зоопланктона на протяжении всего вегетационного сезона наблюдается в обогреваемой зоне (21 вид) и верховье водохранилища (19 видов). В необогреваемой зоне выявлено всего 16 видов. Видовое богатство достигает максимума в июле, доминантный комплекс составляют теплолюбивые и ценные в кормовом отношении представители рода *Daphnia.* Максимальное разнообразие зоопланктона наблюдалось в 1987 и 2002 гг. (32 и 27 видов соответственно), минимальное количество (9 видов) зафиксировано в 2000 и 2009 гг.

По экологическим группировкам преобладают фитофильные, пелагические и эвритопные рачки-фильтраторы. С 1984 г. постоянными представителями зоопланктона являются: Copepoda – *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888)*, Cyclops kolensis* (Lilljeborg, 1901), *Cyclops vicinus* (Uljanin, 1875), *Mesocyclops leuckarti*, Cladocera – *Daphnia longispina* (O. F. Muller, 1785), *D. cucullata* (Sars, 1862), *D. cristata* (Sars, 1862), *Bosmina (B.) longirostris* (O. F. Muller, 1785), *B. (E.) kessleri* (Uljanin, 1874) и *Chydorus sphaericus* (O. F. Muller, 1785), из хищных форм встречаются *Leptodora kindtii* (Focke, 1844), *Bythotrephes longimanus*

(Leydig, 1860) и коловратки *Keratella quadrata* (Muller, 1786), *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879). Остальных следует отнести к редко и единично встречающимся видам.

Сезонная динамика сообщества в целом характерна для водоемов умеренной зоны. В зимний и весенний период планктон беден, основу численности и биомассы (до 95 %) составляют веслоногие ракообразные *C. kolensis*, *Arctodiaptomus bacillifer* (Koelbel, 1885), *Microcyclops varicans* (Sars, 1863) и коловратки, при этом их доля в холодной зоне выше, чем в обогреваемой, где развиваются и другие эвритермные виды (*E. graciloides, D. longispina*). В летние и осенние месяцы в сообществе преобладают ветвистоусые. За многолетний период исследований в структуре ценологического комплекса наблюдаются периодические изменения, хотя в целом по водоему, как по численности, так и по биомассе, ракообразные значительно преобладают над коловратками. В 2018 г. в Белоярском водохранилище впервые на Среднем Урале обнаружена *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) [Changes … , 2021], а с 2020 г. увеличилось видовое богатство ветвистоусых ракообразных, среди которых выявлены виды, приуроченные к заросшей литорали и к пелагическим участкам (*Pleuroxus aduncus* (Jurine, 1820) и *Alonella exigua* (Lilljeborg, 1853)). Появились новые о-сапробные виды (*Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863), *Sida crystallina* (O. F. Muller, 1776), *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Muller, 1785)), существенно снизилось таксономическое разнообразие коловраток (до 2 постоянных видов). При этом некоторые виды, ранее формирующие значительную долю в структуре численности и биомассы, не обнаружены (с 1962 г. – *Acanthodiaptomus denticornis* (Wierzejski, 1887), с 2013 г. – β-α сапробы *Daphnia pulex* (Leydig, 1860) и *Brachionus calyciflorus* (Pallas, 1776) и с 2019 г. – другие представители этого семейства, с 2022 г. – хищная коловратка *Asplanchna priodonta* (Gosse,1850)). В 2024 г. впервые в БВ в массе обнаружен термобионтный вид и представитель субтропической флоры и фауны *Acanthocyclops trajani* (Mirabdullayev et Defaye, 2002) (= *Acanthocyclops americanus* (Marsh, 1893)).

Средняя биомасса зоопланктона имеет широкий диапазон колебаний (от 0,29 до >3,4 г/м^3). Увеличение биомассы в отдельные годы обусловлено вспышками массового развития *D. longispina*, *D. galeata* (Sars, 1864), *D. cristata*, *As. priodonta, E. graciloides* и др.

Многолетние исследования видового разнообразия и структуры зоопланктона позволяют выявить направления развития сообщества под воздействием различных факторов среды.

Список литературы

Климова Н. Б. Изученность зоопланктона водохранилищ Свердловской области // ПОНТ Эвксинский – 2019 : материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых по проблемам водных экосистем, 23–27 сент., г. Севастополь. Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2019. С. 32–34.

Кулаков Д. В., Макушенко М. Е., Верещагина Е. А. «Зоопланктон и зообентос Белоярского водохранилища в условиях теплового воздействия атомной электростанции» // Водное хозяйство России. 2016. № 5. С. 90–101. DOI: 10.35567/1999-4508-2016-5-7

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л., 1984. 34 с.

Changes in the ecosystem of the Beloyarskoe reservoir (Middle Ural) in the conditions of formation of the population of the invasive species *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771) / T. V. Eremkina, E. A. Tsurikhin, N. V. Chechulina [et al.] // Invasion of alien species in Holarctic (Borok-VI) 2021. Book of Abstracts. P. 45.

УДК 519.24

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ВОЗРАСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЫБ ОЗ. БАЙКАЛ

А. С. Князев*, В. И. Зоркальцев

Байкальский государственный университет
(Россия, Иркутск, ул. Ленина, 11)
**Автор для переписки: 010193@bgu.ru*

Аннотация. Рассматривается задача оценки параметров динамики смертности отдельных видов рыб в оз. Байкал на основе данных о количествах рыб разных возрастов в отловах. В качестве исходного конкретного служит задача выбора метода оценки параметров усеченного экспоненциального закона распределения по возрастам большой и малой голомянки, основных по биомассе рыб оз. Байкал. Это соответствует гипотезе одинаковой по возрастам смертности данных рыб. В традиционно используемых подходах к изучению качества методов оценки параметров законов распределения используются показатели, ориентированные на большие объемы выборок. Излагается методика сопоставления способов оценки параметров, базирующаяся на вычислительных экспериментах, ориентированная на исследования методов применительно к реальным ограниченным объемам выборок. Обсуждаются направления развития методики в том числе по учету возможных погрешностей в определениях возрастов рыб, занижения числа рыб младших возрастов из-за размеров ячейки сетей, отклонения в отдельные годы количеств сеголеток по разным причинам, использование моделей с изменяющимися по возрастам коэффициентам смертности.

Ключевые слова: голомянки Байкала, оценка коэффициента смертности рыб, усеченный экспоненциальный закон распределения, оценка параметров распределений

При моделировании биологических систем зачастую приходится решать задачи, связанные с необходимостью оценки параметров по результатам экспериментальных наблюдений. То есть в ситуациях, когда исходные вероятности случайных событий неизвестны опираться на эмпирические частоты их возникновения. Однако, что происходит при замене истинных вероятностей случайных событий их частотами? Такой переход влияет на результаты оценки параметров, что может приводить к неверным выводам. Характер и величина этого влияния требуют изучения. А аналитическое исследование влияния объема выборки на качество показателя применимо для ограниченного числа простых случаев. Кроме того, на точность оценки случайной величины, кроме объема выборки, влияет выбор алгоритма обработки данных [Зоркальцев, 2023].

Исходным импульсом представленных в данной работе исследований послужила задача оценки изменений по возрастам численности популяции отдельных видов рыб в оз. Байкал [Зоркальцев, Мокрый, Казазаева, 2011] на основе данных экспериментальных отловов [Стариков, 1977]. При выборе параметров моделей исходя из располагаемых исходных данных необходимо учитывать три типа возможных погрешностей. 1. Неполнота, непредставительность, искажения в имеющихся данных. 2. Неадекватность используемой зависимости для описания тех либо иных процессов. 3. Погрешности, порождаемые выбором метода оценивания параметров. Представляемая работа направлена на борьбу прежде всего с третьим типом погрешностей. Методика основывается на определении статистических показателей качества конкретных методов оценки параметров для зафиксированных объемов выборок на базе вычислительных экспериментов. Предметом исследований является также определение влияния объема выборки на характеристики качества исследуемых способов оценки параметров.

Приводятся результаты исследований нескольких алгоритмов оценки параметров усеченного экспоненциального закона распределения применительно к задаче оценки динамики смертности большой и малой голомянки, основной по биомассе рыбы оз. Байкал.

В данной работе рассматриваются пять различных алгоритмов расчета коэффициента смертности рыб с тремя способами введения весовых коэффициентов для четырех из них:

1) оценка условной вероятности дожития до следующего года в виде взвешенной средней арифметической;

2) оценка условной вероятности дожития до следующего года в виде взвешенной средней геометрической;

3) оценка коэффициента смертности рыб с использованием метода наименьших квадратов в логарифмической шкале;

4) оценка коэффициента смертности рыб методом наименьших квадратов в исходной шкале;

5) оценка коэффициента смертности рыб методом максимального правдоподобия.

Рассмотрены три типа весовых коэффициентов:

1) одинаковые весовые коэффициенты;

2) весовые коэффициенты пропорциональные оценкам численности объектов в разных возрастных группах;

3) весовые коэффициенты, пропорциональные обратным значениям дисперсий оценок вероятностей нахождения объектов в рассматриваемых возрастных группах.

Использование метода статистических испытаний применительно к биологическим объектам позволило произвести оценку различных алгоритмов аппроксимации при расчете коэффициента смертности в условиях ограниченного объёма исходных данных.

По результатам сравнения алгоритмов аппроксимации даны рекомендации по их выбору, а также по минимально необходимому объёму исходной выборки xZorkaltsev, Knyazev, 2024]. Проведена оценка смещения относительно истинного значения коэффициента смертности, возникшего вследствие выбора алгоритма.

Обсуждаются направления развития методики для учета более сложных, реально существующих ситуаций в оценках параметров динамики смертности рыб.

Список литературы

Зоркальцев В. И., Мокрый И. В., Казазаева А. В. Моделирование пелагического сообщества экосистемы озера Байкал // Вычислительные технологии. 2011. Т. 16. № 1. С. 48-66.

Зоркальцев В. И. Сравнительный анализ алгоритмов оценки параметров закона распределения случайной величины на основе вычислительных экспериментов // System Analysis & Mathematical Modeling. 2023. Vol. 5, N 3. P. 350–366. DOI: 10.17150/2713-1734.2023.5(3)

Стариков Г. В. Голомянки Байкала. Новосибирск : Наука, 1977. 93 с.

Zorkaltsev V. I., Knyazev A. S. Comparative Analysis of Algorithms for Estimating Fish Population Dynamics // Journal of Applied and Industrial Mathematics. 2024. Vol. 18, N 2. P. 361–370.

УДК 574.58

МОЛЛЮСКИ ПОДСЕМЕЙСТВА SPHAERIINAE (BIVALVIA: SPHAERIIDAE) В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ: ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ФЕНОТИПИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

М. В. Коваленкова[1]*, Е. С. Бабушкин[2], А. К. Ромашова[3], В. П. Макаренко[4]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Сургутский государственный университет (Россия, 628403, Сургут, ул. Ленина, 1)
[3]Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[4]Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема (Россия, 679015, Биробиджан, ул. Широкая, 70а)
**Автор для переписки: kovalenkovam@mail.ru*

Аннотация. Фауна двустворчатых моллюсков Байкала исследована достаточно подробно, но палеарктические виды шаровок никогда не указывались для литоральной зоны озера, хотя широко известны для озер и рек Прибайкалья. На сновании генетического анализа последовательностей *CO1* в литоральной зоне оз. Байкал обнаружено четырнадцать видов шаровок. Одиннадцать из найденных видов имеют идентичные или чрезвычайно близкие гаплотипы к моллюскам из географически удаленных регионов Палеарктики. Три таксона представляют специфические региональные генетические линии. Значительная часть байкальских шаровок представлена недавними мигрантами, что контрастирует с их существенными морфологическими отличиями от популяций из других местообитаний, в том числе из прибайкальских озер.

Ключевые слова: шаровки, Палеарктика, Байкал

Последняя ревизия фауны двустворчатых моллюсков Байкала проводилась около двадцати лет назад, тогда с использованием компараторного метода и анализа особенностей строения замка было выделено более 30 видов (из них 16 эндемичных) шаровок сем. Sphaeriidae [Слугина, Старобогатов, 1999]. Для части видов были выделены пары: один палеарктический и один родственный ему эндемичный вид. При этом палеарктические виды шаровок никогда не указывались для литоральной зоны озера, хотя семь из них отмечались для озер и рек Прибайкалья [Кожов, 1936]. В настоящее время большинство авторов не рекомендуют компараторный метод в качестве основного способа видовой идентификации двустворок [Корнюшин, 2002].

Для уточнения видовой принадлежности байкальских шаровок мы использовали «фолмеровский фрагмент» митохондриального гена первой субъединицы цитохром-с-оксидазы (*CO1*) и ядерный межгенный спейсер *ITS1*, амплификацию и секвенирование которых провели с использованием универсальных праймеров. Шаровки были собраны с помощью дночерпателя и драг с бортов НИС «Титов» и «Папанин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала») в 2017–2022 гг. Секвенирование проведено на базе ЦКП «Ультрамикроанализ». Были проанализированы 20 бентосных проб содержащих шаровок из оз. Байкал и 15 бентосных проб из прибрежных озер. Для сравнительного анализа загружены все доступные в GenBank последовательности гена *COI*, принадлежащие представителям сем. Sphaeriidae (437 шт.). Для проведения топологических тестов взяты только уникальные гаплотипы шаровок (264 шт.), на основании которых построено байесовское ультраметрическое дерево. Автоматическое разграничение видов проведено с помощью трех методов: дистантного ASAP (Assemble Species by Automatic Partitioning), и топологических bGMYC (Bayesian Generalized Mixed Yule Coalescent) и bPTP (Bayesian Poisson Tree Process). Топологические тесты проведены на веб-сервере Exelixis Lab (https://species.h-its.org). Наиболее вероятная генетическая дистанция разграничивающая виды для метода ASAP находится в диапазоне 1,5–2,8 % нуклеотидных замен, разграничивая при этом от

74 до 134 таксонов. Топологические тесты GMYC и PTP разделяют при этом 98 и 121 таксон соответственно.

Все методы автоматического разграничения видов подтверждают присутствие 14 видов шаровок в Байкале, однако степень их родства с палеарктическими видами может быть различна. У восьми видов шаровок отмечены идентичные гаплотипы фолмеровского фрагмента гена *CO1* и аллели межгенного спейсера *ITS1* на расстояниях более 1000 км, что согласуется с результатами других авторов [Occurrence … , 2020]. Известно, что моллюски сем. Sphaeriidae могут пассивно перемещаться различными животными [Occurrence … , 2020; Zoochorous … , 2024], в том числе водоплавающими птицами. Такие особенности расселения считаются необходимым условием формирования больших панмиксных популяций шаровок. Генетически обособленными от других популяций Палеарктики выглядят *Sphaerium baicalensis* Dybowski, 1902, генетически близкий к *S. corneum* (Linnaeus, 1758), а также «байкальские варианты» *Euglesa parvula* (Clessin, 1873) и *E. nitida* (Jenyns, 1832). Все автоматические методы разграничения также выделяют их как самостоятельные виды, но при этом необходимо отметить, что эти таксоны могут иметь более широкое географическое распространение, и представлять собой, например, восточные или азиатские популяции этих видов. При этом все методы автоматического разграничения также разделяют широкораспространенный *E. subtruncata* (Malm, 1855) на «европейскую» и «азиатскую» (секвенированную главным образом в Китае) генетические линии, которые также могут рассматриваться как самостоятельные виды. Однако в Байкале встречаются не совместно оба вида *E. subtruncata*, но при этом не были отмечены европейские линии *S. corneum*, *E. parvula* и *E. nitida.* Вне зависимости от того рассматриваем мы эти таксоны как отдельные молодые виды или популяции, можно заключить, что большинство байкальских шаровок представлены относительно недавними вселенцами.

Генетическое сходство байкальских популяций шаровок с европейскими и азиатскими представителями видов контрастирует с их существенными морфологическими отличиями от популяций из других местообитаний, в том числе из прибайкальских озер. Например, раковины *E. casertana* (Poli, 1791) из оз. Кудалдинское достоверно шире байкальских, а также отличаются более развитым роговым слоем и выраженной формой, в то время как раковины половозрелых моллюсков из Байкала мельче и сохраняют черты, характерные для молоди, что затрудняет их морфологическую идентификацию.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания ЛИН СО РАН 0279-2021-0010 (121032300196-8).

Список литературы

Кожов М. М. Моллюски озера Байкал : Систематика, распределение, экология, некоторые данные по генезису и истории. М. : Л. : Изд-во Акад. наук СССР, 1936. 352 с. (Труды Байкальской лимнологической станции АН СССР).

Корнюшин А. В. О видовом составе пресноводных двустворчатых моллюсков Украины и стратегии их охраны // Вестник зоологии. 2002. Т. 36, № 1. С. 9–23.

Слугина З. В., Старобогатов Я. И. Атлас и определитель двустворчатых моллюсков озера Байкал. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1999. 144 с.

Occurrence of the mollusc species Euglesa globularis (Clessin, 1873) in North-East Asia (Magadan, Russia) with data on dispersal mechanism and vectors / Y. Bespalaya, N. Bulakhova, M. Gofarov [et al.] // Limnologica. 2020. N 85. Art. 125832. DOI: 10.1016/j.limno.2020.125832

Zoochorous dispersal of freshwater peaclams (Bivalvia: Sphaeriidae): potential role of aquatic insects / Y. V. Bespalaya, O. V. Aksenova, A. S. Aksenov [et al.] // Ruthenica, Russian Malacological Journal. 2024. Vol. 34, N 3. P. 111–116. DOI: 10.35885/ruthenica.2024.34(3).2

УДК 575.22

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ И ЧИСЛО ХРОМОСОМ ЭНДЕМИЧНОЙ БАЙКАЛЬСКОЙ ТИХОХОДКИ *BERTOLANIUS MARKEVICHII* (BISEROV, 1992) (EUTARDIGRADA, EOHYPSIBIIDAE)

М. В. Коваленкова[1]*, О. В. Медвежонкова[1], А. К. Ромашова[2], А. В. Натяганова[1]

[1] Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2] Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
**Автор для переписки: kovalenkovam@mail.ru*

Аннотация. Получены первые данные по кариологии байкальских тардиград. Установлено, что в двух популяциях *Bertolanius markevichi* хромосомное число 2n=12. С использованием ядерного (18S рРНК) и митохондриального молекулярных маркеров (COI) определено базальное положение *B. markevichi* по отношению к остальным представителям рода.

Ключевые слова: Panarthropoda, кариотип, *Bertolanius*, Байкал

Большинство кариотипически изученных тихоходок класса Eutardigrada имеют диплоидный набор хромосом 2n=10 или 2n=12. Поскольку из-за трудностей изучения микроскопических животных, накоплены не слишком обширные знания, относительно хромосомного набора тихоходок, сейчас неизвестно насколько такой консерватизм числа хромосом в пределах класса соотносится с изменениями на меньших таксономических уровнях, например, на уровне рода. На данный момент разные значения диплоидного числа хромосом внутри рода отмечено у трех родов семейств Hypsibiidae и Macrobiotidae: *Diphascon* Plate, 1889, *Hypsibius* Ehrenberg, 1848 и *Macrobiotus* Schultze, 1834 [Bertolani, 1972]. Однако надежные данные, указывающие на филогенетическое родство видов с разным числом хромосом практически отсутствуют. Род *Bertolanius* Özdikmen, 2008 – наиболее распространенный и разнообразный род семейства Eohypsibiidae. На данный момент известно только 7 видов, принадлежащих этому роду, хромосомное число известно только для одного из них: 2n=10 у *B. weglarskae* Dastych, 1972. На оз. Байкал выявлено 11 видов и подвидов тихоходок [Бисеров, Дудичев, 2004]. Наиболее высокой частотой встречаемости отличаются два эндемичных вида: *Vladimirobius irregibilis* (Biserov, 1992) и *B. markevichi*. Две популяции *B. markevichi* из интерстециали пляжей б. Аяя (северо-восточное побережье) и б. Песчаная (юго-западное побережье оз. Байкал) имеют набор хромосом 2n=12. Генетически *B. markevichi* отличаются на 7–11 % замен по последовательностям 18S рРНК от остальных представителей рода, наибольшая дистанция с *B. weglarskae*. Согласно филогениям, полученным по последовательностям 18S рРНК и аминокислотным последовательностям COI, *B. markevichi* не является близкородственным видом для *B. weglarskae* и отделился от общего предка ранее, чем началась дивергенция остальных видов в пределах рода.

Благодарности. Работа выполнена в рамках тем государственного задания ЛИН СО РАН 0279-2021-0010 (121032300196-8) и 0279 2021-0007 (121032300180-7).

Список литературы

Бисеров В. И., Дудичев А. Л. Тихоходки // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. Новосибирск : Наука, 2004. С. 929–936.

Bertolani R. Osservazioni cariologiche su alcuni *Macrobiotus* (Tardigrada) // Atti della Accademia Nazionale dei Lincei. Classe di Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali. Rendiconti. 1972. Vol. 52, N 2. P. 220–224.

УДК 574.5

К ВОПРОСУ О СООБЩЕСТВАХ ЗООПЛАНКТОНА МАЛЫХ ВОДОЕМОВ ПРИМОРСКОГО ХРЕБТА (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ, РОССИЯ)

И. Д. Кодатенко[1], А. В. Лавникова[1], Д. Ю. Карнаухов[1,2]*, А. С. Слепченко[1], А. В. Башкирцев[1], Д. Г. Рэчилэ[1], А. Б. Олимова[1], К. В. Саловаров[1], Я. К. Ермолаева[1]

[1]Иркутский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2]Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл, пос. Листвянка, ул. Академическая,. 1)
**Автор для переписки: karnauhovdmitrii@gmail.com*

Аннотация. Представлены идентифицированные группы планктонных и случайно-планктонных гидробионтов в составе планктонных сообществ трех малых водоемов и одного водотока Приморского хребта. Кроме того, проведен анализ связи состава гидробионтов и физико-химических параметров воды (и освещенности).

Ключевые слова: зоопланктон, случайно-планктонные организмы, абиотические факторы, биотические факторы, естественное освещение

Состав планктонных и случайно-планктонных организмов, а также, влияние на них абиотических и биотических факторов среды, является одним из интереснейших вопросов. Однако в Байкальском регионе в основном все исследования сосредоточены на оз. Байкал, а изучению организмов малых водоемов уделяется крайне недостаточно внимания. Целью данной работы было изучить влияние абиотических и биотических факторов среды на состав и численность планктонных и случайно-планктонных организмов.

В рамках данного исследования 25.05.2024, 18.07.2024 и 01.11.2024 были отобраны пробы на трех малых озёрах (в пади Большие Коты) и одной реке (р. Большая Котинка). Все пробы в дальнейшем обрабатывались по стандартной гидробиологической методике. В дополнение к отбору проб производилось измерение физико-химических параметров воды, а также, учитывалось является ли место отбора проб затененным или находится на освещенном участке. Последнее достигается наличием или отсутствием деревьев, которые и определяют уровень освещенности.

Результаты обработки проб показали наличие в составе планктонного сообщества следующих групп: Cyclopoida, Harpacticoida, Calanoida, Cladocera, Ostracoda, Oligochaeta, Chironomidae (larvae), Collembola, Hydrachnidia, Plecoptera (larvae), Ephemeroptera (larvae), Coleoptera (larvae), Nematoda, Simuliidae (larvae), Tardigrada, *Hydra* sp., а также науплии Copepoda.

Проведенный анализ взаимосвязи состава гидробионтов от физико-химических факторов среды показал, что на состав влияют такие факторы, как: pH, общая минерализация, концентрация растворенного кислорода (и степень насыщенности воды кислородом), температура воды и уровень освещенности. В свою очередь, электропроводность и окислительно-восстановительный потенциал не оказывали влияние на состав гидробионтов.

Результаты данного исследования показывают неоднородное распределение групп гидробионтов в зависимости от различных факторов среды и подчеркивают необходимость дальнейших исследований в заданном направлении.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-00417, https://rscf.ru/project/25-24-00417/.

УДК 548.562

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ ПРИ ЗАКАЧКЕ СОЛЕВЫХ РАСТВОРОВ

Е. В. Кожевников*, М. С. Турбаков, Е. П. Рябоконь, М. А. Гузев, З. Г. Иванов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
(Россия, 614990, Пермь, Комсомольский просп., 29)
**Автор для переписки: kev@pstu.ru*

Аннотация. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование механизмов изменения проницаемости пород при разложении газовых гидратов с применением технологии солевого заводнения. Представлены результаты лабораторных экспериментов, направленных на количественную оценку эффективности разложения газовых гидратов в пористых средах, в частности – выявление закономерностей изменения проницаемости и удельного электрического сопротивления гидратсодержащих песчаников в процессе заводнения солевыми растворами. Проведенный анализ направлен на определение оптимальных условий для повышения эффективности извлечения газа из гидратосодержащих пластов за счет управляемой диссоциации гидратов.

Ключевые слова: газовые гидраты, проницаемость, горное давление, заводнение, диссоциация газогидратов

Выбор оптимального вытесняющего агента, соответствующего специфическим геолого-физическим условиям месторождения, представляет собой один из ключевых факторов, определяющих технологическую и экономическую эффективность разработки газогидратных залежей. Особенно актуален данный вопрос, так как для газогидратных пластов применение традиционных методов добычи газа недостаточно эффективно.

В ходе исследования в качестве модельной пористой среды применялась объемная насыпная модель песчаника, позволяющая имитировать структуру коллектора. Лабораторная установка оснащалась гидрообжимной системой, обеспечивающей возможность создания и регулирования горного давления, что обеспечивает моделирование натурных условий пласта. Увеличенные габариты модели и ее прозрачное исполнение позволяли реализовать визуальный контроль, анализировать равномерность продвижения фронта вытеснения по толщине пласта и исследовать масштабные эффекты распределения флюида. Для мониторинга ключевых параметров фильтрации была интегрирована многофункциональная система регистрации давления, температуры и расхода флюидов в различных зонах модели. Дополнительно, в конструкцию установки встроены датчики удельного электрического сопротивления, размещенные в нескольких участках пласта, что позволило в динамике отслеживать продвижение фронта вытеснения и оценивать локальную диссоциацию газовых гидратов по изменению электрических свойств среды.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует, что использование солевых растворов в качестве вытесняющего агента способствует эффективному разложению газовых гидратов за счет снижения их устойчивости и интенсивного массообмена в поровом пространстве. Изменения проницаемости и электрического сопротивления служат надежными индикаторами фазовых переходов и перераспределения флюидов в гидратосодержащем песчанике. В ряде опытов были зафиксированы существенные увеличения проницаемости коллекторов после завершения диссоциации гидратов с одновременным снижением удельного электрического сопротивления.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FSNM-2024-0008).

УДК 574.583

СОЗДАНИЕ БИБЛИОТЕКИ ДНК-ШТРИХКОДОВ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ

К. А. Колосова[1], Т. Ю. Майор[2]*

[1] Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2] Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: tatyanabfo@mail.ru*

Аннотация. В исследовании применено молекулярное баркодирование с использованием митохондриального гена COI и ядерного маркера ITS1 для создания библиотеки генетических последовательностей доминирующих видов зоопланктона Байкала. Получены нуклеотидные последовательности для 17 видов Rotifera, 4 видов Cladocera и 3 видов Copepoda.

Ключевые слова: Rotifera, Cladocera, Copepoda, метабаркодинг, биоразнообразие

Метазойный зоопланктон оз. Байкал характеризуется высоким видовым разнообразием и наличием эндемичных форм, особенно среди коловраток и ветвистоусых ракообразных [Аннотированный … , 2001]. Традиционные методы морфологической идентификации этих организмов часто недостаточны, особенно в отношении сложно диагностируемых родов *Polyarthra Ehrenberg, 1834*, *Synchaeta* Ehrenberg, 1832 и *Collotheca Harring, 1913*.

Целью данной работы является получение библиотеки генетических баркодов доминирующих видов зоопланктона из оз. Байкал по фрагментам рибосомной и митохондриальной ДНК (COI и ITS1). Материал для исследования был собран в прибрежной зоне Байкала, в проливе Малое Море, а также в устье р. Кичеры в Северном Байкале в 2024–2025 гг. Живые планктонные пробы разбирали в лабораторных условиях. Перед выделением ДНК для каждой особи были получены прижизненные микрофотографии. Для амплификации и секвенирования по Сэнгеру использовали универсальные праймеры для COI и ITS1 [DNA Primers … , 1994; Phylogenetic ... , 2000; A New … , 2013].

В результате были получены нуклеотидные последовательности для 17 видов коловраток, включая эндемичных *Synchaeta prominula* Kutikova et Vassiljeva, 1982, *Synchaeta pachypoda* Jaschnov, 1922 и *Euchlanis ligulata* Vassiljeva, 1982. Определены нуклеотидные последовательности ITS1 для *Epischura baikalensis* Sars, 1900, *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888) и *Cyclops kolensis Lilljeborg, 1901*. Для ветвистоусых ракообразных получены нуклеотидные последовательности для четырех видов, среди которых доминантные в осеннем зоопланктоне оз. Байкал *Daphnia galeata* Sars, 1864 и *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1776).

Дальнейшее пополнение библиотеки генетических баркодов позволит повысить точность таксономической идентификации и станет основой для применения ДНК-метабаркодинга при экологическом мониторинге оз. Байкал. Кроме того, продолжение баркодирования расширит представления о генетическом разнообразии и степени эндемизма зоопланктона Байкала и будет способствовать выявлению потенциально новых для науки видов.

Благодарности. Выражаем свою глубокую благодарность коллегам из ЛИН СО РАН А. П. Федотову, П. Н. Аношко, С. А. Потапову, Ю. П. Сапожниковой, а также К. С. Майор за помощь в сборе материала. Большое спасибо В. И. Тетериной (ЛИН СО РАН) за помощь в секвенировании. Часть материала была собрана с борта НИС «Папанин», «Г. Ю. Верещагин» ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала». Секвенирование и микроскопирование проводилось в Приборном центре коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикроанализ»). Работу проводили за счет финансирования в рамках темы государственного задания № 0279-2021-0005 (121032300224-8).

Список литературы

Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна : в 2 т. / О. А. Тимошкин, Т. Я. Ситникова, О. Т. Русинек [и др.]. Наука : Новосибирск, 2001. 832 с.

A New Versatile Primer Set Targeting a Short Fragment of the Mitochondrial COI Region for Metabarcoding Metazoan Diversity: Application for Characterizing Coral Reef Fish Gut Contents / M. Leray, J. Yang, C. Meyer [et al.] // Frontiers in zoology. 2013. N 10 (34). DOI: 10.1186/1742-9994-10-34

DNA Primers for Amplification of Mitochondrial Cytochrome c Oxidase Subunit I from Diverse Metazoan Invertebrates / O. Folmer, M. Black, W. Hoeh [et al.] // Mol. Mar. Biol. Biotechnol. 1994. N 3. P. 294–299.

Phylogenetic Analysis of Mitochondrial and Nuclear Sequences Supports Inclusion of Acantholingua Ohridana in the Genus Salmo / R. B. Phillips, M. P. Matsuoka, I. Konon, K. M. Reed // Copeia. 2000. P. 546–550.

УДК 574.5

ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ БАЙКАЛЬСКИХ ЛИТОРАЛЬНЫХ АМФИПОД ВИДОВ *EULIMNOGAMMARUS CYANEUS* (DYBOWSKY, 1874) И *GMELINOIDES FASCIATUS* (STEBBING, 1899) ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОСВЕЩЕНИЯ

Д. С. Кондратьева[1], Д. Ю. Карнаухов[1,2]*, А. В. Лавникова[1], Д. И. Голубец[1], Н. А. Кульбачная[1], А. Н. Соломка[1], С. А. Бирицкая[1], Я. К. Ермолаева[1]

[1]Иркутский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2]Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл, пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
**Автор для переписки: karnauhovdmitrii@gmail.com*

Аннотация. Отмечается, что световое загрязнение оз. Байкал, увеличивающееся с каждым годом, может вызывать индивидуальные поведенческие реакции у различных видов. С помощью серии экспериментов исследуется, как свет с разной цветовой температурой и интенсивностью влияет на двигательную активность байкальских амфипод *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky, 1874) и *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899). Сравнивается двигательная активность амфипод в отсутствии укрытий от воздействия света и при их наличии, проведены эксперименты для каждого типа освещения. Результаты показали, что свет разного спектрального состава и интенсивности оказывает влияние на двигательную активность амфипод. При этом стоит отметить, что их реакция различается в зависимости от вида, а также наличия или отсутствия укрытий.

Ключевые слова: световое загрязнение, цветовая температура, светодиодный свет, Байкал, амфипода, искусственное освещение ночью

Световое загрязнение влияет на экосистемы путем изменения физиологических процессов и поведения организмов, их внутри- и межвидовых взаимодействий [Light … , 2023]. Искусственный свет ночью вызывает индивидуальные поведенческие реакции у видов, поэтому нельзя сказать, что искусственный свет в одинаковой степени влияет на все виды байкальских амфипод и их двигательную активность [Species-Specific … , 2025]. В данном исследовании мы решили проверить, как искусственное освещение различной цветовой температуры и интенсивности влияет на байкальские виды амфипод *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky, 1874) и *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899).

Отлов особей проводился в прибрежной зоне оз. Байкал у пос. Большие Коты. Амфипод одного вида помещали в аквариум, над которым размещали видеокамеру и источник освещения. Для каждого вида было проведено по 6 экспериментов с разными типами освещения: дневным, ночным (0 лк), теплым 2–2,5 лк и 10–11 лк, холодным 2–2,5 лк и 10–11 лк. Далее все эксперименты повторили, разместив в аквариумах камни в качестве укрытий от света. Полученные в ходе экспериментов видеозаписи обрабатывались с помощью программы ImageJ, где строились треки движения. Для выявления статистически значимых различий между выборками использовался критерий Краскела – Уоллиса и тест Данна с поправкой Холма.

Для *E. cyaneus* в условиях без укрытия были получены значимые различия в пройденном расстоянии между следующими условиями освещения: без света и холодное 2–2,5 лк, холодное 10–11 лк и холодное 2–2,5 лк. В условиях с наличием камней в аквариумах не было обнаружено значимых различий в двигательной активности. Сравнение пройденных расстояний в зависимости от наличия укрытий показало значимые различия для всех условий освещения (рис.). Для *G. fasciatus*, находящихся в аквариумах без укрытия, были получены значимые различия между следующими условиями освещения: без света и дневное, без света и холодное 10–11 лк, без света и холодное 2–2,5 лк. В условиях с наличием укрытий в виде камней в аквариумах значимые различия были обнаружены между дневным и холод-

ным 10–11 лк освещениями, дневным и холодным 2–2,5 лк освещениями, дневным освещением и условием без света. Сравнение пройденных расстояний в зависимости от наличия укрытий показало значимые различия для обоих типов холодного света, теплого 10–11 лк света и без света (рис.).

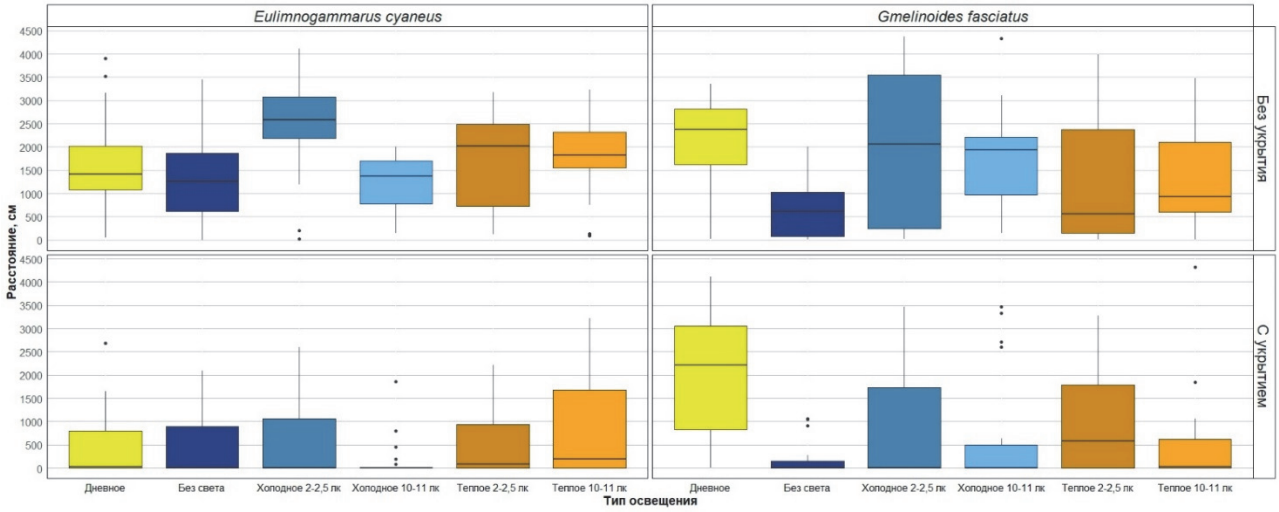


Рис. Расстояние, пройденное амфиподами вида *E. cyaneus* и *G. fasciatus* в зависимости от условий освещения при отсутствии и наличии укрытий в виде камней

Без укрытия *E. cyaneus* проявляет двигательную активность при всех типах освещения. Наличие укрытий значительно сокращает двигательную активность при всех типах освещения. Данные результаты можно объяснить тем, что в естественной среде данный вид проводит много времени под камнями, поэтому при наличии укрытия особи чувствуют себя более благоприятно, и их двигательная активность снижается. *G. fasciatus* проявляет большую двигательную активность при дневном свете, холодном свете 10–11 и 2–2,5 лк по сравнению с условиями без освещения. При наличии укрытия двигательная активность сокращается при отсутствии света, холодном свете 2–2,5 и 10–11 лк и теплом свете 10–11 лк. Особи *G. fasciatus* активны при дневном свете и теплом свете 2–2,5 лк даже при наличии укрытия, что показывает наименьшее воздействие данных типов освещения на особей. Световое загрязнение продолжает увеличиваться, однако, на данный момент наблюдается дефицит информации о влиянии искусственного освещения на виды, популяции и экосистемы. Отсутствие данных является преградой для решения проблемы светового загрязнения. Исходя из этого, важно продолжать исследования в этой области для предотвращения изменения экосистем пресных вод, в том числе оз. Байкал.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00365, https://rscf.ru/project/24-24-00365/.

Список литературы

Light pollution of freshwater ecosystems: principles, ecological impacts and remedies / F. Hölker, A. Jechow, S. Schroer [et al.] // Phil. Trans. R. Soc. B. 2023. N 378. Art. 20220360. DOI: 10.1098/rstb.2022.0360

Species-Specific Responses of Baikal Amphipods to Artificial Lighting of Varying Intensity and Spectral Composition / D. Karnaukhov, Y. Ermolaeva, M. Maslennikova [et al.] // Limnol. Rev. 2025. N 25. Art. 11. DOI: 10.3390/limnolrev25020011

УДК 574.24

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЛИТОРАЛЬНЫХ И ГЛУБОКОВОДНЫХ АМФИПОД ОЗЕРА БАЙКАЛ К УФ-ИЗЛУЧЕНИЮ

Е. С. Кондратьева*, А. Н. Гурков, Я. А. Ржечицкий, Ж. М. Шатилина, М. А. Тимофеев

Иркутский государственный университет, НИИ биологии
(Россия, 664025, Иркутск, ул. Ленина, 3)
**Автор для переписки: lizzarium@gmail.com*

Аннотация. В ходе исследования проведена оценка активности показателей физиологического состояния байкальских амфипод под воздействием различных уровней УФ-излучения. Исследование проводили на литоральных *Eulimnogammarus cyaneus* и *E. verrucosus* и глубоководных видах *Ommatogammarus flavus* и *O. albinus*. Показано, что изученные байкальские глубоководные виды амфипод *O. flavus* и *O. albinus* обладают сниженной резистентностью к воздействию УФ-А и УФ-Б по сравнению с литоральными амфиподами *E. verrucosus* и *E. cyaneus*. Такие различия могут быть связаны с тем, что в процессе формирования этих глубоководных видов, у них менялся спектр питания с преимущественно растительного в зоне литорали, на детрит и падаль в зоне больших глубин. Это, в свою очередь, отражалось на характере поступления (и накопления в тканях) каротиноидов, синтез которых происходит именно в растениях. Одновременно с этим, по мере распространения амфипод в зоны больших глубин пропадала и необходимость в резистентности к ультрафиолету (степень проникновения которого также снижалась), что и могло привести к редукции механизмов УФ-устойчивости у глубоководных видов.

Ключевые слова: УФ-излучение, амфиподы, Байкал, каротиноиды

Ультрафиолет (УФ) относится к числу важных абиотических факторов, оказывающих влияние как на наземные, так и на водные экосистемы. Известно, что проникновение УФ-излучения и его воздействие на водные организмы наблюдаются также и на значительной глубине [Effects … , 2015; The interactive … , 2019; The response … , 2023]. Прозрачность воды – важный критерий для проникновения УФ в водоемы [Differences … , 2009]. Благодаря высокому показателю данного параметра литоральная зона Байкала характеризуется высоким уровнем УФ-проникновения. Эволюция байкальских литоральных амфипод происходила в условиях высокой прозрачности воды, что могло обеспечить их устойчивость к УФ-излучению. Напротив, у представителей глубоководной эндемичной фауны оз. Байкал устойчивость к УФ-излучению может быть снижена.

В ходе исследования была проведена оценка активности показателей физиологического состояния байкальских амфипод под воздействием различных уровней УФ-излучения. Исследование проводили на литоральных *Eulimnogammarus cyaneus* и *E. verrucosus* и глубоководных видах *Ommatogammarus flavus* и *O. albinus*, экспонированных в условиях экологически реалистичных уровнях УФ. Значения УФ для экспозиции амфипод были следующими: для УФ-А – ламп УФ-А – 5,2 Вт/м^2, УФ-Б – 0,16 Вт/м^2, для УФ-Б – ламп УФ-А – 1 Вт/м^2, УФ-Б – 0,4 Вт/м^2.

По результатам исследования установлено, что выживаемость *E. cyaneus* и *E. verrucosus* была одинаковой в опытных и контрольных условиях как в УФ-А, так и в УФ-Б ($p \geq 0{,}06$), а их смертность не достигала 20 % в течение 10-дневных экспериментов. Напротив, глубоководные виды оказались менее устойчивы и проявляли различную степень резистентности к воздействию УФ. Под воздействием УФ-А для *O. flavus* LT50 (показатель гибели 50 % особей) был равен 8,5 дней. Напротив у *O. albinus* показатель LT50 равнялся 5 дням. Под воздействием УФ-В для *O. flavus* показатель LT50 был равен 8 дням, а у *O. albinus* 4 дням. Оценка двигательной активности амфипод, экспонированных в условиях УФ-излучения, показала снижение при УФ-А экспозиции у литорального вида – у *E. cyaneus*. Воздействие УФ-Б вызвало разнонаправленные реакции в изменении активности литоральных видов амфипод и глубоководного *O. flavus*.

Оценка биохимических параметров показала стабильность уровней продуктов перекисного окисления липидов (диеновых, триеновых конъюгатов и оснований Шиффа) как в нейтральных липидах, так и в фосфолипидах. У литоральных *E. verrucosus* и *E. cyaneus* в условиях воздействия УФ-А и УФ-Б не происходило изменения активности ферментов антиоксидантной системы (пероксидазы, глутатион-S-трансферазы (ГСТ), каталазы). У глубоководных видов выявлены статистически значимые изменения активности ГСТ. Так, воздействие УФ-А вызывало снижение активности ГСТ у *O. flavus* ($p < 0{,}001$), в то время как УФ-В приводило к увеличению активности ГСТ как для *O. flavus* ($p < 0{,}001$), так и для *O. albinus* ($p = 0{,}016$). В ходе исследования была выполнена оценка влияния УФ-излучения (3 дня экспозиции) на повреждение ДНК в гемоцитах амфипод с использованием метода ДНК-комет. У глубоководного *O. flavus* было обнаружено достоверное увеличение количества разрывов ДНК в гемоцитах ($p < 0{,}001$) как при УФ-А, так и при УФ-В.

Одним из механизмов защиты от УФ-излучения могут являться фотоингибирующие молекулы содержащиеся в каротиноидах. В связи с этим у исследуемых видов была проведена оценка уровня каротиноидов. Показано, что показатели базового уровня каротиноидов у амфипод снижаются в порядке, согласующимся с увеличением глубины обитания изучаемых видов: максимальные уровни у литоральных *E. verrucosus* – 68 мкг/г и *E. cyaneus* – 50 мкг/г, минимальные уровни у глубоководных *O. flavus* – 12 мкг/г и *O. albinus* – 4,9 мкг/г.

Таким образом показано, что изученные байкальские глубоководные виды амфипод *O. flavus* и *O. albinus* обладают сниженной резистентностью к воздействию УФ-А и УФ-Б по сравнению с литоральными амфиподами *E. verrucosus* и *E. cyaneus*. Такие различия могут быть связаны с тем, что в процессе формирования этих глубоководных видов, у них менялся спектр питания с преимущественно растительного в зоне литорали, на детрит и падаль в зоне больших глубин. Это, в свою очередь, отражалось на характере поступления (и накопления в тканях) каротиноидов, синтез которых происходит именно в растениях. Одновременно с этим, по мере распространении амфипод в зоны больших глубин пропадала необходимость в резистентности к ультрафиолету (степень проникновения которого также снижалась), что и могло привести к редукции механизмов УФ-устойчивости у глубоководных видов.

Список литературы

Differences in UV transparency and thermal structure between alpine and subalpine lakes: Implications for organisms / K. C. Rose, C. E. Williamson, J. E. Saros [et al.] // Photochemical and Photobiological Sciences. 2009. N 8(9). P. 1244–1256. DOI: 10.1039/b905616e

Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with other environmental factors / D. P. Häder, C. E. Williamson, S. Å. Wängberg [et al.] // Photochemical and Photobiological Sciences. 2015. Vol. 14, N 1. P. 108–126. DOI: 10.1039/c0pp90036b

The interactive effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and climate change on aquatic ecosystems C. E. Williamson, P. J. Neale, S. Hylander [et al.] // Photochemical & Photobiological Sciences. 2019. Vol. 18, N 3. P. 717–746. DOI: 10.1039/C8PP90062K

The response of aquatic ecosystems to the interactive effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and climate change / P. J. Neale [et al.] // Photochemical & Photobiological Sciences. 2023. Vol. 22, N 5. P. 1093–1127. DOI: 10.1007/s43630-023-00370-z

УДК 574.34:574.55

СЕЗОННЫЕ ТРЕНДЫ И ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИИ РУЧЕЙНИКОВ *APATANIA CRYMOPHILA* В БРИОФАУНЕ Р. ЕНИСЕЙ

Д. А. Коновалова[1]*, С. В. Андрущенко[1,2], Т. А. Зотина[1,2]

[1]Институт биофизики Красноярского научного центра СО РАН
(Россия, 660036, Красноярск, ул. Академгородок, 50/50)
[2]Сибирский федеральный университет
(Россия, 660041, Красноярск, Свободный просп., 82А)
**Автор для переписки: dariakon@inbox.ru*

Аннотация. *Apatania crymophila* McLachlan, 1880 – доминирующий вид ручейников в зообентосе среднего течения р. Енисей. С июня по ноябрь 2022–2023 гг. изучалась плотность популяции личинок этого вида, обитающего на водном мхе р. Енисей, ниже плотины Красноярской ГЭС. Максимум численности и биомассы личинок на водном мхе приходился на октябрь. Было выявлено, что 30–40 % сезонной продукции личинок ручейников приходится на период с августа по октябрь. Данные изменения в показателях продукции могут быть обусловлены разным уровнем воды во время периодов отбора. В возрастной структуре популяции отмечалось, как минимум, два поколения личинок, что способствует массовому развитию и поддержанию высокой плотности популяции данного вида.

Ключевые слова: ручейники, Красноярская ГЭС, Енисей, водный мох, вторичная продукция

Водный мох – вечнозелёный макрофит, который вегетирует в Енисее, образуя среду обитания для беспозвоночных гидробионтов – водной бриофауны. В среднем течении р. Енисей на водном мхе была зарегистрирована высокая численность личинок ручейников *Apatania crymophila* (McLachlan, 1880), которые являются одним из основных компонентов питания ценной промысловой рыбы – хариуса [Питание … , 2011; Zotina, Trofimova, Dementyev, 2019]. Согласно недавнему исследованию в бриофауне р. Енисей было выявлено девять видов ручейников, относящихся к четырём семействам [Konovalova, Kislitsina, Zotina, 2023]. Предварительные оценки обилия беспозвоночных, обитающих на водном мхе, в том числе ручейников, позволяют предполагать, что продукция беспозвоночных и кормовые ресурсы ихтиофауны Енисея, оцененные по стандартной методике на основе анализа беспозвоночных, обитающих только на минеральном донном субстрате, в настоящее время значительно недооценены.

Цель данной работы – изучить сезонные тренды и возрастную структуру популяции личинок ручейников *A. crymophila* в бриофауне среднего течения р. Енисей, где водный мох является единственным представителем погружённых макрофитов.

Пробы сообщества беспозвоночных водного мха (водная бриофауна) и пробы беспозвоночных минерального грунта (зообентос) собирали в р. Енисей в июне – ноябре 2022–2023 гг. на расстоянии около 19 км ниже плотины Красноярской ГЭС на участке, где из-за влияния вод, сбрасываемых ГЭС, температура воды летом не превышает 13 °С, а зимой не формируется ледяной покров. Для определения биомассы и возрастного состава популяции личинок на водном мхе возникла необходимость получения размерно-весовых зависимостей, ввиду большой численности выборок.

Анализ зависимостей между линейными размерами (длиной и шириной) домика, а также ширины головной капсулы и массой личинок показал, что связь массы личинок с длиной домика является наиболее сильной и статистически значимой и описывается линейной зависимостью $y = 0{,}36 - 1{,}11$ ($R^2 = 0{,}74$; $p < 0{,}001$, $n = 108$). Для изучения возрастной структуры популяции ручейников был предложен способ разделения личинок на возрастные группы, основанный на разделении выборки на размерные классы по длине домиков [Length-mass … , 2024]. Анализ сезонной динамики личинок ручейников на водном мхе и на галечном дне показал, что популяции достигали максимума численности и биомассы в

октябре, что отличается от популяции вида в естественных водоёмах с неизменённым термическим режимом, где максимум этих показателей приходится на август [Irons, 1988]. В популяции ручейников на водном мхе в р. Енисей было отмечено, как минимум, два поколения личинок, в то время как у популяции личинок этого вида в неизменённых естественных условиях отмечается лишь одно поколение [Irons, 1988]. Следовательно, измененный температурный режим в р. Енисей ниже по течению от Красноярской ГЭС благоприятствует возникновению дополнительных поколений в популяции ручейников *A. crymophila* поздней осенью, что способствует поддержанию высокой плотности популяции этого вида. Анализ сезонной продукции личинок ручейников на водном мхе показал, что 30–40 % продукции производится ручейниками в период с августа по октябрь. При этом сезонная продукция личинок на водном мхе в 2023 г. была в два раза выше, чем в 2022 г., что обусловлено значительно различавшимися уровнями воды в реке в эти годы.

Таким образом, водный мох на высокопроточных участках среднего течения р. Енисей формирует экологическую нишу для сообщества беспозвоночных, в том числе и для личинок ручейников. Водная бриофауна может значительно отличаться от сообщества бентосных беспозвоночных, обитающих на твёрдых субстратах, поэтому вклад водной бриофауны при оценке трофического статуса и продуктивности водных экосистем следует учитывать. Учёт беспозвоночных водной бриофауны позволит получать более достоверные оценки пищевых ресурсов рыб, что является обязательным этапом рыбохозяйственных мероприятий, направленных на восстановление сокращающихся популяций промысловых рыб в естественных водоёмах и водотоках.

Список литературы

Питание хариуса *Thymallus sp.* в среднем течении р. Енисей / И. В. Зуев, Е. М. Семенова, С. П. Шулепина [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2011. Т. 4, № 3. С. 281–292.

Irons J. G. Life history patterns and trophic ecology of Trichoptera in two Alaskan subarctic streams (U. S. A.) // Canadian Journal of Zoology. 1988. N 66. P. 1258–1265.

Konovalova D. A., Kislitsina N. I., Zotina T. A. Assemblages of Trichoptera larvae on water moss in the middle reaches of the Yenisei River (Siberia, Russia) // Zootaxa. 2023. Art. 5306. P. 331–348. DOI: 10.11646/zootaxa.5306.3.2

Length-mass relationships and seasonal dynamics of Apatania crymophila (Trichoptera: Apataniidae) caddisfly larvae associated with water moss in the middle reaches of the Yenisei River (Siberia) / D. A. Konovalova, T. A. Zotina, S. V. Andrushchenko, O. V. Anishchenko // Aquatic Insects. 2024. N 45. P. 18–37. DOI: 10.1080/01650424.2024.2407807

Zotina T. A., Trofimovaa E. A., Dementyev D. V. Time-dependent trends of artificial radionuclides in biota of the Yenisei River (Siberia, Russia) // Journal of Environmental Radioactivity. 2019. 106028. P. 208–209. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.106028

УДК 504.054

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В ВОДЕ ОЗЕРА КОТОКЕЛЬ (ВОСТОЧНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Л. А. Коновалова*, С. В. Базарсадуева, Е. П. Никитина, В. В. Тараскин, Е. Ж. Гармаев

Байкальский институт природопользования СО РАН
(Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)
**Автор для переписки: gold_liubov@mail.ru*

Аннотация. Получены первые данные по содержанию частиц микропластика в поверхностной воде оз. Котокель (Восточное Прибайкалье). Проведен отбор проб двумя методами – пассивное ситование (размер ячейки 100 мкм) и траление сетью Манта (размер ячейки 330 мкм). Было обнаружено 110 и 51 частиц микропластика при тралении сетью в юго-западной части оз. Котокель и при ситовании в северо-восточной части озера соответственно. Основными формами микропластика являлись волокна, при этом преобладали прозрачные частицы.

Ключевые слова: микропластик, пластиковые отходы, Котокель, Восточное Прибайкалье, загрязнение

Распространение пластмасс (пластика) в окружающей среде, производство которых по разным оценкам достигло 200–400 млн т, признается наиболее острой современной глобальной экологической проблемой. «Отслуживший» пластик или пластиковый мусор разного размера становится угрозой для водных и наземных экосистем. В окружающей среде некоторые виды пластика со временем распадаются на более мелкие частицы – микро- (МП) и нанопластик (НП). В одной из первых работ, в 2004 г., показано, что частицы МП накапливались в океанах с 1960-х гг. и теперь присутствуют в водной среде по всему миру [Lost … , 2004]. Сегодня, огромное количество исследований подтверждают негативное влияние микро- и нанопластика на живые организмы. В связи с этим актуальность изучения содержания и состава МП в объектах окружающей среды не вызывает сомнений.

Содержания МП были определены в пресноводных средах Арктики, в бассейне Белого моря, в сибирских реках, в озёрах Алтая [Microplastic … , 2021], в бассейне озер Ладожское, Онежское [Поздняков, Иванова, 2018], в р. Неве [Исследование … , 2020], а также в оз. Байкал [Pollution … , 2020; Il'ina, Kolobov, Il'inskii, 2021]. Однако данных по содержанию МП в других озёрах Байкальской природой территории, в том числе оз. Котокель, третьего по площади после озер Хубсугул и Гусиное в бассейне оз. Байкал, имеющем высокую социально-экономическую значимость.

Подготовка и анализ проб воды проводились по модифицированной стандартной методике [Laboratory … , 2015]. Отбор проб осуществлялся методами пассивного ситования и тралением сетью Манта. Основными этапами извлечения частиц МП являлись: мокрая фильтрация, минерализация с концентрированной H_2O_2, (37 %) и разделение по плотности в насыщенных растворах NaCl и $ZnCl_2$. Для дальнейшего анализа продукты разделения помещались на полиамидные фильтры. Загрязнение артефактным микропластиком контролировалось параллельным анализом холостых фильтров.

Подсчет количества МП включал визуальный осмотр согласно ранее описанным методам [A review … , 2017]. Частицы МП идентифицировали и подсчитывали под микроскопом с рабочим 10–40-кратным увеличением. Весь размерный ряд условно делили на группы с шагом 0,1 мм. Каждая обнаруженная частица фотографировалась и заносилась в базу данных, где фиксировались ее форма, размер и цвет. В зависимости от соотношения линейных размеров МП классифицировали как пленку, фрагмент или волокно [Microplastics … , 2012].

Проведен предварительный скрининг содержания МП в пробе воды, отобранной методом траления с помощью сети Манта в юго-западной части озера и методом пассивного

ситования в северо-восточной части озера. Методом траления обнаружены 117 частиц пластика, при этом содержание МП составило 94,6 %. По форме в общей выборке частиц МП волокна составили 91,9 %, пленка – 6,3 %, фрагменты – 1,8 %. Большинство частиц (84,7 %) имели размер от 20 мкм до 1,4 мм. В исследуемой пробе преобладали (59,5 %) прозрачные и белые частицы. Третью цветовую группу по частоте встречаемости составили зеленые частицы (25,2 %). Методом пассивного ситования обнаружены 51 частица пластика, при этом содержание МП составило 100 %, размер которых был до 0,8 мм. Основными формами являлись волокна (96 %), фрагменты – 4 % от общего числа МП частиц. По частоте встречаемости преобладали прозрачные и белые (61,5 %), и зеленые частицы (17,3 %). Подобные результаты распределения частиц МП по цвету получены и для оз. Байкал [Il'ina, Kolobov, Il'inskii, 2021].

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 24-17-00333 «Гидроэкологическая безопасность озер: гидрохимия, экологические риски, пути оптимизации в условиях антропогенного пресса и изменений климата (на примере оз. Котокель, Прибайкалье)» с использованием оборудования ЦКП БИП СО РАН.

Список литературы

Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива / Ш. Р. Поздняков, Е. В. Иванова, А. В. Гузева [и др.] // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 4. С. 411–420.

Поздняков Ш. Р., Иванова Е. В. Оценка концентраций частиц микропластика в воде и донных отложениях Ладожского озера // Региональная экология. 2018. № 4 (54). С. 48–52.

A review of analytical techniques for quantifying microplastics in sediments / J. S. Hanvey, P. J. Lewis, J. L. Lavers [et al.] // Analytical Methods. 2017. N 9. P. 1369–1383.

Il'ina O. V., Kolobov M. Y., Il'inskii V. V. Plastic Pollution of the Coastal Surface Water in the Middle and Southern Baikal // Water Resour. 2021. N 48. P. 56–64. DOI: 10.1134/S0097807821010188

Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in watersand sediments / J. Masura, J. Baker, G. Foster, C. Arthur // NOAA Tech. Memorandum NOS-OR&R-48. 2015.

Lost at sea: Where is all the plastic? / R. C. Thompson, Y. Olsen, R. P. Mitchell [et al.] // Science. 2004. Vol. 304, N 5672. P. 838.

Microplastic pollution in the surface waters from plain and mountainous lakes in Siberia, Russia / N. Mitrofanova E. Malygina, N. Kuryatnikova [et al.] // Water. 2021. N 13 (16). P. 14. DOI: 10.3390/w13162287

Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification / V. Hidalgo-Ruz, L. Gutow, R. C. Thompson, M. Thiel // Environmental Science and Technology. 2012. Vol. 46. P. 3060–3075.

Pollution by macro- and microplastic of large lacustrine ecosystems in Eastern Asia / D. Yu. Karnaukhov, S. A. Biritskaya, E. M. Dolinskaya [et al.] // Pollution Research. 2020. Vol. 39, N 2. P. 353–355.

УДК 592.123

РЕСНИЧНЫЕ ЧЕРВИ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Е. М. Коргина *

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (Россия, 152742, Борок)
**Автор для переписки: korgina@ibiw.ru*

Аннотация. Исследована фауна прибрежья Рыбинского водохранилища, обнаружено 15 видов ресничных червей в летний период, относящихся к трем отрядам: Catenulida, Macrostomida, Neorhabdocoela. Рассмотрено особенности распределения турбирярий в прибрежной зоне водоема. Выявлены наиболее многочисленные семейства: Stenostomidae, Microstomidae, Polycystidae, Dalyellidae, Typhloplanidae.

Ключевые слова: ресничные черви, турбелярии, видовое разнообразие

В связи с тем что фауна ресничных червей, их биология, экология еще не достаточно изучены, повышается интерес к этой группе животных, населяющих как малые, так крупные водоемы [Коргина 1990, 2000]. Первые, сколько-нибудь достоверные, данные о пресноводных турбеллириях России относятся к середине XIX в. В 1844 г. Эйхваль [Eichwald, 1844] описывает из стоячих вод окрестностей Петербурга 4 вида ресничных червей, которых он отнес к сборному к тому времени роду *Planaria*.

Материалом для исследования прибрежной зоны Рыбинского водохранилища послужили пробы, отобранные в летнее время 2019, 2021 гг. На 16 мелководных участках обнаружено 15 видов ресничных червей, относящихся к трем отрядам (Catenulida с семейством Stenostomidae, Macrostomida с семейством Microstomidae, Neorabdocoela с представителями турбеллярий из 3 семейств (Polycystidae, Dalyelldae, Typhloplanidae).

К числу массовых видов относятся представители родов *Microdalyellia*, *Castrada*, *Strongylostoma*, *Phaenocora*, *Mesostoma*, *Bothromesostoma*. Наибольшее количество видов (11) было найдено из семейства Typhloplanidae.

В течение вегетационного периода наблюдаются сезонные изменения в фауне ресничных червей, наиболее богаче она наблюдается в летний период при развитии прибрежной растительности.

Список литературы

Коргина Е. М. Фауна турбеллярий водоемов бассейна Верхней Волги// Биология, систематика и функциональная морфология пресноводных животных. Л. : Наука, 1990. С. 3–17.

Коргина Е. М. Турбеллярии (Turbellaria),бассейна Верхней Волги //Каталограстений и животных водоемов бассейна Волги. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2000. С. 166–173.

Eichwald E. Beitrag zur Infusorien Kunde Russland // Bull. Soc. Nat. Moscou. 1844. Bd. 17. S. 23–26.

УДК 577.29:597.2/.5

ТЕЛОМЕРНАЯ БИОЛОГИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ КОТТОИДНЫХ РЫБ ОЗЕРА БАЙКАЛ

А. Г. Королева *, Е. А. Вахтеева, А. А. Епифанцев, С. В. Кирильчик, В. И. Тетерина, Л. В. Суханова, В. М. Яхненко, И. А. Небесных, И. В. Ханаев, Ю. П. Сапожникова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: ankor-2015@yandex.ru*

Аннотация. Теломеры хромосом обеспечивают целостность генома и служат маркерами состояния организма. Их изучение позволяет лучше понять механизмы адаптаций к уникальным условиям окружающей среды. В этой работе анализировалась длина теломер 10 видов рогатковых рыб, обитающих в оз. Байкал. Сравнение длины теломер показало ее вариабельность у представителей этой группы байкальских эндемиков, что может быть связано с приспособлением к жизни на больших глубинах и видовыми особенностями.

Ключевые слова: Байкал, Cottoidei, коттоидные рыбы, подкаменщики, глубоководная ихтиофауна, адаптации, теломеры, теломераза

В подотряде Cottoidei насчитывается около 40 видов рыб, эндемичных для Байкала [Sideleva, 2003; Bogdanov, 2023]. В настоящей работе ализировались 10 видов рогатковых рыб: *Cottinella boulengeri* Berg, 1906, *Abyssocottus korotneffi* Berg, 1906, *Limnocottus griseus* Taliev, 1955, *L. pallidus* Taliev, 1948, *Comephorus dybowski* Korotneff, 1905, *C. baicalensis* Pallas 1776, *Batrachocottus multiradiatus* Berg 1907, *B. nikolskii* Berg, 1901, *Neocottus thermalis* Sideleva, 2002, *Paracottus knerii* Dybowski, 1874. Все виды, кроме последнего прибрежного, обитают на глубинах больше 500 м. Глубоководность предполагает наличие специфических адаптаций, которые проявляются в особой регуляции генов, биохимическом составе мембран, соотношения клеток крови, других гистологических и морфологических особенностях. Несмотря на значительные внешние и внутренние отличия между видами, количество хромосом у всех глубоководных байкальских подкаменщиков одинаково (2n=48), что указывает на особые механизмы эволюции генома с сохранением целостности хромосом, но с внутрихромосомными перестройками [Сиделева, Природина, Ханаев, 1995]. Теломеры хромосом, которые обеспечивают целостность генома и служат маркерами состояния организма [Haussmann, 2010], еще не исследовались у этой группы. Также не изучался фермент теломераза, который поддерживает теломеры. Их изучение позволит больше узнать об эволюции и адаптациях коттоидных рыб в Байкале.

С помощью метода Cawthon [2002] и TRAP была определена относительная длина теломер и активность теломеразы в трех тканях: печени (метаболическая функция), мышцах (двигательная функция) и слуховом эпителий (сенсорная функция). Сравнение длины теломер показало, что во всех тканях у *C. dybowski, L. pallidus* и *N. thermalis* теломеры длиннее, чем у других видов. Самые короткие теломеры были характерны для *L. griseus* и *P. knerii*. У остальных видов длина теломер имела средние значения и была схожей в гепатоцитах, мышечных клетках и в клетках слухового эпителия. Теломераза была активна во всех анализируемых тканях у всех видов, но процессивность ее была выше в мышцах.

Из полученных данных видно, что размер теломер напрямую не связан с родством видов, но может быть связан с условиями обитания и с видовыми особенностями. Так у голомянок (*C. dybowski*, *C. baikalensis*) длина теломер отличается в два раза и может указывать на принципиальные различия в механизмах адаптаций. То же наблюдается у узкой и темной широколобок (*L. pallidus, L. griseus*). Схожие по условиям обитания *C. boulengeri*, *A. korotneffi* и *B. nikolskii* имеют схожие размеры теломер. Особенный вид *N. thermalis*, обитающий в северной части Байкала в районе выходов термальных источников, имеет более длинные теломеры в печени по сравнению с другими видами, и близок по этому параметру

к *C. dybowski*, что говорит о схожих путях регуляции длины теломер при необычном метаболизме. Каменная широколобка *P. knerii*, которая живет в прибрежной зоне, а также близка к предковой форме Cottidae, имеет самые короткие теломеры. Удлинение теломер у других видов могло быть связано с увеличенной активностью теломеразы и приспособлением к жизни на больших глубинах.

Таким образом, полученные данные о теломерной биологии рогатковых рыб позволяют больше узнать об особенных механизмах эволюции этой уникальной группы байкальских эндемиков.

Благодарности. Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 0279-2021-0005 (121032300224-8). Отбор материала проводился с борта НИС «Г. Ю. Верещагин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»).

Список литературы

Сиделева В. Г., Природина В. П., Ханаев И. В. Хромосомные наборы донных байкальских коттоидных рыб (Cottoidei) с замечаниями о кариологической продвинутости в связи с батиметрическим распределением // Вопросы ихтиологии. 1995. Т. 35, № 6. С. 796–803.

Bogdanov B. E. The Sculpins (Perciformes: Cottidae) of Lake Baikal and Baikal region: updated checklist with the description of new taxa // Limnology and Freshwater Biology. 2023. N 3. P. 63–95. DOI: 10.31951/2658-3518-2023-A-3-63

Haussmann M. Telomeres: linking stress and survival, ecology and evolution // Current Zoology. 2010. Vol. 56, N 6. P. 714–727. DOI: 10.1093/czoolo/56.6.714

Sideleva V. G. The endemic fishes of Lake Baikal. Leiden : Backhuys Publishers, 2003. 270 p.

УДК 574.55

ВЕРОЯТНОСТЬ ВЛИЯНИЯ ЦИАНОБАКТЕРИЙ НА ГИБЕЛЬ РЫБ В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ БЕЛАРУСИ

В. Г. Костоусов*, О. Д. Апсолихова, Т. И. Попиначенко

Институт рыбного хозяйства, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству (Беларусь, 220024, Минск, ул. Стебенева, 22)
**Автор переписки: lablakeirh@gmail.com*

Аннотация. Рассмотрена одна из вероятных причин немотивированной гибели рыбы (не связанной с зимними заморами или залповыми сбросами токсикантов) – «цветение» воды сине-зелеными водорослями с наличием цианотоксинов. В качестве полигонов наблюдения в период проведения исследований были выбраны водоемы и водотоки, на которых были зафиксированы случаи гибели рыбы различной интенсивности. Всего отмечено наличие 87 различных таксонов водорослей, относимых к шести отделам. Установлено, что массовое развитие сине-зеленых водорослей на водоемах не несет токсического воздействия на их ихтиофауну. Гибель рыбы была отмечена как в периоды с высоким, так и с низким удельным значением цианобактерий.

Ключевые слова: водоемы, водохранилища, фитопланктон, сине-зеленые водоросли, цианобактерии

Если уровень развития сообщества фитопланктона в целом воздействует на среду обитания рыб, то количественное развитие и таксономический состав сине-зеленых водорослей (цианобактерий) способны повлиять на физиологический статус рыбы и ее жизнедеятельность. Цианобактерии способны вырабатывать токсические вещества, которые при их массовом развитии могут вызывать гибель рыб, либо способствовать накоплению в мясе рыб цианотоксинов (микроцистинов) с последующим отравлением потребителей [Калинникова, Гайнутдинов, Шагидуллин, 2017; Jewel, Affan, Khan, 2003; Kangur, 2002]. Участившиеся случаи летней не мотивированной гибели рыб в водоемах Беларуси позволили высказать предположение о возможном воздействии комплекса факторов внешней среды, негативно влияющих на отдельные виды рыб, в том числе уровней количественного развития фитопланктона («цветения») и значения в его составе потенциально токсичных цианобактерий.

Всего наблюдениями были охвачены 27 водных объекта в шести областях Беларуси и г. Минске. Для характеристики сообщества микроводорослей в период открытой воды отбирали пробы и обрабатывали собранный материал фитопланктона в соответствии с общепринятыми методиками гидробиологических исследований [Оксиюк, 1993]. Всего было собрано и обработано 62 пробы фитопланктона. При обработке проб фитопланктона особое внимание было уделено выявлению потенциально токсиногенных форм цианобактерий (сине-зеленых).

Сообщество планктонных водорослей в анализируемых водоемах было представлено таксонами основных систематических групп, определяющих интенсивность «цветения» водоемов. Всего установлено наличие 87 различных таксонов водорослей, относимых к 6 отделам. Наиболее разнообразно представлены зеленые (33 формы или 37,9 % от общего числа установленных таксонов), диатомовые (24 и 27,6 %) и сине-зеленые (19 и 22,8 %) водоросли.

Доминирующей по отдельным водоемам по количественному развитию группой в летний период выступают сине-зеленые водоросли, среди которых зафиксированы и потенциально токсиногенные виды родов *Microcystis, Anabaena, Oscilatoria* и *Aphanizomen.* Максимальные показатели долевого значения развития сине-зеленых установлены для вдхр. Крыницы (81,3 % в составе общей биомассы водорослей), р. Ведьма (99,8 %), р. Сенница (74,2 %), р. Свислочь (74,9 %), вдхр. Чижовское (60,8 %). В настоящее время массовое развитие цианобактерий рассматривается как реальная угроза для экологической и экономической устойчивости пресноводных экосистем [Kangur, 2002]. Повышение концентраций биогенных веществ в воде не только способствует массовому развитию цианобактерий, но и

влияет на токсичность среды в результате этого явления [A review ... , 2019]. Если уровень развития сообщества в целом воздействует на среду обитания рыб, то количественное развитие и таксономический состав сине-зеленых водорослей (цианобактерий) способны повлиять на физиологический статус рыбы и ее жизнедеятельность через выделение цианотоксинов. Повышение содержания цианотоксинов в среде может происходить как в результате прямого воздействия биогенных элементов, при увеличении скорости продуцирования микроцистинов в каждой водорослевой клетке, так и косвенно – в результате увеличения численности и биомассы вида продуцента [A review ... , 2019]. По результатам планктонных съемок нами выделено 10 таксонов цианобактерий из 19 выявленных, потенциально рассматриваемых как источники цианотоксинов. Наиболее разнообразно представлены водоросли родов *Microcystis, Oscillatoria* и *Anabaena*. Сравнительный анализ известных случаев массовой гибели рыбы и уровня количественного развития планктонных водорослей не дает оснований о наличии их прямой связи. Гибель рыб наблюдалась как на пике развития фитопланктона («цветения»), так и при умеренных или относительно небольших его значениях.

Состав планктонных сообществ представлен рядом таксонов водорослей, определяющих уровень развития и интенсивность «цветения» воды. Доминирующее значение по ряду водоемов на момент обследования приобрели сине-зеленые водоросли (цианобактерии), помимо них существенное значение имели зеленые и диатомовые водоросли. В составе сообщества цианобактерий преобладающее значение имели потенциально токсичные представители рода *Microcystis*.

Вероятность токсического воздействия массового развития сине-зеленых водорослей на случаи не мотивированной гибели рыб требует проведения дополнительных исследований, поскольку в прежние годы они были отмечены как на участках с высоким удельным значением микроцистин, так и на участках с их низким значением.

Список литературы

Калинникова Т. Б., Гайнутдинов М. Х., Шагидуллин Р. Р. Цианотоксины- потенциальная опасность для пресноводных экосистем и здоровья человека // Российский журнал прикладной экологии. 2017. № 2. С. 1–18.

Оксиюк О. П. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши. // Гидробиологический журнал. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.

A review of the effect of trace metals on freshwater cyanobacterial growth and toxin production / J. F. Facey, S. C. Arte, M. Simon [et al.] // Toxins. 2019. N 11 (643). DOI: 10.3390/toxins11110643

Jewel M. A., Affan M. A., Khan S. Fish mortality due to cyanobacterial bloom in an aquaculture pond in Bangladesh // Pacistan J Biol Sci. 2003. N 6. P. 1046–1050. DOI: 10.3923/pjbs. 2003. 1046. 1050

Kangur K. Strong cyanobacterial bloom and fish kill in Lake Peipsi in summer 2002 // MANTRA-East Newsletter. 2002. N 5. P. 6.

УДК 575.8:595.771/285

РАЗНООБРАЗИЕ ДОННОЙ ФАУНЫ В ПОНИЖЕНИЯХ РЕЛЬЕФА СКЛОНА-КАНЬОНАХ В ГЛУБОКОВОДНОЙ ЗОНЕ У ЗАПАДНОГО БОРТА ЮЖНОЙ КОТЛОВИНЫ ОЗ. БАЙКАЛ

Л. С. Кравцова[1]*, К. М. Кучер[1], М. В. Коваленкова[1], А. Е. Тупикин[2], М. Р. Кабилов[2], Ю. С. Букин[1], И. А. Асламов[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 8)
**Автор для переписки: lk@lin.irk.ru*

Аннотация. Исследовано разнообразие донной фауны в малоизученной глубоководной зоне склона западного борта южной котловины оз. Байкал с использованием гидробиологических и молекулярно-генетических методов. Сбор материала произведен подводным телеуправляемым аппаратом РОВБИЛДЕР РБ-300. В пробах найдены представители 17 высших таксонов, типичные обитатели рыхлых донных отложений (заиленный песок, дресва, гравий). В целом в понижениях рельефа склона плотность поселения (экз./м^2) макробеспозвоночных (размерами более 2 мм) в сублиторали выше, чем в супраабиссали. Мейобеспозвоночные (размерами менее 2 мм), наоборот, наиболее многочисленны в зоне супраабиссали, чем в сублиторали. Видовое разнообразие фауны, оцененное по Шеннону (бит) на основе прочтений фрагмента гена *CO1,* на разных станциях колеблется от 0,6 до 2,7.

Ключевые слова: мейоозообентос, макрозообентос, разнообразие, ДНК-метабаркодинг, *CO1*, Байкал

В июне 2024 г. проведены исследования зообентоса в бухте Б. Коты и в Лиственничном заливе в зонах глубин 48–65 м (сублитораль) и 92–100 м (супраабиссаль) с использованием подводного телеуправляемого аппарата РОВБИЛДЕР РБ-300. Донные отложения, сформированные мелкообломочным материалом из песка, дресвы, гравия с примесью ила и детрита (остатков растений, древесины, органики), были отобраны на 6 станциях с помощью ковша аппарата. Грунт, поднятый со дна, промывали (до исчезновения мутной воды) через сачок из мельничного сита № 23 и № 35, беспозвоночных животных складывали в 250 мл полипропиленовые банки и фиксировали 96 % этанолом. В лабораторных условиях беспозвоночных животных, найденных в пробах (n = 18) сортировали на уровне высших таксонов, определяли их численность и биомассу в пересчете на 1 м^2 дна. Для оценки видового разнообразия фауны использовали молекулярно-генетический метод – ДНК-метабаркодинг по гену COI (1 субъединицы цитохромоксидазы) [A new … , 2013; Redesign ... , 2013; Assessing … , 2017; Stream … , 2020; Assessment … , 2021; Исследование … , 2021].

В количественных пробах в составе зообентоса зарегистрированы представители высших таксонов макробеспозвоночных животных размерами более 2 мм: Porifera, Platyhelminthes, Hirudinea, Polychaeta, Oligochaeta, Isopoda, Amphipoda, Chironomidae, Mollusca (Bivalvia, Gastropoda). В зоне глубин 48–65 м по численности (экз./м^2) доминировали: Oligochaeta, Amphipoda, Chironomidae, Bivalvia. На глубинах 92–100 м преобладали те же группы беспозвоночных, за исключением последней. Среди мейобеспозвоночных (размерами менее 2 мм) в количественных пробах встречались: Bryozoa, Rabdocoela, Nematoda, Branchiopoda (Haplopoda/Leptodoridae), Copepoda (Cyclopoida, Harpacicoida), Ostracoda, Arachnida (Araneae, Acariformes), Tardigrada, а также коконы (Cocoons). В обеих зонах глубин в мейозообентосе по плотности населения на 1 м^2 дна доминировали: Nematoda, Crustacea (Branchiopoda, Copepoda), были многочисленны Ostracoda, Rabdocoela.

Наибольшая численность макрозообентоса на исследованных станциях зарегистрирована в зоне сублиторали напротив п. Черная, а мейозообентоса – в супраабиссали напротив п. Жилище (рис.).

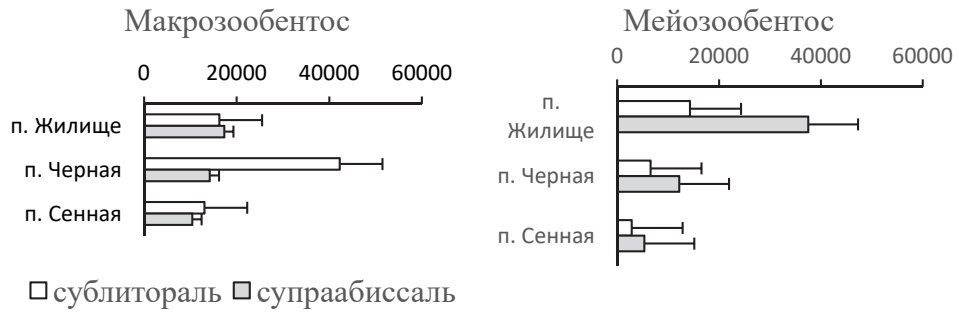


Рис. Плотность донного населения в понижениях рельефа склона в зонах сублиторали и супраабиссали у западного борта южной котловины Байкала (июнь, 2024). По оси абсцисс – численность зообентоса (экз/м^2); по оси ординат – станции, расположенные в бухте Б. Коты (напротив п. Жилище, п. Черная) и в Лиственничном заливе (напротив п. Сенная)

Среднее покрытие на образец, полученное при высокопроизводительном секвенировании фрагмента гена *CO1* шести проб геномной ДНК, составило 36 тыс. прочтений. Биоинформатический анализ данных позволил идентифицировать 141 OTE. Среди них обнаружены те же представители высших таксонов, что и в количественных пробах. Выявлено 31 OTE с высоким сходством (≥95 %) с последовательностями *CO1* из GenBank. Наименьшее разнообразие фауны макробеспозвоночных, оцененное по индексу Шеннона (H, бит) на основе OTE, отмечено в супраабиссали напротив п. Жилище (H = 0,6), а наибольшее (H = 2,7) – в этой же зоне глубин напротив п. Сенной.

Благодарности. Исследование проведено в рамках ГЗ: № 121032300196-8; № 121032300154-8; № 125012300656-5.

Список литературы

Исследование разнообразия гидробионтов Лиственничного залива озера Байкал с использованием ДНК-метабаркодинга / Л. С. Кравцова, Т. Е. Перетолчина, Т. И. Трибой [и др.] // Генетика. 2021. Т. 57, № 4. С. 445–453.

A new versatile primer set targeting a short fragment of the mitochondrial *COI* region for metabarcoding metazoan diversity: application for characterizing coral reef fish gut contents / M. Leray, J. Y. Yang, C. P. Meyer [et al.] // Front. Zool. 2013. Vol. 10, N 1. P. 1–14.

Assessing strengths and weaknesses of DNA metabarcoding-based macroinvertebrate identification for routine stream monitoring / V. Elbrecht, E. E. Vamos, K. Meissner [et al.] // Methods Ecol. Evol. 2017. N 8(10). P. 1265–1275.

Assessment of stream macroinvertebrate communities with eDNA is not congruent with tissue-based metabarcoding / J. E. Gleason, V. Elbrecht, T. W. A. Braukmann [et al.] // Mol. Ecol. 2021. Vol. 30, N 13. P. 3239–3251. DOI: 10.1111/mec. 15597

Redesign of PCR primers for mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I for marine invertebrates and application in all-taxa biotic surveys / J. Geller, C. Meyer, M. Parker, H. Hawk // Mol. Ecol. Resour. 2013. Vol. 13, N 5. P. 851–861.

Stream water quality assessment by metabarcoding of invertebrates / F. Kuntke, N. de Jonge, M. Hesselsøe, J. L. Nielsen // Ecol. Indic. 2020. N 111. Art. e105982.

УДК 577.325.2

БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ БИОТЕСТЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОЧВЫ, ВОДНОЙ И ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

В. А. Кратасюк[1,2]*, Е. Н. Есимбекова[1], А. М. Оюн[1], Е. М. Колосова[2], Д. Е. Чуяшенко[1], Е. Я. Мучкина, О. С. Сутормин[1,2]

[1]Сибирский федеральный университет (Россия, 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79)
[2]Сургутский государственный университет (Россия, 628412, Сургут, просп. Ленина, 1)
**Автор для переписки: valkrat@mail.ru*

Аннотация. Рассматриваются перспективы использования биолюминесцентных ферментативных биотестов для экспрессного экологического мониторинга водных экосистем, а также позвы и воздушной среды.

Ключевые слова: биолюминесценция, интенсивность свечения, ферментативные биотесты, экологический мониторинг, люцифераза, светящиеся бактерии

Самым быстрым среди классических биотестов с использованием живых объектов (парамеций, водорослей, дафнии и т. п.), считается биотест на светящихся бактериях, который осуществляется в течение 30 мин. Однако, как и в случае других организмов, биотесты на светящихся бактериях имеют те же недостатки, что и классические биотесты с использованием живых объектов. Необходимость поддержания стабильной бактериальной культуры во время измерений и при хранении приводят к низкой точности измерения. При этом реакция бактерий на токсичные вещества неоднозначна и выражается как в уменьшении, так и в увеличении интенсивности светоизлучения, что часто затрудняет интерпретацию результатов.

Для решения этих проблем разработаны ферментативные биотесты для экологического мониторинга, которые позволяют обнаружить неизвестные токсичные соединения в окружающей среде, и, также как классические биотесты, показывают влияние вредных веществ на функции живых организмов. Анализ состоит в обнаружении токсических свойств тестируемых веществ и смесей по их влиянию на интенсивность свечения биферментной системы: NAD(P)H:FMN-оксидоредуктаза +люцифераза (Red + Luc) [Ферментативное биотестирование почв … , 2018; Ферментативное биотестирование … , 2021; Design … , 2021].

Тест методически прост: в измерительной кювете смешивают ферменты и их субстраты и регистрируют на биолюминометре контрольную интенсивность свечения. Далее процедура повторяется в присутствии анализируемой пробы. Токсичность смеси определяют по изменению величины интенсивности биолюминесценции в присутствии пробы по сравнению с контролем. Индекс токсичности (ИТ) определяют по формуле: $ИТ = ((Iк – Io) / Iк) \cdot 100$ % где Iк и Io – максимальная интенсивность свечения в контрольной и анализируемой пробе.

Биотесты на основе биферментной системы Red + Luc были успешно использованы для анализа воды р. Енисей и её притоков, питьевой воды различных районов Красноярска и Алтайского края, соленого озера Шира (Республика Хакасия), а также оз. Байкал [Enzymes … , 2023; Effects … , 2023]. Получены данные, убедительно демонстрирующие возможности применения биолюминесцентных ферментных тестов для анализа токсичности не только воды, но и воздуха, снега [Bioluminescence … , 2024] и почвы [Комплексный … , 2019; Software … , 2021; Bioluminescent … , 2021; Bioluminescent-Inhibition-Based … , 2022; Effects … , 2024].

Определены составы такого теста для исследования загрязнения городских и сельскохозяйственных почв, на основе специфического действия токсикантов на ферменты.

Для разработки новой методологии комплексного ферментативного биотеста, направленного на оценку токсикологических параметров при загрязнении почв нефтепродуктами, ключевым методологическим подходом является подбор оптимальных экстрагирующих

веществ. Проведен сравнительный анализ органических растворителей (ДМСО, ацетон и др.) и показаны преимущества использования ДМСО для исследовании воздействия нефтяного загрязнения на почвенную среду.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-14-20030, https://rscf.ru/project/24-14-20030/.

Список литературы

Комплексный ферментативный биотест для оценки загрязнения почвы / Е. М. Колосова, О. С. Сутормин, Е. Н. Есимбекова [и др.] // Доклады академии наук. 2019. № 1. С. 103–107.

Ферментативное биотестирование почв: сравнение чувствительности к токсикантам моно-, би-и триферментной систем / О. С. Сутормин, Е. М. Колосова, Е. В. Немцева [и др.] // Цитология. 2018. № 10. С. 826–829.

Ферментативное биотестирование: научные основы и применение / Е. Н. Есимбекова, И. Г. Торгашина, В. П. Калябина, В. А. Кратасюк // Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28, № 3. С. 364–382.

Bioluminescence Inhibition Bioassay for Estimation of Snow Cover in Urbanised Areas within Boreal Forests of Krasnoyarsk City / A. A. Rimashevskaya, E. Y. Muchkina, O. S. Sutormin [et al.] // Forests. 2024. N 15. Art. 1325.

Bioluminescent enzyme inhibition-based assay for the prediction of toxicity of pollutants in urban soils / E. M. Kolosova, O. S. Sutormin, L. V. Stepanova [et al.] // Environmental Technology and Innovation. 2021. N 24. Art. 101842 .

Bioluminescent-Inhibition-Based Biosensor for Full-Profile Soil Contamination Assessment / E. M. Kolosova, O. S. Sutormin, A. A. Shpedt [et al.] // Biosensors. 2022. N 12. Art. 353.

Design of bioluminescent biosensors for assessing contamination of complex matrices / E. N. Esimbekova, V. P. Kalyabina, K. V. Kopylova [et al.] // Talanta. 2021. 233 (122509).

Effects of Oil Contamination on Range of Soil Types in Middle Taiga of Western Siberia / O. S. Sutormin, A. S. Goncharov, V. A. Kratasyuk [et al.] // Sustainability. 2024. N 16. Art. 1204.

Enzymes Immobilized into Starch- and Gelatin-Based Hydrogels: Properties and Application in Inhibition Assay / E. N. Esimbekova, I. G. Torgashina, E. V. Nemtseva, V. A. Kratasyuk // Micromachines. 2023. Vol. 14, N 12. Art. 2217.

Software for matching standard activity enzyme biosensors for soil pollution analysis / V. A. Kratasyuk, E. M. Kolosova, O. S. Sutormin [et al.] // Sensors. 2021. Vol. 21, N 3. Art. 1017.

Toxicity of Different Types of Surfactants via Cellular and Enzymatic Assay Systems / Sutormin O. S., Kolosova E. M., Torgashina I. G. [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2023. N 24. Art. 515.

УДК 595.123.2

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИКРОТУРБЕЛЛЯРИЙ (PLATYHELMINTHES, RHABDITOPHORA) МЯГКИХ ГРУНТОВ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ДАГАРСКОЙ ГУБЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Р. С. Кривороткин *, Т. М. Алексеева, О. А. Тимошкин

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: roman_bio@mail.ru*

Аннотация. Впервые подробно изучен состав фауны микротурбеллярий Дагарской губы на глубинах 10 и 16 м, где обнаружено 15 и 13 видов соответственно. В целом найдены половозрелые представители двух отрядов, шести семейств, 13 родов и 20 видов. Наиболее разнообразным в видовом отношении оказалось семейство Rhynchokarlingiidae Timoshkin, 2004, к которому относится девять видов. Как минимум шесть видов из 20 обнаруженных являются новыми для науки.

Ключевые слова: биоразнообразие, хоботковые микротурбеллярии, эндемики, Байкал

Озеро Байкал является уникальным очагом видообразования пресноводных турбеллярий [Тимошкин, Наумова, Новикова, 2001]. Одной из наиболее изученных групп являются байкальские хоботковые микротурбеллярии [Timoshkin, 2004; Новые … , 2010–2011], но даже в составе этого подотряда регулярно описываются эндемичные новые виды. Фауна и распространение некоторых других крупных таксонов байкальских червей (например, семейств Macrostomidae Beneden E., 1870 и Typhloplanidae Graff, 1905) остается слабоизученной. Все это подчеркивает необходимость проведения дальнейших альфа-таксономических исследований, особенно на малоизученных участках оз. Байкал.

Нами проанализован состав фауны байкальских микротурбеллярий прибрежной зоны Дагарской губы оз. Байкал (пробы отобраны в сентябре 2021 г. с глубин 10 и 16 м, грунт песчаный и песчано-илистый соответственно). Обнаружены половозрелые представители отрядов Dolichomicrostomida и Rhabdocoela, принадлежащих к семействам: Macrostomidae (*Macrostomum* sp. № 1 и *Macrostomum* sp. № 2), Provorticidae Beklemischev, 1927 (*Baicalellia pellucida* Nasonov, 1930), Typhloplanidae (три вида с точно не установленным, но разным родовым статусом; один из них, скорее всего, принадлежит к роду *Opistomum* Schmidt, 1848), Polycystididae Graff, 1905 (*Gyratrix hermaphroditus* Ehrenberg, 1831, *Opisthocystis cariottus* Timoshkin, 1986, *Opisthocystis gyratricelloides* Timoshkin & Zaytseva, 2012 и *Opisthocystis* sp.) и Rhynchokarlingiidae Timoshkin, 2004 (*Cohenella* sp. № 1, *Cohenella* sp. № 2, *Linella hamolaminae* Timoshkin et Krivorotkin, 2022, *Mariareuterella baeckmanae* (Timoshkin, 1986), *Mariareuterella* cf. *sabirovi* Timoshkin, 2004, *Mariareuterella salemaai* Timoshkin, 2004, *Riedelella gibsoni* Timoshkin, 2004, *Riedelella* sp. и Rhynchokarlingiidae gen. et sp.). Из них как минимум шесть являются новыми для науки: два вида рода *Macrostomum* Schmidt, 1848 и два вида рода *Cohenella* Timoshkin, 2004, один вид рода *Riedelella* Timoshkin, 2004 и один вид ринхокарлингиид, морфология которого в полной мере не подходит под диагноз ни одного из байкальских родов. Половой аппарат особей Rhynchokarlingiidae gen. et sp. имеет уникальное вооружение в виде кутикулярной ленты, а не крючьев, которые типичны для большинства ринхокарлингиид. Кроме половозрелых микротурбеллярий были обнаружены ювенильные особи всех упомянутых выше семейств и представители семейства Microstomidae Luther, 1907 (род *Microstomum* Schmidt, 1848). Количество ювенильных особей хоботковых микротурбеллярий более чем втрое превосходило таковое половозрелых.

На глубине 10 м обнаружено 15 видов (только здесь отмечены *Macrostomum* sp. № 1, *B. pellucida*, *Opisthocystis* sp., *Cohenella* sp. № 2, *L. hamolaminae*, *Riedelella* sp. и Rhynchokarlingiidae gen. et sp.), а на глубине 16 м обнаружено 13 видов (только здесь отме-

чены *Macrostomum* sp. № 2, *O. cariottus*, *O. gyratricelloides*, *M. baeckmanae* и *M. salemaai*); восемь видов обнаружены на обеих глубинах. В видовом отношении наиболее разнообразны представители родов *Opisthocystis* Sekera, 1911 и *Mariareuterella* Timoshkin & Grygier, 2005, включающие по три вида.

Всего обнаружены представители двух отрядов, шести семейств, 13 родов и 20 видов, из которых как минимум 15 являются байкальскими эндемиками. Достоверно неэндемичен только голарктический *G. hermaphroditus*, статус еще трех видов Typhloplanidae и одного вида микростомид нуждается в уточнении. Полученные данные свидетельствуют о большом потенциале альфа-таксономических исследований биоразнообразия байкальских микротурбеллярий, которое (даже в рамках хоботковых червей) еще крайне далеко от полного изучения.

Благодарности. Отбор и анализ материала выполнены в рамках госбюджетного проекта № 0279-2021-0007 «Комплексные исследования прибрежной зоны озера Байкал: многолетняя динамика сообществ под воздействием различных экологических факторов и биоразнообразие; причины и последствия негативных экологических процессов».

Список литературы

Новые и малоизученные виды рода *Opisthocystis* Sekera, 1911 (Plathelminthes, Turbellaria, Kalyptorhynchia: Polycystididae) из озера Байкал с предварительными данными об их кариотипах и “On Set Logger” сведениями о придонной температуре воды мелководной зоны Южного / О. А. Тимошкин, Е. П. Зайцева, М. В. Гуцол, Е. П. Тереза // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. Новосибирск : Наука, 2010–2011. Т. 2. С. 1105–1164.

Тимошкин О. А., Наумова Т. В., Новикова О. А. Ресничные черви (Plathelminthes: Turbellaria) // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. Новосибирск : Наука, 2001. Т. 1. С. 196–227.

Timoshkin O. A. Rhynchokarlingiidae – a new enigmatic group of Turbellaria Kalyptorhynchia (Plathelminthes, Neorhabdocoela) from Lake Baikal (East Siberia) with emendation of nine species, description of twelve new genera and fifty new species: example of “non–Darwinian evolution”? // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. Новосибирск : Наука, 2004. Т. 1. С. 1344–1491.

УДК 556.55+556.555(571.56)

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОЗЕРНЫХ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

М. И. Ксенофонтова[1,2]*

[1]Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера им. проф. Д. Д. Саввинова, Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова (Россия, 677000, Якутск, просп. Ленина, 49)
[2] Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова (Россия, 677000, Якутск, ул. Белинского, 58)
**Автор для переписки: ksemaria@mail.ru*

Аннотация. Целью исследования является изучение основных факторов формирования химического состава озерных вод Центральной Якутии – территории богатой озерным фондом. Здесь распространены озёра термокарстового, эрозионно-термокарстового и водно-эрозионного типа происхождения. В ходе исследования установлено, что основными факторами формирования химического состава озер являются геологические, климатические условия, а также распространение многолетнемерзлых пород, рельеф и почвенный покров водосборной площади. Немаловажную роль в настоящее время играет антропогенное воздействие. Из-за процессов эвтрофикации, обмеления озер сельское население района исследования испытывает реальную нехватку питьевой воды. В целом на формирование химического состава озерных вод влияет комплекс взаимосвязанных факторов.

Ключевые слова: термокарстовые озёра, Центральная Якутия, факторы, атмосферные осадки, ледовый комплекс, антропогенное воздействие

На территории Центральная Якутия повсеместно распространены термокарстовые, эрозионно-термокарстовые, водно-эрозионные озёра. Район исследования характеризуется уникальными природными условиями, определяющими специфику гидрохимических процессов в этих многочисленных озёрах. Преобладание термокарстовых озер на территории Центральной Якутии связано с вытаиванием многолетнемерзлых пород и развитием преимущественно аласных котловин на древних террас рек Лены, Вилюя и Алдана. Формирование химического состава вод озерных вод представляет собой сложный результат взаимодействия комплекса природных и антропогенных факторов.

Одним из основных факторов формирования химического состава озерных вод является геологические условия, в частности в районе исследования водоносные горизонты и зоны аэрации сложены преимущественно кайнозойскими, представленными песками, супесями, суглинками, алевритами, галечниками, торфами, озерно-болотными отложениями. Таким образом, химический состав вод формируется за счет выщелачивания растворимых минералов, таких как кальцит, доломит, реже гипс. Распространение месторождений каменной соли резко повышают значения минерализации до рассолов, но в Центральной Якутии они имеют локальный характер и распространены в бассейне р. Кемпендяй Сунтарского района РС (Я).

Ведущую роль в формировании химического состава озерных вод Центральной Якутии занимает сплошное распространение многолетнемерзлых пород, которые способствуют в формировании надмерзлотных водоносных горизонтов и образуют надмерзлотный тип питания озер, ограничивая связь с глубокими подмерзлотными водами. Кроме того, термокарстовые процессы приводят к образованию, развитию («дюедя»-«тыымпы»-«зрелое озеро») и усыханию озер. При стадиях «дюедя» и «тыымпы» наблюдается вынос основных макро- и микроэлементов из ледового комплекса. При усыхании озера, наоборот, происходит концентрация солей в остаточном водоеме и в донных отложениях. В целом динамика термокарстовых процессов является главным фактором пространственно-временной изменчивости состава озерных вод Центральной Якутии.

Климатический фактор занимает немаловажное место в формировании химического состава озёрных вод. Резко континентальный климат и малое количество осадков оказывает прямое влияние и является мощным фактором повышения величины минерализации за счет увеличения содержания солей в озёрах, особенно в мелководных и бессточных аласных озёрах. Высокие летние температуры при малом количестве осадков приводят к интенсивному испарению, трансформируя гидрокарбонатные воды в сульфатные, а затем хлоридные. Это основной механизм формирования содовых и солоноватых озер в аласах. Особенно данного типа озер распространены на территории Абалахской террасы.

Рельеф также влияет на формирование химического состава озер, например, большинство озер термокарстового, эрозионно-термокарстового типа происхождения расположены преимущественно на Бестяхской, Тюнгюлюнской, Абалахской террасах. Кроме того, пологая форма аласных котловин, небольшие глубины и низкие берега способствуют хорошему прогреву воды летом. Многие аласные озёра имеют небольшие, замкнутые водосборы, что ограничивает приток свежей воды и способствует накоплению солей за счет испарения и выноса веществ с водосбора. Редкая речная сеть и слабая дренированность территории Центральной Якутии также способствуют застойному режиму озер.

На водосборах термокарстовых озер доминируют мерзлотные аласные почвы. Эти почвы характеризуются процессами засоления, осолодения, оглеения и аккумуляции карбонатов. Таким образом, ключевой путь поступления легкорастворимых солей таких как Na_2CO_3, Na_2SO_4, NaCl в озёра Центральной Якутии является фильтрация атмосферных осадков через засоленные почвы аласных котловин.

В настоящее время влияние антропогенных факторов на химический состав озерных вод Центральной Якутии связано с пастбищами, со свалками ТБО и ЖБО, со строительством жилых кварталов в котловинах крупных озер (например, с. Борогонцы, с. Чурапча), с бесхозными захоронениями удобрений под открытым небом. Многие сельские поселения, расположенные вдали от водотоков, испытывают реальную нехватку питьевой воды. Из-за деградации близлежащих водоемов (обмеления, «цветения» озер), а также отсутствия альтернативных источников водоснабжения местное население употребляет в качестве питьевой воды талую ледовую воду или воду из скважин, предназначенных для технических нужд.

В качестве примера приведены исследования озер у с. Дюпся Усть-Алданского района РС (Я). Здесь в озере 360 м к западу с. Дюпся максимальная глубина составила 1,06 м, если отнимем от общей глубины толщину льда (66 см) то фактическая глубина воды в озере будет всего 40 см. Для населения с 1111 голов КРС это критический показатель. По результатам анализа химического состава исследованных озер показали, что изученные водоемы у с. Дюпся в период зимней межени характеризуются очень высокой минерализацией. Ионный состав воды преимущественно гидрокарбонатно-натриево-магниевого состава, что характерно для «содовых» озер. Исследованные воды очень мутные, сильно окрашены, содержание взвешенных веществ экстремально высокое и значительно превышают гигиенические нормативы. Превышения нормативов ПДКр/х и гигиенических нормативов наблюдаются главным ионам, биогенным веществам и ряду микроэлементов. Особое внимание необходимо обратить на элемент первого класса опасности – мышьяк, который присутствует в исследованных водоемах у с. Дюпся. В озере, расположенном в 360 м к западу от с. Дюпся, значение мышьяка превышает гигиенические нормативы до 1,7 раз, в озере в 120 м к востоку до 1,1 раза. Таким образом, формирование химического состава озерных вод Центральной Якутии – это результат комплексного воздействия взаимосвязанных факторов. Исследование и понимание взаимодействия этих факторов необходимо для дальнейшего прогнозирования изменений в условиях современного изменения климата и увеличения антропогенного воздействия.

УДК 575.174:574.3

ТЕПЛОВОЙ СТРЕСС КАК ФАКТОР ОЧИЩАЮЩЕГО ОТБОРА В АКВАКУЛЬТУРЕ НА ПРИМЕРЕ ОБЫКНОВЕННОГО КАРПА (*CYPRINUS CARPIO*)

А. В. Кузьмин[1]*, Д. А. Балашов[4], Е. В. Виноградов[4], Б. Э. Ефименко[1,2], Н. С. Мюге[3], К. Ю. Попадьин[1]

[1]Балтийский федеральный университет им. И. Канта (Россия, 236041, Калининград, ул. Александра Невского, 14)
[2]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[3]ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (Россия, 105187, Москва, Окружной просп., 19)
[4]Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (Россия, 141821, Московская область, Дмитровский городской округ, пос. Рыбное, 40А)
**Автор для переписки: aaleksandrkuzmin@gmail.com*

Аннотация. Качество и жизнестойкость потомства культивируемых карповых рыб зависят не только от условий внешней среды, но и от степени мутационной нагрузки, унаследованной от родительских особей. В рамках настоящего исследования мы разработали и протестировали подход к очищающему отбору, основанный на стресс-индуцированной селекции, направленной на снижение генетического груза слабо-вредных мутаций у *Cyprinus carpio*.

Ключевые слова: очищающий отбор, N-нитрозо-N-этилмочевина, тепловой стресс, генетический груз

Качество и жизнестойкость потомства *Cyprinus carpio* зависят не только от условий внешней среды, но и от степени мутационной нагрузки, унаследованной от родительских особей. В рамках настоящего исследования мы разработали подход к краткосрочному очищающему отбору, основанный на стресс-индуцированной селекции. Эксперимент проводили на обыкновенном карпе в филиале по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ») и ОСПХ «Якоть». Сперму каждого самца разделили на две группы: контрольную и группу, подверженную химическому мутагенезу (2 мМ НЭМ). Оплодотворение проводили икрой двух самок. Для смешанных семей, перед оплодотворением, половые продукты смешивали. После оплодотворения на стадии 22 сомитов часть эмбрионов была подвергнута тепловому воздействию (38°C, 50 мин). Параметры воздействий были оптимизированы в предшествующих исследованиях [Improving … , 2023].

Для исключения фактора семьи была использована смесь половых продуктов от 2 самцов и 2 самок, в результате чего были получены четыре когорты с комбинациями воздействия теплового шока и мутагена: T-M-, T-M+, T+M-, T+M+. Половина сперматозоидов была мутагенизирована и использована для оплодотворения двух когорт M+, тогда как нативная сперма – для двух когорт M-. После оплодотворения две когорты подвергались тепловому шоку при температуре 38 °C в течение 40 мин на стадии 22 сомитов для получения когорт T+, в то время как температура 20 °C поддерживалась на всех стадиях развития когорт T-. После создания когорт четыре аппарата Вейса были загружены оплодотворенными ооцитами. Взяв количество особей, вставших на плав, в контрольной группе (T-M-) за 100 %, мы оценили ожидаемый процент особей вставших на плав при независимом эффекте мутагена и теплового шока по формуле ((шок / контроль) * (мутаген / контроль) * контроль), который составил 19,53 %. Однако наблюдаемый процент особей, вставших на плав в группе T+M+ составил лишь 5,39 %. Более чем в 3,5 раза пониженное значение наблюдаемого процента мальков вставших на плав (5,4 %) по сравнению с ожидаемым (19,6 %) говорит о взаимодействии между факторами воздействия, т. е. тепловой шок и груз мутаций вместе сильнее уменьшают приспособленность, чем по отдельности. Данное взаимодействие факторов было статистически значимо (коэффициент = 0,276, $p < 10^{-5}$, точный тест Фишера).

Параллельно, используя те же самые половые продукты, для интеграции фактора семьи мы дублировали эксперимент на чашках петри. На рисунке показана метрика относительного снижения приспособленности. Видно, что у 3 из 4 семейств (все, кроме 2x2) наблюдается снижение доли особей вышедших на плав. Иными словами, влияние семейного фактора на выживаемость особей при различных стрессовых условиях является весьма значительным. Статистически значимое снижение относительной выживаемости при взаимодействии двух факторов отмечается только у семейства 1x1 (Fisher's Exact Test = 0,363, $p = 1{,}4 \cdot 10^{-4}$). Предположительно, такая картина наблюдается из-за того, что самец 2 и самка 2 изначально имели меньшую генетическую нагрузку по сравнению с самцом 1 и самкой 1. Это подтверждается тем, что вне зависимости от воздействия факторов окружающей среды, обработка мутагеном и тепловым шоком не привела к значительному снижению выживаемости потомства.

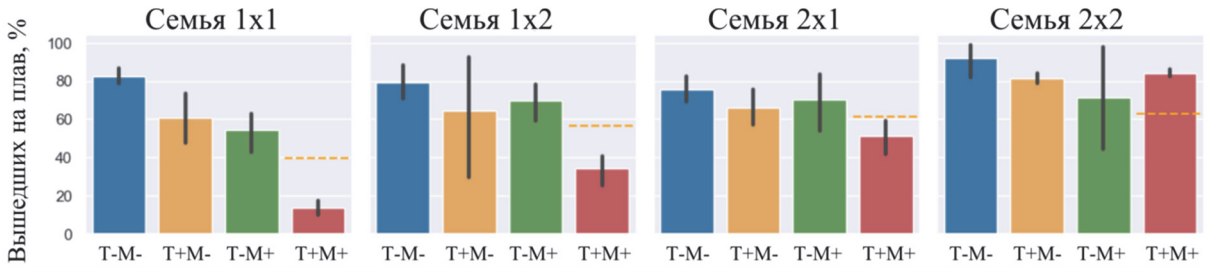


Рис. Сравнение процента вышедших на плав особей между различными группами (T-M-, T+M-, T-M+, T+M+) воздействия мутагена(M) и теплового воздействия (T) внутри четырех семей (1x1, 1x2, 2x1, 2x2). Оранжевая линия обозначает ожидаемое значение при независимом действии теплового шока и мутагена

Долгосрочное влияние отсекающего отбора тепловым стрессом, предположительно, усиливает очищающий отбор, но требует более глубокого биоинформатического анализа и получения потомства от контрольных и нативных групп. Воздействие тепловым стрессом на часть эмбрионов для проведения краткосрочного теста может быть перспективным методом селекции обыкновенного карпа и других культивируемых рыб. Также, полученные данные дают возможность проводить альтернативный подход использования теплового шока в качестве экспресс теста качества геномов производителей.

Благодарности. Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-15-2021-1084 и № 075-15-2025-479).

Список литературы

Improving Genome Quality through Artificial Truncating Purifying Selection Using Heat Shock: Case of Carps / A. Kuzmin, E. Vinogradov, D. Balashov [et al.] // bioRxiv. 2023. DOI: 10.1101/2023.01.20.524958

УДК 639.29:593.4:470.46

СОСТОЯНИЕ ЗАПАСОВ И ПРОМЫСЛА ПРЕСНОВОДНОЙ ГУБКИ БАДЯГИ В ВОДОЕМАХ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ В ПЕРИОД 2010–2024 ГГ.

Н. В. Кулик[1]*, С. А. Белорусцева[2]

[1]Волжско-Каспийский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 414056, Астрахань, ул. Савушкина, 1)
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 105187, Москва, Окружной просп.,19)
**Автор для переписки: levashinanv@kaspnirh.vniro.ru*

Аннотация. Губка бадяга является одним из объектов промысла пресноводных беспозвоночных в Астраханской области. Анализ промысловой обстановки и результаты исследований свидетельствует о многолетнем колебании запасов и отрицательной динамике показателей промысла губки бадяги. В данной работе также представлен краткий обзор причин изменения промыслового запаса гидробионта и оценка его текущего состояния.
Ключевые слова: губка бадяга, водоем, Астраханская область, запас, промысел

В пресных водоемах Астраханской области распространены губки сем. Spongillidae – бадяга озерная (обыкновенная) *Spongilla lacustris* (L.) и бадяга речная *Ephydatia mulleri* (L.), которые образуют корковые и кустистые колонии на подводных твердых субстратах, преимущественно на участках со слабым течением. Губки представляют большой интерес как ценное сырье при производстве различных препаратов на их основе, которые востребованы в фармацевтической и косметологической сфере. Начало промысла губки бадяги в Астраханской области относится к 1960-м гг. За период 1966–1985 гг. вылов бадяги варьировал в пределах 0,4–56,2 т, с максимальными уловами в начале 1980-х гг. − 172 т. С 1985 по 2000 г. наблюдалось снижение ее уловов до 12–30 т с дальнейшим прекращением промысла [Янченков, 2014; Неваленный, Сокольский, Франов, 2019].

После многолетнего перерыва в 2010 г. возобновляется промысел губки бадяги. Основные промысловые районы добычи сосредоточены в Волго-Ахтубинской пойме (ВАП), западно-подстепных ильменях (ЗПИ), дельте р. Волги. Для водоемов Астраханской области ежегодно утверждаются объемы рекомендованного вылова (РВ), которые являются основанием для осуществления промышленного рыболовства. Проведенный анализ современной промысловой обстановки показал многолетние колебания запасов и отрицательную динамику показателей промысла губки бадяги.

Материалами для работы послужили результаты учетных съемок, проведенных в водоемах Астраханской области, и данные официальной промысловой статистики, предоставленные Волго-Каспийским территориальным управлением. Сбор и первичная обработка материала проводились в соответствии с методическими инструкциями [Инструкции … , 2011]. Колонии бадяги, располагаются на глубинах 0,5–3,0 м, их облов осуществлялся при помощи металлической прямоугольной рамки-ловушки размером 50×100 см с прикрепленным сетным мешком, буксируемой по дну на небольшой скорости с маломерного плавсредства. Уловы бадяги подвергали измерению и взвешиванию в сыром виде. Оценка запаса губки бадяги осуществляется методом площадей, с учетом расчетных величин полезной площади, занятой гидробионтом, и плотности его распределения. Объем рекомендованного вылова определяется как регулируемая доля изъятия из расчетной величины запаса.

В 2010–2024 гг. наблюдаются колебания запасов и промысловых показателей губки бадяги в водоемах Астраханской области. С началом возобновления промысла в 2010–2012 гг. суммарный объем запаса бадяги оценивался в 100 т при утвержденном объеме рекомендованного вылова (РВ) – 30 т. В этот период ежегодный вылов (добыча) бадяги варьировал в пределах 21,7–60,3 т, освоение РВ – 72,2–200,9 %. В последующие годы (2013–2016 гг.) промысловые показатели сохранялись на высоком уровне: запас – 196–267 т, РВ –

59–80 т, вылов – 26,1–67,0 т, освоение РВ – 31,8–113,6 %. В дальнейшем наблюдается тренд на снижение промысловых показателей. В 2024 г. объем запаса и РВ составил соответственно 170 т и 50 т, вылов и освоение РВ показали низкие значения – 0,7 т и 1,4 % соответственно. В исследуемый период также отмечаются динамические колебания полезной площади (167 – более 400 км^2) и плотности заселения (0,27–0,51 кг/м^2) колониями губки. С 2021 г. наблюдается устойчивое снижение данных величин и по состоянию на 2024 г. составляют соответственно – 118–387 км^2 и 0,21–0,39 кг/м^2.

Основным лимитирующим фактором, определяющим состояние популяции губки бадяги, плотность распределения и площадь распространения в водной акватории Астраханской области является естественный гидрологический режим р. Волги и алгоритм регулирования речного стока гидроузлами Волжско-Камского каскада (ГЭС). Низкие объемы воды и невысокая продолжительность весеннего половодья приводит к неполному залитию водоемов, что неблагоприятно сказывается на воспроизводстве и пополнении запасов пресноводной губки, способствует уменьшению плотности поселений и площади распространения. Недостаток воды в летне-осенний период, обусловленный жарой и засухой, а также ограничениями в объемах сброса воды ГЭС, также негативно сказывается на уровне заполнения естественных водоемов, скорости роста колоний бадяги и расширении полезной площади. Нестабильность водного режима и состояния популяции бадяги отражаются в многолетней динамике изменениями расчетных объемов запаса и рекомендованного вылова.

Низкие показатели вылова и освоения объема РВ обусловлены организационными причинами – неудовлетворительные условия и низкая интенсивность промысла. Наблюдаемый отрицательный тренд промысла тесно связан с количеством предприятий, задействованных в промысле бадяги. Так, в годы высокой интенсивности промысла количество добывающих предприятий достигало 3, тогда как в годы низкой интенсивности – 1. Невысокая плотность поселений губки в пределах рыболовных участков также может служить ограничением промысла добывающей организации и влиять на низкие показатели промысла.

Таким образом, за период 2010–2024 гг. в динамике наблюдаются колебания запасов и вылова губки бадяги, с 2021 г. по настоящее время – тенденция к снижению. Основной лимитирующий фактор, вызывающий изменения состояния запаса – нестабильность гидрологического режима по естественным и технологическим причинам.

Низкая интенсивность промысла губки бадяги в последние годы, обусловлена снижением количества добывающих организаций и, возможно, невысокой плотностью поселений гидробионта в пределах рыболовного участка.

Список литературы

Инструкции по сбору и первичной обработки материалов водных биоресурсов Каспийского бассейна и среды их обитания / Г. А. Судаков, А. Д. Власенко, Р. П. Ходоревская [и др.]. Астрахань : Изд-во КаспНИРХ, 2011. 233 с.

Неваленный А. Н., Сокольский А. Ф., Франов Н. А. Анализ продуктивности губки из семейства Spongillidae, произрастающей в водоемах реки Волги, в период регрессии Каспийского моря // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 2. С. 57–65.

Янченков В. П. История и современное состояние промысла пресноводной губки бадяги в водоемах Волго-Каспийского рыбохозяйственного подрайона // Рыбное хозяйство. 2014. № 4. С. 93–95.

УДК 930.25

ИСТОРИЯ ЭКСПЕДИЦИЙ КИБ НА НЕГАТИВАХ 1916–1930 гг. ИЗ СОБРАНИЯ БМ СО РАН

А. Б. Купчинский*, И. Г. Бухарова

Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл, пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
**Автор для переписки: albor67@mail.ru*

Аннотация. Байкальским музеем в 2022–2025 гг. проведена работа по оцифровке и атрибуции хранящихся в фондах негативов на стекле, сделанных в экспедициях Комиссии по изучению оз. Байкала (КИБ) 1916 г. под руководством В. Ч. Дорогостайского и 1925–1930 гг. под руководством Г. Ю. Верещагина. Негативы, повествуя о событиях и людях Байкальских экспедиций, позволяют дополнить и уточнить представление о данном академическом проекте. На снимках запечатлены географические точки Байкала, маршруты экспедиционных сезонов, а также быт коренного населения региона, работа рыбацких артелей, культовые объекты. Мемориальное значение имеют портреты ученых и их помощников.

Ключевые слова: история науки, Комиссия по изучению оз. Байкал, Г. Ю. Верещагин, фонды БМ СО РАН, негативы на стекле

В данной публикации речь пойдет о негативах на стекле 1916 и 1925–1930 гг. из собрания Г. Ю. Верещагина, которые хранились на Байкальской лимнологической станции, затем в библиотеке Лимнологического института, остались на хранении в Байкальском музее, став частью его фондовых коллекций. Основой для фотографий, которые довольно часто использовались и используются в публикациях по истории Байкальской экспедиции КИБ, в основном, были данные негативы. Фотографии стали частью материалов «свободного доступа» в системе Интернет, при этом имеются существенные ошибки в их представлении, отсутствуют указания на авторство и место хранения первоисточников. В настоящее время 427 исторических негативов, хранящихся в Байкальском музее, являются музейными предметами, зарегистрированными в Госкаталоге Музейного фонда Российской Федерации.

Называя музейную коллекцию негативов БМ СО РАН «собранием Г. Ю. Верещагина», укажем, что не он один являлся автором негативов. Главным фотографом экспедиций КИБ 1916 и 1925–1928 гг. можно считать профессора Московского университета К. И. Мейера, активными фотографами также были Н. С. Гаевская и Ф. В. Крогиус.

При этом необходимо иметь в виду, что для фотофиксации объектов авторами могли использоваться несколько стекол, т. е. источником фотографий могли стать разные негативы. Так, по всей видимости, обстоят дела с негативами К. И. Мейера, неразобранный фонд которого, по имеющейся информации, находится в Архиве МГУ. На кафедре, где он долгие годы работал, сохранились его фотографии как с тех негативов, которые есть в БМ СО РАН, так и с других байкальских снимков, которых в музейном собрании нет.

Большая часть негативов имеет номер, название, год съемки, указанные на этикетке (чаще всего запись произведена рукой Г. Ю. Верещагина). При этом номера вовсе не связаны с хронологией исследовательских работ, а показывают порядок поступления негативов в собрание Верещагина. В связи с этим неизбежны неточности и ошибки. Иногда Верещагин сам исправляет первоначальную запись о месте или годе снимка. Другие возможные неточности выявлены во время исследования негативов.

Возможность детально исследовать оцифрованные копии негативов позволяет, например, уточнить героев фотографий К. И. Мейера 1916 г., на которых, помимо В. Ч. Дорогостайского, его сына Дмитрия, М. П. Розанова присутствует, предположительно, этнограф Б. Э. Петри (№ 41566813, 41566822; здесь и далее указаны номера негативов в Госкаталоге Музейного фонда РФ).

Зная об участии в Байкальской экспедиции 1926 г. исследователя из Перми Г. М. Фридман, исправили ошибки в датировке фотографий с академиком Н. В. Насоновым (№ 47646103, 50336336, 50336348), который был на Байкале в 1926 г. с А. П. Римским-Корсаковым, а в 1927 г. с И. Е. Камневым.

Со всей определенностью после атрибуции можно утверждать, что В. И. Жадин, А. П. Щербаков были на Байкале в составе экспедиции КИБ только в 1926 г., тогда как С. И. Кузнецов принимал участие в экспедиции и в 1927 г. В связи с увлеченностью руководителя отряда К. И. Мейера фотографическим искусством осталось довольно много снимков участников экспедиции в самых интересных местах: у Котельниковских источников, у Нижнеангарска, на Фролихе, в Хакусах (№ 47646054, 47646067). Имеющиеся в нашем распоряжении снимки являются редкими и могут быть востребованы в историко-научных исследованиях, посвященных жизни и деятельности известных впоследствии лимнологов, руководителей гидробиологических станций.

Считаем, что главным результатом исследования негативов стало введение в научный обиход большого количества новых фотографических свидетельств. Это различные изображения Г. Ю. Верещагина, среди которых особенно примечателен его портрет начала экспедиционного сезона 1925 г. : за простым деревянным столом в пустой комнате Маритуйской базы (№ 43869085). Главным «персонажем» на негативах второй половины 20-х гг., несомненно, была юная Т. Б. Форш, оптимизмом, бодростью, трудолюбием которой, по-видимому, невозможно было не восхищаться. Выразителен образ Тамары Борисовны на фотографии в лодке в одной из селенгинских проток, где она находится среди участников экспедиции 1925 г. Н. П. Предтеченского, И. П. Сидорычева и Г. Ю. Верещагина (№ 43869124).

Два сезона среди участников Байкальской экспедиции находились художники. В 1928 г. в состав ихтиологического отряда вошел молодой московский художник Петр Яковлевич Караченцов, оставшийся на многочисленных негативах этого года (№ 55446580, 55446655). В 1929 г. в основной отряд экспедиции КИБ входил читинский художник Иван Павлович Сверкунов, чьи байкальские сюжеты сохранились в нескольких художественных музеях Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока.

На исторических негативах запечатлена работа рыбопромысловых артелей, быт тунгусов, религиозно-обрядовая жизнь коренного населения. Большой интерес у иркутских краеведов вызвали негативы с изображением «бурятских молелен» у подножия мыса Бурхан на Ольхоне (№ 50336319). Возможность «приблизить» объекты на цифровой копии негативов позволила увидеть надписи на санскрите и ритуальные флаги. Таким образом, стало очевидно, что сфотографированные учеными «молельные дома» имеют отношение к буддизму.

Атрибуция исторических негативов требует серьезной исследовательской работы, обращения к архивным материалам, документам эпохи, официальным отчетам Байкальской экспедиции КИБ Академии наук СССР. В этой работе Байкальский музей активно сотрудничает с Санкт-Петербургским филиалом Архива Российской академии наук (СПбФ АРАН), Научным архивом Иркутского научного центра (НА ИНЦ СО РАН), Библиотекой академии наук (БАН). Стеклянные негативы из собрания Глеба Юрьевича Верещагина дополняют имеющееся представление об истории экспедиций Комиссии по изучению оз. Байкала (КИБ), об ее участниках, обстоятельствах и маршрутах.

УДК 910.3

ОЗЁРА ЛАВИННОГО ВЫБИВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. ГОНАЧХИР, ЗАПАДНЫЙ КАВКАЗ)

Е. В. Кюль[1,2], М. М. Гедуева[1], Х. Ю. Гузиев[1], Е. А. Корчагина[1], З. С. Нирова[1]*

[1]Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Центр географических исследований (Россия, 360002, Нальчик, ул. Балкарова, 2)
[2]Национальный парк «Приэльбрусье» (Россия, 361603, Эльбрус, ул. Лесная 2Б)
**Автор для переписки: nirova1998@gmail.com*

Аннотация. Статья посвящена исследованиям озёр лавинного выбивания, связанных с широким развитием снежных лавин, являющихся важным фактором рельефообразования (на примере бассейна р. Гончхир, правого истока р Теберда, левого притока р. Кубань, Западный Кавказ, северный склон).

Ключевые слова: озёра лавинного выбивания, опасные природные процессы, снежные лавины, лавинная опасность

Введение. Большой Кавказ характеризуются широким развитием снежных лавин в высокогорной зоне, выраженной в рельефе серией хребтов и депрессий. При этом снежные лавины, как и другие ОПП, играют большую роль в рельефоообразовании, в т. ч. формировании т. н. моренных озёр и озёр лавинного выбивания. Озёра лавинного выбивания формируются обычно у подножия лавиноактивных склонах в отрицательных формах рельефа – ямах выбивания и достаточно широко распространены на Западном Кавказе. Как пример возьмем бассейн р. Гоначхир (рис.).

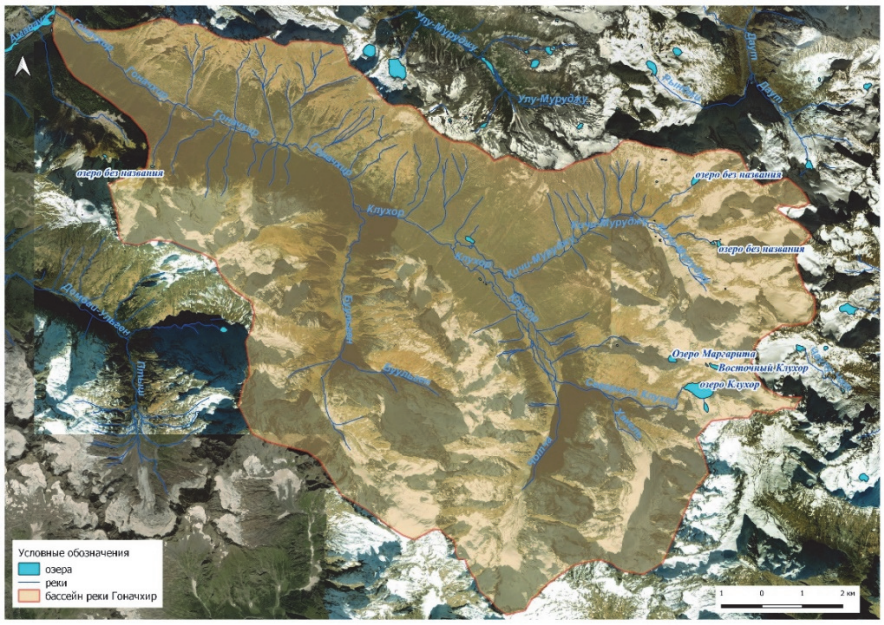


Рис. Основные озёра бассейна р. Гоначхир, правого истока р. Теберда, левого притока р. Кубань

Методы и материалы исследований. Был проведён анализ картографического материала и космоснимков. В дальнейшем результаты анализа были дополнены и уточнены результатами полевых исследований по подверженности территории опасным природным процессам (ОПП) [Куль, 2023].

Результаты исследований. *Характеристика снеголавинной деятельности.* В КЧР лавинные процессы распространены в основном в высокогорной части (в пределах Главного, Бокового и частично Передового хребтов), в частности, за счёт современного оледенения (350 ледников площадью почти 200 кв. км расположены в бассейнах рек Большой и Малый Зеленчук и Теберда). Всего в республике 179 участков с 3798 лавиносборами [Корчагина, 2021; Кюль, Борисова, 2016; Кюль, 2023]. Исходя из физико-географических особенностей местности (Кюль, Борисова, 2016) основными опасными процессами здесь являются снежные лавины. *Характеристика озёр выбивания.* Озёра лавинного выбивания имеют имеют округлую, эллипсоидальную или неправильную форм. Их размеры составляют обычно 1000–20 000 м^2 при глубине от 5 до 25 м. Со стороны, противоположной месту схода лавин, яму выбивания всегда оконтуривает грунтовый вал серповидной формы высотой 1–10 м. Со стороны лавинной воронки он всегда крутой и короткий, а с внешней стороны – более пологий и протяженный. Ямы выбивания образуются при ударе в одном и том же месте большой массы спресованного снега. При многочисленном воздействии снежных лавин (зачастую они прыгающие) яма углубляется и приобретает определённую форму [Ефремов, 1988; Корчагина, 2021; Кюль, Борисова, 2016; Кюль, 2023]. *Основные озёра бассейна р. Гоначхир*. На Западном Кавказе в Карачаево-Черкесской республике такие озёра встречаются в бассейне р. Гоначхир (правый исток р. Теберды) [Ефремов, 1988]. Здесь в общей сложности сосредоточено семь озер лавинного выбивания (табл.), а также имеются следы еще четырех угасших озерных водоемов аналогичного происхождения. Самое крупное из озёр лавинного выбивания – оз. Туманлы-Кёль, расположенное у правого борта долины р. Северный Клухор (правый исток р. Гоначхир) на высоте 1862 м. Площадь озера – 19,3 тыс. м ^{2}. Это озеро представляет из себя остаток подпрудного озера, имевшего длину до 5,5 км при ширине до 2 км, и образовано пятью снежными лавинами, которые при падении в акваторию водоема образовали ямы выбивания глубиной 23 и 14 м. Между ямами находится перемычка, на которой глубины составляют 2–3 м. При этом нижняя яма выбивания имеет почти округлую форму, которую образовала прыгающая лавина, а верхняя – вытянутую (её образовали 3 лавины. Противоположный склону берег озера возвышается над его уровнем на 1–2 м и представляет собой лавинный вал. В годы с активной лавинной деятельностью на нем всегда наблюдается скопление обломков горных пород различных размеров [Корчагина, 2021]. За последние 70–90 лет площадь озера уменьшилась на 3,6 %.

Выводы. Характерной особенностью большинства озер лавинного выбивания являются: 1) расположение у подножия лавиноактивных склонов; 2) определённая форма озера в зависимости от количества сходящих лавин; 3) уменьшение площади их за последние 70–90 лет всего на 115 %, в то время как остальные озерные водоемы сократились на 40–90 % , что обусловлено тем , что лавины, сходящие в озера, с одной стороны, увеличивают их глубину, с другой – уменьшают; так, лавины, сошедшие в оз. Туманлы-Кёль в 1963, 1976, 1978, 1979, 1991, 2002, 2014, 2021, 2024 гг., пробивали его лед и выплескивали часть воды вместе с обломками горных пород и прочими донными отложениями.

Список литературы

Ефремов Ю. В. Голубое ожерелье Кавказа. Л. : Гидрометеоиздат, 1988. 160 с.

Корчагина Е. А. Характеристика суточных сумм атмосферных осадков на Западном Кавказе // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2021. № 3. С. 25 – 32.

Кюль Е. В., Борисова Н. А. Лавинная деятельность в верховьях р. Теберда (Карачаево-Черкесская Республика) за период с конца XIX в. по начало XXI в. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2016. № 3 (71). С. 32–39.

Кюль Е. В. Геоэкологические исследования на территории Карачаево-Черкесской Республики за период с 2012 по 2023 годы : монография. Нальчик : Изд-во КБНЦ РАН, 2023. 287 с.

УДК 910.3

МОРЕННЫЕ ОЗЁРА И ОПАСНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Е. В. Кюль[1,2], М. М. Гедуева[1], Е. А. Корчагина[1], З. С. Нирова[1]*, З. Р. Байдаев[2], Д. Р. Джаппуев[1,2]

[1]Кабардино-Балкарский научный центр РАН, Центр географических исследований (Россия, 360002, Нальчик, ул. Балкарова, 2)
[2] Национальный парк «Приэльбрусье» (Россия, 361603, Эльбрус, ул. Лесная 2Б)
**Автор для переписки: nirova1998@gmail.com*

Аннотация. С моренными озёрами, образующимися в результате таяния ледников связаны напрямую гляциальнвые сели. Исследования посвящены таким катастрофическим явлениям, как прорыв моренных озер и оценка последствий схода гляциальных селей (на примере Башкаринских озёр, бассейн р. Адылсу, правого притока р. Баксан).

Ключевые слова: моренные озёра, опасные природные процессы, гляциальные сели, селевая опасность

Введение. Моренные озёра достаточно широко распространены на территории Кабардино-Балкарской Республики (КБР) (рис.) [Кюль, 2018, 2019].

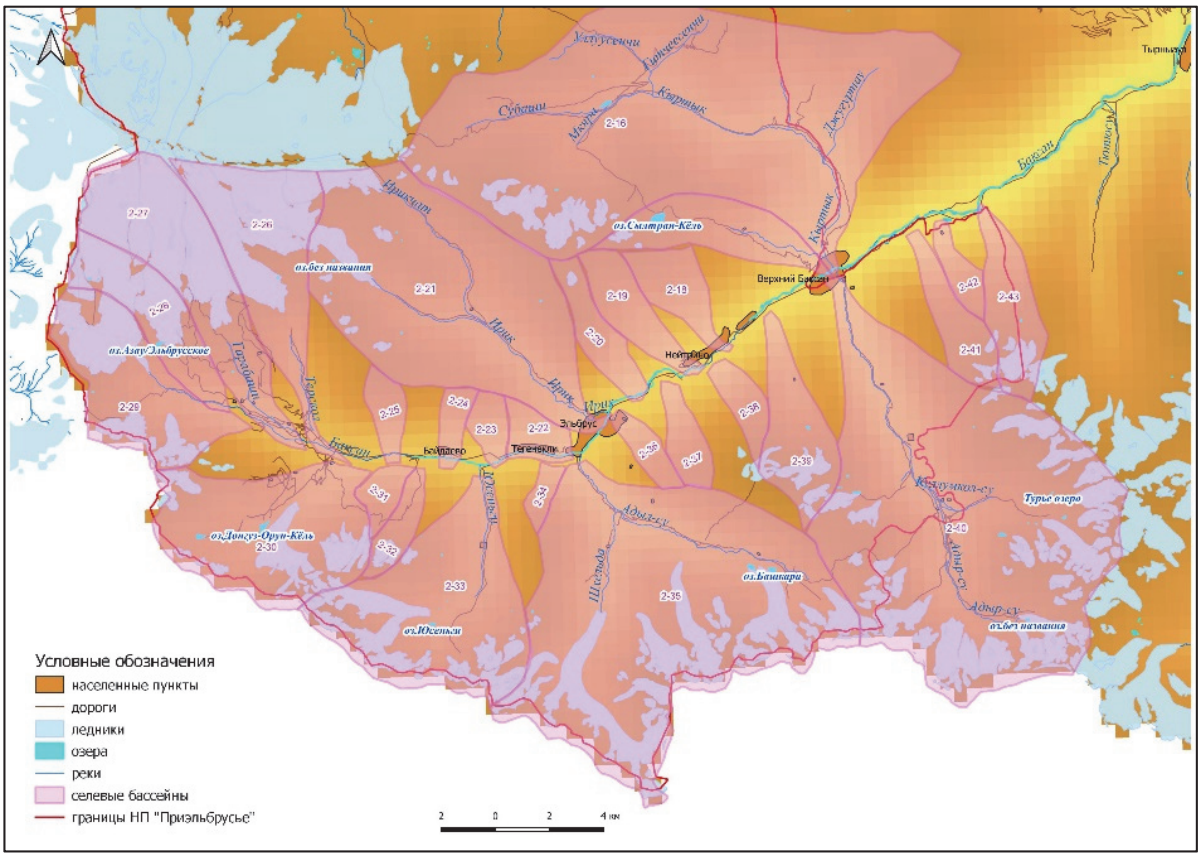


Рис. 1. Карта-схема расположения основных моренных озёр. Бассейн р. Баксан, верховья. Центральный Кавказ, северный склон. М 1:200 000

Основные моренные озёра: 1) оз. Сылтран – Кёль, р. Сылтрансу, ледник Сылтран; 2) оз. Безымянное, р. Ирик, ледник Ирикчат; 3) оз. Азау Эльбрусское (автор. название), р. и ледник Малый Азау; 4) оз. Донгуз-Орун – Кёль , р. Донгуз-Орун-Баксан, ледник Донгуз - Орун (Семёрка); 5) Юсюньги, р. и ледник Юсюньги; 6) Башкаринские озёра, р. Адылсу, ледник Башкара; 7) оз. Безымянное, р. и ледник Адырсу; 8) Турье оз., р. и ледник Куллумколсу.

Наиболее опасными считаются Башкаринские озёра, где прорывы бывают с периодичностью 1–10 лет (1958/59/66/75/77/79/83/95/97/2017) s (рис. 2). Последний сель такого типа сошёл на территории республики в сентябре 2017 г. в Эльбрусском районе по р. Адылсу, правому притоку р. Баксан (причины -резкое потепление и прорыв ледовой перемычки) (рис. 3) [Корчагина, 2019]. Оценка последствий схода катастрофического селя проводилась по данным полевых обследований. Основной метод: ландшафтная фотоиндикация. Сравнивались участки до и после схода селя.



Рис. 2. Озеро нижнее (Большое Башкаринское) – до схода села (слева),
после схода селя (справа). Практически остается в таких же размерах на 2025 г.



Рис. 3. Верхняя перемычка межу верхним и нижним озером
(слева 0, нижняя перемычка (начало селевого потока) (справа)



Рис. 4. Новое селевое русло с оползнево-селевым ландшафтом (слева)
и селевая долина перед альплагерем Джантуган. Все фото – Д. Р. Джаппуев, 2025 г.

Выводы. При сходе селя в ночь с 31 августа на 1 сентября 2017 г. образовалась т. н. зона чрезвычайной ситуации (ЗЧС), куда вошли :1) бассейн р. Адылсу без р. Шхельда длиной 12 км; 2) бассейн р. Баксан (от устья р. Адылсу до о. Комсомольское, ущелье Аламат, длиной 20 км). Пять посёлков и 27 турбаз оказались в зоне ЧС. Из-за размыва автодорог и разрушения мостов более 8 тыс. местных жителей и 500 туристов остались без света и отопления и были заблокированы в опасной зоне. Три человека погибли.

Список литературы

Беккиев М. Ю. Особенности динамики озёр у ледника Башкара (Центральный Кавказ) в 2023–2024 гг. // Успехи современного естествознания. 2019. № 4. С. 22–28.

Корчагина Е. А. Исследование температурного режима в горных районах Кабардино – Балкарии и Карачаево – Черкесии в 1951–2015 гг. // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т. 11, № 4 (42). С. 449–458.

Кюль Е. В. Формирование зон чрезвычайных экологических ситуаций при сходе катастрофических селей. // Ландшафтная география в XXI веке : матералы. Междунар. науч. конф. Симферополь, 11–14 сент. 2018 г. Симферополь : Ариал, 2018. С. 285–293.

Кюль Е. В. Геоэкологические исследования на территории Кабардино-Балкарской Республики за период с 2012 по 2018 годы : монография. Нальчик : Изд-во КБНЦ РАН, 2019. Т. 1 : Пространственные закономерности образования опасных экзогенных процессов. 172 с.

УДК 543.544.5.068.7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛКИЛБЕНЗОЛСУЛЬФОНАТОВ В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ СО ЛЬДА ОЗЕРА БАЙКАЛ В 2022 г. МЕТОДОМ ВЭЖХ-УФ

Е. О. Кялундзюга[1], И. В. Ханаев[2], А. А. Никонова[2]*

[1]Иркутский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2] Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: alenaxis@list.ru*

Аннотация. Предложена методика определения алкилбензолсульфонатов натрия (АБС) как наиболее распространенных и токсичных летучих анионных синтетических поверхностно-активных веществ в снегу методом высокоэффективной жидкостной хроматографии со спектрофотометрическим детектированием в УФ-диапазоне спектра в форме метиловых эфиров алкилбензолсульфокислот, полученных дериватизацией. Методика обеспечивает определение АБС на более низком уровне концентраций по сравнению с известными – от 16 нг/л до 10 мкг/л снеговой воды. Оценены повторяемость (V_r = 9,0 %) и внутрилабораторная прецизионность методики ($V_{Rл}$ = 15 %). Впервые проведено определение АБС в снегу со льда оз. Байкал. Суммарные концентрации гомологов С10–С13 варьировались от 0,20±0,03 до 59±8 мкг/л (n = 20). Максимальные концентрации найдены в прибрежной зоне вблизи пос. Листвянка, минимальные – в центральной котловине на значительном удалении от населенных пунктов.

Ключевые слова: линейные алкилбензолсульфонаты натрия, ВЭЖХ-УФ, Байкал, загрязнение снега, алкилбензолсульфокислота, триметилортоформиат

Одним из путей загрязнения природных вод химическими веществами является локальный, региональный и глобальный атмосферный перенос. Список летучих органических веществ, загрязняющих атмосферу, расширяется и на сегодняшний день согласно данным Агентства по загрязнению окружающей среды (Environmental Pollution Agency, EPA, США) в него входят десятки тысяч веществ. В этот список входит несколько сотен соединений класса сульфоновых кислот, в частности, бензолсульфокислот и их производных, что вызвано сильными кислотными свойствами (pH 1,2–1,4) этих кислот и сильными основными свойствами их солей (pH АБС достигает 10,0). Поверхностное натяжение σ АБС максимально среди синтетических сурфактантов и составляет 47 мН/м, в то время как σ наиболее известных мощных природных биосурфактантов не превышает 36 мН/м. Это обусловливает их токсичность и ставит в разряд веществ опасных и высокоопасных для водных экосистем согласно Программе ООН по окружающей среде [Linear … , 2005]. На сегодняшний день результаты анализа АБС в атмосфере и атмосферных осадках отсутствуют в мировой литературе по причине отсутствия подходящих методик анализа. Целью данной работы является разработка методики определения АБС в снегу методом высокоэффективной жидкостной хроматографии со спектрофотометрическим детектированием в УФ-диапазоне спектра (ВЭЖХ-УФ) в форме метиловых эфиров алкилбензолсульфокислот и оценка загрязнения снегового покрова со льда оз. Байкал.

Отбор проб снега проводили в ходе ледовой экспедиции в трех котловинах оз. Байкал с 17.03.2022 по 23.03.2022. Снег хранили до анализа при −20 °С. Снеговую воду после разморозки пропускали через мембранные фильтры типа МФАС-ОС-2 с размером пор 0,45 мкм. Экстракцию АБС с фильтров проводили в ультразвуковой ванне этиловым спиртом (2 см^3 × 2 × 2 мин). Экстракт центрифугировали при 12 000 об. /мин. Супернатант объединяли с профильтрованной водой. Твердофазную экстракцию АБС из проб проводили на патронах Discovery DSC-18 SPE метанолом. Растворитель отгоняли. Эстерификацию АБС проводили с использованием триметилортоформиата в присутствии трифторуксусной кислоты как описано ранее [Efficient … , 2023; Thin-Layer … , 2024]. Избыток реагентов из реакционной смеси отгоняли в токе аргона при 60 °С. Сухой остаток перерастворяли в

0,2 см^3 *н*-гексане и проводили твердофазную очистку на патронах с силикагелем Discovery DSC–Si. Конечные пробы в ацетонитриле анализировали методом ВЭЖХ-УФ на жидкостном хроматографе «Милихром А-02» (ЭкоНова, Россия) с ультрафиолетовым детектором и набивной микроколонкой Prontosil 120-5 C18AQ Ø 2 мм, L = 75 мм, N ~ 5000 т. т. Элюенты: MeCN, H_2O. T = 80°C.

Показано, что при экстракции АБС из твердой взвеси снеговой воды с использованием ультразвука достаточно проведения одной единственной экстракции с извлечением аналитов ~98 %. С помощью метода ГХ-МС показана необходимость проведения трехстадийной очистки проб (твердофазная экстракция на обращенной фазе С18, смена полярности аналитов путем метилирования экстрактов и их доочистка на силикагеле), отличающейся высокой эффективностью. Оценены уровни АБС в снеговом покрове со льда оз. Байкал от 0,20±0,03 до 42±6 мкг/л снеговой воды. Максимальные значения характерны для станции, расположенной в 500 м от устья р. Крестовка (пос. Листвянка). Установлен качественный состав АБС в снеговом покрове оз. Байкал, который характеризуется неоднородностью состава гомологов С10–С13 от пробы к пробе. Для проб, отобранных вблизи населенных пунктов состав гомологов наиболее схож с составом технической смеси АБС. В пробах, удаленных от поселений, преобладают фракции более легких гомологов С10 и С11.

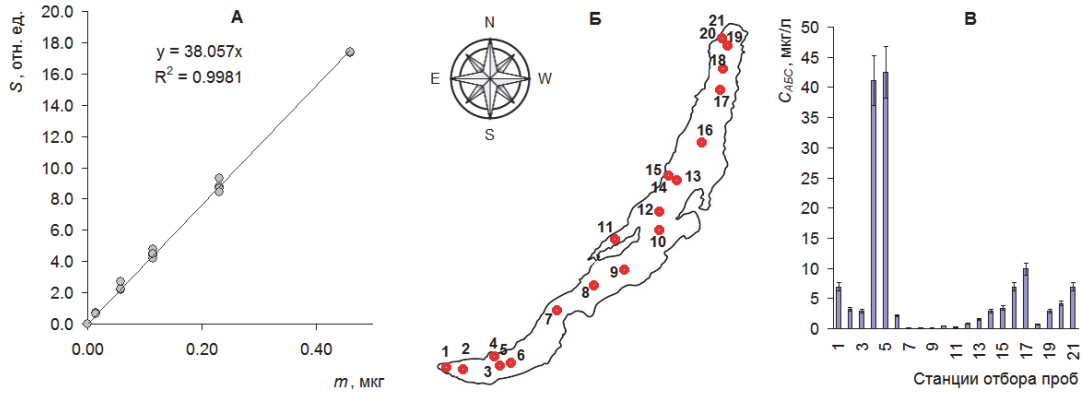


Рис. *А* – калибровочная зависимость площади пиков *S* от суммарного содержания метиловых эфиров алкилбензолсульфокислот в калибровочных растворах; *Б* – схема станций отбора проб снега со льда оз. Байкал в марте 2022 г. ; *В* – концентрации линейных алкилбензолсульфонатов натрия ($C_{АБС}$, мкг/л) в снеговой воде

Благодарности. Исследование выполнено в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ № 0279-2021-0005 «Исследование трансформации водоемов и водотоков Восточной Сибири...».

Список литературы

Efficient and green esterification approach for determining of sodium alkylbenzene sulfonates in dry extracts / A. A. Nikonova, A. G. Proidakov, A. V. Rokhin [et al.] // Talanta Open. 2023. N 8. Art. 100238. DOI: 016/j.talo.2023.100238

Linear alkylbenzene sulfonates. SIDS Initial Assessment Report for 20th SIAM. UNEP Publ., Paris, France, 19–21 April, 2005. P. 1–357.

Thin-Layer Chromatography of Methylated Derivatives of Linear Alkylbenzene Sulfonates in Water Analysis by Gas Chromatography–Mass Spectrometry / A. A. Nikonova, E. F. Rokhina, O. Yu. Glyzina [et al.] // J Anal Chem. 2024. Vol. 79. P. 1616–1623. DOI: 10.1134/S1061934824701041

УДК 597.551.2:476

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ЩИПОВОК СЕМЕЙСТВА COBITIDAE БАССЕЙНОВ РЕК ДНЕПР И ПРИПЯТЬ БЕЛАРУСИ

К. Б. Левина*, Е. С. Гайдученко

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам
(Республика Беларусь, 220072, Минск, ул. Академическая, 27)
**Автор для переписки: levin_kristina@biobel.by*

Аннотация. На основании митохондриального гена цитохром оксидазы (*COX1*) проведен филогенетический анализ щиповок родов *Cobitis* и *Sabanejewia* из рек Днепр и Припять на территории Беларуси. Показано, что исследованные нами особи относятся к кластерам *C. taenia* и *S. baltica*.

Ключевые слова: щиповка, *Cobitis taenia*, *Sabanejewia baltica*, ген цитохром оксидазы (*COX1*), Припять, Днепр

Щиповки семейства Cobitidae отличаются большим видовым разнообразием мелких вьюновых рыб, обитающие в пресноводных медленнотекущих водных объектах Европы, Азии и Северной Африки. В 1982 г. В. П. Васильев и Е. Д. Васильева [1982] впервые открыли диплоидно-полиплоидный комплекс у щиповок рода *Cobitis* и с тех пор щиповка стала объектом многочисленных молекулярно-генетических и таксономических исследований.

По данным П. И. Жукова [1989] на территории Беларуси обитают два вида щиповок – обыкновенная *Cobitis taenia* и балтийская щиповка *Sabanejewia baltica*. По территории Беларуси проходит Черноморско-Балтийский водораздел, ввиду чего гидрографическая сеть примерно поровну делит всю территорию на два бассейна – Черного и Балтийского моря. Наличие водораздела, развитая межбассейновая гидрографическая сеть, присутствие крупных трансграничных водотоков (Днепр, Припять, Сож, Западный Буг, Западная Двина, Ловать), а также обитание на сопредельных территориях таких видов как *C. tanaitica* и *C. elongatoides*, позволяет предположить возможность проникновения в водные объекты Беларуси и других представителей семейства Вьюновых.

Рыбы были отловлены в водных объектах Беларуси: 13 образцов из р. Припять и 15 образцов из р. Днепр. Для получения целевого фрагмента митохондриального гена *COX1* использовался коктейль праймеров [Universal … , 2007].

Всего в полный анализ для данной работы было включено 74 последовательности фрагмента гена *COX1* обыкновенной *C. taenia*, донской *C. tanaitica*, дунайской *C. elongatoides* и балтийской *S. baltica* щиповки, в том числе 28 образцов, полученных нами из рек Припять и Днепр. Для всех обнаруженных образцов была построена медианная сеть гаплотипов (рис. 1) и филогенетическое дерево (рис. 2), построенное при помощи модели GTR+G+I на основе байесовских апостериорных вероятностей.

По результатам проведенного анализа фрагмента гена *COX1* у 74 особей щиповок обнаружено 13 гаплотипов (рис. 1).

Анализ филогенетического дерева, построенного на основании гена *COX1*, четко показывает наличие нескольких кластеров: в первый кластер входит обыкновенная щиповка *C. taenia*, в который встроились наши образцы, а второй кластер включает два вида – дунайскую *C. elongatoides* и донскую *C. tanaitica* щиповок (рис. 2). Образцы из рек Припять и Днепр встроились к кластеру *C. taenia*, а один из них – к виду *S. baltica*.

Исходя из полученных результатов анализа филогенетического дерева видов семейства Cobitidae, построенного на основе байесовских апостериорных вероятностей фрагмента гена *COX1*, установлено присутствие в бассейне рек Припять и Днепр особей, принадлежащих к кластерам *C. taenia* и *S. baltica.*

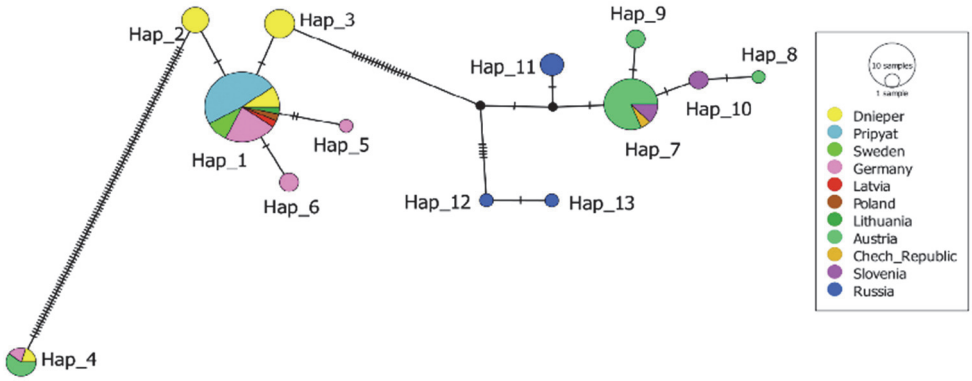


Рис. 1. Медианная сеть гаплотипов щиповок семейства Cobitidae, построенная в ходе анализа фрагмента гена *COX1* (алгоритм MJN, PopArt)

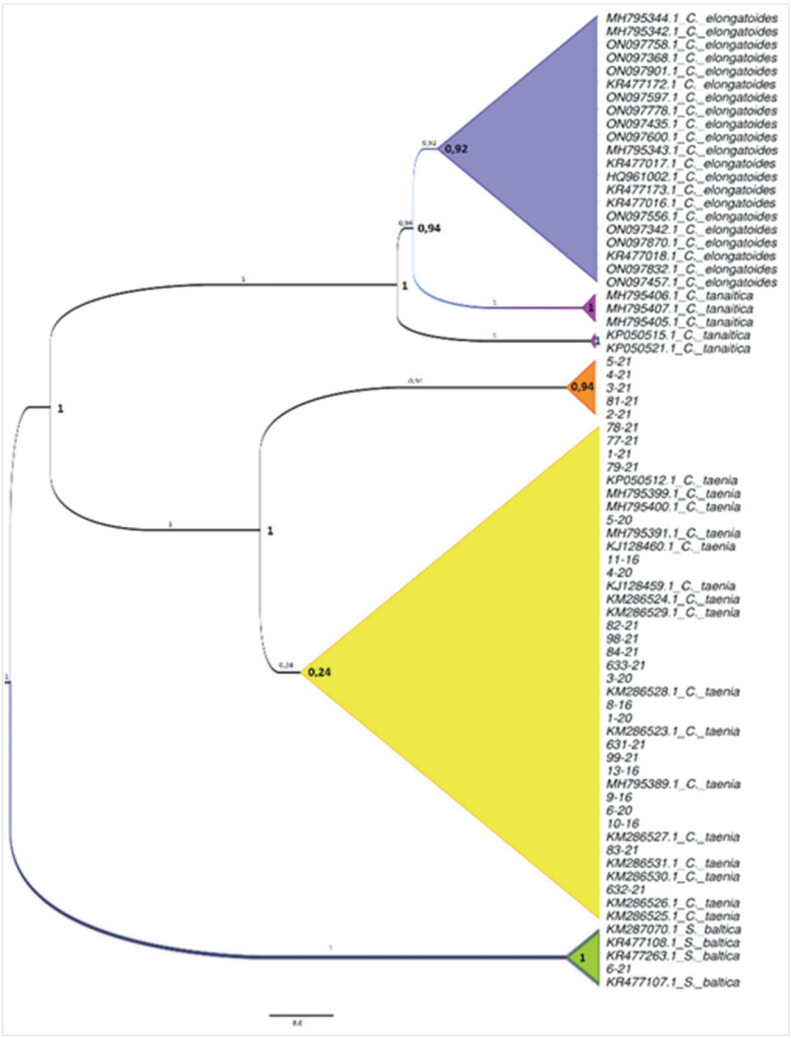


Рис. 2. Филогенетическое дерево щиповок семейства Cobitidae, построенное на основе байесовских апостериорных вероятностей фрагмента гена *COX1* (модель GTR+G+I)

Список литературы

Васильев В. П., Васильева Е. Д. Новый диплоидно-полиплоидный комплекс у рыб // Доклады АН СССР. 1982. Т. 266, № 1. С. 250–252.

Жуков П. И. Рыбы: популярный энциклопедический справочник. Минск : Белорус. сов. энцикл., 1989. 310 с. (Животный мир Белоруссии)

Universal primer cocktails for fish DNA barcoding / N. V. Ivanova, T. S. Zemlak, R. H. Hanner, P. D. N. Hebert // Molecular Ecology Notes. 2007. Vol. 7, N 4. P. 544–548. DOI: 10.1111/j.1471-8286.2007.01748.x

УДК 574.5

СТРУКТУРА ЖИВОГО И МЕРТВОГО ЗООПЛАНКТОНА В МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ОЗЕРАХ ХАКАСИИ

А. А. Лемешева *

Сибирский федеральный университет
(Россия, 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79)
**Автор для переписки: alemeshevaa@mail.ru*

Аннотация. Исследована структура зоопланктонных сообществ, включая количественное соотношение живых и мертвых особей, в пяти озёрах Республики Хакасия с градиентом минерализации от 1,6 до 15,4 г/л. Работа основана на комплексном применении трех методов учета: традиционной камеральной обработки, цифрового анализа сканированных проб и подводной видеосъемки *in situ*. Установлено, что градиент солености определяет таксономический состав сообществ зоопланктона и является одним из ключевых факторов, регулирующих уровень нехищной смертности. Выявлена прямая статистически значимая зависимость между минерализацией воды и относительной долей мертвых особей зоопланктона.

Ключевые слова: живой и мертвый зоопланктон, соленость, озёра Хакасии, нехищная смертность, цифровые методы, подводная видеосъемка зоопланктона

Внутренние соленые водоемы представляют собой уникальные экосистемы, функционирование которых во многом определяется уровнем минерализации, выступающим как мощный лимитирующий фактор. Зоопланктон, являясь центральным звеном пелагических трофических цепей, чутко реагирует на изменения абиотических условий. Однако оценка состояния сообществ зоопланктона традиционно фокусируется на таксономической структуре и биомассе, тогда как функциональные аспекты, в частности уровень нехищной смертности, остаются малоизученными. Данная работа впервые для минерализованных озер юга Сибири представляет количественную оценку доли мертвых особей зоопланктона и анализирует ее связь с градиентом солености.

Исследования проводились в июне 2024 г. на пяти озёрах северной части Республики Хакасия: стратифицированных меромиктических озёрах Шира и Шунет, стратифицированном оз. Власьево, а также мелководных гомотермных озёрах Утичье-1 и Красненькое. Для комплексной оценки структуры сообществ зоопланктона был применен трехкомпонентный методический подход. Отбор проб зоопланктона проводился сетью Джеди и сетью Апштейна (в мелководных озёрах) (ячея 82 мкм) с последующей окраской анилиновым голубым водорастворимым для дифференциации живых и мертвых рачков [Дубовская, 2008]. Количественный учет проводился тремя способами: 1) цифровым методом посредством сканирования окрашенных проб и последующей обработкой изображений в программе ImageJ/Fiji [Ёлгина, Толомеев, Дубовская, 2022]; 2) стандартной камеральной обработкой; 3) с применением проточной подводной видеосистемы ZooFluoBox [Analysis … , 2025].

Анализ показал, что структура сообществ четко детерминирована градиентом минерализации. В высокоминерализованных озёрах Шира и Шунет (>10 г/л) абсолютно доминировал галофильный веслоногий рачок *Arctodiaptomus salinus*, а представители Cladocera отсутствовали. По мере снижения солености в озёрах Власьево, Утичье-1 и Красненькое (<5 г/л) видовое разнообразие возрастало за счет появления ветвистоусых рачков (*Daphnia cf. longispina*, *D. magna* и *Chydorus sphaericus*), что согласуется с общими закономерностями для соленых озер [Влияние … , 2021].

Ключевым результатом работы стало установление прямой статистически значимой зависимости между относительной долей мертвых особей и общей минерализацией воды, оцененной по удельной электропроводности (рис.). В стратифицированных озёрах Шира и Шунет наблюдалась аккумуляция мертвых организмов зоопланктона в металимнионе, где их доля достигала 8,5–15,5 %. В менее соленом оз. Власьево наибольшая доля мертвого зоопланктона наблюдалась в гиполимнионе (9,3 %). В наиболее распресненных мелководных и

хорошо прогреваемых озёрах Утичье-1 и Красненькое доля мертвых особей была минимальной (1,5–5 %), что, вероятно, связано с высокой скоростью бактериальной деградации и седиментации. Сопоставление методов учета продемонстрировало высокую сходность результатов цифрового и традиционного подходов ($p > 0,05$), что указывает на применимость сканирования проб зоопланктона как экспресс-метода для количественной оценки. Обработка результатов подводной видеосъемки позволила получить детальные вертикальные профили распределения живого зоопланктона, однако может недооценивать численность мертвых особей.

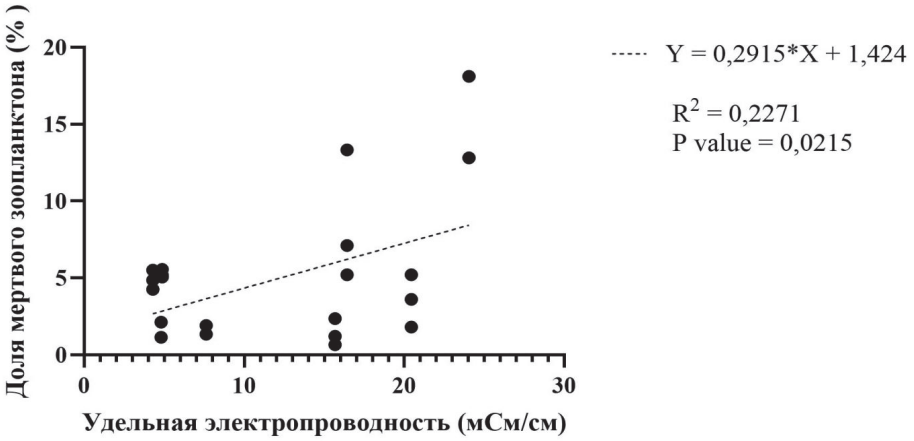


Рис. Зависимость относительного содержания мертвого зоопланктона от удельной электропроводности в исследованных озёрах

Таким образом, исследование показало, что соленость является фактором, определяющим не только видовую структуру сообществ зоопланктона, но и напрямую влияющим на уровень смертности зоопланктона в минеральных озёрах. Комплексное применение современных и традиционных методов позволило получить более полное и достоверное представление о состоянии зоопланктонных сообществ.

Список литературы

Влияние солености и биогенной нагрузки на экосистемы ряда озер юга Сибири / Е. С. Задереев, А. В. Дроботов, А. П. Толомеев [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2021. Т. 14, № 2. С. 133–153.

Дубовская О. П. Оценка количества мертвых особей рачкового зоопланктона в водоеме с помощью окрашивания проб анилиновым голубым: методические аспекты применения // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2008. Т. 1, № 2. С. 145–161.

Ёлгина О. Е., Толомеев А. П., Дубовская О. П. Компьютерная обработка и анализ сканированных проб зоопланктона: методические рекомендации // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2022. Т. 15, № 1. С. 5–30.

Analysis of dead zooplankton content in saline lakes of South Siberia (Republic of Khakassia) and perspectives of its assesment by underwater video survey method / A. P. Tolomeev, O. P. Dubovskaya, A. V. Drobotov [et al.] // Journal of Siberian Federal Unoversity. Biology. 2025. Vol. 18 N 1. P. 98–115.

УДК 550.47

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА КОТОКЕЛЬ (ВОСТОЧНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Г. А. Леонова*, А. Е. Мальцев, С. К. Кривоногов

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН
(Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3)
** Автор для переписки: leonova@igm.nsc.ru*

Аннотация. Озеро Котокель расположено на юго-восточном побережье Среднего Байкала. Основными продуцентами автохтонного органического вещества донных отложений озера являются различные группы фитопланктона и цианобактерии, которые формируют низкозольный планктоногенный сапропель. Впервые установлено распределение широкого спектра химических элементов (22) по 14,5-метровому разрезу отложений оз. Котокель. Особенностью планктоногенного сапропеля (0–810 см) является высокое содержание Si (14,4–23,3 %), что помимо терригенной компоненты обусловлено наличием биогенного кремния (большое количество створок диатомовых водорослей). Самые верхние интервалы сапропеля (0–30 см) характеризуются повышенными содержаниями Cu (105–170), Zn (225–270) и Pb (7,2–11,5 мг/кг), что вероятно обусловлено загрязнением современной атмосферы Прибайкалья. Интервал 0–187 см имеет более высокие средние содержания Fe (4,33 %) в сравнении с нижележащими горизонтами сапропеля (2,53 %). Минеральные отложения (800–1400 см) характеризуются более высокими концентрациями терригенных элементов, что обусловлено ростом глинистой компоненты.

Ключевые слова: геохимия, органическое вещество, сапропель, возраст отложений, цианобактерии, диатомовые водоросли

Озеро Котокель занимает большую часть Котокельской впадины, расположенной на юго-восточном побережье Среднего Байкала. Длина озера составляет 15 км, средняя ширина – 4,6 км, средняя глубина – 4,0–4,5 м (максимальная 14 м), площадь акватории – 70 км^2, площадь водосбора – 183 км^2. По низкому показателю удельного водосбора (2,6) относится к аккумулятивным водоемам [Озеро … , 2013]. Основным продуцентом автохтонного органического вещества (ОВ) донных отложений являются различные группы фитопланктона и цианобактерии, которые формируют низкозольные осадки – сапропели планктонного генезиса. Так, проба из прибрежной зоны озера характеризовалась абсолютным доминированием цианобактерии *Microcystis aeruginosa* (>99 %), которая создавала пленку «цветения» воды [Методический … , 2019].

В сентябре 2012 г. в центральной части озера (52°79'50" с. ш., 108°13'39" в. д.) с понтонной установки пробурена скважина и получен ненарушенный керн длиной 14,5 м. Калиброванный возраст сапропелевой толщи (0–760 см) по данным AMS-датирования керна оценивается в 13,3 тыс. л. н.

Впервые установлено распределение широкого спектра химических элементов (22) по 14,5-метровому разрезу отложений оз. Котокель (рис.). Особенностью органогенных отложений (0–810 см) является высокое содержание Si (14,4–23,3 %), что помимо терригенной компоненты обусловлено наличием большого количества створок диатомовых водорослей, т. е. планктоногенный сапропель обогащен биогенным кремнием. Самые верхние интервалы сапропеля (0–30 см) характеризуются повышенными содержаниями Cu (105–170), Zn (225–270) и Pb (7,2–11,5 мг/кг), что вероятно обусловлено загрязнением современной атмосферы Прибайкалья. Интервал 0–187 см имеет более высокие средние содержания Fe (4,33 %) в сравнении с нижележащими горизонтами сапропеля (2,53 %). Интервалы высокозольного карбонатного сапропеля (610–810 см) характеризуются повышенными содержаниями Ca, Sr и Mn. Источником кальция являются осаждавшиеся в озере аутигенные карбонаты ($Ca_{аут}$ = 5,1–9,6 %). Для низкозольного сапропеля основным источником кальция является вещество терригенного происхождения ($Ca_{тер}$ = 0,43–1 %), содержание аутигенного кальция незначительно ($Ca_{аут}$ < 1 %). Нижние интервалы разреза (800–1400 см), представленные минеральными отложениями, имеют более высокие концентрации $Ca_{тер}$ на уровне 1,4–3,7 %, а также Si, Al, K, Na, Ti, Zr, Ni, Li, Mg, Pb, Ba, что обусловлено ростом глинистой компоненты.

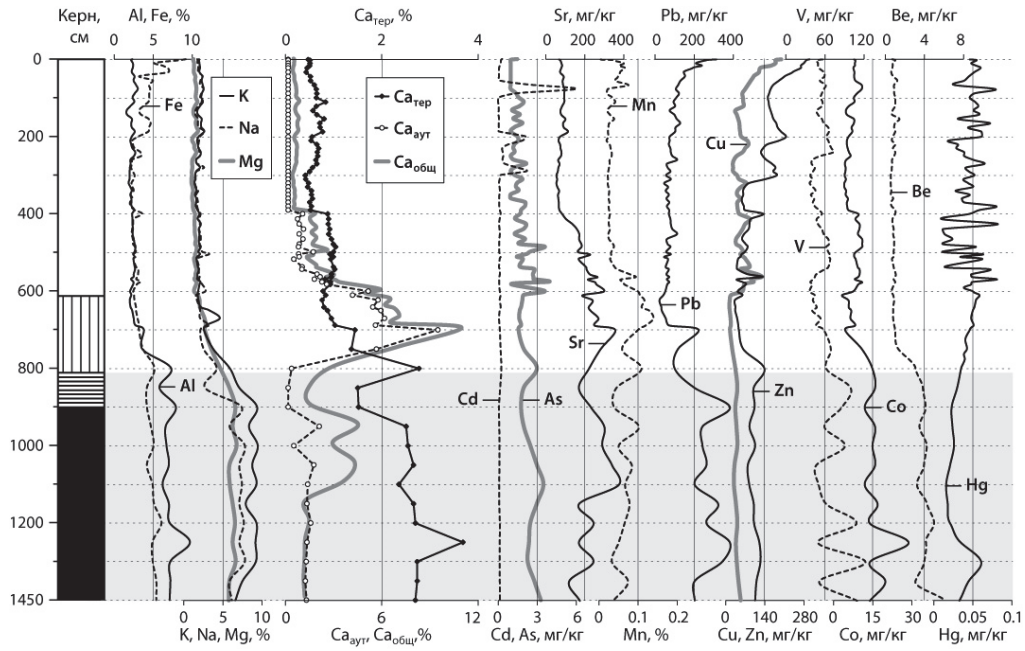


Рис. Распределение химических элементов по разрезу донных отложений оз. Котокель. Элементы определены методом ААС. Терригенный и аутигенный Ca рассчитаны согласно: $Ca_{тер} = (Al_{обр.}/Al_{з.к.}) \times Ca_{з.к.}$, где, $Al_{обр.}$ – содержание Al в отдельном горизонте озерных отложений, $Al_{з.к.}$ – содержание Al в верхней континентальной коре, $Ca_{з.к.}$ – содержание Ca в верхней континентальной коре (Wedepohl, 1995). Разность между общим кальцием ($Ca_{общ}$) и терригенным $Ca_{тер}$ показывает вклад аутигенного $Ca_{аут}$.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 11-05-00655 А и № 18-35-00072 мол_а. Работа выполнена по государственному заданию Института геологии и минералогии СО РАН (проект № 122041400193-7) в Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Список литературы

Методический подход к выявлению источников и генезиса захороненного органического вещества в голоценовых разрезах озерных сапропелей (юг Западной Сибири и Восточное Прибайкалье) / Г. А. Леонова, Т. А. Копотева, В. Н. Меленевский [и др.] // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 11. С. 1602–1626.

Озеро Котокельское: природные условия, биота, экология / отв. ред. Н. М. Пронин, Л. Л. Убугунов. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. 340 с.

Wedepohl K. H. The composition of the continental crust // Geochim. Cosmochim. Acta. 1995. Vol. 59. P. 1217–1232.

УДК 556.114.6:550.42

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОД РЕКИ МЗЫМТА В РАЗНЫЕ ФАЗЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА, ЧЕРНОМОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИИ

П. С. Лесникова*, Л. В. Захарихина

Субтропический научный центр РАН (Россия, 354000, Сочи, ул. Театральная, 8А)
**Автор для переписки: lesnikovaps@yandex.ru*

Аннотация. С целью установления преимущественных источников поступления химических элементов в р. Мзымта изучены содержания широкого спектра элементов в ее водах в половодье и межень. В половодье воды реки относительно средних содержаний в речной воде континентов (Кларков) обогащены 36 химическими элементами, в межень – 16. Активное поступление микроэлементов в воды реки в половодье обусловлено обильным почвенным стоком и их способностью к комплексообразованию. Максимальные содержания элементов в речных водах для обеих фаз водного режима наблюдаются в среднем ее течении, где выражены зоны рудной минерализации, и в нижнем, где повышенное влияние на состав речных вод оказывает природно-техногенный фактор.

Ключевые слова: геохимия, состав вод, микроэлементы, Мзымта, половодье, межень

В результате выветривания горных пород в природные воды поступают различные вещества. Пространственные и временные изменения концентраций растворенных веществ в речной воде связаны с расходом потока. Изучение динамики химического состава рек в разных гидрологических условиях позволяет делать выводы о источниках поступления элементов.

Река Мзымта берет свое начало на высоте 1838 м над у. м. из оз. Кардывач и впадает в Черное море. Заложено 8 ключевых точек наблюдения (т. н.), которые характеризуют участки долины реки с различными горными породами. В межень отобрано 24 пробы, в половодье – 48 проб. Методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП) изучены содержания 70 химических элементов. В долине р. Мзымта развиты контрастные горные породы [Лаврищев, Пруцкий, Семенов, 2002], а также различные типы минерализации и оруденения [Богуш, Черкашин, 2012; Газеев, Гурбанов, Кондрашов, 2018; Карелина, Марков, Блоков 2017]. Для содержаний элементов в водах р. Мзымта рассчитаны их кларки концентраций $К_К$. Элементы с $К_К < 1$ – дефицитные, с $К_К > 1$ –избыточные. Для выявления различий химического состава в разные фазы водного режима реки рассчитаны коэффициенты концентраций элементов $К_{ср}$ на всем протяжении ее течения относительно их средних содержаний в течение года.

Практически все изученные элементы в водах верховья реки (т. н. Мз 1а, 1) дефицитные, что обусловлено преимущественным вкладом в формирование истока реки талых вод ледников и снежников. Точка наблюдения Мз 2 расположена в районе впадения в р. Мзымта одного из крупнейших ее притоков – р. Пслух, водосбор которого развит в зоне полиметаллической и золоторудной минерализации [Лаврищев, Пруцкий, Семенов, 2002]. Здесь происходит резкий рост $К_К$ As, Pb, Fe, Cs, РЗЭ, Al, V, Li, Ti, Cu, Rb, Zn. В т. н. Мз 3 (ниже от поселков Красная Поляна и Эсто-Садок) уменьшаются $К_К$ As, B, Cs, Ti, V, РЗЭ, Fe, Cu, Pb, Li, Al из-за разубоживания вод р. Мзымта водами левобережных притоков. Наблюдается увеличение $К_К$ Ca, Sr, Mn, S, Mg, Na, а также общей минерализации и содержаний основных ионов, что обусловлено природно-техногенным фактором, который связан с наличием уже построенных и строящихся объектов. Все они включают лишенные почвенно-растительного слоя техногенные площадки и осыпи, дорожные, железнодорожные и иные строительные насыпи, сложенные размельчёнными горными породами, которые активно подвергаются процессам выветривания [Захарихина, 2024; Литвиненко, Захарихина, 2022]. Присутствие в составе перечисленных элементов Ca, Sr, Mg указывает на то, что материал для отсыпки этих объектов добывался в ареале карбонатных пород. Долина реки

ниже по течению (т. н. Мз 5–8) вплоть до ее устья развита в ареале мергелей и известняков [Лаврищев, Пруцкий, Семенов, 2002]. За счет редкометалльно-редкоземельной специализации пород происходит насыщение ее вод РЗЭ, $К_К$ которых в межень на этом участке реки достигают максимальных значений. В половодье воды реки отличаются более разнообразным составом избыточных химических элементов. Значения $К_К > 1$ характерны для РЗЭ, Fe, Mn, Cs, Co, Al, Ga, P, Pb, Cd, As, V, Ti, Ge, Cr, Li, Ni, Sr, Zn, Ca, Ag, Sn, что обусловлено значительным вкладом поверхностного стока в питание реки. Во время половодья изменения химического состава вод реки нивелируются за счет расхода. Различия в «режимной» динамике состава вод р. Мзымта проявляются в вариациях $К_{ср}$ для двух групп химических элементов. Первая группа – РЗЭ, Cd, Ag, Fe, Th, Ni, Al, Pb, Co, Mn, Zn, Cu, Ga, Tl, Ti, Cs, V, Zr, Be, Cr, As, Ba, Li, Sn, Rb, Ge, U, Bi, Sb, K, Si, Na – элементы которые поступают в речные воды с обильным поверхностным стоком в составе органических и неорганических комплексов, а также с Fe-Al коллоидами. Поступление элементов второй группы – S, Ca, B, Sr, Mo, W, Mg – связано с горными породами и преимущественным питанием подземными водами.

В контрастных геологических условиях преимущественное влияние на состав вод р. Мзымта оказывает ареал нейтральных аргиллитов, расположенный в ее верхнем течении и занимающий большую часть водосбора, а также различные типы минерализации и оруденения. Вариации химического состава вод р. Мзымта связаны с фазами водного режима – половодьем и меженью. В половодье воды реки имеют существенно более богатый элементный состав, чем в межень. Выявление двух групп элементов, поступление которых связано с разными фазами водного режима, позволяет при мониторинге исключить фактор возможного техногенного загрязнения при повышенных содержаниях элементов первой группы в половодье и второй группы в межень.

Благодарности. Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СНЦ РАН по теме «Эволюция окружающей среды и климата вследствие естественных причин и антропогенного воздействия» (FGRW-2024-0004, № госрегистрации 124022000094-8).

Список литературы

Богуш И. А., Черкашин В. И. Металлогения юрских осадочных комплексов Кавказа // Труды Института геологии Дагестанского НЦ РАН. 2012. № 58. С. 7–13.

Газеев В. М., Гурбанов А. Г., Кондрашов И. А. Палеогеновая базальт-трахитовая формация Западного Кавказа: геохимическая специфика, вопросы петрогенезиса, геодинамическая типизация, металлогения // Геология и геофизика Юга России. 2018. № 4. С. 18–32.

Захарихина Л. В. Особенности формирования элементного состава почв в контрастных геологических условиях (р. Мзымта, Черноморское побережье России) // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. 2024. № 4(64). С. 37–49.

Карелина Е. В., Марков В. Е., Блоков В. И. Перспективность Краснополянского района города Сочи на благороднометалльное оруденение // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2017. Т. 18. № 4. С. 497–504.

Лаврищев В. А., Пруцкий Н. И., Семенов В. М. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 1: 200 000. Сер. Кавказская. Л. К-37-V. Изд. 2-е. СПб. : ВСЕГЕИ, 2002.

Литвиненко Ю. С., Захарихина Л. В. Геохимия и радиоэкология вод и донных отложений р. Мзымты Черноморского побережья // Геохимия. 2022. Т. 67, № 4. С. 376–393.

УДК 574.587:595.36

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКИХ ИНВАЗИЙ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ БЕЛАРУСИ

Т. П. Липинская*, В. П. Семенченко

Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам
(Беларусь, 220072, Минск, ул. Академическая, 22)
**Автор для переписки: tatsiana.lipinskaya@gmail.com*

Аннотация. Проблема биологических инвазий на сегодняшний день является одной из самых главных в свете глобального изменения климата и снижения биоразнообразия. Обобщение результатов проведенных ранее работ по чужеродным видам водных позвоночных показало, что решение ряда вопросов требует не только дополнительных научных исследований, но и разработки национальной стратегии по инвазивным видам.

Ключевые слова: чужеродные виды, водные беспозвоночные, пресноводные экосистемы

Вселение инвазивных видов признано одним из пяти основных прямых факторов снижения биоразнообразия во всем мире после изменения пользования земельными и водными ресурсами, прямой эксплуатации организмов, изменения климата и антропогенного загрязнения [Curbing … , 2024]. Инвазивные виды вызывают резкие и, в некоторых случаях, необратимые изменения биоразнообразия и экосистем, что приводит к неблагоприятным и сложным последствиям во всех регионах планеты, включая вымирание видов на локальном и глобальном уровнях. Учитывая тот факт, что инвазивные виды стали одним из факторов, вызвавших 60 % зарегистрированных случаев вымирания видов в мире и единственным фактором, вызвавшем 16 % зарегистрированных случаев вымирания животных и растений в мире [IPBES, 2023], следует проводить неотложные меры по предотвращению вселения новых чужеродных видов, которые в последствии могут стать инвазивными, а также по снижению распространения и минимизации ущербов как для сообществ аборигенных видов, так и для природных экосистем в целом.

Процесс массового вторжения в экосистемы чужеродных видов живых организмов в Восточной Европе ученые фиксируют уже несколько десятилетий вместе с ростом на планете хозяйственной деятельности и развитием международной торговли, а глобальное изменение климата только ускоряет этот процесс. Беларусь в силу своего географического положения, трансграничного характера основных речных бассейнов и транспортной сети подвержена возрастающему риску проникновения и распространения нехарактерных для ее природы видов диких животных [Чужеродные … , 2024]. Кроме того, изменение климата усугубляет проблему биологических инвазий во всем мире, так как способствует ускорению процесса адаптации инвазий, вселенных случайно или преднамеренно человеком, к новым условиям обитания. Из-за вселения и распространения ряда инвазивных видов водных животных в Беларуси наблюдается снижение числа и численности популяций аборигенных видов, равно- и разноногих ракообразных и десятиногих раков, в том числе и краснокнижного широкопалого рака.

За годы изучения проблемы биологических инвазий в пресноводных экосистемах был выполнен ряд работ: определен список чужеродных видов водных беспозвоночных, места их распространения, пути вселения в водотоки РБ и пути расселения внутри страны; проведена частичная проверка видовой идентификации чужеродных видов амфипод при помощи молекулярного метода ДНК-штрихкодирования; определены величины скоростей распространения чужеродных видов водных беспозвоночных; проведен сравнительный анализ хищного поведения представителей чужеродных и аборигенных видов амфипод (лабораторные эксперименты); проведена оценка рисков для путей проникновения чужеродных видов макрозообентоса, которые уже присутствуют в водотоках Беларуси, с целью прогноза их распространения по территории и вселения в водотоки стран-соседей по Центрально-

му Европейскому инвазионному коридору; проведен анализ степени инвазивности для чужеродных видов водных беспозвоночных для рек Днепр, Припять и Неман с использованием специализированного приложения Aquatic Species Invasiveness Screening Kit; проведен анализ списков натурализовавшихся чужеродных видов сопредельных стран и составлен список потенциальных чужеродных видов, которые могут появиться в водных экосистемах страны в ближайшее время, а также выделен ряд видов, которые потенциально могут стать инвазивными с учетом изменения климата; проведен мониторинг чужеродных видов водных беспозвоночных с использованием новых молекулярно-генетических методов (метабаркодинг); создан список потенциальных вселенцев в водные экосистемы Беларуси.

На настоящий момент планируются работы по разработке национальной стратегии по инвазивным видам, определение экономических, экологических и социальных ущербов от вселения и распространения инвазивных видов животных, включая воздействие на виды, включенные в Красную книгу Республики Беларусь, а также запланирована разработка информационной системы для населения об опасности инвазивных видов, включая развитие гражданской науки (citizen science).

Благодарности. Работа выполнена в рамках задания 2. 10 ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. (№ НИОКТР20210288).

Список литературы

Чужеродные виды водных беспозвоночных и рыб в белорусской части бассейна реки Неман / Т. П. Липинская, Е. С. Гайдученко, В. К. Ризевский [и др.] // Российский журнал биологических инвазий. 2024. № 2. С. 110–130.

Curbing the major and growing threats from invasive alien species is urgent and achievable / H. Roy, A. Pauchard, P. J Stoett [et al.] // Nature Ecology and Evolution. 2023. Vol. 8. P. 1216–1223. DOI: 10.1038/s41559-024-02412-w

IPBES. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E. S., H. T. Ngo, M. Guèze et al. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany, 2023. 56 p.

УДК 58

ИСТОРИЯ АЛЬГОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Е. В. Лихошвай*

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: yel@lin.irk.ru*

Аннотация. На основе обзора литературных источников, оригинальных документов и публикаций авторов охарактеризованы первые этапы в истории исследований микроводорослей оз. Байкал.

Ключевые слова: фитопланктон, вертикальное распределение, бентос, эндемизм, Байкал

Первые пробы для анализа содержания в них микроводорослей были отобраны Б. Дыбовским в 1877 г. в районе с. Култук. Анализ этих проб провел Р. Гутвинский, он показал [Gutwinski, 1890] различие в вертикальном распределении видов диатомей на глубинах 10, 50, 200, 600 и 1000 м, утрату разнообразия глубже 200 м, присутствие ограниченного числа видов на глубине 1000 м. В байкальских пробах он обнаружил 144 вида и внутривидовых таксона микроводорослей и привел описания двух новых таксонов. Из 118 обнаруженных таксонов диатомовых водорослей из оз. Байкал автор показал сходство части видового списка с европейскими озёрами и выделил «характерные виды оз. Байкал», которые в европейских озёрах не встречались [Gutwinski, 1891]. В. Дорогостайский [1904 (1906)] в результате анализа отобранных им в летние месяцы 1902 и 1903 гг. в пос. Большие Коты и в бассейне оз. Байкал проб привел список из 350 таксонов микроводорослей, из них 200 – диатомовых. Он показал, что в Байкале диатомеи разнообразны и многочисленны (составляют 87,5 % всех встреченных видов) и указал на важность при исследовании вертикального распределения учитывать, в живом или мертвом состоянии была водоросль.

Проанализировав две пробы грунтов, собранных Ф. К. Дриженко во время экспедиций, проведенных в 1896–1902 гг. в северном Байкале, В. Дорогостайский показал, что в грунтах на глубинах 594 и 755 м массово преобладают *Melosira* и *Cyclotella* [Гильзен, 1915].

Таким образом, на самом первом этапе исследований микроводорослей оз. Байкал (1877–1915 гг.) всего в четырех научных статьях были установлены важные факты для дальнейшего развития альгологии, включая палеолимнологию: 1) основное разнообразие планктонных микроводорослей приходится на диатомовые водоросли; 2) своеобразие видового состава; 3) разное распределение видов по глубинам; 4) определенные виды проходят сквозь водную толщу на большие глубины и захораниваются на дне озера.

Успех в развитии альгологии на Байкале на следующем этапе был обеспечен благодаря деятельности В. Ч. Дорогостайского. Он организовал и реализовал за короткий период два проекта – создание биостанции для постоянных наблюдений и строительство судна для широких исследований гидробионотов оз. Байкал [Дорогостайская, 1994, с. 41–43].

В результате постоянных и широких наблюдений на втором этапе развития альгологии на оз. Байкал (1916–1937 гг.) были сделаны важные открытия: 1) утверждено своеобразие доминирующих планктонных видов диатомовых водорослей и описаны новые виды [Мейер, 1922, 1927а; Яшнов, 1922; Wislouch, 1924; Skvortzow, Meyer, 1928]; 2) установлена неоднородность в составе флоры в разных районах оз. Байкал, выделено 7 зон [Мейер, 1927а, б; Мейер, 1930]; 3) показана сезонность видового состава и количественных показателей фитопланктона [Яснитский, 1928, 1930]; 4) описана биология видов байкальских диатомей и формирование ауксоспор [Скабичевский, 1929; Meyer, 1929]; 5) утверждена идея эндемизма байкальской флоры [Мейер, 1930]; 6) описана экология видов байкальского фитопланктона и показано влияние притоков, горизонтального и вертикального (апвелинг) переноса видов в результате ветрового перемешивания на примере Баргузинского залива

[Скабичевский, 1935]; 7) описано большого количество новых для науки видов, в основном бентосных [Skvortzow, 1937].

Таким образом была заложена научная база, которая обеспечила развитие альгологических исследований на Байкале на следующих этапах.

Благодарности. Работа проведена в рамках бюджетной темы № 121032300186-9.

Список литературы

Гильзен К. К. Материалы по исследованию грунта Байкальского озера // Известия РГО. 1915. Т. 51. С. 101–116.

Дорогостайская Е. Ч. Виталий Чеславович Дорогостайский (1979–1938). СПб. : Наука, 1994. 136 с.

Дорогостайский В. Ч. Материалы для альгологии оз. Байкала и его бассейна // Известия ВСОРГО. 1904 (1906). Т. 35. С. 1–44.

Мейер К. И. Материалы по флоре водорослей оз. Байкал // Журнал Московского отдела Русского ботанического общества. 1922. № 1. С. 1–27.

Мейер К. И. О фитопланктоне оз. Байкал // Русский гидрологический журнал. 1927а. Т. 6, № 6–7. С. 128–137.

Мейер К. И. О водорослях Северного Байкала // Русский архив протистологии. 1927б. Т. 6, вып. 1–4. С. 93–118.

Мейер К. И. Введение во флору водорослей озера Байкал // Бюллетень МОИП. Отд. биол. 1930. Т. 39, № 3–4. С. 179–396.

Скабичевский А. П. К биологии *Melosira baicalensis* (K. Meyer) Wisl. // Русский гидрологический журнал. 1929. Т. 8, № 4–5. С. 93–114.

Скабичевский А. П. Наблюдение над планктоном Баргузинского залива озера Байкал в летний период 1932 и 1933 гг. // Известия БГНИ при ИГУ. 1935. Т. 6, № 2–4. С. 182–233.

Яснитский В. Н. Einige Resultate der Hydrobiologischen Erforschungen auf dem Baicalsee im Sommer 1925 (Некоторые результаты гидробиологических исследований на Байкале летом 1925 г.) // Докл. АН СССР. Сер. А, 1928. № 14–15. С. 353–358.

Яснитский В. Н. Результаты наблюдений над планктоном Байкала в районе биологической станции за 1926–1928 гг. // Известия БГНИИ при ИГУ. 1930. Т. 4, № 3–4. С. 85–101.

Яшнов В. А. Планктон оз. Байкал по материалам Байкальской экспедиции Зоол. Музея Моск. ун-та в 1917 г. // Русский гидрологический журнал. 1922. Т. 1, № 8. С. 225–241.

Gutwinski R. O pionowen rozliedlenia glonow jesera Baicskiego. Lwow : Kosmos, 1890. Vol. 15. P. 498–505.

Gutwinski R. Algarum e lacu Baical et paeninsula Camtschatka a clariss. prof. Dr. B. Dybowsky anno 1877 reportarum ennumeratio et Diatomacearum lacus Bajcal cum usdem tatricorum, italicorum et franco-gallicorum lacuum comparatio // Nuova Notarisia. Ser. 2. 1891. P. 300–305, 357–366, 407–417.

Meyer K. I. Über die Auxosporenbildung bei *Gomphonema geminatum* // Arch. Protistenkunde 1929. Vol. 66, N 3. P. 421–435.

Skvortzow B. W. Bottom Diatoms from Olchon gate of Baikal lake, Siberia // Philipp. J. Sci., Manila. 1937. Vol. 62, N 3. P. 293–377.

Skvortzow B. W., Meyer K. I. A contribution to the Diatoms of Baikal lake // Proceedings of the Sunaree River Biological Station. 1928. Vol. 1, N 5. P. 1–55.

Wislouch S. M. Beiträge zur Diatomeenflora von Asien. II. Neuere Untersuchungen über die Diatomeen des Baikal-Sees // Sonderabdruk Beicht. Dtsch bot. Ges. 1924. Vol. 47(4): 165–173.

УДК 579.266:577.21

РАЗНООБРАЗИЕ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ В ОСАДКАХ РИФТОВОГО ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

А. В. Ломакина[1]*, Т. В. Погодаева[1], В. Г. Иванов[1], П. М. Колесников[1], Д. К. Смирнова[1], М. И. Ковешников[2], Н. С. Романова[2], В. В. Кириллов[2], Т. И. Земская[1]

[1] Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2] Институт водных и экологических проблем СО РАН (Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1)
**Автор для переписки: lomakina@lin.irk.ru*

Аннотация. Структура микробных сообществ донных осадков трех районов (Ажи (АЖ), Корбу (КО) и Кокши (КК)) Телецкого озера была качественно охарактеризована с помощью метабаркодирования фрагментов гена 16S рРНК. Состав исследованных бактериальных и архейных компонентов определялся районом отбора проб, а также различался в поверхностной аэробной и нижней анаэробной зонах. Исследованные районы отличались по химическому составу поровых вод и концентрациями метана. Наиболее разнообразны во всех исследованных районах были бактериальные сообщества, представленные участниками процессов разложения органического вещества и обладающие широким спектром метаболических возможностей. Археи Телецкого озера в основном принадлежали метанотрофным и метаногенным порядкам, с высокой долей в поверхностных осадках аммоний-окисляющих представителей.

Ключевые слова: Телецкое озеро, донные осадки, секвенирование генов 16S рРНК, разнообразие бактерий и архей

Телецкое озеро, включенное в список Мирового наследия ЮНЕСКО, является ультрапресным, олиготрофным водоемом и вторым после Байкала по запасу пресноводной воды. До настоящего времени состав и разнообразие микробных сообществ донных осадков этого озера не исследовались. Между тем понимание закономерностей функционирования микробных сообществ, осуществляющих процессы продукции и деструкции органического вещества в условиях низких температур озера, представляет интерес для фундаментальной микробиологии, поскольку осадки этой экосистемы могут быть источником новых эндемичных видов микроорганизмов. Осадки трех исследованных районов Телецкого озера, отбирались в районах с разной глубиной водной толщи, и различались по химическому составу поровых вод, концентрациям метана и содержанием $C_{орг}$. По данным метабаркодирования гена 16S рРНК были охарактеризованы микробные сообщества на глубинах донных отложений от 0 до 20 см, представленные большим таксономическом разнообразием микроорганизмов, что подтверждается значениями индексов Chao1. В поверхностных осадках всех районов в составе бактерий доминировали представители филума *Pseudomonadota*, обладающие различным метаболическим разнообразием и функциями. Среди них высокий вклад составляли осуществляющие процессы нитрификации представители сем. *Nitrosomonadaceae*. В образцах района КК чаще выявлялись последовательности сем. *Comamonadaceae*. Представители филума *Chloroflexota,* в основном, представлены некультивируемыми KD4-96, их вклад варьировал от 7 % в районе АЖ и до 12 % в КО. Еще одним доминирующим филумом в поверхностных осадках всех районов были представители *Actinomycetota*, а районах КК и КО, кроме того, отмечался большой вклад представителей *Verrucomicrobiota* (до 14,5 %). Сообщества нижерасположенных восстановленных осадков (от 2 до 20 см) больше различались по составу и представленности бактериальных филумов. Во всех районах с глубиной осадка отмечалось увеличение доли представителей *Chloroflexota, Bacillota, Bacteroidoda,* а также *Patescibacteria* и *Desulfobacterota*. В небольших долях (4 % и ниже) присутствовали и другие бактерии, представляющие культивируемые и некультивируемые таксоны, в частности, *Armatimonadota* и *Planctomycetota* (в осадках АЖ и КО), *Atribacterota* и Sva0485 (в районе АЖ). Среди *Chloroflexota* кроме KD4-96 (10–17 %) высока доля в образцах из АЖ и КО хемоорганогетеротрофных *Anaerolineae* (2,5–18 %), осуществ-

ляющих ферментацию и аэробное/анаэробное дыхание и JG30-KF-CM66 (1–10 %). *Bacillota* в глубинных осадках составляли значительную долю (до 6 %) во всех образцах и были отнесены в основном к роду *Clostridium*, обладающих гетеротрофным ростом. Последовательности *Patescibacteria* достаточно разнообразны как в поверхностных образцах (1–3,8 %), так и в восстановленных осадках (от 3,6 до 13 %). Их наибольший вклад отмечен в сообществах осадков из КО, где они представлены *Saccharimonadia*, *Microgenomatia*, *Berkelbacteri*, преобладающими в осадках озер и других водных экосистемах с ограниченным количеством питательных веществ и кислорода. Состав архейной комопненты был менее разнообразным и, в основном, представлен таксонами-участниками процессов метангенерации и анаэробной метанотрофии (АОМ) с большим вкладом в поверхностные осадки представителей аммоний-окисляющих архей порядка *Nitrosopumilales*. Архейные профили поверхностных образцов КО и АЖ были сходными с доминированием представителей семейства *Methanoperedenaceae*, осуществляющие АОМ (44 % в АЖ и 54 % в КО) и аммоний-окисляющих архей порядка *Nitrosopumilales* (51 % в АЖ и 37 % в КО). Тогда как в поверхностном образце КК сообщество архей было более разнообразным с доминированием метаногенов семейства *Methanoregulaceae* (52 %) и небольшим вкладом аммоний-окисляющих архей (до 3 %), а также других метаногенов *Methanomassilicoccales* (7. 5 %) и *Methanothrix* (8 %). Кроме того, здесь также детектированы представители процесса АОМ *Methanoperedenaceae* (16,5 %) и *Bathyarchaeia* (7 %). С глубиной меняется состав и разнообразие архейных сообществ. Более разнообразные архейные сообщества характерны для районов КО и АЖ. Здесь детектированы представители гидрогенотрофных, ацетокластических и метилотрофных метаногенов, с высоким вкладом метанотрофов *Methanoperedenaceae* (8,2–25 %), аммоний-окисляющих архей (до 25 %) и *Bathyarchaeia* (до 19 %). В подповерхностных осадках КО доминировали метанотрофы *Methanoperedenaceae* (до 50 %) с большим вкладом (до 22 %) аммоний-окисляющих архей. Минорной компонентой архей всех исследованных районов являлись представители филума *Nanoarchaeota* (*Woesearchaeales* и *Pacearchaeales*), характеризующиеся малыми размерами геномов и ограниченными метаболическими возможностями. Таким образом, в ультрапресном Телецком озере обитают разнообразные микробные сообщества с широким спектром метаболических и функциональных возможностей.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам ЦКП «Научно-исследовательские суда ИВЭП СО РАН», ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ ВНИИСХМ за помощь в проведении анализов. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (НИОКТР 121032300223-1 [0279-2021-0006], (НИОКТР 121031200178-8 [0306-2021-0001]).

УДК 502.3

СЕЗОННАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РТУТИ В АТМОСФЕРЕ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ И НАД ОЗЕРОМ БАЙКАЛ

Е. С. Луцкин*, Т. В. Ходжер*

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Авторы для переписки: Lutskin2000@mail.ru, khodzher@lin.irk.ru*

Аннотация. В работе представлены результаты измерения концентраций газообразной элементарной ртути (GEM) в атмосфере Южного Прибайкалья и над акваторией оз. Байкал в течение 2024–2025 гг. Измерения проводились в разные сезоны в ключевых точках – в городах Иркутск, Ангарск, Шелехов, Усолье-Сибирское, Черемхово и в рамках экспедиций по оз. Байкал. Установлены выраженные сезонные и пространственные различия в концентрациях GEM: летом значения в городах достигали в среднем 1,95 нг/м³, осенью – 2,07 нг/м³, зимой – до 3,04 нг/м³, весной – 2,32 нг/м³, с максимумами вблизи ТЭЦ (до 12,52 нг/м³). При этом фоновые концентрации в приводном слое атмосферы составили летом 1,20 нг/м³, а осенью 1,03 нг/м³. Полученные данные подчёркивают влияние антропогенных и метеорологических факторов на пространственную динамику GEM.

Ключевые слова: газообразная элементарная ртуть (GEM), мониторинг, атмосферное загрязнение, Южное Прибайкалье, Байкал

Введение. Атмосферное загрязнение ртутью представляет собой одну из наиболее актуальных экологических проблем [Current ... , 2016]. Основной антропогенный источник ртути в атмосфере – это сжигание угля на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ), где в процессе работы выделяется газообразная элементарная ртуть (GEM) [Gaffney, Marley, 2009]. В районах, прилегающих к ТЭЦ, фиксируются концентрации ртути, многократно превышающие фоновые значения, что особенно заметно в отопительный сезон [UNEP, 2013]. В то же время автотранспортные выбросы также вносят вклад в ртутное загрязнение окружающей среды, особенно в крупных городах с высокой плотностью движения [Ambient... , 2019]. Исследования показали, что ртуть присутствует во всех типах моторного топлива, причём наибольшее содержание зафиксировано в сжиженном газе [Mercury … , 2007]. Несмотря на это, вклад автотранспорта остаётся локальным и существенно уступает по масштабам выбросам от угольных ТЭЦ, что подчёркивает необходимость приоритетного контроля именно за стационарными источниками загрязнения [Bourtsalas, Themelis, 2019].

Материалы и методы. В течение 2024–2025 гг. были проведены систематические измерения концентрации GEM в атмосфере над южной частью оз. Байкал и в пределах крупнейших промышленных центров Южного Прибайкалья – Иркутска, Ангарска, Шелехова, Усолья и Черемхово. Целью работы являлось выявление сезонных и пространственных закономерностей распределения GEM, оценка влияния климатических и антропогенных факторов, а также сравнение результатов между различными территориями и условиями. Для реализации поставленной цели были выполнены маршруты по наземным и водным территориям в ключевые сезоны года. Измерения проводились с использованием переносного анализатора RA-915M с системой GPS-привязки. В ходе исследования были охвачены все крупные города юга региона с точечными стоянками в районах ТЭЦ, а также акватория оз. Байкал.

Результаты. Летний период характеризуется наименьшими концентрациями GEM. Средние значения в городах составляли около 1,95 нг/м³ (Иркутск – 1,94, Шелехов – 2,09, Ангарск – 1,81). Летом в 2024 г. над акваторией оз. Байкал средняя концентрация составила 1,20 нг/м³, максимальная концентрация зафиксирована в акватории Южного Байкала – 2,98 нг/м³. В сентябре 2024 г. среднее значение составило 1,06 нг/м³, при этом максимальное значение также зафиксировано в акватории Южного Байкала – 2,30 нг/м³. Пониже-

ние относительно летнего уровня связано со снижением температуры воздуха и воды, уменьшением фотохимической активности и переходом Байкала к поглотительному режиму.

Осенью в ноябре 2024 г. сопровождалась увеличением концентраций GEM на фоне снижения температуры и запуска отопительного сезона. В городах региона среднее значение составило 2,07 нг/м³, с локальными превышениями до 6 нг/м³, особенно вблизи ТЭЦ (Ангарск, Усолье-Сибирское, Черемхово). В этот период усиливается вклад стационарных источников, в том числе угольных теплоэлектростанций, и снижается турбулентность приземного слоя атмосферы, что затрудняет рассеивание загрязнителей.

Зимой 2025 г. в феврале были зафиксированы наибольшие значения GEM – в среднем 3,04 нг/м³ при движении по маршрутам. Максимумы регистрировались вблизи стационарных источников, где концентрации достигали 3,76 нг/м³. Особенно высокие уровни ртути наблюдались в Черемхово, Усолье-Сибирском и Шелехове, что связано с локальными выбросами от ТЭЦ и промышленной инфраструктуры, а также с неблагоприятными метеоусловиями: температурными инверсиями, слабым ветром и зимней стратификацией атмосферы. В таких условиях накапливаются не только фоновая, но и локально генерируемая ртуть.

Весной в мае 2025 г. наблюдались повышенные концентрации GEM особенно в сухую погоду на фоне устойчивого антициклона. Средние значения GEM в движении достигали 2,32 нг/м³, при этом в отдельных районах Усолья-Сибирского, вблизи известных участков с историческим загрязнением ртутью, были зафиксированы экстремальные пики до 370,6 нг/м³ связанные с подвижными поверхностными потоками воздуха, сносившими ртуть с зон бывших захоронений промышленных отходов ООО «Усольехимпром».

Выводы. Установлены ключевые сезонные и пространственные закономерности распределения GEM в приземном и приводном слое атмосферы Южного Прибайкалья и оз. Байкал. Осенью прирост составляет ~13 % относительно лета, а зимой – до 56 %. Весной GEM на ~19 % выше летнего фона, но ниже зимних максимумов. Пространственный анализ демонстрирует устойчивую тенденцию к повышенным концентрациям в районах с угольными ТЭЦ и промышленной инфраструктурой. В то же время на удалённых от источников участках над акваторией оз. Байкал, сохраняются существенно более низкие значения GEM, что указывает на их фоновый характер.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств проекта РНФ № 19-77-20058 «Исследования состава и пространственно-временного распределения аэрозольно-газовых примесей атмосферы в акватории оз. Байкал».

Список литературы

Ambient mercury source identification at a New York State urban site: Rochester, NY / J. Zhou, J. Huang, Y. Wang [et al.] // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 656. P. 135–145. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.282

Bourtsalas A. C., Themelis N. J. Major sources of mercury emissions to the atmosphere: The US case // Waste Management. 2019. Vol. 85. P. 136–143. DOI: 10.1016/j.wasman.2019.03.004

Current and future levels of mercury atmospheric pollution on a global scale / J. M. Pacyna, O. Travnikov, F. de Simone [et al.] // Atmospheric Chemistry and Physics. 2016. Vol. 16. P. 12495–12511. DOI: 10.5194/acp-16-12495-2016

Gaffney J. S., Marley N. A. The impacts of combustion emissions on air quality and climate – From coal to biofuels and beyond // Atmospheric Environment. 2009. Vol. 43, N 1. P. 23–36. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2008.09.016

Mercury emissions from automobiles using gasoline, diesel, and LPG / J. H. Won, T. G. Lee, S. Yun [et al.] // Atmospheric Environment. 2007. Vol. 41, N 27. P. 5582–5592. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2007.06.004

UNEP (United Nations Environment Programme). Global Mercury Assessment 2013: Sources, emissions, releases and environmental transport. Geneva : UNEP, 2013. 44 p.

УДК 639.3.032

ОПЫТ ИНДУЦИРОВАННОЙ ТРИПЛОИДИЗАЦИИ СИГОВЫХ РЫБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

А. А. Лютиков*, В. А. Голотин, М. М. Вылка, В. В. Костюничев

Санкт-Петербургский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 199053, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 26)
**Автор для переписки: tokmo@mail.ru*

Аннотация. Одним из направлений повышения производительности аквакультуры является триплоидизация объектов выращивания. Целью настоящего исследования было получить триплоидов муксуна, чира и пеляди, воздействуя на оплодотворенную икру высоким давлением (650 бар, экспозиция 5 мин). Выживаемость триплоидной икры муксуна и чира находилась в диапазоне 20–40 %, пеляди – 50–60 %. Выживаемость диплоидной (контрольной) икры – 50–65 %. Эффективность триплоидизации составляла 80–90 % для чира и пеляди и 40–60 % для муксуна, что является подтверждением возможности получения триплоидов указанных видов рыб. В дальнейшем требуется оптимизация протоколов получения триплоидов сиговых рыб с целью повышения выживаемости икры и эффективности процесса искусственной триплоидизации.

Ключевые слова: индуцированная триплоидизация, триплоиды, сиговые рыбы, икра, аквакультура

Индуцированная триплоидизация позволяет производить рыб с тройным набором хромосом (3n). У таких рыб нарушена воспроизводительная функция, вследствие чего триплоиды в массе стерильны. Это положительно сказывается на росте и качестве мяса рыб-триплоидов. Кроме того «стерильные» триплоиды могут быть объектами пастбищного и индустриального выращивания за пределами ареала вида. В случае бегства триплоидов в дикие условия не произойдет продолжительного воздействия на естественный ихтиоценоз водоема [A comparative … , 2012].

В России одними из значимых объектов рыбохозяйственной отрасли являются сиговые рыбы. Высокая экологическая пластичность сиговых способствовала их значительному распространению. Сиговые рыбы населяют практически все крупные северные реки, а также встречаются в южных водотоках, например, в Амуре и Волге обитают сиг-хадары и белорыбица.

Впервые успешное получение триплоидов сиговых рыб (с использованием высокого давления) было реализовано на нельме [Предварительные … , 2023]. Для этого использовали адаптированные протоколы триплоидизации лососевых, у которых нерестовые температуры близки с нельмой – 8–10 и 6–7 °С, соответственно. Однако у относительно северных видов сиговых, таких как пелядь, чир и муксун, нерестовые температуры значительно ниже – 0,2–2,0 °С, что ограничивает использование существующих протоколов для указанных видов рыб. Следовательно, для пеляди, чира и муксуна актуальны исследования, направленные на определение параметров триплоидизации, что и явилось целью данной работы.

Исследования проводили на рыбоводном хозяйства ООО «Форват» (оз. Суходольское, Приозерский р-н, Ленинградская обл.), которое располагает маточными стадами различных видов сиговых рыб, выращенных по индустриальной технологии. Оплодотворенную икру пеляди, чира и муксуна подвергали высокому давлению в коммерческом электрогидравлическом аппарате TRC-APV^{TM} (TRC Hydraulics Inc., Канада), специально разработанном для триплоидизации икры рыб.

Оплодотворенную икру муксуна и чира подвергали давлению через 30–50 мин после осеменения с интервалом в 10 мин. Икру пеляди – через 30–60 мин после осеменения с тем же интервалом. Контрольной считали икру без обработки. Давление в цилиндре с икрой нагнеталось до 650 бар в течение минуты, экспозиция составляла 5 мин. Разрежение давления до атмосферного занимало около 2–3 с. В момент воздействия на икру давлением температура воды для муксуна составляла 0,6 °С, чира – 0,4 °С, пеляди – 0,2 °С. После обработки икру помещали на набухание в отдельные сита и спустя примерно сутки перемещали на инкубацию до вылупления в 8-литровые стеклянные аппараты Вейса.

Для определения плоидности икры использовали метод проточной цитометрии и гематологические параметры – размеры ядер эритроцитов эмбрионов, измерение которых считается наиболее важной и объективной характеристикой для определения триплоидии у костистых рыб [Benfey, 1999].

На этапе вылупления выживаемость подвергнутой давлению икры муксуна находилась в диапазоне от 41 % в группе 30М («30» – время обработки икры давлением после осеменения, мин; «М» – муксун) до 28 % в группе 50М. В контроле (без обработки давлением) выживаемость икры составляла 60 %. Доля триплоидов, установленная методом проточной цитометрии, у подопытной икры муксуна составила от 44 до 63 %. У чира выживаемость икры во всех экспериментальных группах имела близкие значения – 18–20 %. Доля триплоидизации составила от 78 до 86 %. Пелядь характеризовалась самой высокой выживаемостью экспериментальной икры – 50–60 %. Доля триплоидизации у пеляди варьировала от 49 % в группе 30П («30» – время обработки икры давлением после осеменения, мин; «П» – пелядь), до 77–91 % в группах 40П, 50П и 60П. Для сравнения, выживаемость контрольной, не обработанной давлением икры, по итогам инкубации у муксуна составила 60 %, у чира 52 %, у пеляди 64 %.

Оценка морфологии форменных элементов крови показала, что отношение площадей ядер эритроцитов триплоидной икры к диплоидной у разных видов сиговых находилось в диапазоне от 1,3 до 1,5, что подтверждает факт случившей триплоидизации.

Предварительные результаты указывают на возможность получения триплоидов сиговых рыб посредством воздействия на икру высокого давления, равного 650 бар, и экспозицией 5 мин. Прослеживается видовая специфичность относительно времени успешного воздействия давлением на икру после осеменения – 30 мин для муксуна (или 18 градусо-минут (ГМ)), 30–50 мин для чира (12–20 ГМ) и 40–60 мин для пеляди (8–12 ГМ).

Несмотря на положительные результаты исследований, показатели выживаемости и степень триплоидизации икры муксуна, чира и пеляди могли бы быть улучшены за счет оптимизации протоколов получения триплоидов. В первую очередь это связано с низкими нерестовыми температурами «северных» видов сиговых, которые в 10–30 раз ниже, чем у нельмы, для которой ранее разработанные протоколы были использованы в настоящей работе. Таким образом, для достижения лучшего результата необходима корректировка параметров индуцированной триплоидизации «северных» видов сиговых рыб с обязательным учетом их низких нерестовые температур.

Список литературы

Предварительные результаты исследований по искусственной триплоидизации сиговых рыб / А. А. Лютиков, В. В. Костюничев, В. А. Голотин, М. М. Вылка // Развитие и современные проблемы аквакультуры (Конференция «Аквакультура 2023») : сб. науч. тр. III Междунар. науч.-практ. конф. Дивноморское, 4–10 сент/ 2023 г. / редкол. Б. Ч. Месхи [и др.] ; ДГТУ. Ростов-на-Дону : ДГТУ-Принт, 2023. С. 55–59.

A comparative and experimental evaluation of performance of stocked diploid and triploid Brook Trout / P. E. Budy, G. P. Thiede, A. Dean [et al.] // North American Journal of Fisheries Management. 2012. Vol. 32, N 6. P. 1211–1224.

Benfey T. J. The physiology and behavior of triploid fishes // Review in Fisheries Sciences. 1999. Vol. 7, N 1. P. 39–67. DOI: 10.1080/10641269991319162

УДК 630:581.54

РТУТЬ В ХВОЕ ГОЛОСЕМЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗ. БАЙКАЛ

Е. Е. Ляпина*

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
(Россия, 634050, Томск, просп. Академический, 10/3)
**Автор для переписки: eeldv@mail.ru*

Аннотация. В статье приводятся оригинальные данные по содержанию ртути в хвое голосеменных растений (*Pinus sylvestris* L., *Pinus sibirica* L., *Larix sibirica* L., *Pinus pumila*), произрастающих на побережье оз. Байкал. Выявлены особенности накопления поллютанта в зависимости от вида дерева, возраста хвои, удаленности от берега озера, уровня и соединений металла в почвах.

Ключевые слова: ртуть, хвоя, Байкал, геоэкология, биоиндикация, геохимия

Хвоя наряду с другими биоиндикаторами, такими как эпифитные виды лишайников, листья тополя и осины, мхи и др. является популярным и часто используемым индикатором экологического состояния окружающей среды.

Ртуть (Hg) – элемент I класса опасности, крайне токсична, патологична, относится к группе тиоловых ядов, признана одним из самых опасных загрязнителей окружающей среды. В связи с высокой токсичностью даже в малых концентрациях жестко нормируется в компонентах окружающей среды и подлежит контролю со стороны экологических организаций [Сауков, 1966]. В процессе миграции метилирует с образованием высокотоксичных соединений [Ермаков, 2010]. Основной путь миграции Hg в окружающей среде – атмосферный перенос.

Целью исследования было определение содержания Hg в хвое голосеменных растений побережья оз. Байкал, а также выявление особенностей ртутной нагрузки в зависимости от вида дерева, возраста хвои, удаленности от берега озера, уровня и соединений металла в почвах.

Отбор проб хвои проводился на западном берегу оз. Байкал в районе Малого моря в период с 2018 по 2023 г., согласно [Алексеенко, 2000]. Всего отобрано около 60 проб хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), кедра сибирского (*Pinus sibirica* L.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) и кедрового стланика (*Pinus pumila*), а также 60 проб почв (верхние 0–10 см).

Содержание Hg в пробах определяли на анализаторе Hg РА-915+, методом атомной абсорбции с помощью приставки ПИРО-915 (метод пиролиза; предел обнаружения Hg – 5 нг/г, точность определения – 5 нг/г, концентрации элемента рассчитаны на 1 г сухого вещества) в учебно-научной лаборатории на базе Инженерной школы природных ресурсов НИ ТПУ [Shuvaeva, Gustaytis, Anoshin, 2008].

Распределение Hg в хвое носит однородный характер, что подтверждается данными расчета коэффициента вариации (186–285 %).

Средние концентрации Hg в хвое на территории исследования вне зависимости от породы дерева значимо отличаются друг от друга и меняются в интервале 5–39 нг/г в среднем составляя 13 нг/г. Содержание ртути в хвое соответствует фоновому уровню и не превышает данные, полученные для других территорий Сибири [Ляпина, Шворнева, Воропай, 2018], значения которых варьируют в интервале 13–47 нг/г. Среднее содержание Hg в хвое побережья оз. Байкал ниже по сравнению с данными для Республики Якутия (47 нг/г), Алтайского края (15 нг/г), Иркутской области (14 нг/г), Республик Бурятия (15 нг/г) и Крым (18 нг/г) [Ляпина, Шворнева, Воропай, 2018]. И могут быть использованы в качестве фоновых при сравнении и проведении геоэкологических расчетов.

Более детальный анализ показал, что концентрации элемента превышают фон от 2,1 до 4,6 (фоновые концентрации взяты из литературы и составляют 4 нг/г [Янин, 1992]); среднее для наземных растений от 1 до 1,2 раза. Однако ниже по сравнению с Кларком ноосферы и живого вещества, а также среднего содержания по Б. Маркерту. Расчет фактора обогащения показывает отсутствие обогащения ртутью хвои. Ртуть не поступает в хвою их субстрата, что подтверждается результатами расчета коэффициента биологического поглощения.

В результате исследования содержания и геоэкологических особенностей накопления Hg хвоей голосеменных растений западного побережья оз. Байкал выявлено, что концентрации Hg сопоставимы с данными, полученными для других регионов на территории России. Данные геоэкологических расчетов свидетельствуют об отсутствии накопления Hg в хвое и данные могут использоваться в качестве регионального фона.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российской академии наук в рамках государственного задания Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. Автор благодарит Н. Н. Воропай (ИМКЭС СО РАН, ИГ СО РАН), Е. А. Дюкарева (ИМКЭС СО РАН) за помощь при отборе проб.

Список литературы

Алексеенко В. А. Экологическая геохимия. М. : Логос, 2000. 627 с.

Ермаков В. В. Биогенная миграция и детоксикация ртути В // Международный симпозиум «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». М. : ГЕОХИ РАН, 2010. С. 5–14.

Ляпина Е. Е., Шворнева Е. В., Воропай Н. Н. Содержание ртути в хвое юго-западного Прибайкалья // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31, № 1. С. 69–72. DOI: 10.15372/AOO20180111

Сауков А. А. Геохимия. М. : Наука, 1966. 487 с.

Янин Е. П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. М. : ИМГРЭ, 1992. 169 с.

Shuvaeva O. V., Gustaytis M. A., Anoshin G. N. Mercury speciation in environmental solid samples using thermal release technique with atomic absorption detection // Analytica Chimica Acta. 2008. Vol. 621. P. 148–154. DOI: 10.1016/j.aca.2008.05.034

УДК 630:581.54

БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ХВОЕ ГОЛОСЕМЕННЫХ РАСТЕНИЙ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗ. БАЙКАЛ

Е. Е. Ляпина[1]*, Е. В. Перегудина[2]

[1]Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
(Россия, 634050, Томск, просп. Академический 10/3)
[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет
(Россия, 634050, Томск, просп. Ленина 30)
**Автор для переписки: eeldv@mail.ru*

Аннотация. В статье приводятся оригинальные данные по содержанию эссенциальных и условно эссенциальных биогенных элемнтов (Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Sr) в хвое голосеменных растений (*Pinus sylvestris* L., *Pinus sibirica* L., *Larix sibirica* L., *Pinus pumila*), произрастающих на западном побережье оз. Байкал. Выявлены особенности накопления элементов в зависимости от вида дерева, возраста хвои, удаленности от берега озера, уровня химических элементов в почвах.

Ключевые слова: ртуть, хвоя, Байкал, геоэкология, биоиндикация, геохимия

Использование хвои в качестве биоиндикатора удобно, информативно. Данный представитель диагностики состояния компонентов окружающей среды отличается широким ореолом произрастания, многообразием видов, простотой сбора, пробоподготовки и анализа. Данные, полученные с помощь хвои позволяют точно и репрезентативно оценить качество приземной атмосферы как за один вегетационный период, так и до 5 лет.

Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Sr относятся к эссенциальным и условно эссенциальным биогенным элементам, т. е. жизненно-важным для растений и животных. Поэтому контролировать их содержание в компонентах окружающей среды является важной задачей геоэкологии и геохимии.

Целью исследования было определение содержания Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Sr в хвое голосеменных растений побережья оз. Байкал, а также выявление особенностей их накопления в зависимости от вида дерева, возраста хвои, удаленности от берега озера, уровня и соединений металла в почвах.

Отбор проб хвои проводился на западном берегу оз. Байкал в районе Малого Моря в период с 2018 по 2023 г., согласно [Алексеенко, 2000]. Всего отобрано около 60 проб хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), кедра сибирского (*Pinus sibirica* L.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.) и кедрового стланика (*Pinus pumila)*, а также 60 проб почв (верхние 0–10 см).

Изучение проб осуществляли в учебно-научной лаборатории инженерной школы природных ресурсов НИИ ТПУ. Определение концентраций Na, Ca, Cr, Fe, Co, Zn, As, Br, Sr в почве проводилось инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) (аналитики: с. н. с А. Ф. Судыко, Л. В. Богутская). Определение концентраций Hg выполнялось на анализаторе ртути РА-915+ методом атомной абсорбции с помощью приставки ПИРО-915 (метод пиролиза; предел обнаружения – 5 нг/г) [Shuvaeva, Gustaytis, Anoshin, 2008].

Распределение элементов в хвое носит однородный характер, что подтверждается данными расчета коэффициента вариации (55–224 %).

Среднее содержания токсичных элементов в хвое западного побережья оз. Байкал не превышают средних значений по Б. Маркерту, за исключением Fe Co As Br. Хвоя также обогащена относительно содержания скандия по выше перечисленным элементам. Хвоя сосны, кедра лиственницы и кедрового стланика накапливает преимущественно Cr, Zn, Br и Sr. Данная тенденция характерна как для однолетней хвои, так и при поступлении в течение 3–5 лет. Территориально Na Ca Zn As в повышенных концентрациях отмечаются в середине района исследования вне зависимости от вида хвои. Минимумы выявлены к крайних самой высокой и самой низкой, они же самая ближняя и дальняя точки от берега озера. Макси-

мальные содержания Cr отмечены в самой высокой (дальней) точке отбора проб. Co, As, Br, Sr в максимальных концентрациях выявлены в точках, наиболее близких к оз. Байкал.

Корреляционный анализ с целью выделения ассоциаций химических элементов выявил графы-ассоциации: Na-Fe, Ca-Sr-Zn, Co-As-Br. Все связи характеризуются положительным знаком ($r = 0,5$ $p < 0,05$). По данным факторного анализа выявили, что на распределение исследованных элементов влияние оказывает 2 фактора, суммарное воздействие которых составляет 82,5 %. Наиболее значимым является «Фактор» 1 (39,4 %), включающий действие любых процессов, которые способствуют увеличению концентрации As, Br (знак связи отрицательный). «Фактор» 2 (23,9 %) способствует накоплению Cr, Zn. «Фактор 3» влияет на поступление Co, связь положительная. С помощью метода Варда была построена дендрограмма корреляционной матрицы химических элементов, объединившая в группы элементы: Zn-Cr, Br-Co-Fe, Sr-As, Ca-Na.

Коэффициент биологического поглощения свидетельствует о поступлении Zn и Br в хвою исследованных видов деревьев из субстрата.

В результате расчета геоэкологических показателей выявили накопление в пробах хвои Fe, Co, As, Br относительно среднего содержания по Б Маркерту, а также на основании фактора обогащения. Несмотря на обогащение некоторыми элементами суммарный показатель загрязнения свидетельствует о низком уровне загрязнения (неопасном), согласно существующей градации (2,75). При проведении расчёта суммарного показателя загрязнения с учетом уровня токсичности каждого из исследованных элементов результат не меняется.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российской академии наук в рамках государственного задания Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, а также в рамках программы повышения конкурентоспособности Национального исследовательского Томского политехнического университета. Авторы благодарят Н. Н. Воропай (ИМКЭС СО РАН, ИГ СО РАН), Е. А. Дюкарева (ИМКЭС СО РАН) за помощь при отборе проб.

Список литературы

Алексеенко В. А. Экологическая геохимия. М. : Логос, 2000. 627 с.

Shuvaeva O. V., Gustaytis M. A., Anoshin G. N. Mercury speciation in environmental solid samples using thermal release technique with atomic absorption detection // Analytica Chimica Acta. 2008. Vol. 621. P. 148–154. DOI: 10.1016/j.aca.2008.05.034

УДК 574.58

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗНООБРАЗИЯ ЗООПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ С ПОМОЩЬЮ ДНК-МЕТАБАРКОДИРОВАНИЯ И МИКРОСКОПИИ

Т. Ю. Майор*, Ю. П. Галачьянц, А. П. Федотов

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: tatyanabfo@mail.ru*

Аннотация. Тестирование ДНК-метабаркодинга с использованием молекулярного маркера V9 18S рРНК в экологическом мониторинге метазойного зоопланктона прибрежной зоны оз. Байкал показало, что данный метод может быть эффективно использован в дополнение к методу микроскопии. Он позволяет выявлять редкие таксоны и способствует пространственной характеристике резко отличающихся сообществ зоопланктона.

Ключевые слова: 18S рРНК, *Epischura baikalensis*, Copepoda, Rotifera, олиготрофное озеро, экологический мониторинг

Мониторинг зоопланктона является одним из основных подходов в экологическом мониторинге оз. Байкал, но на сегодняшний день он осуществляется в основном при помощи микроскопии [Naumova, Troitskaya, Zaidykov, 2020; Sheveleva, Penkova, 2020]. При этом морфологическая идентификация остается долгой по времени, учитывая большую географическую территорию оз. Байкал, и требует высокой квалификации при таксономической идентификации животных. Методы ДНК-метабракодинга позволяют быстро оценить максимально полное генетическое разнообразие в интегральной пробе методами высокопроизводительного секвенирования. В данной работе протестирован фрагмент гена 18S рибосомальной РНК в качестве молекулярного маркера для оценки разнообразия зоопланктонных сообществ в весенний и осенний периоды в прибрежной зоне оз. Байкал методами ДНК-метабаркодинга.

Биологический материал был собран с помощью сети Джеди с борта НИС «Папанин» ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала» в июне и сентябре 2021 г. Фрагмент V9 гена 18S рРНК (~150 п. о.) был использован в анализе и секвенирован с помощью платформы Illumina MiSeq.

Несмотря на отбор проб сетью, большое число сиквенсов было определено для микроэукариот, что влияло на представленность прочтений сиквенсов метазойного зоопланктона, особенно в весенних пробах. При помощи ДНК-метабаркодинга были выявлены дополнительно Amphipoda и Candonidae (Podocopida), встретившиеся в одном из образцов, что подтверждает высокую чувствительность метода к редким таксонам. Кроме того, пространственная встречаемость таксонов, обнаруживаемых обоими методами, была наиболее полно представлена при сопоставлении результатов секвенирования и микроскопии, так как в некоторых случаях таксон обнаруживался в образце только одним методом. По данным ДНК-метабаркодинга более половины полученных ОТЕ принадлежали *Epischura baikalensis* Sars, 1900, которая доминировала и по числу прочтений сиквенсов в оба сезона. Наряду с одним доминантным ОТЕ *E. baikalensis* во всех пробах было обнаружено большое число (72–196) ОТЕ этого вида в минорной представленности. Вероятно, данное многообразие ОТЕ *E. baikalensis* отражает совокупность таких факторов как ошибки амплификации, внутривидовой полиморфизм и внутригеномный полиморфизм. Разнообразие таксонов на уровне семейств и родов было выше при определении методом микроскопии. Идентификация для коловраток была более затруднительной по выбранному фрагменту 18S рРНК по сравнению с ракообразными.

ДНК-метабаркодинг позволил разделить отличающиеся сообщества весеннего и осеннего сезонов байкальского зоопланктона с использованием V9 18S рРНК. Хотя характеристика пространственного распределения зоопланктона в Байкале в пределах одного сезона с применением данного баркода оказалась не такой успешной.

Таким образом, ДНК-метабаркодинге с использованием V9 18S рРНК может быть дополнительным методом к микроскопии для точного мониторинга и оценки разнообразия зоопланктона оз. Байкал.

Благодарности. Выражаем свою признательность коллегам Кузьмину Антону за помощь в сборе материала, Сидоровой Туяне и Букину Юрию за ценные консультации (ЛИН СО РАН). Благодарим команду НИС «Папанин» за помощь в отборе проб. Приготовление ДНК библиотек и их секвенирование выполнено в ЦКП «Персистенция микроорганизмов» Института клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН (г. Оренбург). Работу проводили за счет финансирования в рамках темы государственного задания № 0279-2021-0005 (121032300224-8).

Список литературы

Naumova E. Yu., Troitskaya E. S., Zaidykov I. Yu. Changes in the composition of the spring zooplankton of Lake Baikal // Limnology and Freshwater Biology. 2020. Vol. 4. P. 733–734. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-733

Sheveleva N. G., Penkova O. G. Long-term dynamics of the zooplankton community in the southern part of the Maloe More Strait (Lake Baikal) // Limnology and Freshwater Biology. 2020. Vol. 4. P. 746–747. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-746

УДК 574(571.56)

ВЛИЯНИЕ ФОСФАТОВ И СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА НА СТЕПЕНЬ ТРОФНОСТИ ГОРОДСКИХ ОЗЕР

В. Н. Макаров*

Институт мерзлотоведения СО РАН (Россия, Якутск)
**Автор для переписки: vnmakarov@mpi.ysn.ru*

Аннотация. Цель исследований – оценка влияния фосфатов и соединений азота на степень трофности городских озер. Было исследовано около 40 озер, расположенных в районе Якутска. Установлено, что основным источником поступления биогенов в водоемы являются грунты культурного слоя, концентрирующие аномальное количество соединений азота и фосфатов. Средняя величина трофности озер в пригородах города – 6,6 мг/л, в его центральной части – 19–26 мг/л.

Ключевые слова: городские озера, соединения азота, фосфаты, трофность

Якутск возник в 1634 г. и развивался вблизи значимых по величине водотоков и водоемов – р. Лены и многочисленных озер. Город располагается в среднем течении р. Лены, в широкой долине Туймаада и протягивается вдоль левого берега реки на 20 км.

Поверхность долины Туймаада покрыта густой сетью старичных и термокарстовых озер. Большинство старичных озер объединялись в проточные системы. В настоящее время вследствие техногенного вмешательства проточные озерные системы на многих участках нарушены. Строительство дорог, дамб, насыпей и перепланировка территории повлияли на размеры водосборных площадей и на условия формирования поверхностного и надмерзлотного стока. В результате этого одни озера на территории города практически исчезли, другие изменили площадь зеркала и объем воды (озёра Ытык-Кель, Сайсары и др.). Все эти явления отражаются на условиях формирования химического состава воды озер.

Городские водные системы выполняли самые разнообразны функции, но с все возрастающим антропогенным загрязнением озера стали играть ранее не свойственную им роль, постепенно превращаясь в коллекторы всевозможных отходов.

Химический состав воды обусловливает качественный и количественный состав биоценоза и особенности питания (степень трофности) в озёрах. Трофность городских озер – их биологическая продуктивность, общее содержание органики биогенного происхождения. Повышение трофности приводит к цветению воды, т. е. численному росту цианобактерий и низших одноклеточных водорослей – зеленых, диатомовых. С точки зрения народнохозяйственных целей цветущий водоем является неблагополучным, т. е. озеро становится не пригодным для большинства вариантов природопользования. Степень трофности городских озер связана с накоплением в воде таких биогенных элементов как фосфаты и соединения азота.

Значимая корреляция уровня трофности воды в городских озёрах наблюдается с содержанием азотистых соединений (коэффициент корреляции 0,884), меньшая – с содержанием фосфатов (0,521).

Средняя величина трофности озер в пригородах города – 6,6 мг/л, в его центральной части – 19–26 мг/л (табл.).

Изучение фитопланктона свидетельствует о сильном антропогенном прессе на водоемы и избытке биогенов [Иванова, Копырина, 2010], поступающих за счет ливневых стоков с прилегающих территорий, грунты которых насыщены соединениями азота и фосфатами. Специфика формирования культурного слоя в Якутске, определяет интенсивное накопление в грунтах аномального количества соединений азота ($NO_3^- > NH_4^+ > NO_2$) и фосфатов, что связано в основном с процессами разложения органического вещества, бытовых отходов [Макаров, Торговкин, 2018].

Таблица. Содержание биогенных элементов в воде и степень трофности городских озер

Озера	Площадь зеркала, км^2	Объем, млн. м^3	Содержание, мг/л		Степень трофности [Пестрякова, 2008]
			HPO_4	∑N	
Сайсары	0,4200	1,121	0,69	1,30	8,3
Хатынг-Юрях	0,2550	0,281	0,54	0,49	4,3
Хомустах	0,2380	0,462	2,19	1,68	Не опр.
Ытык Кюель	0,8950	1,389	1,00	1,64	8,0
Чочур-Муран	0,8950	1,389	0,85	2,91	Не опр.
Белое	0,6480	1,873	0,47	1,35	6,6
Талое	0,0103	0,014	0,98	2,98	26,0
Теплое	0,1230	0,156	0,64	1,51	19,0
Сергелях	0,4730	0,416	0,37	0,70	6,0
Среднее			0,80	1,73	11,2

Примечание: ∑N (сумма по азоту $NH_4^+ + NO_2^- + NO_3^-$).

Среди синезеленых водорослей встречаются таксоны, вырабатывающие токсические вещества, которые вызывают желудочно-кишечные отравления и кожную аллергию [Горюнова, Дёмина, 1974].

В период цветения водорослей, столь обычный в городских озёрах, весь запас некоторых металлов может оказаться поглощенным (цветение само по себе связано с обилием азота и с другими факторами). Примером может быть наблюдаемая зависимость содержания урана в воде от степени трофности озер (рис.).

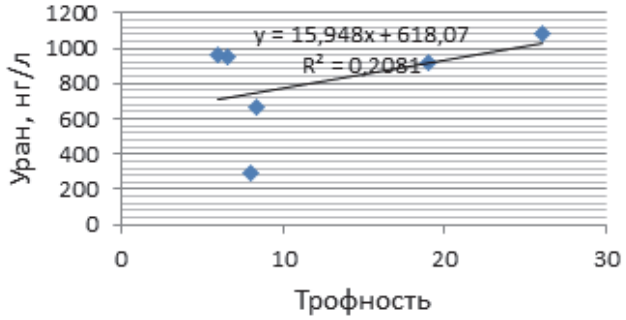


Рис. Зависимость содержания урана в воде от степени трофности озер

С окончанием цветения водоросли и все отмирающие поглощающие организмы оседают и падают на дно. Донные отложения активно аккумулируют химические элементы, в том числе компоненты-загрязнители – Pb, Cu, Zn, Sn, Ag, W, концентрация которых в последнее десятилетие значительно выросла. Степень загрязненности донных отложений озер города оценивается как умеренная, но в отдельных водоёмах загрязнение достигает опасного и даже чрезвычайно опасного санитарно-токсикологического состояния.

В процессе оседания и на дне озер они разлагаются, и содержащиеся в них элементы высвобождаются и переходят в воду.

Список литературы

Горюнова С. В., Демина Н. С. Водоросли – продуценты токсических веществ. М. : Наука, 1974. 256 с.

Иванова А. П. Мониторинговые исследования альгофлоры и качество воды озер г. Якутска // Научное обеспечение решения ключевых проблем развития г. Якутска. Якутск : Сфера, 2010. С. 198–203.

Макаров В. Н., Торговкин В. Н. Геохимия техногенных отложений (культурного слоя) в криолитозоне (на примере г. Якутска) // Криосфера Земли. 2018. № 3. С. 27–39.

Пестрякова Л. А. Диатомовые комплексы озер Якутии. Якутск : ЯГУ, 2008. 197 с.

УДК 639.3.03:282.256.341

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА НАГУЛЬНОЙ ПОПУЛЯЦИИ БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ, СРАВНЕНИЕ С КЛАССИЧЕСКИМ ТРАЛОВО-АКУСТИЧЕСКИМ УЧЕТОМ

М. М. Макаров*, Е. В. Дзюба, П. Н. Аношко

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: mmmsoft83@yandex.ru*

Аннотация. Несмотря на хорошую изученность байкальского омуля в период открытой воды, его экология зимнее-весенний период, под ледовым покровом оставалась малоисследованной. В 2023–2024 гг. впервые проведены системные гидроакустические наблюдения на Селенгинском мелководье и глубоководных участках (Бугульдейка, Б. Коты). Анализ силы цели позволил реконструировать размерный состав и выявить особенности пространственного распределения омуля в зимний период. Полученные данные существенно дополняют представления о сезонной динамике популяции этого эндемичного вида.

Ключевые слова: байкальский омуль, гидроакустический метод, размерно-возрастной состав, зимний период, Байкал

Гидроакустика является эффективным неинвазивным методом исследования экологии рыб и эффективной количественной оценки их запасов [Jurvelius, Sammalkorpi, 1995]. Хотя традиционные гидроакустические съемки обычно выполняются с судов в период открытой воды, для водоемов высоких широт, значительную часть года покрытых льдом, такой подход оказывается недостаточным [Under ice … , 2000; Чемагин, 2018]. Ледовый покров создает особые условия для исследований, обеспечивая стабильное положение датчиков, отсутствие помех и возможность долгосрочного мониторинга, одновременно формируя среду с особым термическим, световым режимам и стратификацией водной толщи.

Озеро Байкал представляет собой идеальный полигон для подобных исследований. Ледовый покров здесь устанавливается к середине января – началу февраля и сохраняется до конца апреля – начала мая, достигая толщины 50–70 см [Исследование … , 2017]. Однако опыт зимних гидроакустических исследований на Байкале остается крайне ограниченным [The results … , 2019], что делает особенно актуальным дальнейшее развитие методов подледного мониторинга.

Особое значение приобретает изучение Селенгинского мелководья – важнейшего района нагула байкальского омуля. Проведение стационарных гидроакустических исследований под ледовым покровом позволяет получить новые данные о зимнем распределении и поведении байкальского омуля, а также разработать методику оценки размерно-возрастной структуры популяции в зимний период.

В марте 2023 и 2024 гг. были проведены новые исследования с ледового покрова на акватории Селенгинского мелководья и прилегающих глубоководных участках в районе населенных пунктов Бугульдейка и Большие Коты. Для измерений использовался однолучевой мобильный программно-аппаратный комплекс «Эхо-Байкал» на базе эхолота Furuno FCV-1100 (Япония) [A study … , 2020]. Полученные гидроакустические данные обрабатывались методом эхоинтегрирования в программе Echoview (Австралия), что позволило оценить значения NASC (Nautical Area Scattering Coefficient) и проанализировать вертикальное распределение рыб под ледовым покровом в течение нескольких часов непрерывных наблюдений. На рисунке представлена характерная эхограмма, отражающая результаты многочасовой съемки.

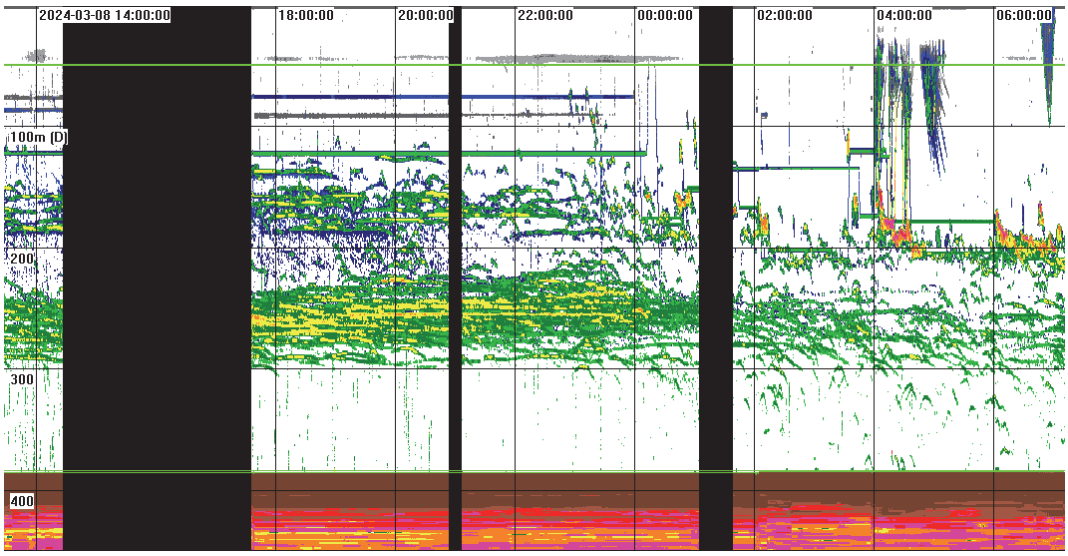


Рис. Характерная эхограмма подлёдного распределения байкальского омуля

Анализ данных о распределение плотности в разных районах наблюдений показал, что концентрация рыб по численности на акватории Селенгинского мелководья в 1,5–1,7 раза выше в сравнении со смежными участками, тогда как по массе концентрация была меньше в 0,5–0,6 раз. За весь период наблюдений на Селенгинском мелководье были зарегистрированы значительные изменения плотности распределения байкальского омуля от 0,1 до 14 кг/га, при этом средняя плотность составила 3,6 кг/га. Что хорошо согласуется с данными гидроакустической съемки в период открытой воды с борта НИС «Г. Ю. Верещагин» летом 2023 г.

Анализ значений сил цели (TS) отдельных особей позволил восстановить размерный состав рыб, который варьировался от 8 до 55 см стандартной длины (SL). По этим данным определяются возрастные пики пяти предшествующих поколений 2019–2023 гг. С небольшими отклонениями, похожие результаты по пикам численности были получены при проведении траловых ловов на Селенгинском мелководье в конце мая 2024 г. [Гидроакустические … , 2024], что так же подтверждает достоверность полученных результатов в зимний период. Разница в частотах распределения (SL) в разных районах, свидетельствует о том, что на Селенгинском мелководье доля мелких рыб больше, чем в глубоководных районах, так как Селенга является одной из основных нерестовых рек байкальского омуля, и на акватории Селенгинского мелководья нагуливается молодь, часть которой с возрастом мигрирует в прилегающие районы.

Исследование гидроакустическим методом распределения и поведения байкальского омуля в зимний период показало, что на мелководье зимует молодь из нерестовой р. Селенги, в то время как особи старше двух лет мигрируют на прилегающие акватории. Нами были получены новые данные о размерно-возрастном составе байкальского омуля на этапе зимовки в подледный период, что подтвердило возможность проведения гидроакустического мониторинга размерно-возрастного состава рыб в статическом режиме. Проведенные исследования свидетельствуют о целесообразности создания сети станций гидроакустического мониторинга, позволяющей в режиме реального времени наблюдать изменения концентраций и размерного состава байкальского омуля – тех популяционных параметров, на которых основываются рыбохозяйственные прогнозы.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0279-2022-0004 (122012600083-9).

Список литературы

Гидроакустические исследования структуры нагульного стада байкальского омуля на Селенгинском мелководье оз. Байкал / П. Н. Аношко, Е. В. Дзюба, И. В. Ханаев [и др.] // Limnology and Freshwater Biology. 2024. Т. 7, № 5. С. 1302–1317. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-5-1302

Исследование теплового потока и структуры подлёдного слоя воды на границе со льдом в Южном Байкале / И. А. Асламов, В. В. Козлов, Г. Б. Кириллин [и др.] // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 3. С. 296–310. DOI: 10.7868/S0321059617030038

Чемагин А. А. Распределение рыб в зимовальной яме в условиях ледового покрытия // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 5-3(85). С. 479–489.

A study of the gas seep Istok in the Selenga shoal using active acoustic, passive acoustic and optical methods / M. M. Makarov, S. I. Muyakshin, K. M. Kucher [et al.] // Journal of Great Lakes Research. 2020. Vol. 46, N 1. P. 95–101. DOI: 10.1016/j.jglr.2019.10.014

Jurvelius J., Sammalkorpi I. Hydroacoustic monitoring of the distribution, density and the mass-removal of pelagic fish in a eutrophic lake // Hydrobiologia.1995. Vol. 316. P. 33–41. DOI: 10.1007/BF00019373.

The results of the first hydroacoustic studies of the winter distribution of Coregonus migratorius in Lake Baikal / P. N. Anoshko, M. M. Makarov, I. N. Smolin [et al.] // Limnology and Freshwater Biology. 2019. Vol. 3. P. 232–235. DOI: 10.31951/2658-3518-2019-A-3-232

Under ice density and mobility of fish in winter-seining area of two Finnish lakes as revealed by echo-survey / J. Jurvelius, J. Lilja, R. Riikonen [et al.] // Aquatic Living Resources. 2000. Vol. 13. P. 403–408. DOI: 10.1016/S0990-7440(00)01061-5

УДК 551.510.42

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ОТ НОВО-ИРКУТСКОЙ ТЭЦ В РЕГИОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

В. Л. Макухин[1]*, И. В. Латышева[2], В. Н. Синюкович[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
**Автор для переписки: aerosol@lin.irk.ru*

Аннотация. Исследуются процессы распространения бенз(а)пирена и диоксида серы, выбрасываемых в атмосферу при работе Ново-Иркутской ТЭЦ. С этой целью использована нелинейная нестационарная численная модель полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии примеси. Проведённые с помощью модели численные эксперименты показали, что при северо-западном ветре концентрации диоксида серы на побережье оз. Байкал в районе Листвянки могут достигать 1 $ПДК_{сс}$ и более, а концентрации бенз(а)пирена – 0,1 $ПДК_{сс}$ и более. При юго-западном ветре примеси от ТЭЦ переносятся в сторону г. Иркутска, приземные концентрации бенз(а)пирена в отдельных районах города могут достигать 6 $ПДК_{сс}$ и более.

Ключевые слова: бенз(а)пирен, диоксид серы, численная модель, Байкал

Проблема наличия бенз(а)пирена (БП) в окружающей среде является достаточно острой для всех регионов, что связано с его повсеместным распространением. Основные источники образования БП связаны с технологическими процессами сжигания органического топлива, причем более половины эмиссии БП приходится на производство теплоты коммунальными котельными. При сжигании твёрдого топлива при вырабатывании энергии также образуется диоксид серы. Бензапирен – вещество, относящееся к первому классу опасности, канцероген. Очень токсичен диоксид серы, вызывает различные заболевания лёгких.

Целью работы являлось исследование процессов распространения выбросов Ново-Иркутской ТЭЦ (НИ ТЭЦ) в районе оз. Байкал и г. Иркутска с помощью нелинейной нестационарной численной модели полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии примеси.

Первая серия численных экспериментов была проведена в области площадью 200×200 км^2 и высотой 1,7 км от поверхности оз. Байкал и Иркутского водохранилища. Моделировалось распространение диоксида серы и бенз(а)пирена от НИ ТЭЦ при северо-западном ветре. Шаг сетки по горизонтали составлял 1000 м. Шаг сетки по вертикали был переменным и до высоты 350 м равнялся 50 м, далее – 150, 300, 400 и 500 м. Коэффициенты турбулентной диффузии примесей рассчитывались с использованием полуэмпирической теории турбулентности. Интенсивность источника выбросов диоксида серы 1187 г/с.

На рис. 1 приведено распределение рассчитанных приземных концентраций (в мг/м^3) диоксида серы (источник выбросов – трубы НИ ТЭЦ) в долине Ангары и на побережье Южного Байкала при северо-западном ветре 3 м/с.

Из-за удалённости оз. Байкал от источника выбросов (60 км) концентрации диоксида серы на побережье озера небольшие – в районе Листвянки отмечены значения 0,1 среднесуточной предельно допустимой концентрации ($ПДК_{сс}$), в окрестности пос. Большая Речка значения концентраций несколько превышают 0,2 $ПДК_{сс}$, в районе Курмы – 0,4 $ПДК_{сс}$. Максимальные концентрации наблюдаются вблизи источника. На высоте 800 м от поверхности Иркутского водохранилища максимум концентраций смещается по потоку к истоку Ангары, а на высоте 1,2 км максимальные концентрации отмечены в районе Танхоя.

Вторая серия численных экспериментов проводилась в области площадью 24×24 км^2 и высотой 2,4 км от поверхности оз. Байкал и Иркутского водохранилища. Моделировалось распространение бенз(а)пирена от НИ ТЭЦ при ЮЗ ветре скоростью 1 м/с. Шаг сетки по горизонтали составлял 200 м. Шаг сетки по вертикали был переменным и до высоты 500 м равнялся 50 м, далее – 100, 300, 500 и 1000 м. Интенсивность источника выбросов 20 мг/с.

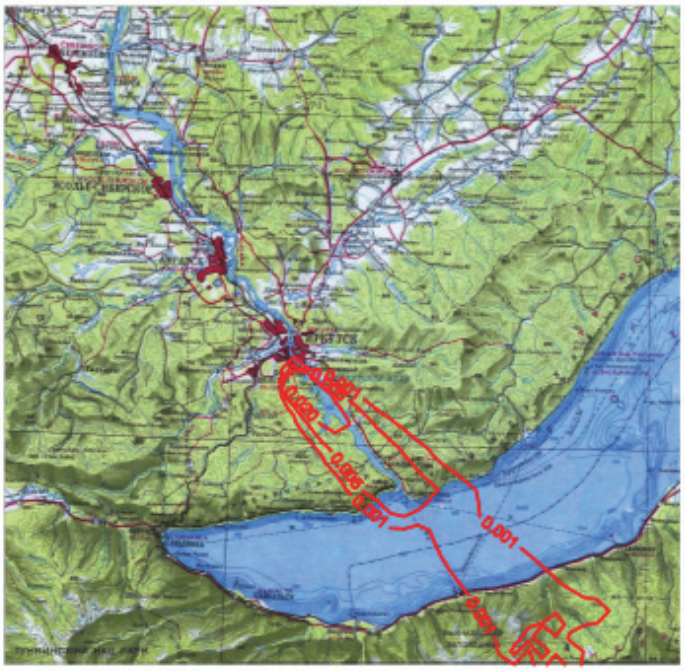


Рис. Изолинии рассчитанных приземных концентраций диоксида серы (в мг/м^3) в регионе Южного Байкала при северо-западном ветре скоростью 3 м/с

Анализ результатов расчётов показал, что при юго-западном ветре 1 м/с концентрации БП более 5 ПДК$_{сс}$ (ПДК$_{сс}$ = 1 нг/м^3) наблюдаются на расстоянии 20 км от источников выбросов, концентрации более 13 ПДК$_{сс}$ – на удалении 8 км, включая левобережную часть города и центр на правом берегу Ангары; концентрации более 20 ПДК$_{сс}$ отмечены вблизи НИ ТЭЦ на расстоянии до 4 км. При увеличении скорости юго-западного потока до 3 м/с максимум концентраций наблюдается на удалении 5–6 км от источников выбросов (6 ПДК$_{сс}$). Концентрации БП более 5 ПДК$_{сс}$ наблюдаются на расстоянии 9 км в северо-восточном направлении. На высоте 400 м от поверхности Иркутского водохранилища из-за большей интенсивности турбулентных процессов значения концентраций меньше, превышение ПДК$_{сс}$ более чем в 3 раза наблюдается на расстоянии до 8 км. С увеличением скорости юго-западного ветра до 10 м/с интенсивность турбулентных процессов возрастает, концентрации БП в центре города меньше 1 ПДК$_{сс}$. Максимальные концентрации отмечены на границе расчётной области в районе предместья Рабочее – до 2 ПДК$_{сс}$.

Сравнение рассчитанных концентраций бенз(а)пирена с измеренными в различных районах города показало их качественное и количественное соответствие. Полученные результаты могут быть применены при утверждении технологических нормативов, годовых валовых выбросов и удельных значений массы выбросов, инвентаризации выбросов, при оценке вклада в загрязнение г. Иркутск, Иркутского водохранилища и оз. Байкал выбросами отдельного предприятия (в данном случае НИ ТЭЦ), а также в прогностических целях.

Благодарности. Работа выполнена по теме государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0014 «Исследование роли атмосферных выпадений на водные и наземные экосистемы бассейна озера Байкал, идентификация источников загрязнения атмосферы».

УДК 574.5:504.5:546.22

СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В ГИДРОБИОНТАХ В РЕЧНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ КРЫМА

Л. В. Малахова[1,2]*, Т. В. Малахова[1,2], С. В. Статкевич[1,2], И. И. Чеснокова[1,2], С. В. Куршаков[1,2], Е. П. Карпова[1,2]

[1]Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (Россия, 299011, Севастополь, ул. Нахимова, 2)
[2]Научно-исследовательский центр пресноводной и солоноватоводной гидробиологии – филиал ФИЦ ИнБЮМ (Россия, 299011, Севастополь, ул. Нахимова, 2)
** Автор для переписки: malakhovalv@ibss-ras.ru*

Аннотация. Впервые определено содержание стойких органических загрязнителей в рыбах (*Alburnoides bipunctatus*, *Squalius cephalus*, *Neogobius fluviatilis*) в реках Крыма Альма и Бельбек и травяной креветке (*Palaemon adspersus*) в р. Черной. Установлено, что в рыбах основным загрязнителем являлся п,п'-дихлордифенилдихлорэтен – метаболит пестицида п,п'-дихлордифенилдихлорэтана, максимальные концентрации которого (до 360,8 нг/г) превышали в Бельбеке и озере у с. Песчаное (водосбор Альмы) ПДК для рыб. Следовые количества полихлорбифенилов в рыбах исключали значимое промышленное загрязнение исследуемых водоемов в отличие от р. Черной, где в пробах мышц и икры креветок выявлено значительное накопление полихлорбифенилов (до 186,2 нг/г). Расчет коэффициента экологического риска показал высокую опасность от воздействия загрязнителей на гидробионты.

Ключевые слова: ДДТ, ПХБ, *Alburnoides bipunctatus*, *Squalius cephalus, Neogobius fluviatilis, Palaemon adspersus,* малые реки, Крым

Малые реки Крыма Черная, Бельбек, Альма имеют важное значение в регионе, обеспечивая питьевое водоснабжение населения и орошение сельскохозяйственных земель. При этом они подвержены серьезному промышленному и сельскохозяйственному загрязнению. Целью данной работы стало определение уровней накопления наиболее опасных антропогенных загрязнителей окружающей среды: хлорпестицидов (п,п'-ДДТ и его метаболитов п,п'-ДДЭ и п,п'-ДДД) и полихлорбифенилов (ПХБ). Благодаря своей исключительной химической устойчивости, эти стойкие органические загрязнители (СОЗ) способны сохраняться в экосистемах в течение десятилетий. На сегодняшний день сведения о содержании СОЗ в ихтиофауне рек Крыма ограничены одной публикацией о значительном загрязнении ДДТ и ПХБ рыб в экосистеме среднего течения Салгира [Organochlorine … , 2023].

Для анализа СОЗ в летний сезон 2024 г. в Альме были отобраны пробы быстрянки *Alburnoides bipunctatus* (Bloch, 1782), голавля *Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758) и бычков-песочников *Neogobius fluviatil*s, в Бельбеке – быстрянки. В озере у села Песчаное (водосбор Альмы) были отобраны несколько особей серебряного карася *Carassius gibelio* (Bloch, 1782). Из-за небольших размеров пойманных рыб анализ СОЗ проводили в гомогенизированной массе целых особей. В р. Черной в весенне-летний период 2024 г. отлавливали травяных креветок *Palaemon adspersus* (Rathke, 1837), у которых для анализа отбирали мышечную ткань самцов и самок, а также в летних пробах – икру.

Определение СОЗ в образцах проводили после из лиофильной сушки в соответствии с МВИ МН 2352–2005 газохроматографическим методом в НОЦКП «Спектрометрия и Хроматография» ФИЦ ИнБЮМ на хроматографе Хроматэк Кристалл 5000 (Россия) с микродетектором электронного захвата. Определяли содержание п,п'-ДДТ (далее ДДТ), его метаболитов п,п'-ДДЭ и п,п'-ДДД (далее ДДЭ и ДДД), и шести индикаторных конгенеров ПХБ (по IUPAC № 28, 52, 101, 138, 153 и 180). Концентрации СОЗ рассчитаны как средние значения из аналитических повторностей и выражены в нг/г сырой массы**.**

Экологический риск от воздействия СОЗ оценивали с помощью коэффициента риска RQ: RQ = MEC/PNEC, где MEC – концентрация СОЗ в гидробионтах, а PNEC – концентрация СОЗ, ниже которой не возникнет никаких последствий для организмов. Значения

RQ>1 означают высокий риск, в диапазоне от 0,1 до 1 – средний, от 0,01 до 0,1 – низкий, <0,01 – незначительный риск [Occurrence … , 2020].

Содержание СОЗ в отобранных пробах гидробионтов изменялась в широком интервале значений: ΣДДТ – от 2,0 до 360,8, Σ6ПХБ – от «не обнаружено» до 186,2 нг/г (табл.).

Таблица. Концентрация СОЗ (нг/г сырой массы) в гидробионтах рек Альма, Бельбек, Черная

№	Район отбора	Объект	Пол	Органы	∑ДДТ	∑6ПХБ
1	Р. Черная (Инкерман)	креветки	самки	икра	28,4	186,2
2	Р. Черная (Инкерман)	креветки	самцы	мышцы	2,5	26,2
3	Р. Черная (Инкерман)	креветки	самки	мышцы	2,0	16,4
6	Р. Бельбек , с. Плотинное	быстрянка	н. опр.	целиком	360,8	н. о.
7	Р. Альма, с. Малиновка	быстрянка	-«-	целиком	99,6	7,7
8	Р. Альма, с. Малиновка	голавль	-«-	целиком	48,2	1,3
9	Р. Альма, с. Песчаное	бычок-песочник	-«-	целиком	31,4	1,8
10	Озеро возле с. Песчаное	карась серебряный	-«-	целиком	351,1	0,4

Примечание: н. опр. – не определяли, н. о. – не обнаружено.

Во всех исследованных пробах рыб основным загрязнителем оказался метаболит ДДЭ, тогда как исходный пестицид ДДТ и другой устойчивый метаболит ДДД либо не обнаружены, либо присутствовали в небольших концентрациях в двух пробах (0,44 нг/г ДДТ в голавле в Альме и 4,2 нг/г ДДД в быстрянке из Бельбека). Невысокое содержание ПХБ в рыбах исключает значимое промышленное загрязнение этих рек и озера, в отличие от р. Черной, где в пробах мышц и икры креветок выявлено значительное накопление полихлорбифенилов (от 16,4 в мышцах самок до 186,2 нг/г в икре, табл. 1). В пробах мышц креветок был обнаружен только ДДЭ в относительно невысоких концентрациях (1,3–3,1 нг/г), в икре креветок уровень ДДЭ (28,4 нг/г) оказался в 10–20 раз выше, чем в их мышцах. У самцов креветок концентрации ДДЭ в мышцах были выше, чем у самок (1,9–3,1 нг/г против 1,3–2,6 нг/г).

Сравнение концентраций СОЗ с ПДК для пресноводных рыб показало, что ПДК для ΣДДТ (300 нг/г сырой массы) была превышена в быстрянке в р. Бельбек и у серебряного карася в оз. Песчаном. ПДК ΣПХБ, которая составляет 2000 нг/г сырой массы, в печени – 5000 нг/г, в отобранных образцах рыбы и креветок, превышены не были.

Расчеты RQ выявили существенные различия в значениях экологического риска между видами. Наибольшие значения RQ получены для гексахлорбифенилов 138 (RQ=2–93) и 153 (RQ=3–56). Особенно тревожная ситуация сложилась с популяцией травяной креветки, для которой максимальный экологический риск превышал критические значения в десятки раз.

Благодарности. Работа выполнена в рамках тем госзадания ФИЦ ИнБЮМ № 124030100127-7, 124022400148-4 и № 123101900019-5.

Список литературы

Occurrence and risk assessment of emerging contaminants in a water reclamation and ecological reuse project / X. Lin, J. Xu, A. A. Keller [et al.] // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 744. Art. 140977. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140977

Organochlorine xenobiotics in the Salgir River ecosystem: content, distribution, ecological risk / L. V. Malakhova, E. P. Karpova, R. E. Belogurova [et al.] // Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea. 2023. Vol. 4. P. 116–133.

УДК 549.01

МИНЕРАЛЫ ФОСФОРА В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА ОТ ПОЗДНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА ДО ГОЛОЦЕНА

В. И. Малов[1, 2]*, В. Д. Страховенко[1, 2], Д. А. Субетто[2], Н. А. Белкина[2, 3]

[1]Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН
(Россия, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3)
[2]Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена
(Россия, Санкт-Петербург,набережная реки Мойки, 48)
[3]Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
(Россия, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50)
**Автор для переписки: Malov@igm.nsc.ru*

Аннотация. Исследование посвящено идентификации фосфорсодержащих минералов в донных отложениях Онежского озера и Онежского приледникового озера. Установлено, что набор минеральных фаз фосфора различаются между верхнеплейстоценовыми и голоценовыми отложениями. В первых преобладают фторапатит, моноцит и ксенотим, тогда как в голоцене значительную роль играют вивианит и гидроксиды железа и марганца. Выявленные различия указывают на изменение источников фосфора и условий его накопления, что важно для оценки трофического состояния озера в условиях климатических и антропогенных изменений.

Ключевые слова: Онежское озеро, фосфор, минералы, вивианит, минералы фосфора

Фосфор играет ключевую роль в биогеохимических циклах водных экосистем, определяя продуктивность и степень эвтрофикации водоёмов. Донные отложения служат как источником, так и резервуаром фосфора. Минеральный состав донных отложений способен существенно влиять на трансформации фосфорных соединений и их последующее высвобождение в водную толщу. Это исследование направлено на идентификацию и фосфорсодержащих минералов в современных осадках Онежского озера, а также в отложениях Онежского приледникового озера с целью лучшего понимания процессов, влияющих на круговорот фосфора в северных водоёмах. Полученные данные могут стать основой для прогноза изменений трофического состояния этих экосистем в условиях климатических и антропогенных воздействий.

Отбор фактического материала производился на всей акватории Онежского озера с борта НИС «Эколог» пробоотборниками: Limnos, трубка «ГОИН ТГ-1» и ударной грунтовой трубки длиной 3 м, а также при помощи бурения со льда озера системы отбора донных отложений производства UWITEC (Австрия). Аналитическая работа проводилась в Аналитическом центре многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, Новосибирск, Россия. Для исследования морфологии, фазового и химического составов образцов применялся сканирующий электронный микроскоп MIRA 3 TESCAN (Tescan, Чехия), оснащенный энергетическим спектрометром Oxford (Oxford Instruments, Великобритания). Для определения химического состава: Na_2O, MgO, Al_2O_3, SiO_2, P_2O_5, K_2O, CaO, TiO_2, MnO, Fe_2O_3 и ППП (потери при прокаливании) – использовался рентгеноспектральный флуоресцентный анализ на приборе ARL-9900-XP (Applied Research Laboratories, США).

В соответствии с исследованием [Structure … , 2020] дно Онежского озера слагают верхнеплейстоценовые лимногляциальные отложения Онежского Приледникового озера, представленные ленточными глинами, которые постепенно переходят в гомогенные глины выше на них залегают современные голоценовые отложения Онежского озера.

Содержание P_2O_5 в лимногляциальных отложениях Онежского Приледникового озера варьирует в диапазоне от 0,04 масс. %, до 0,18 масс. %, со средним значением 0,14 масс. %, что ниже значений содержание P_2O_5 в голоценовых отложениях Онежского озера. Для голоценовых отложений определен диапазон значений концентрации P_2O_5 от 0,35 масс. %, до 2,9 масс. %, со средним значением 0,79 масс. %. Стоит отметить, что максимальные значе-

ния характерны, для верхней части голоценовых отложений, в которых наблюдается рудный слоек, формирующийся на границе окислительно-восстановительных условий [The spatio-temporal … , 2020].

Изучение образцов донных отложений на сканирующем электронном микроскопе позволило определить основные фосфорсодержащие фазы. Так, для лимногляциальных отложениях Онежского Приледникового озера основными минералами фосфора определены: фторапатит, моноцит и ксенотим. Для голоценовых отложений Онежского озера установлено, что основными фазами фосфора являются вивианит, а также гидрооксиды Fe и Mn в которых фосфор находится в сорбированном виде, помимо этого, в следовых количествах встречены фторапатит, моноцит, ксенотим (рис.).

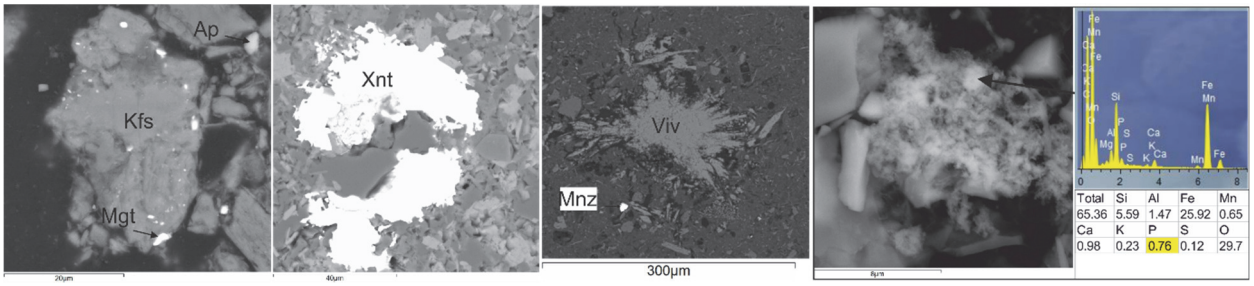


Рис. Минералы фосфора в донных отложениях Онежского озера. Символьные обозначение минералов: Xtm – ксенотим; Mnz– монацит; Mgt –магнетит; Kfs– K-полевой шпат; Ap –апатит; Viv– вивианит

Полученные результаты согласуются с более ранними данными, о роли гидроксидов в удержании фосфора отмечалось в работе [Белкина, 2015]. Полученые результаты позволяют сделать следующие выводы: 1) фторапатит, моноцит, ксенотим являются сквозными минералами, и по всей видимости являются единственными терригенными источниками фосфора; 2) более высокие концентрации фосфора в голоценовых донных отложениях, и появление новых фаз фосфора (вивианита и гидрооксидов Fe и Mn) указывают на повышения потока фосфора в это время, за счет появления дополнительных источников.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-00206, https://rscf.ru/project/24-17-00206/.

Список литературы

Белкина Н. А. Фосфор в донных отложениях Онежского озера // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2015. № 173. С. 97–109.

The spatio-temporal distribution of elements in the bottom sediments of Lake Onego and small lakes located on the catchment area of Onego Ice Lake / V. D. Strakhovenko, N. A. Belkina, N. A. Efremenko [et al.] // Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences 2023. Vol. 68, N 4.

Structure of late pleistocene and holocene sediments in the Petrozavodsk bay, lake Onego (NW Russia) / D. Subetto, V. Kuznetzov, Y. Kublitskiy [et al.] // Minerals. 2020. N 10 (11). P. 1–20. DOI: 10.3390/min10110964

УДК 550.424.2

ОЦЕНКА СКОРОСТЕЙ ДЕПОНИРОВАНИЯ УГЛЕРОДА ДОННЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ МАЛЫХ ОЗЁР ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Г. И. Малов*, В. Д. Страховенко, Е. А. Овдина, В. И. Малов

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН
(Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3)
**Автор для переписки: malovgi@igm.nsc.ru*

Аннотация. Работа посвящена оценке объема захоронения углерода в донных отложениях малых озер, расположенных в условиях различных типов седиментогенеза на юге Западной Сибири. Средняя скорость депонирования углерода для изученных озёр – (462±29 г/м^2). Полученные данные сопоставимы с мировыми оценками и подчёркивают важную роль малых озер в общем углеродном балансе внутриконтинентальных водных систем Земли.

Ключевые слова: сапропель, малые озера, углерод, депонирование углерода

Несмотря на то что важность и эффективность захоронения отложений углерода в озёрах и водохранилищах стали широко признаваться в последнее время, оценки еще достаточно ограничены особенно в региональных и глобальных масштабах. Так в одном из последних крупных обзорных исследований [Organic … , 2017] показано, что данные оценок депонирования углерода в озёрах, на 90 % представлена данными по озёрам Северной Америки и Европы. Таким образом, вопрос о том, сколько углерода захоранивается в озёрах и водохранилищах, остается открытым особенно для малоизученных и труднодоступных территорий из разных регионов России.

С целью оценки процессов захоронения углерода в донных отложениях малых континентальных водоемов, выбраны 42 озера расположенных на территории юга Западной Сибири в условиях гумидного, аридного и нивального типов седиментогенеза (по Страхову [1960]). Для определения скоростей депонирования углерода в сапропелевых залежах изученных озёр авторами использован метод расчёта через скорости накопления осадка. Для этого с центра озера брался ненарушенный стратифицированный керн донных отложений, опробовался с шагом 10–50 мм. Скорости осадконакопления оценивались методами радиометрического датирования с использованием 210Pb по модели постоянного потока (CRS) с проверкой пиками активности 137Cs (по маркирующим горизонтам). Затем усреднённая скорость осадконакопления умножается на содержание углерода в пробе осадка и приводилась на единую площадь в 1 м^2 с учётом влажности и плотности осадка.

Полученные усредненные значения по скоростям депонирования углерода для донных отложений составляют: 560 г/м^2 в год для озер, локализованных в условиях гумидного типа седиментогенеза, 300 г/м^2 в год и 340 г/м^2 в год для озер, локализованных в условиях аридного типа седиментогенеза и нивального типа седиментогенеза соответственно. Усредненные значения по скоростям депонирования углерода в малых озёрах юга Западной Сибири составляет 462±29 г/м^2 в год, минимальные значения относятся к оз. Кротова ляга (степь, аридный тип седиментогенеза) – 50 г/м^2 в год, максимальные к оз. Яково (таёжная зона, гумидный тип седиментогенеза) – 1110 г/м^2 в год.

На рисунке представлен график сравнения скорости захоронения органического углерода в отложениях изученных озёр с данными других исследователей и со средними уровнями поглощения углерода в различных типах экосистем.

В целом полученные оценки для озёр юга Западной Сибири соответствуют данным других учёных для внутриконтинентальных водных объектов, превышая средние значения по скоростям депонирования углерода на шельфе и для болот. Также прослеживается зависимость уменьшения скорости депонирования углерода от площади водных объектов.

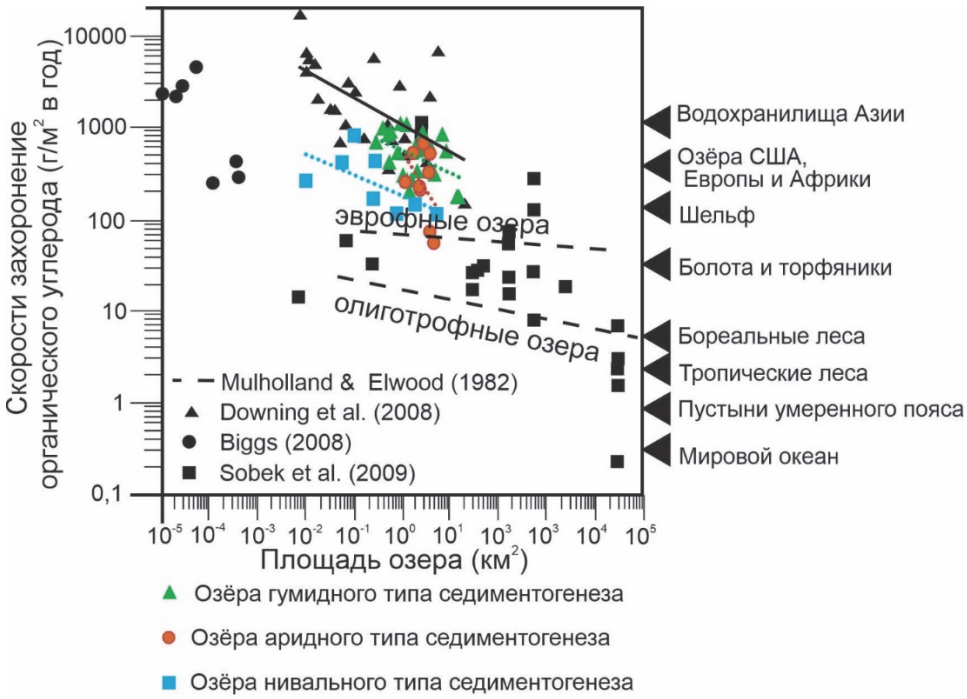


Рис. График сравнения скорости захоронения органического углерода в отложениях озёр, находящихся в условиях различного типа седиментогенеза (данные авторов нанесены на график [Downing, 2010]) Стрелки справа указывают средние уровни поглощения углерода в различных типах экосистем

Выводы. Получены новые оценки по скоростям депонирования углерода в малых озёрах юга Западной Сибири (462±29 г/м^2). Локальные и региональные оценки соотносятся с данными для озёр Европы и Северной Америки.

Благодарности. Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. В 3 т. Т. 1. Типы литогенеза и их размещение на поверхности земли. М. : Изд-во АН СССР, 1960. 211 с.

Downing J. A. Emerging global role of small lakes and ponds: little things mean a lot // Limnetica. 2010. Vol. 29, N 1. Art. 0009-24. DOI: 10.23818/limn.29.02

Organic carbon burial in global lakes and reservoirs / R. Mendonça [et al.] // Nature communications. 2017. Vol. 8, N 1. Art. 1694. DOI: 10.1038/s41467-017-01789-6

УДК 57.044

СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ СОЛЗАНСКОГО ПОЛИГОНА БЦБК

А. А. Мамонтов*, Е. А. Мамонтова

Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а)
**Автор для переписки: mamontov@igc.irk.ru*

Аннотация. Стойкие органические загрязнители были определены в почвах и картах-накопителях Солзанского полигона БЦБК, расположенного в г. Байкальске в прибрежной части оз. Байкал. Полихлорированные бифенилы (31 индивидуальное соединение, что составляет приблизительно 70 % общего состава ПХБ) показали наивысшие концентрации как в почве (3899,2 нг ПХБ/г сухой почвы), так и в шлам-лигнине из карт № № 3 и 8 (89 и 181 нг ПХБ/г сухого вещества). Остальные стойкие органические загрязнители, такие как ДДТ, гексахлорбензол, хлорданы и т. д. в пробах или отсутствовали или их концентрации были существенно ниже.

Ключевые слова: стойкие органические загрязнители, Байкал, ПХБ, ДДТ, гексахлорбензол, пентахлорбензол, БЦБК

Согласно положениям Стокгольмской конвенции (Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Stockholm) [2011], стойкие органические загрязнители (СОЗ) являются исключительно вредоносными веществами для биосферы Земли и человека. Полихлорированные бифенилы (ПХБ) и дихлордифенилтрихлорметилметан (ДДТ) являются самыми распространенными СОЗ в Российской Федерации [Treger, 2012]. В экосистеме оз. Байкал максимальное количество СОЗ так же приходится на соединения группы ДДТ и ПХБ. Долгое время «Усольехимпром» (г. Усолье-Сибирское) и множество мелких локальных источников южного Байкала, железная дорога считались нами основными источниками, поставляющими ПХБ в экосистему озера. В 2024 г. в рамках проведения работ по гранту № 075-15-2024-533 Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение крупного научного проекта по приоритетным направлениям научно-технологического развития «Фундаментальные исследования Байкальской природной территории на основе системы взаимосвязанных базовых методов, моделей, нейронных сетей и цифровой платформы экологического мониторинга окружающей среды» на территории Солзанского полигона БЦБК был проведен отбор проб почв и содержимого карт накопителей № 3, 5, 8 на предмет содержания стойких органических загрязнителей. Аналитические работы были выполнены на базе Центра коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН. Результат получился следующим.

Концентрации ПХБ (вещества 1 класса опасности) в почвах и картах накопителях находятся в диапазоне от 4 до 3899,2 нг/г. (195 ОДК). В районе карт 8, 9, 10. концентрации больше, чем в районе 1–7 карт и составляют от 57 до 297 нг/г почвы. Максимальная концентрация (3899,2 нг ПХБ/г сухой почвы) приходится на точку между картами 2, 3 и 9.

В карте № 3 шлам лигнин содержит 89 нг ПХБ/г сухого вещества (4,45 ОДК).

В карте № 5 шлам золы содержит 15 нг ПХБ/г сухого вещества.

В карте № 8 шлам лигнин содержит 181 нг ПХБ/г сухого вещества (9,05 ОДК).

Ливневый сток промплощадки БЦБК в устье содержит 600 нг ПХБ/г сухой почвы.

Район ТЭЦ БЦБК (на месте ближней к проходной, снесенной печи сжигания шлам-лигнина) содержит 138 нг ПХБ/г сухой почвы (вернее будет сказать 10 см слоя глинисто-галечной смеси).

В жилой зоне пос. Солзан концентрации нигде не превышали 20 нг ПХБ/г сухой почвы.

Пентахлорбензол. Концентрации от 0,017 до 2,37 нг/г сухого вещества.

Гексахлорбензол. Концентрации от 0,056 до 59,64 нг/г сухого вещества.

Транснонахлор. Менее 0,056 нг/г сухого вещества.

2,4-ДДЭ. Менее 0,113 нг/г сухого вещества.

4,4-ДДЭ. Концентрации от 0,04 до 2,9 нг/г сухого вещества.

2,4-ДДД. Концентрации от 0,365 до 2,6 нг/г сухого вещества.

4,4-ДДД. Концентрации от 0,217 до 7,68 нг/г сухого вещества. Карта № 8 11,67 нг/г сухого вещества.

2,4-ДДТ. Концентрации от 1,15 до 6,38 нг/г сухого вещества.

4,4-ДДТ. Концентрации от 6,09 до 27 нг/г сухой почвы. В картах 3,5,8. 4,4-ДДТ, не обнаружен. Сумма всех форм ДДТ достигает 41 нг/г сухого вещества, что ниже прежних нормативов, составлявших 100 нг суммы ДДТ/г почвы.

Только концентрации ПХБ превышают действующие гигиенические нормативы СанПиН 1.2.3685-21 в почвах, как и данные, полученные в прежние годы.

Максимальные концентрации, найденные в Усолье-Сибирском, составляли до 900 нг ПХБ/г сухой почвы или 45 ОДК. Почвы Солзанского полигона БЦБК содержат до 195 ОДК ПХБ. И если от Усолья-Сибирского до оз. Байкал 125 км, то от Солзанского полигона до побережья Байкала всего 350 м.

При этом фоновые концентрации ПХБ БПТ, в верховьях рек Баргузин и Талая составляют не более 1 нг ПХБ/г сухой почвы. Концентрации ПХБ в прибрежных почвах оз. Байкал обычно были в диапазоне 0,5–9 нг/г, увеличиваясь до 15–18 нг/г вблизи и в населенных пунктах, и лишь изредка превышали порог старого значения гигиенических нормативов ГН 1.2.3539-18 для ПХБ в 60 нг/г. почв. Такие всплески концентраций мы считали результатом локальных техногенных аварий. Теперь после получения новых данных есть повод пересмотреть прежние выводы.

Список литературы

Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Stockholm. 53. 2011. URL: https://www.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx

Treger Y. Stockholm convention on persistent organic pollutants: The ways of its implementation in the Russian Federation // Russian Journal of Physical Chemistry B. 2012. Vol. 6. Art. 647. DOI: 10.1134/S1990793112050259

УДК 502.3:661.715.6

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ И ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В АТМОСФЕРЕ НА СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА В Г. ИРКУТСКЕ

И. И. Маринайте*, В. Л. Потемкин

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки:marin@lin.irk.ru*

Аннотация. Представлены многолетние данные по содержанию частиц $PM_{10,}$ $PM_{2.5}$, $PM_{1,0}$ и полиароматических углеводородов (ПАУ) в атмосфере на станции мониторинга в г. Иркутске за 2015–2025 гг. Определена сезонная, межгодовая динамика и высокие корреляционные связи их концентраций с метеопараметрами. Установлено, что ПАУ в атмосфере Иркутска, в основном, сорбированы на крупных частицах ($PM_{10,}$ $PM_{2.5}$), концентрации которых в течение года изменялась от 13 до 180 мкг/м^3. Суммарная усредненная недельная концентрация ПАУ на станции варьировала от 1–3 летом до 35–380 нг/м^3 зимой.

Ключевые слова: аэрозольные частицы, ПАУ, источники, метеопараметры

Атмосферный аэрозоль – это сложная смесь органических и неорганических компонентов, которые влияют на климат Земли и здоровье человека. Поэтому любые дополнительные экспериментальные данные об изменчивости концентраций этих компонентов в различных регионах мира представляет большой интерес. Частицы диаметром менее 2,5 мкм из-за своего сложного состава и размера проникая сквозь биологические барьеры, влияют на дыхательную, сердечно-сосудистую, системы человека на функцию иммунной системы. ПАУ, сорбированные на частицах аэрозоля, относятся к супер-экотоксикантам 1-го класса опасности, поскольку многие из них, обладают мутагенными и канцерогенными свойствами. В ходе исследования содержания $PM_{10,}$ $PM_{2.5}$, $PM_{1,0}$ и ПАУ в атмосфере на станции мониторинга г. Иркутска в 2015–2025 гг. установлено:

1. В атмосферном воздухе Иркутска до 60 % присутствовала грубодисперсная фракция аэрозоля $PM_{10,}$ $PM_{2.5}$. Высокие концентрации частиц отмечены с ноября до середины мая, когда в городской атмосфере увеличивается вклад антропогенных и природных источников. В этот период обнаружено превышение ПДК в 1,1–3,4 раза для $PM_{2.5}$.
2. До 60 % ПАУ ассоциированы с грубодисперсной фракций аэрозоля, коэффициент парной корреляции ПАУ с частицами составил 0. 65. Относительное содержание ПАУ в аэрозольных частицах варьировало от 0,003–0,005 % летом и до 0,05–0,17 % зимой.
3. Установлены высокие корреляционные связи между содержанием ПАУ в атмосфере и метеопараметрами. Сезонные изменения содержания ПАУ в атмосфере имеют ярко выраженный максимум в зимний период. Среднегодовые концентрации ПАУ в аномально теплый 2020 г. были в 3 раза ниже средних значений, полученных в холодный 2016 г.
4. В аэрозоле преобладали в основном четырех-, пяти- и шестикольцевые ПАУ, от холодного к теплому периоду увеличивалась доля двух, трех кольцевых ПАУ. Расчетные концентрации эквивалента токсичности аэрозоля возрастали от лета к зиме с увеличением вклада – бенз(а)пирена – одного из наиболее токсичных соединений этого класса.
5. Диагностические соотношения ПАУ выявили основные источники загрязнения атмосферы: сжигание угля, жидкого топлива, дров, выбросы автотранспорта, лесные пожары.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках госзадания ЛИН СО РАН по теме № 0279-2021-0014 в ЦКП “Ультромикроанализ” ЛИН СО РАН.

УДК 577.21

МУЛЬТИПЛИЦИРОВАННЫЕ БЕЛКИ ТРАНСПОРТА КРЕМНИЯ

А. М. Марченков*

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: marchenkov.am@gmail.com*

Аннотация. Гены, кодирующие белки транспорта кремниевой кислоты, обнаружены у организмов, относящихся к разным систематическим таксонам. Впервые определены нуклеотидные последовательности генов, кодирующих мультиплицированные белки транспортеры кремния у двух пеннатных пресноводных видов диатомей рода *Ulnaria*. Установлено, что гены *sit-m* могут располагаться в одной хромосоме. Оценка уровня экспрессии данных генов у *Ulnaria acus* на разных стадиях морфогенеза дочерних створок показала их субфункциализацию.

Ключевые слова: SIT-M, диатомовые водоросли, *Ulnaria*, клеточный цикл

Диатомовые водоросли являются крупной группой одноклеточных фотосинтезирующих эукариотических организмов, известные своей уникальной способностью – формировать кремниевые видоспецифические экзоскелеты, богато украшенные разнообразной орнаментацией. Процесс захвата и транспорта кремниевой кислоты внутрь клеток диатомей, является одним из важных этапов морфогенеза дочерних створок. При этом во время морфогенеза створки клетка должна поглотить достаточное количество кремниевой кислоты за короткий срок. Предполагается, что в данном процессе принимают участие белки транспорта кремния (Silicon transporter, SIT). В настоящее время гены *sit* представляют собой семейство паралогов и обнаружены у различных организмов разных систематических таксонов. Белки SIT имеют 10 трансмембранных доменов (TM), один консервативный мотив CMLD и четыре консервативных мотива GXQ.

В ходе работы удалось впервые определить нуклеотидные последовательности генов, кодирующих мультиплицированные белки SIT (SIT-M) у пресноводных пеннатных бесшовных диатомовых водорослей *Ulnaria acus* и *Ulnaria danica*. Анализ предсказанных аминокислотных последовательностей показал, что SIT-M белки состоят из 2 или 3 слитых друг с другом доменов SIT, на границе между которыми расположены консервативные мотивы YQXDXVYL и DXDID. Мотив DXDID может являться гипотетическим сайтом протеолиза при посттрансляционном созревании белка. Таким образом, можно предположить, что произошла внутригенная дупликация белок кодирующей части генов *sit-m*. В геноме диатомеи *U. acus* два *sit-m* гена располагаются в одной хромосоме. В геноме *U. danica* – три *sit-m* гена, два из которых полностью идентичны и располагаются в одной хромосоме. Между генами *sit-td* и *sit-tri U. acus* и генами *sit*1 и *sit*2 *U. danica* аннотированы фрагменты ретровирусных транспозонов, имеющие гомологию с последовательностью gag-pol *Thalassiosira pseudonana*, что может свидетельствовать о дупликации генов *sit* в результате транспозиции. Остается не совсем ясным вопрос, могут ли отдельные домены SIT подвергнуться субфункциолизации и иметь, к примеру, разное сродство к кремниевой кислоте или разную внутриклеточную локализацию. С целью понимания этого была проанализирована экспрессия генов *sit-m* у *U. acus* на разных стадиях морфогенеза дочерней створки.

Клеточный цикл *U. acus* длится около 24 ч. Известно, что общий структурный план дочерних створок у морфологический сходного вида *U. danica*, происходит в течение 2 ч. В связи с этими данными актуальным является исследование экспрессии транспортёров кремния в течение 3 ч, после добавления кремния в среду к синхронизированной на безкремниевой среде культуре. Следует отметить, что после 72 ч культивирования в среде, не содержащей кремний, примерно 18 % клеток формировали новые створки. Однако бóльшая часть из формирующихся створок находились на последних стадиях IV и V, когда происходит формирование вимин (ветвлений второго порядка) и оформление ареол, а также проис-

ходит утолщение створок. Это может быть связано с замедлением формирования дочерних створок в отсутствие кремния.

Спустя 30 мин после добавления к клеткам среды, содержащей кремний, отмечался рост количества дочерних створок до 54,5 % (максимальное количество дочерних створок за все время эксперимента). Большинство из дочерних створок находились на II стадии морфогенеза. 10 % дочерних створок были на I стадии с закладкой стернума. В то же время отмечалось снижение количества створок на более поздних стадиях. В течение последующих 60 мин отмечалось постепенное уменьшение створок на первых стадиях морфогенеза и увеличение числа створок на IV, а затем на V стадия, при которых происходит формирования ветвления второго порядка (вимин) и оформления ареол. Спустя 120 мин от начала эксперимента повторно увеличивалось количество створок II и III стадий, при этом уменьшалось количество клеток на IV стадии. Через 180 мин после добавления клеток в кремний содержащую среду происходила рассинхронизация деления. Таким образом, формирование основных структур створок у *U. acus* происходит в течение первых двух часов.

Анализ уровня экспрессии показал, что перед добавлением кремневой кислоты в среду у синхронизированных клеток транскрипция генов *sit-tri* и *sit-td* находится примерно на одном уровне. Через 30 мин после добавления кремниевой кислоты в среду DM начинается активное деление и формирование дочерних створок, при этом отмечается незначительное увеличение уровня экспрессии гена *sit-tri* и понижение *sit-td*. Через 60 мин у большинства дочерних створок расширяются вирги и формируется загиб створки, в это время уровень транскриптов обоих генов остается на том же уровне. Резкое увеличение уровня экспрессии гена *sit-td* (в 13 раз) регистрируется на 90 мин при формировании вимин и ареол, одновременно с этим уровень *sit-tri* снижается в 14 раз. Через 120 мин уровень экспрессии гена *sit-td* снижается на 30 %. Еще через 60 мин, когда дочерние створки полностью сформированы и постепенно утолщаются, а также происходит закладка стернума у новых створок, уровень транскриптов гена *sit-td* снижается в 2 раза, а уровень экспрессии *sit-tri* повышается в более чем 15 раз. На основе полученных результатов можно сделать предположение, что белки SIT-TRI и SIT-TD активны на разных стадиях морфогенеза дочерней створки. SIT-TRI принимает участие на начальных стадиях морфогенеза при закладки новой створки, тогда как SIT-TD активнее на более поздних стадиях во время ее постепенного расширения и утолщения. Полученные результаты можно соотнести с результатами, полученными для нескольких морских диатомовых водорослей [A gene … , 1997; Thamatrakoln, Hildebrand, 2007; Whole … , 2012], у которых разные паралоги генов *sit* показывают разный уровень транскрипции в разные периоды клеточного цикла. Таким образом, можно предположить, что после дупликации генов *sit* в геноме происходит их субфункциолизации и они экспрессируются на разных стадиях морфогенеза дочерних створок.

Благодарности. Исследование финансировалось Министерством науки и высшего образования Российской Федерации проект номер 121032300191-3.

Список литературы

A gene family of silicon transporters / M. Hildebrand, B. E. Volcani, W. Gassmann, J. I. Schroeder // Nature. 1997. Vol. 385. P. 688–689. DOI: 10.1038/385688b0

Thamatrakoln K., Hildebrand M. Analysis of *Thalassiosira pseudonana* silicon transporters indicates distinct regulatory levels and transport activity through the cell cycle // Eukaryotic Cell. 2007. Vol. 6, N 2. P. 271–279. DOI: 10.1128/EC.00235-06

Whole transcriptome analysis of the silicon response of the diatom *Thalassiosira pseudonana* / R. P. Shrestha, B. Tesson, T. Norden-Krichmar [et al.] // BMC Genomics. 2012. Vol. 13. P. 1–16. DOI: 10.1186/1471-2164-13-499

УДК 639.3:597.2/5

НЕКОТОРЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ В ОЗЕРАХ СОЛЕНОЕ И ХАНКА (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)

И. В. Матросова*, Д. Ю. Лавренова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (Россия, 690087, Владивосток, ул. Луговая 52Б)
**Автор для переписки: ingavladm@mail.ru*

Аннотация. Изучены некоторые биологические характеристики серебряного карася в озёрах с разными экологическим условиями весной 2021 г. В оз. Солёное встречался карась длиной от 10 до 18 см и массой от 90 до 190 г, в оз. Ханка от 12 до 35 см и массой от 50 до 775 г. В озёрах доминировали самки, в Соленом с гонадами на III стадии зрелости, в Ханке – на IV. Анализ некоторых биологических характеристик показывает, что в популяциях карася в исследованных озёрах наблюдаются как сходства, характерные для вида в целом, так и различия, вызванные условиями роста в участках с разными экологическими условиями.

Ключевые слова: серебряный карась, оз. Соленое, оз. Ханка, биологические характеристики, рациональное использование

Серебряный карась вследствие биологической пластичности, заселив практически все озерно-речные системы и искусственные водоёмы, продолжает осваивать появляющиеся пруды и озёра, приспосабливаясь к новым условиям обитания. В Приморском крае карась – популярный объект промысла и спортивной ловли в пресных водоёмах.

Цель настоящего исследования – изучить некоторые биологические характеристики серебряного карася в озёрах Соленое и Ханка в весенний период 2021 г.

Озеро Солёное – пресное озеро в центральной части г. Находки, в районе просп. Мира, соединяется протокой с реч. Каменкой, впадает в зал. Находка, близ мыса Шефнера. Местами берега озера заболочены. Цветение воды в летний период наблюдается на всех участках акватории [Находкинский … , 2025]. На рубеже 130–75 тыс. л. н. произошло значительное потепление климата, что привело к перестройке ландшафтов. В этот период уровень моря понизился на 100–110 м. Впоследствии образовались лагуны, к которым и относится это озеро. Незначительные порции соленой воды, попадающие в озеро через протоку, не влияют на его природу [Находкинский … , 2025; Приморское … , 2025]. Озеро Соленое является эвтрофным – с большим содержанием биогенных веществ, используемых гидробионтами [Приморское … , 2025; Влияние … , 2019]. В условиях умеренного климата в озере весной и во второй половине лета происходит бурное развитие фитопланктона, вызывающее «цветение» воды.

Бассейн оз. Ханка привлекает мировое внимание прежде всего по причине уникального биологического разнообразия [Влияние … , 2019; Тихоокеанский … , 2025]. Гидрологический режим оз. Ханка, его ёмкостные характеристики определяют природные и антропогенные факторы. К природным факторам можно отнести атмосферные осадки, речной сток, испарение с водной поверхности озера. К антропогенным факторам относятся хозяйственная деятельность на водосборной площади озера и переброска стока. Водосбор оз. Ханка расположен на территории Приморского края России (большая часть) и провинции Хейлунцзян Китая. В связи с этим испытывает двойное антропогенное воздействие.

В основу работы положен материал, собранный в апреле – мае 2021 г. в оз. Солёное, а также материал, любезно предоставленный сотрудниками «Районной инспекции рыбоохраны» г. Спасск-Дальний, собранный в оз. Ханка в весенний период в 2021 г, за что авторы выражают благодарность сотрудникам организации. Биологический анализ проводился по общепринятым ихтиологическим методикам [Правдин, 1966].

Изучены важнейшие биологические характеристики серебряного карася в озёрах с разной степенью эвтрофикации весной 2021 г. Длина серебряного карася в оз. Солёное ва-

рьировалась от 10 до 18 см, в оз. Ханка от 12 до 35 см. Массовый состав включал особей в оз. Солёное от 90 до 190 г, в оз. Ханка – от 50 до 775 г. В уловах преобладали самки. Гонады серебряного карася оз. Солёное находились на II–III стадиях зрелости, в оз. Ханка – на II–V. В озере Соленое преобладали самки в возрасте 3+, самцы – 2+. В оз. Ханка – самки в возрасте 9+, самцы – 3+.

Исходя из полученных данных, видно, что в оз. Ханка особи карася были намного крупнее, чем в оз. Солёное, особенно заметна разница средних значений. Такой разброс показателей может определять состояние кормовой базы водоема, уровень воды, а также период годового цикла рыб. В исследованных озёрах самки были крупнее самцов. Наши исследования подтверждают литературные сведения о том, что серебряный карась – рыба эврибионтная, хорошо приспособленная к обитанию в водоемах с разными экологическими условиями.

Результаты работы могут быть использованы при планировании и организации работ по охране и рациональной эксплуатации запасов серебряного карася в озёрах.

Список литературы

Влияние содержания кислорода в воде на серебряного карася / А. Ю. Карасева, Н. Ю. Грабчак, С. Н. Попова, И. В. Ткачева // Состояние и перспективы научно-технологического развития рыбохозяйственного комплекса : материалы нац. науч.-практ. конф. Махачкала, 2019. С. 140–146.

Находкинский городской округ. 2025. URL: http://territoriya. nakhodka-lib.ru/geografy/o.Colenoe.htm (дата обращения: 17.03.2025).

Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. 4-е изд. М. : Пищ. пром-сть, 1966. 374 с.

Приморское теруправление Росрыболовства согласовало общественно значимый проект благоустройства озера Соленого в городе Находке. 2025. URL: https://fish.gov.ru/news/2022/05/26/rosrybolovstvo-podderzhalo-proekt-blagoustrojstva-znachimogo-turisticheskogo-obekta-v-primorskom-krae/ (дата обращения: 27.03.2025).

Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО». 2025. URL: http://tinro.vniro.ru/ru/novosti/item/124-u-promysla-na-khanke-namechayutsya-novye-perspektivy (дата обращения: 01.03.2025).

УДК 574.34

СРАВНЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ И АБСОЛЮТНОЙ ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ С ПОМОЩЬЮ МЕТАБАРКОДИНГА И МИКРОСКОПИИ

И. С. Михайлов*, Ю. С. Букин, А. Д. Фирсова, Д. П. Петрова, Е. В. Лихошвай

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: ivanmikhai@gmail.com*

Аннотация. Фитопланктон используется для экологического мониторинга водных экосистем. С помощью метабаркодинга 18S рРНК и микроскопии проведено сравнение относительных и абсолютных численностей и биомасс таксонов весеннего фитопланктона южной котловины оз. Байкал в течение трех лет. Выявлены сходство динамики относительной или абсолютной численности/биомассы таксонов фитопланктона, оцененных двумя методами.

Ключевые слова: фитопланктон, метабаркодинг, 18S рРНК, микроскопия

Фитопланктон является основой пищевой сети и индикатором экологических изменений в водных экосистемах. Целью этой работы было сравнение пространственно-межгодовых закономерностей весеннего фитопланктона южной котловины оз. Байкал в течение трех лет с помощью метабаркодинга и микроскопии. Пробы воды отбирали весной в фотическом слое 9 станций пелагиали южной котловины оз. Байкал в 2020–2022 гг. Структуру сообществ фитопланктона определяли с помощью микроскопии и секвенирования ампликонов V8-V9 региона 18S рРНК на Illumina MiSeq.

Выявлено, что видовое богатство классов фитопланктона было выше для ампликон сиквенс вариантов (ASV), чем видов, оцененных микроскопией. Абсолютные численность и биомасса таксонов фитопланктона, оцененные с помощью метабаркодинга, были получены комбинированием относительных численностей ASV V8-V9 региона гена 18S рРНК с общей или специфической для класса численностью/биомассой фитопланктона, оцененной с помощью световой микроскопии [Comparison … , 2025]. Корреляции были обнаружены между относительной или абсолютной численностью/биомассой, оцененной обоими методами, для классов Bacillariophyceae, Coscinodiscophyceae, Mediophyceae, Chrysophyceae, Cryptophyceae и Chlorophyceae, но не Dinophyceae и Trebouxiophyceae. Различия в идентификации некоторых групп фитопланктона разными методами и в пространственном распределении некоторых видов и ASVs показывают, что каждый из методов имеет свои ограничения и преимущества. Таким образом, выявлена согласованность динамики относительной или абсолютной численности/биомассы таксонов фитопланктона, оцененных двумя методами. Абсолютная численность/биомасса таксонов, оцененная с помощью метабаркодинга в сочетании с микроскопией повышают точность экологической оценки фитопланктона.

Благодарности. Микроскопические исследования выполнены в Центре электронной микроскопии ЦКП «Ультрамикроанализ» Лимнологического института СО РАН, https://www.lin.irk.ru/copp/. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14-00028, https://rscf.ru/project/23-14-00028/.

Список литературы

Comparison of Relative and Absolute Abundance and Biomass of Freshwater Phytoplankton Taxa Using Metabarcoding and Microscopy / I. S. Mikhailov, Y. S. Bukin, A. D. Firsova [et. al] // Ecology and Evolution. 2025. Vol. 15 N 3. Art. e70856. DOI: 10.1002/ece3.70856

УДК 639.28:595.36

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ОРУДИЙ ОТБОРА ПРОБ ГАММАРИД В ВОДОЕМАХ НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ В 2024 ГОДУ

А. В. Митителло[1]*, У. В. Пастушенко[2], В. В. Гуров

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 105187, Москва, Окружной просп.,19)
[2]Новосибирский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 630091, Новосибирск, ул. Писарева, 1)
**Автор для переписки: av_mititello@vniro.ru*

Аннотация. Объем промысла гаммаруса основывается на регулярных работах по мониторингу состояния его запасов. Точность прогноза обеспечивает рациональный промысел и безопасность популяций гаммарид. Для оптимизации и унификации методов оценки запасов проводятся методические работы на водоемах. В статье представлены результаты таких работ, выполненных в Новосибирской области в 2024 г. Орудия отбора проб и методы их применения будут рекомендованы к включению в методические рекомендации.

Ключевые слова: гаммариды, орудия отбора проб, оценка запасов, водные биологические ресурсы

Гаммарус является объектом промысла как источник питательных веществ для кормов в рыбоводстве, птицеводстве и аквариумистике, а также, как наживка и приманка в спортивном и любительском рыболовстве.

Новосибирская область остается лидером по вылову гаммарид, в 2024 г. он почти вдвое превысил суммарный вылов прочих субъектов, участвующих в промысле. Гаммарид в Новосибирской области добывают в период открытой воды с применением стационарных сетей, которые гаммарус использует как субстрат, и лодок, оборудованных для его сбора. Промысел регламентируется Правилами рыболовства для Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна [Приказ … , 2020] и основывается на объемах рекомендованного вылова, рассчитываемого ФГБНУ «ВНИРО» и филиалами института на основании ежегодных мониторинговых работ по оценке состояния запаса водных биологических ресурсов в рамках исполнения постановления Правительства РФ [Постановление … , 2008]. От точности оценки состояния запаса гаммарид и величины прогноза рекомендованного вылова зависит рациональное использование и безопасность популяций этого биологического ресурса.

Первостепенной задачей при оценке состояния запасов гаммарид является сбор первичного биологического материала, отбор проб на водоемах. При этом в различных филиалах применяются различные орудия и методы отбора проб [Литвиненко, 2008; Матафонов, 2023; Апробация … , 2024]. В связи с этим в филиалах института, в зонах ответственности которых ведется промысел гаммарид, организована методическая работа по выбору оптимальных методов количественного учета этого вида водных биологических ресурсов.

На водоемах Новосибирской области такая работа выполнялась в мае-июне 2024 г., в рамках совместной экспедиции ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» и Новосибирского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ЗапСибНИРО»). Были проведены исследования на трех удаленных друг от друга озёрах, различающихся по размерам, промысловой нагрузке, особенностям береговой линии:

– оз. Кигеево (у дер. Михайловка), непромысловое озеро площадью 100 га, с мозаичным рисунком зарослей тростника, служащих гаммарусу укрытием и пищей;

– оз. Кругленькое (у дер. Квашнино), непромысловое озеро площадью 26,5 га, со сложным рисунком зарослей, где два года подряд при мониторинге отмечалась высокая численность гаммаруса;

– оз. Сарыбалык (у р. пос. Чаны), площадью 330 га, окаймленное ровной полосой тростника, где регулярно ведется промысел гаммарид.

Отбор проб проводился четырьмя способами: двумя с поверхности дна и двумя – из толщи воды. 1. Отбирали бентосные пробы с помощью дночерпателя Петерсена с площадью отбора 0,016 м^2. 2. Для отбора проб гаммарид в придонном слое воды использовали рамку-ловушку из мельничного сита (1000 мкм) с входным отверстием 20 на 40 см, закрепленная на шнуре длиной 5 м. Ловушку забрасывали с лодки на длину веревки, опускали и протаскивали по дну, собирая верхний слой грунта и гидробионтов с его поверхности. 3. Рамку-ловушку применяли также для учета гаммарид в толще воды, при забросе протягивали ее, не дожидаясь опускания на дно. 4. В толще воды выполняли отбор проб планктонной сетью Джеди методом косых ловов – сеть забрасывалась на три метра на шнуре, затапливалась и подтягивалась к лодке.

Лов гаммарид на каждом озере выполнялся на двух станциях, центральной и прибрежной, по 10 повторов каждым из четырех методов. Таким образом, в рамках методических работ было взято 240 проб. Пробы были обработаны, рассчитаны численность и биомасса, выполнен анализ полученных данных. Важно отметить, что оперативность работы с орудием лова позволяет увеличить число отобранных проб и количество обследованных водоемов, что в свою очередь приводит к увеличению достоверности прогнозов.

Протяжка рамки-ловушки по дну показала высокую эффективность, во всех 60 пробах были обнаружены гаммариды. Частота встречаемости гаммарид в уловах при протягивании рамки-ловушки в толще воды составила 88 %, в уловах планктонной сети 78 %, а при взятии бентоса дночерпателем – 18 %.

Дночерпатель показал свою ненадежность как инструмент учета гаммарид, являясь при этом, при учете промывания пробы, весьма трудоемким методом. Учитывая небольшую площадь захвата дночерпателя, каждая особь гаммаруса в пробе из него дает значительный вклад в величину численности и биомассы, создавая большую вероятность ошибки. В связи с этим не планируется включение дночерпателя, как орудия учета гаммарид, в новые методические рекомендаций по оценке их запаса, при этом он остается незаменимым орудием отбора проб при комплексных работах.

Мелководность озер Новосибирской области не позволяет полноценно использовать для учета планктонные сети методом подъема от дна к поверхности. Основываясь на опыте работ Алтайского филиала ФГБНУ «ВНИРО» были применены косые ловы сетью Джеди. Следует отметить сложность выполнения такого лова, связанную с образованием пузырей воздуха внутри орудия лова при его забросе и сложности извлечения крупных особей из стакана планктонной сети.

При протяжке рамки-ловушки по дну количество отловленных особей гаммарид кратно превышало таковое у других способов лова. Положительным качеством рамки-ловушки является легкость процесса взятия пробы, возможность промывания пробы от мелкодисперсного грунта прямо в ловушке. Площадь облова составляет 1,5–2 м^2 в зависимости от глубины (соответствующие коэффициенты подсчитаны), что увеличивает вероятность вылова гаммаруса в водоеме с невысокой численностью. Методическая работа показала, что протяжка ловушки по дну не всегда обеспечивает повторяемость результата, что может быть связано с мозаичностью скоплений гаммарид. Однако оперативность работы с этим орудием позволяет увеличить количество проб, отобранных на одной станции, и этим компенсировать вероятность ошибки.

При протягивании рамки-ловушки в толще воды, облавливается известный и постоянный объем воды, гаммарид легко извлечь из ловушки и подсчитать на месте. Сравнительный анализ значений численности (экз. под м^2), оцененной косыми ловами сетью Джеди и протяжкой рамки-ловушки в толще воды, рассчитанных отдельно по каждой пробе и сопоставленных в пределах каждой станции, показывает, что отличия двух методов недостоверны и можно утверждать, что их использование дает равноценные результаты. Исходя из опыта работы, рамка-ловушка, сочетающая легкость эксплуатации, возможность оценки численности и биомассы гаммарид в придонном слое и в толще воды, является в данных

условиях предпочтительным орудием отбора проб и будет включена в методические рекомендации по оценке состояния запасов гаммарид.

Проводимые исследования позволят сформулировать методические рекомендации по оценке состояния запасов гаммарид, разработанные с учетом биологических особенностей популяций гаммаруса в водоемах Новосибирской области, что является одним из этапов для долговременной и устойчивой эксплуатации сырьевой базы.

Список литературы

Апробация различных орудий лова при отборе проб гаммарид в подледный период / К. В. Куцанов, Л. Ф. Разова, А. Г. Герасимов [и др.] // АПК: инновационные технологии. 2024. № 3(66). С. 32–43.

Литвиненко Л. И. Методы определения общих допустимых уловов (ОДУ) водных беспозвоночных : учеб.-метод. пособие. Тюмень, 2008. 36 с.

Матафонов Д. В. Опыт использования прибора количественного учета гаммарид (КУГ) для оценки запасов *Gammarus lacustris* с некоторыми рекомендациями по его совершенствованию // Современные методы оценки и рационального использования водных биологических ресурсов : тез. Междунар. науч.-практ. конф. Москва, 20–24 нояб. 2023 г. М. : Всерос. науч.-исслед. ин-т рыбного хозяйства и океанографии, 2023. С. 87–89.

Постановление Правительства РФ от 24 дек. 2008 г. № 994 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных биологических ресурсов и применении его данных».

Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 30 окт. 2020 г. № 646 «Об утверждении правил рыболовства для Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна» (зарег. в Минюсте РФ 16 марта 2021 г.).

УДК 574.583+574.587

ЗИМНИЙ ПЛАНКТОН И БЕНТОС ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА(АЛТАЙ, РОССИЯ): ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И ОБИЛИЯ В ПОДЛЕДНЫЙ ПЕРИОД

Е. Ю. Митрофанова*, М. И. Ковешников, Е. Н. Крылова

Институт водных и экологических проблем СО РАН
(Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1)
**Автор для переписки: mitelena-09@mail.ru*

Аннотация. В подледный период (апрель 2023 г. и март 2024 г.) исследован фитопланктон и зообентос в широтной части Телецкого озера. Выявлено, что фитопланктон мало разнообразен по составу и с невысокими оценками обилия, в то время как зообентос количественно сходен с таковым в период открытой воды, что может быть связано с более стабильными условиями на дне. По показателям развития фитопланктона вода относится к III классу (удовлетворительной чистоты) качества вод, по зообентосу – I и III классам (очень чистая и слабо загрязненная). Это отражение не процессов эвтрофикации, а индикатор снижения процессов самоочищения в условиях ледостава ввиду малого разнообразия водорослей и недостаточного их обилия.

Ключевые слова: фитопланктон, зообентос, состав и обилие, подледный период, Телецкое озеро, Алтай

В подледный период был исследован фитопланктон (ФП) и зообентос (ЗБ) Телецкого озера – у пос. Артыбаш (апрель 2023 г.) и в Камгмнском заливе (март 2024 г.). Озеро имеет приблизительно Т-образную форму с протяжённой меридиональной частью (глубина до 325 м) и более короткой широтной, западный участок которой называется Северо-западным мелководьем (до 30 м), а восточный – Камгинским заливом (до 40 м). В озеро впадает 70 постоянных и 150 временных водотоков, а вытекает одна р. Бия в западной части Северо-западного мелководья. Большой приток в озеро с большого по величине водосборного бассейна, который по площади превышает площадь озера в 91 раз, обеспечивает сравнительно быстрый водообмен – 5,3–5,6 лет. Особенностью Телецкого озера является ежегодное отсутствие ледостава на всей его акватории. Только Северо-западное мелководье и Камгинский залив замерзают ежегодно, а остальная часть водоема остается открытой. Лишь раз в 8–13 лет озеро «встает» полностью [Селегей, Селегей, 1978], но в последние десятилетия и того реже. Кроме того, в западной части Северо-западного мелководья сосредоточена большая часть населения и флот, отчего антропогенная нагрузка на водоем здесь повышена, причем в последние годы этот прессинг возрастает в связи с бурным развитием туризма. Восточная часть акватории всего озера, в том числе Камгинский залив, входят в состав Алтайского государственного природного биосферного заповедника, поэтому могут считаться фоновыми и даже эталонными.

Зимний подледный период имеет свои особенности для развития гидробионтов. Гидробиоценозы Телецкого озера в подледный период были как мало разнообразны по составу, так и имели невысокие оценки обилия. Значительное снижение в таксономическом составе и количественном развитии в зимний период более характерно для водорослей планктона, так как температурные колебания в течение года более заметны в толще воды, особенно в ее верхних горизонтах у льда, в то время как зообентосные организмы на дне обитают в более стабильных в течение года условиях. В составе ФП выявлено 62 таксона в Северо-западном мелководье и 53 – Камгинском заливе, при этом на долю диатомовых в общем разнообразии приходилось 71,0 и 56,6 % соответственно. Особенностью ФП Телецкого озера можно назвать развитие мелко- и среднеразмерных форм среди водорослей, в то время как на Байкале в подледный период развиваются в основном крупные формы байкальских эндемиков [Бондаренко, Шевелёва, Пенькова, 2025]. Средняя численность ФП составила 141,5 в Северо-западном мелководье и 238,7тыс. кл./л в Камгинском заливе, средняя биомасса – 0,350 и 0,195 г/м^3 соответственно. По величине средней биомассы по шкале

трофности озер в данный период года Телецкое озеро можно отнести к ультраолиготрофным водоемам (0–0,5 г/м^3). Средний индекс сапробности (1,90 и 2,10) соответствовал бета-мезосапробной зоне.

Исследование ЗБ в период ледостава для озера проведено впервые, ранее ЗБ изучали в период открытой воды [Литоральные … , 2005; Ковешников, 2014; Ковешников, Крылова, 2004, 2011]. В Северо-западном мелководье обнаружено 27 видов бентосных беспозвоночных, в Камгинском заливе – 33. Основу видового разнообразия составляли насекомые, представленные личинками хирономид в основном подсем. Chironominae. На втором месте малощетинковые черви, двустворчатые моллюски и водяные клещи. Новых для водоема видов не выявлено. Наибольшее разнообразие и максимальное количество ЗБ Телецкого озера в периоды открытой воды всегда отмечали в близких по составу сообществах под смешанными зарослями макрофитов на илистом дне вблизи впадения рек Ойор (Северо-западное мелководье) и Камга (Камгинский залив). Результаты зимних исследований 2023–2024 гг. на этих богатых участках показали сходство таксономической структуры и высокий уровень количественного развития сообществ, близкие к показателям летне-осеннего периода – 2,3 тыс. экз./м^2 и 2,8 г/м^2 и 4,9 тыс. экз./м^2 и 3,9 г/м^2 соответственно. Исследователи подлёдного ЗБ на других водных объектах также указывают, что ЗБ в период ледостава при отсутствии антропогенной нагрузки сохраняет высокий уровень количественного развития, близкий к периоду открытой воды.

По показателям развития ФП вода по своему качеству относится к III классу (удовлетворительной чистоты) и 3б разряду (слабо загрязненная) качества вод, по ЗБ – I и III классам (очень чистая и слабо загрязненная) при сохранении «относительно удовлетворительной экологической ситуации» в водоеме. Так как Камгинский залив входит в состав Алтайского биосферного природного заповедника и является зоной покоя, то выявленная зона сапробности и качество воды III класса по показателям развития ФП и ЗБ – это отражение не процессов эвтрофикации на данном участке озера, а индикатор снижения процессов самоочищения в условиях ледостава ввиду малого таксономического разнообразия водорослей и недостаточного их обилия.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госбюджетного проекта № 0306-2021-0001 «Исследование разнообразия и структурно-функциональной организации водных экосистем для сохранения и рационального использования водных и биологических ресурсов Западной Сибири», при использовании научного оборудования ЦКП ИВЭП СО РАН.

Список литературы

Бондаренко Н. А., Шевелёва Н. Г., Пенькова О. Г. Пространственно-временная неоднородность планктона озера Байкал в подледный период // Озера Евразии: проблемы и пути их решения : материалы III Междунар. конф. Казань, 20–23 мая 2025 г. Казань : Изд-во Акад. наук РТ, 2025. С. 605–610.

Ковешников М. И. Зообентос водных объектов бассейна реки Бия. Пространственное распределение, сезонная динамика, оценка качества воды. Саарбрюкен (Saarbrücken) : LAMBERTAcademic Publ., 2014. 284 с.

Ковешников М. И., Крылова Е. Н. Зообентос литорали Телецкого озер // Ползуновский вестник. 2004. № 2. С. 162–169.

Ковешников М. И., Крылова Е. Н. Типизация сообществ донных беспозвоночных Телецкого озера и оценка качества воды по зообентосу // Мир науки, культуры, образования. 2011. № 5 (30). С. 241–247.

Литоральные биоценозы как один из факторов устойчивости экосистемы Телецкого озера / Е. Ю. Зарубина, Л. В. Яныгина, О. С. Бурмистрова [и др.] // Ползуновский вестник. 2005. № 4 (ч. 2). С. 201–207.

Селегей В. В., Селегей Т. С. Телецкое озеро. Л. : Гидрометеоиздат, 1978. 142 с.

УДК 574.52

БИОРАЗНООБРАЗИЕ И СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА ОБВОДНЕННОГО КАРЬЕРА ЯНТАРНЫЙ (КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В. В. Моисеенко[1]*, А. С. Семенова[1,2]

[1]Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
(Россия, 236022, Калининград, ул. Дм. Донского, 5)
[2] Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
(Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский район, пос. Борок)
**Автор для переписки: moiseenko@atlant.vniro.ru*

Аннотация. С целью изучения биоразнообразия и количественного развития зоопланктона в 2011 и 2023–2024 гг. были проведены исследования обводненного карьера Янтарный Калининградской области. Данный водный объект благодаря своему карьерному происхождению имеет достаточно большую площадь водной поверхности и значительную глубину. В результате был определен таксономический состав сообществ зоопланктона и их количественные показатели, а также рассчитан индекс видового разнообразия Шеннона. Установлено, что по количеству обнаруженных видов, численности и биомассе в карьере преобладают ветвистоусые ракообразные (Cladocera). Несмотря на малую площадь проективного покрытия водной растительностью, видовое разнообразие выше в зарослях макрофитов и достигается за счет большего числа видов коловраток (Rotifera), а также зарослевых видов, характерных для данных биотопов. В карьере Янтарный были отмечены низкие показатели смертности зоопланктона, что свидетельствует о создавшихся в нем благоприятных условиях для существования планктонных сообществ.

Ключевые слова: карьер Янтарный, зоопланктон, Cladocera, индекс Шеннона, показатели смертности

Введение. Обводненный карьер Янтарный является самым большим по площади водоемом карьерного происхождения в Калининградской области. Этот водоем образовался на месте бывшего карьера по добыче янтаря в 1972 г. Площадь его водной поверхности составляет 118 га (1,18 км^2), а максимальная глубина – 28 м, такие достаточно большие величины данных показателей обусловлены не только искусственным происхождением, но и спецификой разработки месторождений янтаря для которых требуются глубины и площади, превышающие карьеры по добыче песка и гравия. Экосистемы водоемов, образовавшихся на месте бывших карьеров, являются мало изученными, либо не изученными вовсе по причине недавнего времени своего образования и отсутствия в водном реестре. Вследствие чего, исследование биологического разнообразия сообществ зоопланктона данного водоема и их количественных показателей представляет особенный интерес.

Целью данной работы было исследование особенностей биоразнообразия и структуры сообществ зоопланктона обводненного карьера Янтарный.

Материалы и методы. Отбор проб проводился в вегетационные периоды 2011, 2023 и 2024 гг. согласно методике [Методы … , 2024]. Станции отбора были приурочены к открытым участкам водной поверхности и береговым зонам карьера с зарослями макрофитов. С целью установления показателей смертности зоопланктона (доли мертвых особей от численности/биомассы зоопланктона) было выполнено его окрашивание анилиновым голубым красителем [Методы … , 2024]. Для оценки уровня биологического разнообразия зоопланктонных сообществ были рассчитан индекс Шеннона по численности [Андронникова, 1996].

Результаты и обсуждение. За период исследований было обнаружено 26 видов зоопланктона: из них 14 видов ветвистоусых, 5 видов веслоногих ракообразных и 7 видов коловраток. Наибольшие численность и биомасса зоопланктона были отмечены в 2024 г. при доминировании веслоногих ракообразных. В 2023 г. при схожей численности наблюдались меньшие значения биомассы, обусловленные преобладанием мелкоразмерных видов коловраток, в особенности массовой была *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), предпочитаю-

щая холодноводные глубокие водоемы, каковым и является обводненный карьер Янтарный. В 2011 г. как по численности, так и по биомассе доминировали веслоногие ракообразные.

В целом в структуре численности и биомассы зоопланктона обводненного карьера Янтарный значительную долю составляли веслоногие и ветвистоусые ракообразные, малую долу формировали коловратки, что характерно для чистых олиготрофных водоемов [Андронникова, 1996]. В современный период отмечено снижение индекса видового разнообразия Шеннона, при возрастании доли ракообразных (табл.).

Таблица. Показатели зоопланктона карьера Янтарный

Показатель	Открытая часть водоема			Заросли макрофитов		
	2011 г.	2023 г.	2024 г.	2011 г.	2023 г.	2024 г.
Количество видов	17	15	17	23	22	22
Индекс Шеннона	2,80±0,77	1,16±0,53	2,10±0,54	3,89±0,81	1,66±0,76	2,11±0,54
NClad/NCop	0,16	5,66	0,19	0,79	6,66	1,05
BCrust/BRot	6,21	18,34	191,32	29,02	1,43	1000,02

Доля мертвых особей от численности и биомассы зоопланктона как в открытой части водоема, так и в зарослях макрофитов была на низком уровне и изменялась от 0,8 до 2,2 %, что говорит о благоприятных условиях существования зоопланктонных организмов в исследуемом водоеме.

Проективное покрытие прибрежной растительности обводненного карьера Янтарный не превышает 5 % [Моисеенко, Цупикова, 2023]. При этом как биомасса, так и численность зоопланктона на станциях, приуроченных к зарослям макрофитов, была ниже, за исключением коловраток, численность которых значительно увеличивалась. В целом увеличение видового разнообразия в данном биотопе помимо коловраток достигалось за счет таких зарослевых видов, как *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1785), *Sida crystallina* (O. F. Müller, 1776), *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848), *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars, 1863), *Scapholeberis mucronata* (O. F. Müller, 1776), *Polyphemus pediculus* (Linnaeus, 1758).

Выводы. Таким образом, выявлено, что биомасса и численность зоопланктона за период с 2011 по 2024 гг. увеличилась, при том, что число видов зоопланктона обводненного карьера Янтарный не претерпело значительных изменений. Анализ биоразнообразия показал, что в целом по всем показателям видовое разнообразие выше в зарослях макрофитов.

Список литературы

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб. : Наука, 1996. 189 с.

Методы гидробиологических исследований внутренних вод / под ред. А. В. Крылова ; ИБВВ РАН. Ярославль : Филигрань, 2024. 592 с.

Моисеенко В. В., Цупикова Н. А. Флористические и экобиоморфологические особенности побережья обводненного карьера Янтарный // Известия КГТУ. 2023. Т. 70. С. 34–45. DOI: 10.46845/1997-3071-2023-70-34-45.

УДК 502.3:551.55

СИНХРОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ: АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ

Е. В. Моложникова *, М. Ю. Шиховцев, В. А. Оболкин, Т. В. Ходжер

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: yelena@lin.irk.ru*

Аннотация. Представлены результаты синхронных измерений концентраций малых газовых примесей (SO_2, NO_2, NO, CO, O_3, H_2S), а также метеорологических параметров (температура, влажность, давление, скорость и направление ветра) в приземном слое атмосферы центральной экологической зоны Южного Байкала. Данные автоматического мониторинга за период 2024–2025 гг., получены в пунктах измерения «Листвянка», «Танхой» и «Давша». Выявлены выраженные сезонные и суточные колебания концентраций для всех пунктов измерений. Пространственный анализ данных показал значительную неоднородность распределения загрязняющих веществ. Наибольшие уровни зафиксированы в прибрежных районах Южного Байкала («Листвянка», «Танхой»), тогда как станция «Давша» зафиксированы минимальные значения.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, малые газовые примеси, центральная экологическая зона Байкала

За последние четыре десятилетия по всему миру, одновременно с улучшением состояния воздуха в промышленных городах [Long-term … , 2022], происходит увеличение содержания малых газовых примесей в атмосфере фоновых районов [Trends … , 2023]. Эта тенденция справедлива и для Байкальского региона [Long-term … , 2018]. В рамках данного исследования были проанализированы данные автоматического мониторинга, полученные в пунктах измерений «Листвянка», «Танхой» и «Давша», расположенных в центральной экологической зоне (ЦЭЗ) Южного Байкала (рис.). Целью исследования является анализ распределения малых газовых примесей в атмосфере оз. Байкал.

В качестве примера на рисунке представлены результаты непрерывных 20-минутных измерений концентраций диоксида серы (SO_2), которые были усреднены за сутки. Анализ двадцатиминутных данных показал значительные колебания значений на всех трёх станциях. Так, на станции «Танхой» концентрации SO_2 варьировались от 0 до 394 мкг/м³, на станции «Листвянка» – от 0 до 534 мкг/м³, а на станции «Давша» – от 0 до 0,76 мкг/м³.

Анализ максимальных значений среднесуточных концентрации SO_2 показал, что наибольшее значение (187 мкг/м³) было зафиксировано в феврале на станции «Танхой» и на станции «Листвянка» (168 мкг/м³). Это может быть связано с работой крупных тепловых электростанций (ТЭЦ), антициклональным типом погоды со слабыми ветрами (до 2 м/с) северо-западного направления, что способствовало распространению загрязняющих веществ на значительные расстояния, а также минимальном количеством атмосферных осадков, выпавших в этот период.

Средние значения за период измерения по станциям составили 9 мкг/м³ – «Танхой», 12 мкг/м³ – «Листвянка», 0,01 мкг/м³ – «Давша». Из анализа данных видно, что средние концентрации на станциях «Листвянка» и «Танхой» близки между собой и сопоставимы с ранее полученными данными [Results … , 2023]. Поскольку оксиды серы, являются трассером горения органического топлива (уголь, мазут) можно сделать вывод об отсутствии влияния крупных региональных теплоисточников на атмосферу станции «Давша».

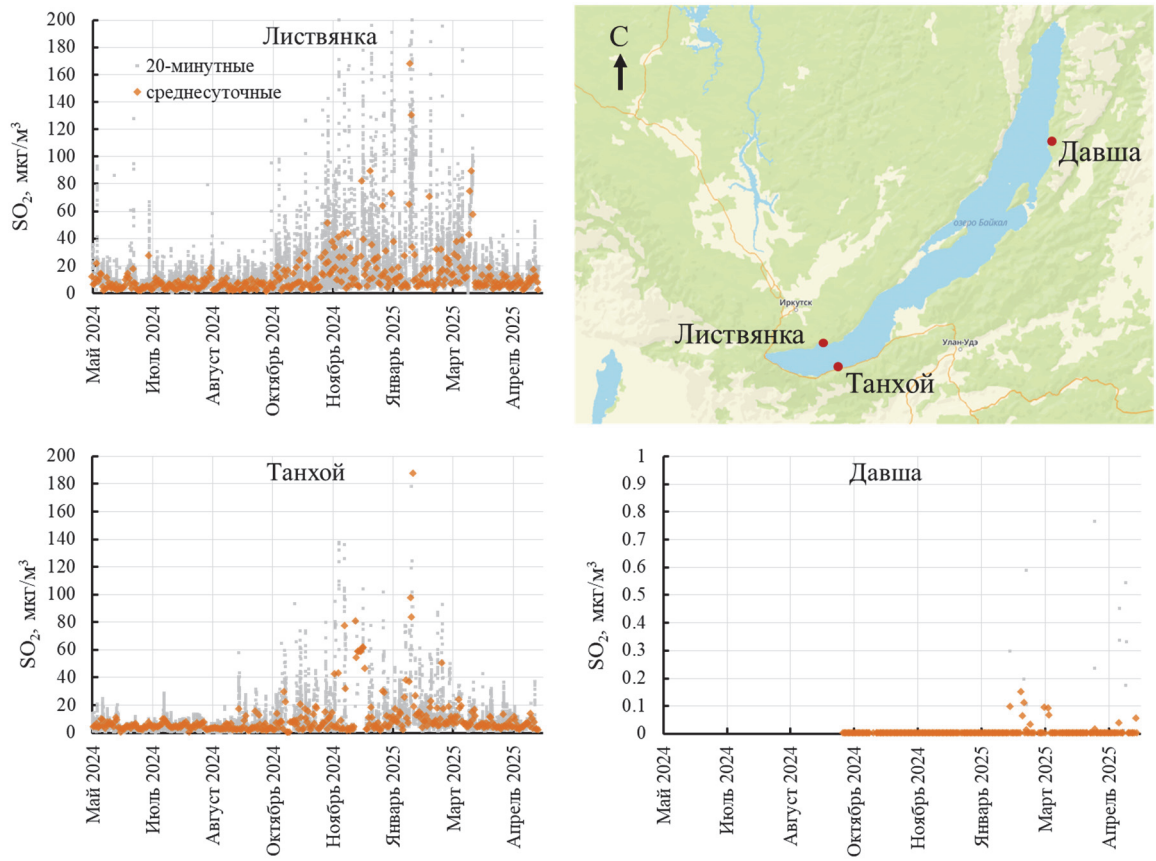


Рис. Результаты автоматического мониторинга SO_2 в приземном слое атмосферы в ЦЭЗ Байкала, 2024–2025 гг.

Благодарности. Работа выполнена по теме государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0014 «Исследование роли атмосферных выпадений на водные и наземные экосистемы бассейна озера Байкал, идентификация источников загрязнения атмосферы».

Список литературы

Long-term air quality trends of regulated pollutants in the Helsinki metropolitan area from 1994–2019 and its implications to the Air Quality Index / S. Sillanpää, P. L. Fung, J. V. Niemi [et al.] // Boreal Environment Research. 2022. Vol. 27, Iss. 1–6. P. 61–79. DOI: hdl.handle.net/10138/578435

Long-term investigations of atmospheric aerosol and gaseous impurities in Southern Pribaikalye, East Siberia (Russia) / L. P. Golobokova, T. V. Khodzher, V. A. Obolkin [et al.] // International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources 2018. Vol. 10, N 3. P. 74–84. DOI: 10.19080/IJESNR.2018.10.555786

Results of synchronous measurements of the content of nitrogen and sulfur oxides in the atmosphere of Southern Baikal in July 2023 / M. Yu. Shikhovtsev, E. V. Molozhnikova, T. V. Khodzher [et al.] // Limnology and Freshwater Biology. 2024. Vol. 5. P. 1284–1301. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-5-1284

Trends in urban air pollution over the last two decades: A global perspective / P. Sicard, E. Agathokleous, S. C. Anenberg [et al.] // Science of The Total Environment. 2023. Vol. 858. Art. 160064. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.160064

УДК 597.541-152.6:556.535(282.247.41)

ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОСПРОИЗВОДСТВО СЕЛЬДИ-ЧЕРНОСПИНКИ (*ALOSA KESSLERI KESSLERI* GRIMM, 1887) В Р. ВОЛГЕ В 2015–2024 ГГ.

Р. С. Муханова*, С. А. Власенко, С. С. Фомин

Волжско-Каспийский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
(Россия, 414056, Астрахань, ул. Савушкина, 1)
**Автор для переписки: Mukhanovars@kaspnirh.vniro.ru*

Аннотация. Сельдь-черноспинка являлась в XX в. самой крупной из проходных каспийских сельдей. Размножение ее зависит от физиологического состояния рыб, гидрологического и температурного режимов. Годы наблюдений были разделены по условиям водности и объему стока за 2-й квартал (апрель, май, июнь) на четыре группы: экстремально маловодные 2015, 2019 гг. с объемом стока ниже 75 км^3; маловодные 2021–2024 гг. с объемом стока ниже 90 км^3; средневодные 2017, 2018 гг. с объемом стока от 90 до 117,8 км^3; многоводные 2016, 2020 гг. с объемом стока выше 120 км^3.

Ключевые слова: гидрологический режим, личинки сельди-черноспинки, миграция

Сельдь-черноспинка являлась в XX в. самой крупной из проходных каспийских сельдей. Размножение ее зависит от физиологического состояния рыб, гидрологического и температурного режимов. Вопрос о выживаемости личинок и молоди проходной сельди-черноспинки является одним из важнейших при оценке эффективности ее воспроизводства [Воспроизводство … , 2024; Пятикопова, 2019]. Покатная миграция личинок сельди-черноспинки в р. Волге проходит во время спада волны половодья и меженный период (июнь, июль, август). Продолжительность спада волны половодья и скорость спада волны половодья в р. Волге играют важную роль во время покатной миграции личинок [Пятикопова, 2019]. Годы наблюдений были разделены по условиям водности и объему стока за 2-й квартал (апрель, май, июнь) на четыре группы: экстремально маловодные 2015, 2019 гг. с объемом стока ниже 75 км^3; маловодные 2021–2024 гг. с объемом стока ниже 90 км^3; средневодные 2017, 2018 гг. с объемом стока от 90 до 117,8 км^3; многоводные 2016, 2020 гг. с объемом стока выше 120 км^3.

В экстремально маловодные 2015 и 2019 гг. гидрологический режим р. Волги был крайне неблагоприятным для естественного воспроизводства сельди-черноспинки. Объем стока за весеннее половодье составил всего 65,4 км^3. Оптимальная для начала размножения сельди-черноспинки температура воды (16 °С) отмечалась в конце 6-й пятидневки мая, характерная для массового нереста (19–20 °С) – в конце 2-й пятидневки июня. В 2019 г. объём стока в р. Волге составил всего 69,9 км³, отмечались ранние (в начале мая) и непродолжительные (7 сут) максимальные сбросы воды с Волгоградского гидроузла (22–25 тыс. м³/с), что негативно сказалось на условиях и эффективности естественного воспроизводства проходных рыб. Покатная миграция личинок проходной сельди – черноспинки отмечалась в конце мая. В экстремально маловодные 2015 и 2019 гг. численность личинок проходной сельди-черноспинки колебалась от 24,3 до 33,8 млрд экз., составив в среднем 29,1 млрд экз.

В многоводные годы (2016, 2020 гг.) объем стока р. Волги за 2-й квартал в 2016 г. составил 126,8 км^3. В 2016 г. увеличение сбросов воды через плотину Волжской ГЭС началось с 15 апреля с 9,08 тыс. м³/с и к 27 апреля расходы достигли максимальных величин 27,5 тыс. м³/с, затем высокие показатели 26–27 тыс. м^3/с поддерживались до 21 мая. Объем и режим весеннего половодья, продолжительность которого составила 62 сут, соответствовали гидрологическим характеристикам многоводных лет зарегулированного периода и существенно превышали показатели 2015 г. по объему стока р. Волги за 2-й квартал на 61,4 км^3 и на 31-е сут − по продолжительности половодья. Первые личинки сельди-черноспинки были выловлены в начале июня при температуре воды 19,8 °С и скорости течения 1,56 м/с. Наибольшее количество личинок выловлено в конце третьей декады июня.

В 2020 г. гидрологический режим р. Волги в период половодья был одним из самых ранних за весь период наблюдений. Объем стока р. Волги за II кв. был равен 133,5 км^3. Нерестовых значений (16 °С) температура воды достигла только в первой пятидневке июня. По результатам наблюдений, проведенных в многоводных 2016, 2020 гг. численность молоди проходной сельди-черноспинки варьировала от 34,6 млрд экз. до 30,0 млрд экз., составив в среднем – 32,3 млрд экз.

В средневодном 2017 г. нерестовая температура для хода производителей сельди-черноспинки отмечалась в конце второй декады мая, расходы воды в это время снизились с 24 900 до 18 900 м^3/с. Покатная миграция ее молоди началась с первой пятидневки июня и продолжалась в течение 83 сут. Объем стока за весеннее половодье составил всего 109,1 км^3. В средневодном 2018 г. нерестовые температуры для исследуемого вида в р. Волге наступили на 5 сут раньше, чем в 2017 г. Скат составил 73 сут, что на 10 сут меньше, чем в 2017 г. Объем стока р. Волги во II кв. составил 117,8 км^3. В средневодные 2017–2018 гг. скатилось 30,38 – 43,72 млрд экз. личинок сельди-черноспинки, составляя в среднем 37,05 млрд экз.

В маловодные годы 2021–2022 гг. половодье началось 27 апреля с опозданием на 11–12 сут. В 2021 г. объем стока р. Волги во II кв. составил 97,0 км^3. Температура воды в р. Волге достигла оптимального значения (16 °С) для нереста проходной сельди-черноспинки в конце мая. Основное количество личинок было учтено с третьей декады июня по первую декаду июля при более высоких значениях температуры воды 22,2–25,6 °С и скоростях течения 0,41–0,46 м/с, что негативно сказалось на условиях ската личинок и эффективности естественного воспроизводства сельди-черноспинки. В 2022 г. объем стока р. Волги во II кв. составил 92,0 км^3, температура воды в р. Волге достигла оптимального значения (16 °С) для размножения сельди-черноспинки в первой пятидневке июня. Покатная миграция ее личинок началась с середины первой декады июня, и продолжалась до конца третьей декады августа. В маловодные 2023–2024 гг. половодье началось преждевременно в четвертой пятидневке апреля. В 2023 г. объем стока р. Волги во II кв. составил 92,0 км^3, Максимальные сбросы воды наблюдались в последней пятидневке апреля – первой пятидневке мая (20,6–24,9 тыс. м^3/с). Оптимального значения (16 °С) температура воды в р. Волге достигла в первой пятидневке июня, покатная миграция личинок сельди-черноспинки началась в первой декаде июня при температуре воды 18,9 °С и скорости течения 0,62 м/с и продолжалась до конца второй декады августа. В маловодном 2024 г. объем стока р. Волги во II кв. составил 98,3 км^3. Для размножения проходной сельди-черноспинки нерестовых значений (16,0 °С) температура воды в р. Волге достигла по в/п г. Астрахань только – 12 июня. В результате численность скатившихся личинок проходной сельди-черноспинки в 2021–2024 гг. колебалась от 9,1 до 12,6 млрд экз., средний показатель абсолютной численности составил 10,9 млрд экз.

Таким образом, гидрологические условия оказывают непосредственное влияние на формирование пополнения основной части популяции сельди-черноспинки. Низкие сбросы воды с Волгоградского гидроузла, скорости течения и высокие значение температуры воды негативно сказались на условиях эффективности воспроизводства сельди-черноспинки.

Список литературы

Воспроизводство сельди-черноспинки (Alosa kessleri kessleri (Grimm,1887)) в р. Волге в 2021 г. Современный взгляд на развитие рыбопромышленного комплекса / Р. С. Муханова, С. А. Власенко, О. М. Васильченко [и др.] // Материалы Всероссийской научно-практической конференции (г. Махачкала, 06 марта 2024 г (В рамках программы «Приоритет 2030»)). Махачкала, 2024. С. 164–173.

Пятикопова О. В. Современные особенности нерестовой миграции производителей и покатной миграции личинок сельди-черноспинки (*Alosa kessleri kessleri* (Grimm, 1887)) в Волжско-Каспийском бассейне : автореф. дис. … канд. биол. наук Астрахань, 2019. 19 с.

УДК 574/577 57.2

ПОКАЗАТЕЛИ КЛЕТОЧНОГО ИММУННОГО ОТВЕТА БАЙКАЛЬСКИХ АМФИПОД ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПАРАЗИТИЧЕСКИХ ПИЯВОК *BAICALOBDELLA TORQUATA*

А. А. Назарова[1]*, А. Д. Мутин[1], Д. Н. Скафарь[2], А. Н. Гурков[1], М. А. Тимофеев[1]

[1]Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2]Азово-Черноморский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 344002, Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21в)
**Автор для переписки: Annazarova1995@gmail.com*

Аннотация. Исследуется влияние паразитизма пиявок *Baicalobdella torquata* на иммунный ответ байкальских эндемичных амфипод. Экспериментально доказано, что пиявки питаются гемолимфой амфипод, а следовательно, и являются истинными паразитами. Амфиподы, зараженные пиявками, не продемонстрировали значимых отличий в общем числе гемоцитов и интенсивности инкапсуляции гемоцитами чужеродных объектов от амфипод без паразитов. Отмечается, что пиявки оказали позитивный эффект на степень иммунного ответа амфипод в условиях повышенной нагрузки штаммом бактерий рода *Pseudomonas*, предположительно, потребляя часть бактериальной суспензии из гемолимфы.

Ключевые слова: байкальские эндемики, амфиподы, иммунитет, гемоциты

Паразиты водных беспозвоночных могут выступать дополнительным негативным фактором, влияющим на их иммунный ответ, при наступлении неблагоприятных условий среды [Grabner, Rothe, Sures, 2023]. Пиявки (Hirudinea, Annelida) – это кровососущие эктопаразиты, способные истощать энергетические запасы организма хозяина. Они могут вызывать различные иммуномодулирующие эффекты, поскольку содержат в своей слюне биоактивные вещества, такие как антикоагулянты. Паразитизм пиявок на амфиподах оз. Байкал – это уникальный случай симбиотических отношений между этими группами организмов. За пределами Байкала других случаев паразитизма пиявок на амфиподах не описано. Характер воздействия пиявок на физиологическое состояние амфипод, а также их синергическое влияние пиявок одновременно с другими факторами среды, ранее не изучали. Данная работа направлена на исследование влияние паразитизма пиявок *Baicalobdella torquata* на иммунный ответ байкальских эндемичных амфипод.

Амфипод *Eulimnogammarus verrucosus* (Gerstfeldt, 1858), заражённых и не заражённых (интактных) пиявками *Baicalobdella torquata* (Grube, 1871), отлавливали в литорали Байкала на глубине 0,5 метра в посёлке Листвянка (51°52'05.5"N 104°49'47.1"E). Пиявок снимали с амфипод и использовали для постановки дальнейших экспериментов. Для оценки способности пиявок к прикреплению на разных видах амфипод использовали представителей *E. cyaneus* (Dybowsky, 1874; длина тела 11–15 мм), *Ommatogammarus flavus* (Dybowsky, 1874; длина тела 22–26 мм), *Pallasea cancellus* (Pallas, 1772; длина тела до 24–28 мм) и *Acanthogammarus lappaceus longispinus* (Tachteew, 2001; длина тела 50 мм). В ходе экспериментов, проводили оценку самого факта потребления пиявками гемолимфы у амфипод *E. verrucosus*, *A. lappaceus longispinus* и *P. cancellus.* Для этого с помощью микроинъектора IM-9B (Narishige, Токио, Япония) делали инъекцию флуоресцентными латексными микрошариками (L3030, Sigma-Aldrich) в центральный гемолимфный сосуд амфипод. После чего оценивали распространение микрошариков в жабрах амфипод и гомогенате пиявок на флуоресцентном микроскопе Celena S. У заражённых и не заражённых пиявками амфипод *E. verrucosus* определяли общее число гемоцитов и показатель способности гемоцитов амфипод инкапсулировать чужеродные антигены. Кроме того, был проведён эксперимент по оценке эффекта заражения пиявками на иммунный ответ амфипод при высокой бактериальной нагрузке *Pseudomonas* sp. H5-2, (штамм ранее выделенный из гемолимфы *E. verrucosus*). В эксперименте в центральный гемолимфный сосуд амфипод производили

инъекцию суспензии клеток микроорганизмов *Pseudomonas* sp. H5-2, а затем часть рачков дополнительно заражали пиявками. Через 1,5, 24 и 72 ч после заражения оценивали общее число гемоцитов и долю гранулоцитов.

В ходе экспериментов выявлено, что пиявки вида *B. torquata*, снятые с тела амфипод *E. verrucosus*, хорошо прикрепляются на покровы литоральных амфипод *P. cancellus,* сублиторальных амфипод *A. victorii* и глубоководных *O. flavus.* При этом фактов прикрепления к телу *E. cyaneus* зафиксировано не было. Следует отметить, что *E. cyaneus* имеет наименьший размер среди проанализированных видов амфипод. Это наблюдение свидетельствует пользу гипотезы о предпочтении пиявками видов с более крупными размерами. Экспериментально доказано, что пиявки *B. torquata* питаются гемолимфой *E. verrucosus, A. victorii* и *P. cancellus*. Заражение пиявками не оказывало влияния на общее число гемоцитов в гемолимфе амфипод *E. verrucosus* и способность инкапсулировать чужеродные объекты гемоцитами *in vitro*. При совместной бактериальной инфекции штаммом бактерий рода *Pseudomonas* и заражении пиявкой наблюдали снижение доли гранулоцитов, что может быть объяснено потреблением пиявкой части бактерий вместе с гемолимфой. Эти наблюдения свидетельствуют в пользу того, что пиявки могут оказывать позитивный эффект на степень иммунного ответа амфипод в условиях повышенной нагрузки штаммом бактерий рода *Pseudomonas* предположительно из-за потребления части бактериальной суспензии из гемолимфы.

Список литературы

Grabner D., Rothe L. E., Sures B. Parasites and pollutants: effects of multiple stressors on aquatic organisms // Environmental Toxicology and Chemistry. 2023. Vol. 42, N 9. P. 1946–1959. DOI: 10.1002/etc.5689

УДК 591.4:597.556.331.1(476)

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ЕРША БАЛОНА *GIMNOCEPHALUS BALONI* (HOLCIK & HENSEL, 1974) В ВОДОТОКАХ ЮГО-ВОСТОКА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

О. А. Назарчук*

Мозырский государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина
(Республика Беларусь, 247760, Мозырь, ул. Студенческая, 28)
**Автор для переписки: nazarchuk_olga@tut.by*

Аннотация. Представлены сравнительные данные пластических и меристических признаков ерша Балона двух рек Беларуси: Днепра и Припяти. Выявлены отличия по 7 пластическим и 2 меристическим признакам.
Ключевые слова: ерш Балона, пластические признаки, меристические признаки

Ерш Балона на территории Республики Беларусь относится к малоизученным видам, требующим дополнительного изучения и внимания в целях профилактической охраны. Впервые данный вид был пойман в р. Драва (бассейн р. Дунай) на территории Хорватии. Позже обнаружен также в Австрии, Германии, Венгрии, Чехии, Беларуси [Povz, Mrakovcic, Kerovec, 1997; Ratschan, 2012]. В пределах Украины встречается в нижнем течении Дуная, в Днепре и его притоках: Десне и Припяти. На территории Республики Беларусь ерш Балона отмечается в Днепре, Припяти, Горыни. Вид включен в Приложение III к Бернской конвенции.

Цель исследования – сравнительная характеристика морфометрических признаков особей ерша Балона, отловленных в реках Днепр и Припять (бассейн Черного моря) на территории Беларуси.

В анализ включены 62 особи трехлетних (2+), четырехлетних (3+) и пятилетних (4+) ершей, 42 из которых отловлены в р. Днепр и 20 особей отловленные в р. Припять. Были – длина без C; od – длина туловища; an – длина рыла; пр – диаметр глаза; ро – заглазничный отдел головы; lm – высота головы у затылка; a1a2 – длина верхнечелюстной кости; m1 – ширина верхнечелюстной кости; k1l1 – длина нижней челюсти; gh – наибольшая высота тела; ik – наименьшая высота тела; aq – антедорсальное расстояние; rd – постдорсальное расстояние; az – антевентральное расстояние; ay – антеанальное расстояние; fd – длина хвостового стебля; vy – расстояние между P и A; zy – расстояние между V и A; Ay – расстояние между анусом и A, а также 7 меристических признаков: число лучей в первом (DI) и втором (DII) дорсальных плавниках, пекторальном (P), вентральном (V), анальном (A) и каудальном (C) плавниках, а также число чешуй в боковой линии [Правдин, 1966]. Для оценки значимости отличий применялся непараметрический тест Манна-Уитни. Отличия признавались значимыми при $p \leq 0{,}05$.

Исходя из полученных данных (табл.), было установлено, что большинство пластических признаков не имеют статистически значимых отличий. Однако в сходных группах выявлены некоторые отличия. Так, трехлетние особи (2+) имеют значимые отличия по таким пластическим признакам как длина рыла (an), длина нижней челюсти (k1l1) и наименьшая высота тела (ik). Четырехлетние ерши (3+) статистически значимо отличаются по пяти пластическим признакам, таким как наименьшая высота тела (ik), антедорсальное расстояние постдорсальное расстояние (rd), расстояние между пекторальным и анальным плавником vy) и расстояние между анусом и анальным плавником (Ay). Пятилетние особи (4+) ерша не имеют статистически значимых отличий.

Сравнительный анализ меристических признаков ерша Балона из рек Днепра и Припяти позволил установить статистически значимые отличия по двум признакам: число лучей в пекторальном плавнике (P) и число чешуй в боковой линии. У ершей, отловленных в р. Днепр, отмечается большее число лучей в пекторальном плавнике (13,93±0,11), по сравнению с особями из р. Припять (13,35±0,18) ($Z = 2{,}30$ $p = 0{,}02$). Также у ершей из р. Днепр выявлен больший диапазон варьирования числа чешуй боковой линии (44,27±0,49) по сравнению с ершами, отловленными в р. Припять (41,95±0,43) ($Z = 2{,}65$ $p = 0{,}007$).

Таблица. Пластические признаки ерша Балона в реках Беларуси

Признак	р. Днепр			р. Припять		
	2+ (n=4)	3+ (n=26)	4+ (n=12)	2+ (n=9)	3+ (n=6)	4+ (n=5)
ad, мм	84,85±2,58	97,91±1,33	100,91±2,84	85,92±2,04	91,13±3,18	101,10±9,22
Пластические признаки, в % от длины тела без С						
od	69,66±0,32	70,88±0,82	70,58±0,35	68,36±0,45	69,21±0,80	67,32±2,23
gh	29,53±1,13	30,02±0,29	30,36±0,44	29,22±0,22	29,16±0,64	31,20±1,38
ik	**8,13±0,15**	**8,12±0,10**	7,92±0,16	**7,54±0,18**	**7,64±0,15**	8,10±0,43
aq	35,01±0,32	**35,45±0,25**	35,65±0,42	34,55±0,51	**34,05±0,30**	31,24±5,72
rd	13,61±0,73	**14,17±0,25**	13,63±0,38	12,73±0,23	**12,38±0,45**	12,37±0,58
az	36,42±0,55	36,36±0,25	37,29±0,42	37,59±0,31	36,68±0,54	38,62±2,08
ay	69,53±1,65	69,96±0,20	70,10±0,41	69,42±0,38	68,84±0,72	73,36±2,80
fd	18,98±1,16	18,83±0,32	18,98±0,35	16,82±0,53	18,42±0,37	18,42±0,50
vy	40,31±0,66	**41,34±0,32**	41,66±0,55	39,11±0,38	**39,31±0,68**	41,88±1,33
zy	35,67±0,92	36,39±0,27	36,20±0,54	34,57±0,57	34,76±0,73	37,76±1,02
Ay	8,69±0,72	**8,71±0,17**	8,66±0,54	8,06±0,30	**7,81±0,33**	8,58±0,15
Пластические признаки, в % от длины головы						
an	**30,63±0,46**	30,29±0,30	30,08±0,38	**28,36±0,49**	28,32±1,09	29,22±0,83
np	30,94±0,47	31,68±0,34	30,00±0,32	30,65±0,54	30,52±0,78	28,550,61
po	40,11±0,90	38,94±0,37	38,04±0,53	39,43±0,66	39,40±0,73	40,30±0,51
lm	62,00±1,76	64,95±1,42	64,74±1,70	61,84±1,76	64,58±1,84	67,32±1,54
a1a2	72,51±0,75	73,92±0,43	72,37±0,32	73,41±0,79	72,74±0,38	71,18±1,09
n1m1	22,25±1,39	23,21±0,32	24,06±0,42	21,66±0,85	22,05±0,69	21,30±0,87
k1l1	**37,76±0,90**	36,91±0,52	36,18±0,48	**34,26±0,77**	36,61±0,85	35,72±0,72

Примечание: полужирным шрифтом выделены значения показателей, имеющие статистически значимые отличия при $p \leq 0{,}05$.

Таким образом, анализ морфометрических признаков ерша Балона из двух рек Беларуси показал, что для особей, обитающих в р. Днепр, характерны статистически значимо более высокие показатели по таким признакам, как длина рыла, длина нижней челюсти, наименьшая высота тела, антедорсальное и постдорсальное расстояние, расстояние между пекторальным и анальным плавником и расстояние между анусом и анальным плавником, а также некоторых меристических признаков. Что может быть связано условиями обитания ершей, доступностью кормовых ресурсов и других факторов среды.

Список литературы

Povz M., Mrakovcic M., Kerovec M. The first find of Balońs (*Gimnocephalus baloni*) in the river Drava in Slovenia and Croatia // Folia Zoologia. 1997. Vol. 46, N 2. P. 189–190.

Ratschan C. Verbreitung, Habitatwahl und Erhaltungszustand des Donaukaubardches *Gimnocephalus baloni* (Holcik & Hensel, 1974) in Österraich // Wissenschaft. 2012. Vol. 65. P. 218–231.

Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищ. пром-сть, 1966. 372 с.

УДК 582.261/.279

НЕКЛАССИЧЕСКАЯ КОНЪЮГАЦИЯ У БАЙКАЛЬСКОЙ НИТЧАТОЙ ВОДОРОСЛИ СПИРОГИРЫ

А. В. Натяганова[1]*, А. А. Порошина[1], И. В. Клименков[1], Н. В. Кулакова[2], Ю. С. Букин[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 132)
**Автор для переписки: avn61@mail.ru*

Аннотация. Морфокариологический анализ образцов нитчатой водоросли спирогиры, собранной в протоке, соединяющий оз. Зама с Байкалом (июнь 2024 г.) показал, что в таких водоёмах половой процесс в виде лестничной конъюгации у этих макрофитов может происходить также по неклассическому типу, что приводит к повышению их репродуктивного потенциала и адаптационных свойств.

Ключевые слова: спирогира, лестничная конъюгация, полигамия, полиандрия

Для зигнемовых водорослей (класс Zygnematophyceae), представляющих пресноводные как одноклеточные, так и многоклеточные нитчатые (неветвящиеся) виды, характерно слияние протопластов обычных вегетативных клеток, приводящий к образованию спор с трёхслойными оболочками. У одноклеточных из споры может снова развиться две клетки, а у многоклеточных нитчатых – одна, две или четыре нити. Считается, что в спорах происходит мейоз, вследствие чего их называют зигоспорами. Процесс слияния неспециализированных клеток у зигнемовых Chlorophyta принято считать примитивным половым размножением посредством конъюгации, который во всех ботанических текстах изображается одним из этапов их жизненного цикла. Активно перетекающие протопласты клеток через конъюгационный (копуляционный) канал в клетки соседней нити считаются мужскими гаметами, а принимающие их клетки – женскими, в которых и образуются зигоспоры. У нитчатых водорослей этого класса существуют два типа конъюгации – лестничная, при которой конъюгационные каналы формируются двумя клетками двух или более соприкасающихся нитей и боковая (латеральная) – двумя соседними клетками одной и той же нити. Принято также считать, что у нитчатых зигнемовых водорослей одна из спаренных нитей содержит только мужские, а вторая – только женские клетки. У некоторых видов слияние протопластов и образование спор происходит в самом конъюгационном канале, например, у представителей рода *Mougeotia*. У них нити с вздувшимися клетками считаются женскими. Вместе с тем, с самого начала изучения зигнемовых водорослей исследователи выявляли также и другие неклассические вариации этого процесса [West & West, 1898; Robertson, 1899; Newcomb, 1903; Brown, 1918]. В частности, у представителей рода *Spirogyra* в спаренных нитях наблюдали перекрёстную конъюгацию, после которой зигоспоры формировались в клетках обеих нитей. Это обстоятельство, а также выявляемые случаи боковой конъюгации ещё в 1917 г. вызвал у исследователей вопрос: «Являются ли нити спирогиры однополыми или бисексуальными?» [Cunningham, 1917]. Кроме того, у видов этого рода неоднократно описывались картины конъюгации с участием не только двух, а трёх клеток двух нитей. В трёхклеточной конъюгации, в свою очередь, отмечали случаи полигамии, когда одна мужская клетка одной нити соединяется с двумя женскими соседней нити и случаи полиандрии, когда одна женская клетка одной из спаренных нитей соединяется с двумя мужскими второй нити. Все эти вариации неклассической конъюгации считались аномальными [Robertson, 1899; Brown, 1918] и не были описаны у байкальских зигнемовых водорослей. Цель данной работы – исследовать, наблюдается ли неклассическая конъюгация у видов спирогиры, вегетирующих в Байкале и примыкающих к нему водоёмах, а также каковы её исходы.

Мы провели морфокариологический анализ спирогиры, обильно вегетирующей на небольших валунах (на гл. до 0,5 м) в коротком водотоке, соединяющим небольшое оз. Зама с оз. Байкал. Образцы нитей были собраны в июне 2024 г. и зафиксированы в 4 % формалине для морфологического и спиртовоуксусном фиксаторах (3:1) для кариологического исследований. Для кариологического анализа фиксированные нити окрашивали в ацетогематоксилине. Приготавливали временные препараты, размещая фиксированные и окрашенные нити в молочной кислоте (80 %) между предметными и покровными стёклами, и затем просматривали их под микроскопом. По морфологическим характеристикам мы отнесли эту форму спирогиры к ранее выявленной в оз. Байкал *Spirogyra* sp. cf. *Fluviatilis* – like morphotype [Volkova, Bondarenko, Timoshkin, 2018].

Микроскопирование показало, что у спирогиры в этом водотоке активно происходила конъюгация. В любой небольшой порции собранных нитей можно увидеть все стадии этого процесса. Наряду с нормальными картинами, где у двух сближенных нитей две противоположные клетки соединяются одним конъюгационным каналом, достаточно часто встречаются и случаи конъюгации между тремя клетками спаренных нитей, среди которых можно увидеть и полигамию, и полиандрию. Кариологический анализ показал, что полигамная конъюгация имеет два исхода. При первом исходе видно, что одно ядро мужской клетки достаётся только одной из двух женских клеток, поэтому в ней образуется нормальная двухъядерная зигоспора, а протопласт второй женской клетки преобразовывается в автоспору (апланоспору). При втором исходе видно, что, несмотря на два сформированных конъюгационных канала, слияний протопластов и перемещений ядер не происходит, поэтому в каждой из трёх клеток образуются одноядерные автоспоры. Полиандрия приводит к одному исходу: в одну женскую клетку по двум конъ югационным каналам попадают два протопласта и два ядра от двух мужских клеток, в результате чего формируется полиплоидная зигоспора. Такие репродуктивные структуры превышают размеры нормальных диплоидных спор и, вероятно, обладают более высокими адаптационными свойствами, по сравнению с ними. Таким образом, морфологический и кариологический анализы показали, что неклассические варианты конъюгации также свойственны байкальской спирогире и они вполне продуктивны. И как видно из нашего исследования, небольшие спокойные заводи и водотоки, связанные с Байкалом, могут быть источниками полиплоидных нитей и зигоспор спирогиры.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного проекта 0279-2021-0010 «Генетика сообществ байкальских организмов: структура генофонда, стратегии консервации». Отбор образцов спирогиры проводился во время экспедиционных работ в июне 2024 г. с борта НИС «Титов» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»).

Список литературы

Brown J. G. Abnormal conjugation in *Spirogyra* // Botanical Gazette. 1918. Vol. 66, N 9. P. 269–271.

Cunningham B. Sexuality of filament of Spirogyra // Botanical Gazette. 1917. Vol. 63. P. 486–500.

Newcomb Margaret A. A Polygamous *Spirogyra* // Transactions of the Kansas Academy. 1903. Vol. 40. P. 83–87.

Robertson M. A. B. Sc. R. A. On Abnormal Conjugation in *Spirogyra* // Transactions of the Botanical Society of Edinburgh. 1899. Vol. 21, N 3. P. 185–191. DOI: 10.1080/03746609909469087

Volkova E. A., Bondarenko N. A., Timoshkin O. A. Morphotaxonomy, distribution and abundance of Spirogyra (Zygnematophyceae, Charophyta) in Lake Baikal, East Siberia // Phycologia. 2018. Vol. 57, N 3. P. 298–308.

West & West. Observations on the Conjugatae // Annals of Botany. 1898. Vol. 12 (45). P. 29–58.

УДК 574

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧИСЛЕННОСТИ ЭПИФИТНЫХ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ *CYSTOSEIRA CRINITA* В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ Г. СОЧИ

Е. А. Наумова*, Е. В. Рогожина, Т. Л. Горбунова, Л. В. Захарихина, П. С. Лесникова, С. П. Черненко

Субтропический научный центр РАН
(Россия, 354002, Сочи, ул. Яна Фабрициуса, 2/28)
**Автор для переписки: kate.naumova2000@gmail.com*

Аннотация. Проведена количественная оценка сообществ бактерий-эпифитов, ассоциированных с однолетней и многолетней *Cystoseira crinita*, собранной в сублиторали центрального пляжа г. Сочи через год после мощнейшего шторма («шторм века», 27.11.2023). Микробиологический анализ выполнялся методом глубинного посева на селективные питательные среды. Полученные данные об увеличении численности функциональных микробных сообществ *C. crinita* по сравнению с морской водой подтверждают наличие симбиотических взаимодействий между исследуемой водорослью и специализированными микробными группами, обладающими экологическим и биотехнологическим потенциалом.

Ключевые слова: бактерии-эпифиты, *Cystoseira crinita*, гетеротрофы, олиготрофы, азотфиксаторы, углеводородокисляющие бактерии

В ноябре 2023 г. мощный шторм на Черноморском побережье уничтожил часть сообществ *Cystoseira crinita* в Сочи, запустив процесс первичной сукцессии. Это позволило сравнить микробоценозы молодых и многолетних водорослей в естественных условиях. Целью работы стало изучение структуры и численности эпифитных бактериальных групп на разновозрастной *C. crinita* и их сравнение с микробиотой морской воды.

Образцы *Cystoseira crinita* отбирались в декабре 2024 г. на центральном пляже Сочи (43.571520, 39.727186) с двух сторон одной буны: молодые и многолетние водоросли. Сбор проводился на глубине 0,2–1,0 м со скребком с бетонных конструкций. Водоросли помещались в стерильные пакеты с морской водой и доставлялись в лабораторию. Видовая идентификация макрофитов проводилась по определителю Зиновой [1967] с учётом современных номенклатурных источников [Milchakova, 2011]. Анализировались бактерии-эпифиты каулоида и ветвей, а также микроорганизмы морской воды вблизи водорослей. В течение суток после отбора эпифитные бактерии отделяли с 1 г водорослей при помощи вортекса (Biosan, Vortex V-1 plus) в стерильном растворе NaCl (3 мин). Далее выполнялся глубинный посев на селективные среды [Нетрусов, Егорова, Захарчук, 2005]: гетеро- и олиготрофы – на ГРМ-агаре и его десятикратноразбавленной версии, соответственно, (разведение 10^6), азотфиксаторы – на среде Эшби (разведение 10^6), углеводородокисляющие бактерии (УОБ) – на минеральной среде с 1 % дизельного топлива в качестве единственного источника углерода (разведение 10^2) [Mills, Breuil, Colwell, 1978; Коронелли, Ильинский, 1984]. Обработка данных и расчёт стандартных отклонений проводились в Microsoft Excel.

В результате исследований было выявлено, что доминирующей группой микроорганизмов являются олиготрофы. Это может быть связано с незначительным поступлением органических веществ в зимний период, что создает благоприятные условия для данной группы бактерий. Количество олиготрофов на цистозире было на порядок выше, чем в морской воде, что указывает на наличие подходящей среды для их развития на талломах, вероятно, вследствие обмена метаболитами между организмами. По литературным данным, олиготрофные бактерии могут участвовать в мобилизации микроэлементов, в частности железа, улучшая трофические условия для водорослей [Keshtacher-Liebso, Hadar, Chen, 1995].

Азотфиксирующие бактерии также показали увеличение численности на *C. crinita*: в 1,6 раза – на молодых талломах и в 1,2 раза – на многолетних по сравнению с морской водой. Данный факт может быть обусловлен обменом углерода и азота между водорослями и бактериями типичным для симбиозов [Mutual … , 2023].

УОБ были обнаружены исключительно на водорослях (50 КОЕ/мл), что согласуется с данными о способности бурых водорослей поддерживать специфические симбиотические сообщества, участвующие в биодеградации углеводородов [Пуговкин, Воскобойников, 2018]. Предполагается, что бактерии делают доступными для поглощения тканями водорослей нефтепродукты, аккумулированные на поверхности [Wrabel, Peckol, 2000].

Между сообществами бактерий-эпифитов на старых и молодых каулоидах и ветвях таллома цистозиры значимых различий выявлено не было.

Установлено, что *Cystoseira crinita* способствует накоплению функционально значимых бактериальных групп – олиготрофов, азотфиксаторов и УОБ, что подчёркивает её экологическую роль как биотопа способствующего повышению трофической стабильности среды за счёт микробного мобилизующего потенциала, вовлечению азота в круговорот веществ через симбиотические взаимодействия с азотфиксирующими бактериями и локальной биодеградации углеводородов с участием специализированных микроорганизмов.

Благодарности. Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СНЦ РАН FGRW-2024-0004, № госрегистрации 124022000094-8.

Список литературы

Зинова А. Д. Определитель зеленых, бурых и красных водорослей южных морей СССР. Л. : Наука, 1967. С. 396.

Коронелли Т. В., Ильинский В. В. Об учете численности углеводородокисляющих бактерий в морской воде методом предельных разведений // Вестн. МГУ. Сер. 16, Биология. 1984. № 3. С. 54–56.

Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М., 2005.

Пуговкин Д. В., Воскобойников Г. М. Эпифитные бактерии бурых водорослей *Fucus vesiculosus* // Морской биологический журнал. 2018. Т. 3, № 4. С. 76–83.

Keshtacher-Liebso E., Hadar Y., Chen Y. Oligotrophic bacteria enhance algal growth under iron-deficient conditions // Applied and Environmental Microbiology. 1995. Vol. 61, N 6. P. 2439–2441. DOI: 10.1128/aem.61.6.2439-2441.1995

Milchakova N. A. Marine plants of the Black Sea. An illustrated field guide. Sevastopol : Digit Print Press, 2011. 144 p.

Mills A. L., Breuil C., Colwell R. R. Enumeration of petroleum-degrading marine and estuarine microorganisms by the most probable number method // Canadian Journal of Microbiology. 1978. Vol. 24, N 5. P. 552–557. DOI: 10.1139/m78-089

Mutual supply of carbon and nitrogen sources in the co-culture of aerial microalgae and nitrogen-fixing bacteria / N. Aburai [et al.] //Algal Research. 2023. Vol. 70: 103001. DOI: 10.21072/mbj.2018.03.4.08

Wrabel M. L., Peckol P. Effects of bioremediation on toxicity and chemical composition of No. 2 fuel oil: Growth responses of the brown alga *Fucus vesiculosus* // Marine pollution bulletin. 2000. Vol. 40, N 2. P. 135–139. DOI: 10.1016/S0025-326X(99)00181-2

УДК 574.583

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗНЫХ ПОДХОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ ПЕЛАГИЧЕСКОЙ АМФИПОДЫ *MACROHECTOPUS BRANICKII*

Е. Ю. Наумова*, И. Ю. Зайдыков, М. М. Макаров

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: lena@lin.irk.ru*

Аннотация. Цель исследований – совершенствование современного метода получения информации о количественных характеристиках макрогектопуса в оз. Байкал. В августе 2021 г. проведено исследование охватывающее всю акваторию озера с широким использованием акустической системы с разрешением, позволяющим отслеживать скопления зоопланктона. Используя для идентификации скоплений *M. branickii* на эхограммах сетные ловы, мы получили данные сопоставимые со значениями 1950–1990-х гг. Полученные показатели численности ниже, чем наблюдались в 2015 г., а биомассы – выше (для 2015 г. в среднем для всей акватории 1707 экз./м^2 и 3,7 г/м^2 соответственно). Это объясняется недоловом мелких и рассредоточенных рачков, находящихся вне скоплений, и его оценка позволит получать информацию из архивных материалов тралово-акустических экспедиций.

Ключевые слова: скопление зоопланктона, пространственное распределение, гидроакустические данные, пелагические беспозвоночные

Оценка численности зоопланктона связана со сложностями оценки ошибок из-за неравномерности вертикального и горизонтального распределения. *M. branickii* –вид амфипод, ведущий исключительно пелагический образ жизни. Он играет важную роль в питании пелагических рыб Байкала. Сообщество зоопланктона оз. Байкал изменилось в ответ на глобальное изменение климата [The rise … , 2014; Lake-wide … , 2016; Troitskaya, Kalitovich, Shimaraev, 2020]. Отмечается снижение численности основной промысловой рыбы озера – омуля (*Coregonus migratorius*). Одной из серьезных проблем при изучении макрогектопуса является высокая подвижность крупных особей, образующих скопления и, в связи с этим, возможный недолов части популяции. Акустические системы с разрешением, позволяющим отслеживать скопления зоопланктона, уже давно применяются для морских экосистем и широко используются на крупных пресных озёрах мира. На Байкале их технические характеристики позволяют обнаруживать и оценивать скопления *Macrohectopus branickii* – подвижного эндемичного представителя макрозоопланктона озера. Цель исследований – совершенствование современного метода получения информации о количественных характеристиках макрогектопуса в оз. Байкал.

Мы представляем данные о результатах исследования, проведенного в 2021 г. Съемка проводилась с помощью модифицированной сети Джеди (диаметр 82 см, ячея 160 мкм) с глубины 400 м до поверхности и одновременным гидроакустическим профилированием с применением комплекса «Эхо-Байкал». Ловы проводились на 19 станциях по всей акватории озера. Наблюдение скоплений в момент отбора проб было важной особенностью данной работы. Отбор проводился как в светлое, так и в темное время суток.

Численность и биомасса *M. branickii* в пелагиали оз. Байкал в 2021 г. были сопоставимы со значениями 1950–1990-х гг., но отличались от результатов прошлого исследования [Naumova, Zaidykov, Makarov, 2020], которое проводилось без обнаружения скоплений, и с глубины до 700 м. Средняя численность макрогектопуса в открытом Байкале на участках с глубинами дна более 300 м, составила 1101 экз./м^2, максимальная – 2214 экз./м^2. Биомасса в среднем составила 7,6 г/м^2, максимальная – 38,6 г/м^2.

Полученные показатели численности ниже, чем наблюдались ранее [Naumova, Zaidykov, Makarov, 2020], а биомассы – выше (для 2015 г. в среднем для всей акватории 1707 экз./м^2 и 3,7 г/м^2 соответственно). Это объясняется недоловом мелких и рассредоточенных рачков, находящихся глубже скоплений.

Для мелководной части Баргузинского залива, где исследователи ранее отмечали высокую численность рачка, сборы проводились в дневное время, но при этом мы наблюдали незначительное снижение численности, по сравнению с ночными сборами 2015 г. Максимальная численность составляла 1502 экз./м^2, а максимальная биомасса – 26,3 г/м^2. При этом добавление к методам исследования площадной съемки скоплений макрогектопуса, как это было сделано в 2021 г. [Гидроакустические … , 2024] значительно повышает точность метода.

Использование акустического комплекса при проведении сборов позволяет получать представительные данные при меньших временных затратах, но не дает полной картины состояния популяции *M. branickii*. Таким образом при изучении биологии байкальского эндемика, необходимо проводить сборы и в пелагических районах, и в прибрежье, захватывая глубины ниже скоплений. Данные о размерных характеристиках этих ракообразных также нуждаются в обновлении.

Полученные данные могут послужить основой для разработки методов рыбохозяйственного мониторинга оз. Байкал и для получения информации о количестве и распространении макрогектопуса из архивных материалов тралово-акустических экспедиций на оз. Байкал. После завершения практических и теоретических работ по идентификации скоплений на эхограммах, мы получим возможность сбора пространственной информации о макрозоопланктоне.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта Минобрнауки России 0279-2021-0005 «Исследование трансформаций состояния водоемов и водотоков Восточной Сибири в сезонных и долговременных аспектах в контексте изменений климата, геологической среды и антропогенных нагрузок».

Список литературы

Гидроакустические исследования макрозоо-планктона оз. Байкал / М. М. Макаров, Е. В. Дзюба, И. Ю. Зайдыков, Е. Ю. Наумова // Limnology and Freshwater Biology. 2024. Vol. 6. P. 1491–1502. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-6-1491

Lake-wide physical and biological trends associated with warming in Lake Baikal / L. R. Izmesteva, M. V. Moore, S. E. Hampton [et al.] // Journal of Great Lakes Research. 2016. Vol. 42. P. 6–17.

Naumova E. Yu., Zaidykov I. Yu., Makarov M. M. Recent quantitative values of Macrohectopus branickii (Dyb.) (Amphipoda) from Lake Baikal // Journal of Great Lakes Research. 2020. Vol. 46, N 1. P. 48–52. DOI: 10.1016/j.jglr.2019.10.002

The rise and fall of plankton: long-term changes in the vertical distribution of Algae and Grazers in Lake Baikal, Siberia / S. E. Hampton, D. K. Gray, L. R. Izmesteva [et al.] // PLoS ONE. 2014. Vol. 9, Iss. 2. P. 1–10.

Troitskaya E. S., Kalitovich L. A., Shimaraev M. N. Trends in heat capacity changes of some layers in Southern Baikal during the modern period (from 2000 to 2020) // Limnology and Freshwater Biology. 2020. Vol. 4. P. 948–949. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-948

УДК 595.132.1

ФАУНА СВОБОДНОЖИВУЩИХ НЕМАТОД (NEMATODA) ОЗЕРА БАЙКАЛ В СРАВНЕНИИ С ФАУНАМИ ДРУГИХ ДРЕВНИХ ОЗЕР

Т. В. Наумова[1]*, В. Г. Гагарин[2]

[1]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
(Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н., пос. Борок)
**Автор для переписки: tvnaum@lin.irk.ru*

Аннотация. Проанализирован состав фауны свободноживущих нематод оз. Байкал. К настоящему времени она включает в себя 128 видов, относящихся к 32 родам, 14 семействам и 8 отрядам, степень эндемизма составляет 73 %. Причинами видового богатства фауны являются древний возраст озера, большая глубина и разнообразие биотопов. Байкальские эндемики не сконцентрированы в центральной глубоководной зоне озера, а широко распространены по всей акватории и в массе встречаются в мелководных заливах и бухтах. Проведено сравнение нематодофауны оз. Байкал с другими древними озёрами, такими как Бива, Хубсугул, Охрид, Танганьика, Киннерет.

Ключевые слова: свободноживущие нематоды, древние озёра, состав фауны, Байкал

Свободноживущие нематоды – одна из наиболее распространенных, разнообразных и обильных групп мейозообентоса оз. Байкал. Нематоды обитают на всех зонах глубин и во всех типах грунтов озера.

Изучением таксономического состава фауны нематод оз. Байкал занимались такие исследователи, как С. Я. Цалолихин [1980], А. В. Шошин [2001], А. А. Шошина [2003], а с 2010 г. – В. Г. Гагарин и Т. В. Наумова [2010]. К настоящему времени в оз. Байкал зарегистрировано 128 видов нематод, относящихся к 32 родам, 15 семействам, 8 отрядам.

Ранее считалось, что основным компонентом фауны нематод Байкала являются представители сем. Tobrilidae, но нами установлено, что нематоды семейств Monhysteridae, Dorylaimidae и Diplogasteridae также после вселения в озеро сформировали крупные видовые комплексы.

Степень эндемизма байкальских нематод не выше уровня родов, эндемичными родами являются *Quasibrilus* Tsalolikhin, 1976, *Lamuania* Tsalolikhin, 1976, *Kurikania* Tsalolikhin, 1976, *Asperotobrilus* Shoshin, 1991, *Sacrimarinema* Shoshin, 2001.

В оз. Байкал обитает 12 из 29 видов (41 %) мировой фауны рода *Tobrilus* Andrássy, 1959, причем 10 видов рода эндемичны для водоема, 19 из 41 вида (46 %) мировой фауны рода *Eutobrilus* Tsalolikhin, 1981 (15 видов – эндемики Байкала), 6 из 10 видов (60 %) мировой фауны рода *Paratrilobus* Micoletzky, 1922 (5 видов эндемичны), 4 из 11 видов (36 %) мировой фауны рода *Hofmaenneria* (все они эндемичны).

В оз. Бива (Япония) на сегодняшний день зарегистрировано 25 видов нематод, 7 (28 %) из которых эндемичны. Фауна нематод литорали озера типична для прибрежной мелководной зоны крупных водоемов [Гагарин, 2000, 2001].

Фауна оз. Хубсугул (Монголия) представлена 20 видами широкораспространенных нематод [Гагарин, 2003].

В оз. Охрид (Македония) обнаружено 28 видов нематод, степень эндемизма составляет 13 % [Albrecht, Wilke, 2008].

Для нематодофауны оз. Танганьика (Африка) отмечено 15 видов [Decraemer, Coomans, 1994].

Озеро Киннерет занимает особое положение среди реликтовых озер мира третичной эпохи. Оно приобрело свою нынешнюю конфигурацию лишь около 20 тыс. л. н. и в этом отношении может считаться «послеледниковым озером». Однако в неогене и плейстоцене

на этой территории существовали внутренние водоемы, связанные с развивающейся долиной р. Иордан. Определенное количество видов сохранилось в этих средах и проникло в озёра долины р. Иордан, когда они возникли. Фауна нематод оз. Киннерет представлена 10 видами.

Причинами высокого видового разнообразия нематод в оз. Байкал могут являться следующие факторы: древний возраст озера (около 30 млн лет), его большие глубины (max 1637 м), очень большое разнообразие биотопов. Нематоды обнаружены на песчаных, илистых, каменистых грунтах, в зарослях водной растительности, в биотопах с естественными нефтяными и метановыми проявлениями, в местах подводной вулканической активности. Байкальские эндемики не сконцентрированы в центральной глубоководной зоне озера, а широко распространены по всей акватории и в массе встречаются в мелководных заливах и бухтах.

Проведя подробный биогеографический анализ пресноводных нематод мира, А. Зуллини [Zullini, 2014] делает вывод, что биота пресноводных нематод разделена на две части: одна часть – сообщество оз. Байкал, а другая часть – мировое сообщество. Это весомый аргумент в пользу важности продолжения исследований данной группы беспозвоночных на Байкале.

Благодарности. экспедиционные работы выполнены с борта НИС «Папанин», «Г. Ю. Верещагин», «Титов» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»), наблюдения и фотографии выполнены в Приборном центре коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикроанализ». Работа выполнена в рамках госбюджетных проектов 121032300180-7 и 124032500016-4.

Список литературы

Гагарин В. Г. Первые сведения о фауне нематод оз. Бива (Япония) // Биология внутренних вод. 2000. № 2. С. 31–41.

Гагарин В. Г. Новые виды свободноживущих нематод из озера Бива и его притока// Зоологический журнал. 2001. Т. 80, № 1. С. 12–25.

Гагарин В. Г. Обзор фауны свободноживущих нематод древних озер Евразии // Биология внутренних вод. 2003. № 2. С. 15–19.

Цалолихин С. Я. Свободноживущие нематоды Байкала. Новосибирск : Наука, 1980. 120 с.

Шошин А. В., Цалолихин С. Я. Свободноживущие нематоды (Nemathelminthes: Nematoda) // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. Т. 1. Озеро Байкал, кн. 1. Новосибирск : Наука, 2001. С. 305–320.

Shoshina A. A. Tridents tobrilids (Nematoda: Enoplida) from Lake Baikal // Zoosystematica Rossica. 2003. Vol. 12, N 2. P. 253–257. DOI: 10.31610/zsr/2003.12.1.15

Albrecht C., Wilke T. Ancient Lake Ohrid: biodiversity and evolution // Hydrobiologia. 2008. Vol. 615. P. 103–140. DOI: 10.1007/s10750-008-9558-y

Decraemer W., Coomans A. A compendium of our knowledge of the free-living nematofauna of Ancient Lakes // Speciation in Ancient Lakes / ed. K. Martens, B. Goddeeris, G. Coulter. Archiv für Hydrobiologie – Beih. Ergebn. Limnol. 1994. Vol. 44. P. 173–181.

Naumova T. V., Gagarin V. G. Review of the free-living Nematode (Nematoda) fauna of Lake Baikal // Zootaxa. 2019. Vol. 4608, N 1. P. 101–118. DOI: 10.11646/zootaxa.4608.1.5

Zullini A. Is a biogeography of freshwater nematodes possible? // Nematology. 2014. Vol. 16. P. 1–8.

УДК 574.587:282.256.341

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОСТОЯНИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ В РАЙОНЕ ВЛИЯНИЯ БЦБК (ЮЖНЫЙ БАЙКАЛ)

А. В. Непокрытых*, Н. А. Букшук, И. В. Томберг, А. А. Широкая, Е. П. Зайцева, О. А. Тимошкин

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: nepocr1978@mail.ru*

Аннотация. Воздействие сточных вод Байкальского ЦБК на экосистему Байкала продолжалось почти полвека (1966–2013 гг.). В настоящей работе приведены результаты исследований различных групп макрозообентоса и химического состава вод каменистой литорали озера в районе БЦБК в первые годы после его закрытия (2013–2020 гг.). Установлено, что общие количественные показатели макрозообентоса и его структура изменились по сравнению с периодом до начала работы завода: количественные показатели оказались более высокими, полихеты стали доминирующей группой. За семь лет исследований не было отмечено тенденций к восстановлению изначального состояния донного сообщества. Показано, что придонные и поровые воды района характеризуются высоким содержанием соединений фосфора, азота и органического вещества.

Ключевые слова: Байкал, литораль, макрозообентос, антропогенная нагрузка, БЦБК

Деятельность Байкальского ЦБК на оз. Байкал продолжалась с 1966 по 2013 г. Непосредственно перед запуском завода и в первые 15 лет его работы проводились регулярные наблюдения за состоянием макрозообентоса [Бентос … , 1965; Каплина, 1970, 1974, и др.]. В последующие 30 лет мониторинг сообществ донных беспозвоночных не проводили. В 2013 г. сотрудники ЛИН СО РАН возобновили отбор проб макрозообентоса на каменистых грунтах в районе сброса условно чистых вод комбината (N51°31'22.4", E104°11'13.4") с целью отследить изменения в состоянии донных сообществ в последний год работы ЦБК и в первые годы после его закрытия.

Материал отбирался аквалангистами в июне и сентябре 2013–2020 гг. рамочным методом на глубинах 2–8 м. Камеральную обработку проб проводили по общепринятой гидробиологической методике. Для количественного анализа макрозообентоса использовали 42 пробы, для исследования малакофауны – 72. Одновременно с бентосом на глубинах 3 и 7 м отбирали пробы придонной и поровой воды на гидрохимический анализ. Последний проводили общепринятыми для гидрохимии пресных вод методами.

В исследуемый период общая численность и биомасса варьировали в широких пределах (18,3–388,9 тыс. экз./м^2 и 7,16–459,57 г/м^2 соответственно), но различия между годами были незначимыми. Соотношение численности разных групп также колебалось. При этом за семь лет исследований не было отмечено каких-либо трендов в динамике суммарных количественных показателей или в структуре сообществ.

Анализ многолетних тенденций показал, что в 2013–2020 гг. общая численность макрозообентоса повышена по сравнению периодом до запуска (1963–1965 гг.). На глубинах 2–5 м численность была в 9 раз выше, на глубинах 6–8 м – в 7 раз. Биомасса макрозообентоса увеличилась только в диапазоне глубин 2–5 м (в 2,5 раза); на глубинах 6–8 м различия не были обнаружены. Наблюдаются изменения и в структуре донных сообществ: до запуска комбината ведущими группами были амфиподы и моллюски (34 и 33 % соответственно), в настоящее время по численности преобладают полихеты (55 %) (рис.).

Малакофауна исследуемого района представлена 18 видами из 5 семейств. Доминирующим видом во всем диапазоне глубин является *Maackia herderiana* (Lindholm, 1909). Таксономический состав и соотношение численности видов согласуются с данными 1961–1966 гг. для Южного Байкала [Каплина, 1970].

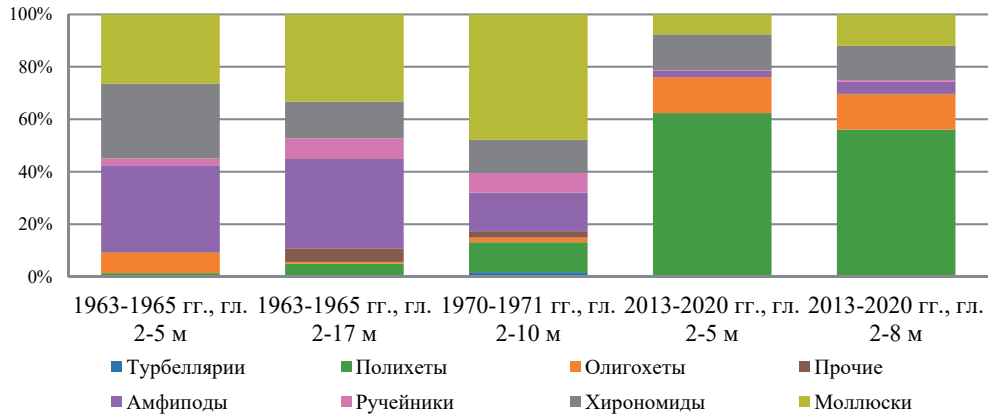


Рис. Многолетняя динамика соотношения численности групп макрозообентоса

В таблице представлены диапазоны концентраций химических компонентов в придонной и поровой воде. Анализ данных показал, что реакция среды в районе исследования слабощелочная, придонные воды хорошо аэрированы (насыщение O_2 93–112 %). Концентрации основных ионов и их суммарное содержание (∑и) близки к таковым в водах открытого Байкала. В отдельные годы в июне отмечали снижение минерализации и повышение концентрации кремния в придонной воде, что вероятно обусловлено поступлением на мелководье вод рек Солзан и Б. Осиновка. Исследования показали высокие значения азота и фосфора (в основном в виде органических соединений) в придонной воде озера и накопление этих элементов в поровых водах района. Вероятно, это связано с продолжающимся и после закрытия комбината сбросом в этом районе хозяйственно-бытовых стоков Байкальска.

Таблица. Динамика концентраций химических компонентов в придонной и поровой воде в районе г. Байкальска, июнь и сентябрь 2013–2020 гг.

Глубина и место отбора		pH	O_2	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	∑и	Si	$C_{орг}$	$N_{мин}$	$N_{общ}$	$P_{мин}$	$P_{общ}$
		ед. pH		мг/л								мкг/л	
3 м	Придонная вода	7,87–8,46	10,9–14,2	5,6–7,9	15,5–16,8	2,9–3,1	87,8–99,8	0,16–0,58	1,2–6,6	0,01–0,11	0,08–0,81	<1–9	6–58
	Поровая вода	7,52–8,45	–	5,8–7,8	15,6–16,5	3,0–3,4	91,0–108,8	0,08–1,33	3,4–16,4	0,01–0,09	0,31–10,1	<1–7	8–344
7 м	Придонная вода	7,75–8,14	10,8–14,3	5,6–7,2	15,3–16,7	2,7–3,1	88,4–101,0	0,13–0,61	0,9–10,4	0,01–0,09	0,14–1,0	<1–8	5–115
	Поровая вода	7,53–8,32	–	5,6–9,3	15,0–17,0	2,8–3,1	92,8–108,0	0,14–1,02	4,3–25,7	0,01–0,19	0,60–9,4	3–8	8–533

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 121032300180-7.

Список литературы

Бентос литорали и сублиторали оз. Байкал вдоль юго-восточных берегов / М. М. Кожов, Л. А. Ижболдина, Г. С. Каплина [и др.] // Гидробиологический журнал. 1965. Т. 1, № 4. С. 3–11. Каплина Г. С. Зообентос Южного Байкала в районе Утулик-Мурина // Известия БГНИИ при ИГУ. 1970. Т. 23, вып. 1. С. 42–65.

Каплина Г. С. О состоянии макрозообентоса в районе Утулик-Мурина Южного Байкала в 1968–1971 гг. // Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы. Иркутск : Изд-во ИГУ, 1974. С. 21–230.

УДК 595.745:282.256.341

НОВЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭКОЛОГИИ ЭНДЕМИЧНЫХ РУЧЕЙНИКОВ ОЗЕРА БАЙКАЛ

А. В. Непокрытых*, Т. И. Трибой

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: nep@lin.irk.ru*

Аннотация. Эндемичные ручейники являются одной из доминирующих групп макрозообентоса открытой литорали оз. Байкал. Из 14 известных для озера видов, подробное описание водной личиночной стадии имеется только для шести. Материалом для исследований послужили сборы 2000–2025 гг. Для установления видовой принадлежности личинок использовали склериты из домиков зрелых куколок и ассоциировали их с личинками, для которых проводили молекулярно-генетическую идентификацию. В результате исследований удалось установить принадлежность неизвестных личинок для 7 видов эндемичных ручейников и ещё один тип личинок пока не соотнесён с полученным ранее баркодом. По результатам многолетних исследований впервые представлены данные по вертикальному распределению всех эндемичных видов ручейников в литорали открытого Байкала.

Ключевые слова: Байкал, Trichoptera, Apataniidae, эндемики

В открытой литорали оз. Байкал эндемичные ручейники являются массовыми представителями бентоса (до 25 %) и составляют важное звено в пищевой цепи экосистемы. В настоящее время для оз. Байкала известно 14 эндемичных видов ручейников. Подробное описание водной личиночной стадии проведено только для шести видов и только для нескольких массовых видов известны глубины обитания [Лепнёва, 1966]. Целью исследования стало идентифицировать неизвестных эндемичных байкальских личинок ручейников и определить глубины их обитания.

Материалом для данного сообщения послужили собственные многолетние сборы ручейников (2000–2025 гг.), проведённые в литорали оз. Байкал с помощью аквалангистов и немногочисленные литературные данные [Лепнёва, 1964]. Для установления видовой принадлежности использовали личинок и куколок, собранных в открытой литорали оз. Байкал. Зрелых куколок с хорошо сформировавшимися гениталиями определяли и использовали склериты личинок последней возрастной стадии, сохранившиеся в куколочном домике для ассоциации с личинками, собранными в этом же месте и по всему водоёму. Параллельно для личинок был секвенирован фрагмент митохондриального гена *cox1* длиной 600–650 пар оснований для молекулярно-генетической идентификации вида.

В результате исследований удалось установить принадлежность неизвестных личинок для 7 видов эндемичных ручейников и ещё один тип личинок пока не соотнесён с полученным ранее баркодом [Молекулярная … , 2017] – предположительно это личинки редкого вида *Protobaicalina* (*Pseudobaicalina*) *nigrostriata* (Martynov, 1914), для которого отсутствуют молекулярно-генетические данные. Морфологически личинки относятся к роду *Protobaicalina*.

Как известно распределение эндемичных ручейников в литорали открытого Байкала зависит от глубины и типа грунта. Большинство эндемичных видов предпочитают каменистые грунты: коренные породы с обломками и валунами, гальку, отдельные валуны на песке, но избегают илистые грунты. Исследования показали, что такие виды как *Protorademа baicalensis* (Martynov, 1914), *Protorademа setosum* (Martynov, 1924) и *Protobaicalina* (*Pseudobaicalina*) *multispinos*a (Mey, 1994) в массе могут встречаются на заиленных полях песка, окукливаясь здесь же на выходах скальных пород, редких камнях или на песке, не прикрепляясь к субстрату. Также на слегка заиленном песке с наличием валунов встречается *Baicalinella foliata* (Martynov, 1914).

Установлено, что эндемичные ручейники Байкала в массе заселяют каменистую литораль озера от 2,5 м до глубин 20–25 м, глубже встречаются единичные экземпляры до 50 м. Имеются упоминания о редких находках ручейников на 100 и 200 м в пробах Байкальской биологической станции (середины XX в.), но из-за утраты сборов подтвердить находки не удалось [Лепнёва, 1964].

Верхние два метра прибойной зоны Байкала населены слабо, здесь преимущественно обитает один вид *Baicalina thamastoides* (Martynov, 1914), который встречается до глубины 5 м. В штиль личинки *B. thamastoides* в массе можно встретить возле уреза или до глубины 1 м. Остальные виды личинок расселяются в широком диапазоне глубин в зависимости от места, грунта и рельефа дна, при этом у каждого вида есть наиболее комфортные глубины обитания. Зону глубин от 3 до 8–10 м населяют *Baicalina bellicosa* (Martynov, 1914)*, Protobaicalina* (*Protobaicalina*) *spinosa* (Martynov, 1914)*, Protobaicalina* (*Protobaicalina*) *tallingi* (Rozhkova, 1996), *P. baicalensis, P. setosum, Thamastes dipterus* Hagen,1858*, Baicalinella foliata* (Martynov, 1914) и *Baicalodes ovalis* (Martynov, 1914). Два последних вида заселяют более широкую зону глубин до 15–20 м, в неё также входят поселяющиеся немного глубже (от 5–7 м) *P.* (*Ps.) multispinosa*, *Protobaicalina sp., Radema infernale* Hagen,1864 и *Baicalina reducta* (Martynov, 1924). *B. reducta* при широкой каменистой литорали предпочитает глубины от 10–12 м, если каменистый грунт оканчивается полями песка на меньшей глубине, то личинки и куколки этого вида поселяются и на 4–7 м. Глубже 20 м ручейники уже не образуют большие скопления, до 30 м встречаются *B. reducta, P.* (*Ps.) multispinosa, P. baicalensis* и *R. infernale.* В самом широком диапазоне глубин от 7 до 50 м обитает *Baicalina levanidovae* Ivanov & Menshutkina, 1996, преимущественно поселяясь на камнях и скальных породах свала на 18–25 м. В настоящее время находки этого вида являются самыми глубоководными. Все виды ручейников распределяются в литорали озера не равномерно, на одном и том же месте разные сборы могут показывать значительно отличающийся состав, при этом отдельный вид может быть широко распространён, но в изобилии встречаться локально.

Благодарности. Авторы выражают благодарность д-ру геол.-минерал. наук А. П. Федотову за помощь в получении материала и поддержку исследований и С. В. Усову за помощь в сборе материала. Работа выполнена в рамках тем государственного задания № 121032300224-8, № 121032300180-7, № 121032300196-8.

Список литературы

Лепнёва С. Г. Личинки и куколки подотряда кольчатощупиковых (Annulipalpia) // Фауна СССР. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1964. Т. 2, вып. 1 : Ручейники. С. 9–184.

Лепнёва С. Г. Личинки и куколки подотряда цельнощупиковых (Integripalpia) // Фауна СССР. М. Л. : Изд-во АН СССР, 1966. Т. 2, вып. 2 : Ручейники. 560 с.

Молекулярная эволюция байкальских эндемичных ручейников (Trichoptera) / Т. И. Трибой, А. В. Непокрытых, Н. А. Рожкова [и др.] // Генетика. 2017. Т. 53, № 4. С. 501–506.

УДК 574.583

КОРМОВАЯ БАЗА И ПИТАНИЕ ЛИЧИНОК БАЙКАЛЬСКОГО ОМУЛЯ ПОСОЛЬСКОГО СОРА ОЗ. БАЙКАЛ В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД 2024 Г.

С. Ю. Неронова[1, 2]*, Н. Г. Шевелёва[3]

[1]Байкальский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»(Россия, 670034, Улан-Удэ, ул. Хахалова, 4б)
[2]Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[3]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: nesveta5@yandex.ru*

Аннотация. В мае 2024 г. планктонное сообщество Посольского сора насчитывало 26 видов. К концу месяца видовое разнообразие закономерно возросло. В составе пищи личинок байкальского омуля отмечено 9 видов организмов зоопланктона и личинки Chironomidae. В пищевом рационе доминировали ювенильные и взрослые Cyclopoida, в том числе половозрелые особи *Cyclops kolensis.*

Ключевые слова: зоопланктон, кормовая база, личинки байкальского омуля, Посольский сор

Мелководные байкальские заливы и соры – уникальные экосистемы с особыми условиями обитания фауны, отличными от самого озера. Посольский сор – это лагуна затопления, отделённая от основной части озера косами. Связь с Байкалом осуществляется через пролив (прорву) шириной более 200 м. Сор расположен в юго-восточной части озера; общая площадь около 35 км^2, средние глубины 2–3 м [Кожов, 1962]. Сор используется в качестве естественного выростного водоема для молоди омуля придонно-глубоководной морфо-экологической группы (в т. ч. для личинок, выпущенных Большереченским рыбоводным заводом).

Цель работы – определить состав пищи личинок байкальского омуля и таксономическую структуру фауны планктонного сообщества Посольского сора.

Материал был отобран 16 и 29 мая 2024 г. в период ската личинок омуля в Посольский сор. Пробы зоопланктона взяты в 5 мониторинговых точках. Вблизи них осуществляли траление мальковым неводом. Для анализа было получено 10 планктонных проб, 60 экз. молоди рыб. Отбор и обработка проб проводились по стандартной методике [Руководство … , 1984; Методическое … , 1974].

В момент исследования планктонное сообщество Посольского сора содержало 26 видов. В середине мая было идентифицировано 16 видов. Наибольшее количество видов отмечено у Rotifera (9 видов), 2 и 5 видов соответственно определено у Cladocera и Copepoda. По численности и биомассе доминировали копеподитные стадии Cyclopoida (12,7 тыс. экз./м^3 и 147,9 мг/м^3). В пищевом рационе личинок омуля в этот период отмечено 5 видов организмов зоопланктона. Основой рациона были ювенильные и взрослые Copepoda, главным образом *C. kolensis*. Коловратки и ветвистоусые отмечены в единичном числе. Пустой пищеварительный тракт отмечен только у одной личинки. Среднее значение индекса наполнения желудка составило 370 ‰.

В конце месяца список планктонных беспозвоночных увеличился до 20 видов. Было зафиксировано 8 видов коловраток, 2 вида ветвистоусых и 10 видов веслоногих ракообразных. Развитие получили *Polyarthra major* (среднее значение численности 130,7 тыс. экз./м^3), *Keratella cochlearis* (25,8 тыс. экз./м^3) и науплии веслоногих рачков (21,7 тыс. экз./м^3). В составе пищи личинок омуля отмечено 8 видов организмов зоопланктона и личинки Chironomidae (у 7 % рыб). Основу рациона по-прежнему составляли копеподитные стадии *C. kolensis*. С развитием в планктонном сообществе науплиальных стадий Copepoda, возросла и их роль в питании. Обнаруженная в пище *Sida crystallina* в планктонных пробах отмечена не была. Средний показатель наполнения желудка составил 236.

Таким образом, в середине мая в пищевом рационе молоди преобладают организмы, доминирующие в планктонном сообществе сора. В конце мая, не смотря на массовое развитие отдельных видов коловраток, основой пищевого рациона личинок байкальского омуля были веслоногие ракообразные, что, скорее всего, свидетельствует об избирательности пищевых объектов рыбой.

Список литературы

Кожов М. М. Биология озера Байкал. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 314 с.

Методическое пособие по изучению питания рыб и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М. : Наука, 1974. 254 с.

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. Л. : Гидрометеоиздат, 1984. 24 с.

УДК 504.3.054:504.37

ИТОГИ МОНИТОРИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ

О. Г. Нецветаева*, Т. В. Ходжер

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: r431@lin.irk.ru*

Аннотация. Изучен химический состав атмосферных осадков на станциях мониторинга атмосферы в Южном Прибайкалье (2020–2024 гг.). Проведена количественная оценка влажного выпадения маркерных веществ на подстилающую поверхность Южного Прибайкалья. Максимум суммарного осаждения ионов определен в г. Иркутске, где сосредоточены многочисленные источники загрязнения атмосферы. На Южном Байкале эта величина в несколько раз ниже, как и выпадение сульфатов и кальция. Наибольшее количество нитратов и ионов водорода осаждается на юго-восточном побережье озера с большим количеством осадков. Сравнение с данными прошлых лет выявило увеличение влажного выпадении ионов на ст. Листвянка.

Ключевые слова: Южное Прибайкалье, атмосферные осадки, мониторинг, химический состав, маркерные вещества, влажные выпадения ионов

Одним из основных источников загрязнения воздуха в Южном Прибайкалье являются выбросы предприятий теплоэнергетики ООО «Байкальская энергетическая компания». 88 % всех выбросов приходится на ТЭЦ, расположенных в Ангарске и Иркутске. Выбросы SO_2, NO_x и твердых веществ ТЭЦ этих городов составили в 2023 г. 85 и 89 % от суммарных выбросов этих компонентов на территории ЭЗАВ [Государственный … , 2024]. Данные компоненты являются маркерными загрязняющими веществами ТЭЦ, работающих на угле и мазуте.

В 2020–2024 гг. изучался химический состав атмосферных осадков на станциях Листвянка (юго-западное побережье Байкала), Танхой (юго-восточное побережье) и Иркутск (около 1000 проб). Определение химического состава выполнялось с использованием общепринятых гидрохимических методик в аккредитованной лаборатории гидрохимии и химии атмосферы.

Целью исследований являлась количественная оценка влажного выпадения основных ионов, в том числе маркерных веществ, из атмосферы на подстилающую поверхность Южного Прибайкалья. В качестве маркерных веществ выбраны сульфаты и нитраты как продукты трансформации газообразных (оксиды серы и азота) выбросов предприятий теплоэнергетики, кальций, содержащийся в золе углей, сумма ионов как показатель общего загрязнения атмосферных осадков и величина pH как показатель их кислотно-основного статуса.

Результаты многолетних исследований химического состава атмосферных осадков представлены в табл. 1. Наиболее загрязнены осадки г. Иркутска, их среднегодовая минерализация (16,8 мг/л) в 3–4 раза выше, чем на западном и восточном побережьях юга озера. В холодный период в Иркутске сумма ионов в 3–6 раз выше в сравнении с Листвянкой и Танхоем, в теплый период – в 2 раза. Выявлены сезонные различия в ионном составе осадков. Наибольшие концентрации преобладающей части ионов и их сумма определены в осадках холодного периода, когда выбросы предприятий теплоэнергетики максимальны (табл. 1). Так в Иркутске и Листвянке сумма ионов в снеге в 2,4 и 1,5 раза выше, чем в дождях. На ст. Танхой в среднем не наблюдается значительных сезонных различий в минерализации осадков. Величина pH в снежных выпадениях Иркутска значительно выше в сравнении Южным Байкалом. Это, прежде всего, обусловлено более высокими концентрациями щелочных компонентов в осадках промышленного центра в отопительный период. Катионов металлов в снеге Иркутска содержится до 7 раз больше, чем на юге озера, гидрокарбонатов – на порядок и два порядка больше, чем в Листвянке и Танхое. В осадках теплого периода различия в величинах pH на станциях мониторинга выражены в меньшей степени. В целом кислотность снеговых и дождевых вод наиболее высока на юго-восточном побережье (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав атмосферных осадков на станциях мониторинга Южного Прибайкалья в 2020–2024 гг., мг/л

Станции	Период	F^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	pH
		мг/л										ед. pH
Иркутск	теплый	0,15	0,93	4,18	1,25	0,35	0,21	**0,60**	1,30	0,27	0,69	5,31
	холодный	**0,45**	**4,82**	**6,52**	2,23	**2,24**	**1,59**	0,41	**4,12**	**0,51**	**0,87**	**6,28**
Лиственка	теплый	0,10	0,38	2,03	0,84	0,15	0,13	0,46	0,50	0,14	0,41	5,09
	холодный	0,25	0,27	2,39	**2,66**	0,20	0,23	0,21	1,25	0,18	0,26	5,26
Танхой	теплый	0,06	0,32	1,66	0,80	0,20	0,12	0,27	0,42	0,07	0,41	5,04
	холодный	0,06	0,02	1,05	1,61	0,23	0,17	0,17	0,47	0,06	0,11	4,97

Оценено выпадение маркерных веществ на подстилающую поверхность Южного Прибайкалья. Суммарное выпадение ионов максимально на ст. Иркутск, в среднем в 2 раза больше, чем на ст. Танхой (табл. 2). На всех станциях потоки суммы ионов в теплый период превосходят аналогичную величину в холодное время года. Максимальное количество сульфатов осаждается в Иркутске. Но в холодный период эта величина в 3 раза меньше, чем в теплое время года (940 мг/м^2), несмотря на большие в 1,6 раз концентрации сульфатов. Причиной является небольшое количество выпавшего снега, до 9 раз меньше, чем дождя. На Южном Байкале в холодный период выпадение сульфатов в среднем в 2 раза меньше, чем в промышленном центре. Влажное осаждение кальция также максимально в Иркутске, причем не отмечено сезонных различий в его выпадении. На Южном Байкале потоки данного компонента в 2–3 раза ниже, чем в городе. Максимум выпадения нитратов зарегистрирован в г. Иркутске в теплый период. Но эта величина сравнима с аналогичным значением для ст. Танхой в холодный период. На станциях Иркутск и Лиственка потоки азота выше в теплый период (в 2 и 1,5 раза соответственно). Следует отметить, что в отличие от сульфатов и кальция не отмечается значительных колебаний выпадений нитратов от станции к станции. Среднемноголетние значения изменялись в пределах 354–465 мг/м^2 в год, причем годовой максимум соответствует ст. Танхой. Осаждение ионов водорода в теплый период на всех станциях мало различалось. В холодное время года на ст. Танхой потоки ионов H^+ были в 5 и 25 раз выше, чем в Лиственке и Иркутске вследствие как более низких значений pH, так и в 3 раза большего количества снега.

Сравнение современных данных по влажному выпадению ионов на подстилающую поверхность Южного Прибайкалья с материалами 2015–2019 гг. выявило рост выпадения суммы ионов на 22 % на ст. Лиственка за счет увеличения осаждения в основном катионов металлов до 3 раз (табл. 2).

Таблица 2. Влажное выпадение ионов и их суммы на подстилающую поверхность Южного Прибайкалья в разные периоды, мг/м^2 в год

Станции	Период	HCO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	H^+	∑и
Иркутск	2015–2019	478	1216	404	185	84	58	**393**	50	302	5,0	**3175**
	2020–2024	315	**1268**	404	152	97	100	383	65	213	5,9	3003
Лиственка	2015–2019	32	619	345	47	23	34	133	20	127	4,9	1383
	2020–2024	61	709	358	48	73	104	170	41	111	6,1	1681
Танхой	2020–2024	41	589	**467**	64	51	76	172	25	74	**7,7**	1567

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0279-2021-0014.

Список литературы

Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2023 году. М. : ФГБУ «ВНИИ Экология», 2024. 412 с.

УДК 504.455:504.064.36

ПОТОКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ (CH_4, CO_2) С ПОВЕРХНОСТИ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

О. В. Никитин[1]*, Н. Ю. Степанова[2], Т. Р. Аухадеев[2], В. З. Латыпова[2]

[1]ООО «Экоаудит» (Россия, 420061, Казань, ул. Сеченова, 17)
[2]Казанский федеральный университет (Россия, 420097, г. Казань, ул. Товарищеская, 5)
**Автор для переписки: olnova@mail.ru*

Аннотация. В работе представлены результаты оценки потоков парниковых газов с поверхности Куйбышевского водохранилища с использованием метода турбулентных пульсаций (eddy covariance). Измерения проводились с августа по декабрь 2024 г. на мелководном участке водохранилища в пределах водного кластера карбонового полигона «Карбон – Поволжье». Результаты показали, что водоём является источником метана с максимальной эмиссией в августе–сентябре (до 52,84 мг $CH_4 \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$), тогда как для углекислого газа отмечается дневной сток в летние месяцы за счёт фотосинтеза. Сезонная динамика потоков определяется температурой воды, микробиологической активностью и наличием ледяного покрова. Полученные данные важны для уточнения вклада водохранилищ в региональный углеродный баланс и глобальный углеродный цикл.

Ключевые слова: парниковые газы, метод турбулентных пульсаций, Куйбышевское водохранилище, метан, углекислый газ, карбоновый полигон

Водохранилища занимают важное место в структуре современных ландшафтов и выполняют широкий спектр хозяйственных и экологических функций. В рамках углеродного цикла водохранилища выполняют функцию как накопителей, так и источников углерода, оказывая влияние на локальные и глобальные биогеохимические процессы, внося значительный вклад в бюджет парниковых газов [Greenhouse … , 2016; Spatiotemporal … , 2021; Half … , 2021]. Эмиссия парниковых газов (ПГ) из водохранилищ определяется множеством факторов, включая гидрологические, биогеохимические и климатические условия. Разнообразие процессов, требует применения комплексных методов оценки, способных учитывать, как глобальные тенденции, так и локальные особенности [Year-2020 … , 2021; Assessment … , 2024].

Цель работы – количественная оценка потоков ПГ с поверхности Куйбышевского водохранилища методом турбулентных пульсаций (eddy covariance – EC).

Исследования проводились на мелководном участке (глубина 2–4 м) водохранилища с августа по декабрь 2024 г. Использовалось оборудование: газоанализаторы LI-7700 (CH_4) и LI-7200RS (CO_2/H_2O) (LI-COR, США), 3D-анемометр Multipath Cage (Metek, Германия). Оборудование размещалось на стационарном понтоне над поверхностью водохранилища. Использование плавучей платформы, компенсирующей колебания уровня воды, обеспечивало постоянную высоту EC-системы над поверхностью в течение всего периода наблюдений. Высота установки датчиков отражает баланс между сохранением адекватных частотных характеристик для регистрации турбулентных вихрей и зоной охвата измерений – футпринтом [Burba, 2022], представляющим интересующую область акватории. Данные регистрировались с частотой 10 Гц, обрабатывались в 30-минутные потоки с помощью программного обеспечения EddyPro 7 (LI-COR, США). Дальнейшая статистическая обработка проводилась в программе Statistica 10 (StatSoft, США). Из общей выборки исходных 30-минутных данных были отфильтрованы значения (выбросы), выходящие за пределы утроенного стандартного отклонения. Оставшиеся данные были усреднены посуточно (с выделением дневных и ночных значений на основе уровня солнечной радиации) и помесячно.

Результаты измерений методом турбулентных пульсаций показали, что Куйбышевское водохранилище в целом является источником парниковых газов, однако характер потоков CH_4 и CO_2 различается. Для метана водная поверхность оставалась устойчивым источником, особенно в августе и сентябре, когда эмиссия достигала 52,84±22,49 и 47,53±27,06 мг $CH_4 \cdot м^{-}$

^{2}·сут$^{-1}$ соответственно. Это связано с высокой температурой воды, усиливающей микробиологическую продукцию и турбулентный перенос CH_4. С наступлением холодного периода потоки снижались, а в октябре-ноябре фиксировались эпизоды стока CH_4 из атмосферы в воду. Это вероятно связано с понижением температуры, снижением продукции метана и усилением активности метанотрофных бактерий. В декабре поток стабилизировался около нуля из-за ледового покрова, ограничивающего газообмен.

Для углекислого газа в тёплый сезон наблюдался дневной сток CO_2 связанный с фотосинтетической активностью фитопланктона. Так, в августе – сентябре ночная эмиссия составляла до 59,79 мкг·м$^{-2}$·с$^{-1}$, тогда как дневной поток был значительно ниже (до 2,64 мкг·м$^{-2}$·с$^{-1}$). К ноябрю-декабрю потоки CO_2 снизились практически до нуля, что обусловлено снижением биологической активности и ледовым покровом. В течение рассматриваемого периода с августа по декабрь среднемесячная эмиссия CO_2 снижалась с максимальной до практически нулевой в следующем ряду значений: 2,32±1,70, 2,54±1,75, 1,37±0,68, 0,52±0,42 и 0,10±0,23 г CO_2·м$^{-2}$·сут$^{-1}$ соответственно.

Таким образом, первичные результаты экспериментальной оценки потоков ПГ на Куйбышевском водохранилище, выполненные с использованием метода турбулентных пульсаций, выявили характерные амплитуды потоков, а также закономерности их суточной и сезонной динамики. Летне-осенний период характеризуется выраженной эмиссией метана, тогда как для углекислого газа отмечается дневной сток в летние месяцы. Сезонная динамика определяется комплексом биологических и метеорологических факторов: температурой воды, фотосинтезом, ветровым волнением и ледоставом. Эти данные соответствуют тенденциям, описанным для других водоёмов мира. Однако для более глубокого и объективного понимания процессов требуется продолжение непрерывных наблюдений.

Благодарности. Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной КФУ для выполнения гос. задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004.

Список литературы

Assessment of methane levels throughout a temperate reservoir area using remote sensing data / O. Nikitin, N. Stepanova, S. Gubeeva [et al.] // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 555. Art. 01009. DOI: 10.1051/e3sconf/202455501009

Burba G. Eddy covariance method for scientific, regulatory, and commercial applications. Lincoln, Nebraska: LI-COR Biosciences, 2021. 702 p.

Greenhouse gas emissions from reservoir water surfaces: a new global synthesis / B. R. Deemer, J. A. Harrison, S. Li [et al.] // BioScience. 2016. Vol. 66, N 11. P. 949–964. DOI: 10.1093/biosci/biw117

Half of global methane emissions come from highly variable aquatic ecosystem sources / J. A. Rosentreter, A. V. Borges, B. R. Deemer [et al.] // Nature Geoscience. 2021. Vol. 14, N 4. P. 225–230. DOI: 10.1038/s41561-021-00715-2

Spatiotemporal methane emission from global reservoirs / M. S. Johnson, E. Matthews, D. Bastviken [et al.] // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. 2021. Vol. 126, N 8. DOI: 10.1029/2021jg006305

Year-2020 global distribution and pathways of reservoir methane and carbon dioxide emissions according to the greenhouse gas from reservoirs (G-res) model / J. A. Harrison, Y. T. Prairie, S. Mercier-Blais, C. Soued // Global Biogeochemical Cycles. 2021. Vol. 35, N 6. Art. e2020GB006888. DOI: 10.1029/2020gb006888

УДК 004.932:574.64

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ В ЭКОТОКСИКОЛОГИИ: КАК ПАРАМЕТРЫ ОБРАБОТКИ ВИДЕО ВЛИЯЮТ НА ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ (НА ПРИМЕРЕ *DAPHNIA MAGNA*)

О. В. Никитин[1]*, Э. И. Насырова[2], Н. Ю. Степанова[2], В. З. Латыпова[2]

[1]ООО «Экоаудит» (Россия, 420061, Казань, ул. Сеченова, 17)
[2]Казанский федеральный университет (Россия, 420097, г. Казань, ул. Товарищеская, 5)
**Автор для переписки: olnova@mail.ru*

Аннотация. В работе исследовано влияние параметров обработки видеозаписей на оценку поведенческих реакций дафний в лабораторных условиях с использованием технологии компьютерного зрения. Проведена автоматизированная обработка видеороликов с различной частотой кадров (от 5 до 30 кадров в секунду). Показано, что снижение частоты обработки кадров значимо влияет на оценку расстояния, пройденного дафниями, их скорости плавания и длины элементарного участка траектории. Установлено, что при снижении частоты кадров с 30 до 5 кадр./с объем получаемой информации сокращается почти в 6 раз, а оценка скорости может отличаться более чем на 50 %. Эти особенности необходимо учитывать при планировании экспериментов и интерпретации поведенческих показателей в экотоксикологических исследованиях.

Ключевые слова: *Daphnia magna*; плавательное поведение; компьютерное зрение; обработка видео; анализ поведения; экотоксикология

Daphnia magna является одним из основных тест-объектов в экотоксикологических исследованиях благодаря высокой чувствительности к загрязняющим веществам и простоте культивирования. В последние годы всё большее внимание уделяется поведенческим реакциям этих организмов как наиболее чувствительным и экологически значимым показателям [Bownik, 2017; Toxicity … , 2018; Насырова, Никитин, Латыпова, 2024]. В частности, параметры движения – скорость, пройденное расстояние, частота поворотов – напрямую связаны с выживанием, ростом и репродуктивным успехом организмов. В связи с этим разработка автоматизированных методов анализа поведения на основе технологий компьютерного зрения представляет собой перспективное направление. Однако при использовании таких методов остаётся открытым вопрос о влиянии параметров видеообработки на достоверность получаемых результатов [Henry, Rodriguez, Wlodkowic, 2019].

Цель исследования – выяснить, как параметры видеообработки влияют на результаты оценки поведенческих характеристик *Daphnia magna* при помощи компьютерного зрения.

Исследование проводилось с использованием аппаратно-программного комплекса TrackTox [Effect … , 2019]. В эксперименте использовались партеногенетические особи *Daphnia magna* размером около 1,4 мм, выращенные в стандартных лабораторных условиях согласно методике ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06. Видеозаписи продолжительностью 10 мин (разрешение 640×360 пикселей, исходная частота – 30 кадров в секунду (fps)) обрабатывались с различной частотой кадров: 5, 10, 15, 20, 25 и 30 fps. Анализу подвергались следующие параметры: объём получаемых данных, длина сегмента траектории, общее пройденное расстояние и скорость плавания. Статистическая обработка данных выполнялась с использованием программы Statistica 10.0.

Результаты исследования представлены в таблице. Установлено следующее: 1) объём получаемых данных линейно увеличивается с ростом частоты обработки видео – при 5 fps регистрировалось в среднем 285 наблюдений в минуту, тогда как при 30 fps – более 1700; 2) длина единичного сегмента траектории уменьшается с 0,11 до 0,03 см; 3) пройденное расстояние увеличивается с 31 до 48 см в минуту; 4) средняя скорость плавания возрастает с 0,51 до 0,80 см/с. Наиболее выраженные и статистически значимые различия ($p \leq 0{,}001$) отмечены между крайними значениями частоты обработки – 5 и 30 fps.

Таблица. Влияние частоты обработки видео на поведенческие показатели *D. magna*

Параметр	5 fps	10 fps	15 fps	20 fps	25 fps	30 fps
Наблюдения (ед. /мин)	285***	570***	863***	1141***	1424	1711
Длина сегмента (см)	0,11***	0,07***	0,05***	0,04	0,03	0,03
Пройденное расстояние (см)	30,63***	37,23***	40,91*	43,42	45,86	48,01
Скорость плавания (см/с)	0,51***	0,62***	0,68*	0,72	0,76	0,80

Примечание: *** $p \leq 0{,}001$, * $p \leq 0{,}05$ по сравнению с 30 fps).

Выявленные закономерности объясняются характерным для дафний «рывковым» стилем передвижения (*hop-and-sink*), при котором более высокая частота анализа позволяет лучше отразить сложную траекторию и, соответственно, точнее оценить длину и скорость движения [Nikitin, Petrova, Latypova, 2015; Skipper, Murphy, Webster, 2019]. В условиях низкой частоты кадрирования теряется информация о мелких элементах траектории, что приводит к визуальному упрощению траектории и приводит к недооценке его реальной сложности. Это, в свою очередь, может существенно искажать рассчитанные поведенческие характеристики.

Таким образом, параметры обработки видеозаписей существенно влияют на количественные оценки поведения дафний. При анализе поведенческих реакций в экотоксикологических исследованиях необходимо точно указывать параметры съёмки и обработки, так как различия в частоте кадров могут приводить к искажению получаемых данных. При сравнении результатов различных исследований необходимо учитывать параметры видеоанализа. Представленные подходы могут быть использованы для стандартизации методов оценки поведенческих реакций в экотоксикологических тестах.

Благодарности. Работа частично выполнена за счет средств субсидии, выделенной КФУ для выполнения гос. задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004.

Список литературы

Насырова Э. И., Никитин О. В., Латыпова В. З. Параметры плавательного поведения дафний как индикаторы токсичности среды // Российский журнал прикладной экологии. 2024. № 1(37). С. 67–83. DOI: 10.24852/2411-7374. 2024.1.67.83

Bownik A. Daphnia swimming behaviour as a biomarker in toxicity assessment: a review // Science of The Total Environment. 2017. Vol. 601–602. P. 194–205. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.199

Effect of various temperature and light intensity regimes on *Daphnia magna* swimming behaviour / O. Nikitin, E. Nasyrova, A. Kalinina [et al.] // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. SGEM. 2019. Vol. 19, N 5.1. P. 229–236. DOI: 10.5593/sgem2019/5.1/S20.029

Henry J., Rodriguez A., Wlodkowic D. Impact of digital video analytics on accuracy of chemobehavioural phenotyping in aquatic toxicology // PeerJ. 2019. Vol. 7. Art. e7367. DOI: 10.7717/peerj.7367

Nikitin O. V., Petrova V. M., Latypova V. Z. Bioassay of pyrethroid insecticide esfenvalerate using fractal analysis of *Daphnia magna* motion // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2015. N 6(6). P. 1729–1736.

Skipper A. N., Murphy D. W., Webster D. R. Characterization of hop-and-sink daphniid locomotion // Journal of Plankton Research. 2019. Vol. 41, N 2. P.142–153. DOI: 10.1093/plankt/fbz003

Toxicity assessment of polluted sediments using swimming behavior alteration test with *Daphnia magna* / O. V. Nikitin, E. I. Nasyrova, V. R. Nuriakhmetova [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 107. Art. 012068. DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012068

УДК 574.5:528.88

КАРТИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ «ЦВЕТЕНИЯ» ФИТОПЛАНКТОНА В КУЙБЫШЕВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ ПО ДАННЫМ SENTINEL-2

О. В. Никитин[1]*, Н. Ю. Степанова[2], Р. С. Кузьмин[1], В. З. Латыпова[2]

[1]ООО «Экоаудит» (Россия, 420061, Казань, ул. Сеченова, 17)
[2]Казанский федеральный университет (Россия, 420097, г. Казань, ул. Товарищеская, 5)
**Автор для переписки: olnova@mail.ru*

Аннотация. В работе представлены результаты мониторинга процессов цветения фитопланктона в Куйбышевском водохранилище за 2024 г. на основе анализа спутниковых данных Sentinel-2. Для оценки использовался нормализованный разностный индекс хлорофилла – NDCI. Проанализировано 300 сцен с мая по октябрь, выявлены зоны интенсивного цветения и выполнена оценка пространственно-временной изменчивости. Полученные результаты сопоставлены с ранее опубликованными данными за 2019–2023 гг. В 2024 г. наибольшие значения NDCI и площади максимального цветения наблюдались в августе. Выявлена устойчивая тенденция к увеличению интенсивности цветения в летние месяцы. Наибольшая продуктивность отмечена в южных участках водохранилища. Полученные данные подтверждают эффективность дистанционных методов для мониторинга экологического состояния крупных водоемов.

Ключевые слова: фитопланктон, цветение воды, Sentinel-2, NDCI, Куйбышевское водохранилище, дистанционный мониторинг

Современные методы спутникового зондирования открывают новые возможности для оперативного мониторинга состояния водных экосистем. Например, «цветение» фитопланктона – индикатор эвтрофирования водоёмов, может эффективно оцениваться с использованием спектральных индексов [Применение … , 2020]. Куйбышевское водохранилище, как один из крупнейших искусственных водоёмов Европы, требует постоянного внимания к оценке его экологического состояния. В дополнение к ранее опубликованным данным за 2019–2023 гг. [Пространственно-временная … , 2024], в настоящем исследовании представлены новые результаты за 2024 г., полученные по материалам спутниковой съёмки Sentinel-2/MSI. Было отобрано и обработано 300 снимков уровня обработки 2A, охватывающих около 86 % акватории Куйбышевского водохранилища (5062 км^2). Изображения агрегировались по декадам, что позволило сформировать 17 подекадных композитов и обеспечить непрерывное отслеживание динамики цветения в течение всего вегетационного периода (май – октябрь 2024 г.).

Методика исследования включала расчёт нормализованного разностного индекса хлорофилла (NDCI) и выделение зон различной интенсивности цветения. Обработка данных выполнялась с использованием облачной платформы Google Earth Engine и ГИС-технологий [Пространственно-временная … , 2024]. Для определения водной поверхности применялся индекс MNDWI. Индекс NDCI рассчитывался на основе спектральных каналов B5 и B4 сенсора MSI (705 и 665 нм соответственно). В зависимости от значения NDCI зоны цветения классифицировались как минимальные (NDCI < 0), умеренные (0–0,1) и максимальные (NDCI ≥ 0,1; BZmax). Также на основе эмпирического алгоритма производилась количественная оценка содержания хлорофилла *a* (Chl-*a*, мг/м^3).

Анализ за 2024 г. показал, что наибольшие значения цветения приходились на июль и август, когда в среднем до 36–54 % акватории было охвачено зонами интенсивного цветения (BZmax). Среднее значение NDCI достигало 0,086 в июле и 0,138 в августе, что соответствует содержанию Chl-*a* около 23 и 30 мг/м^3 соответственно. В пространственном отношении наиболее подверженными цветению оказались южные участки водохранилища.

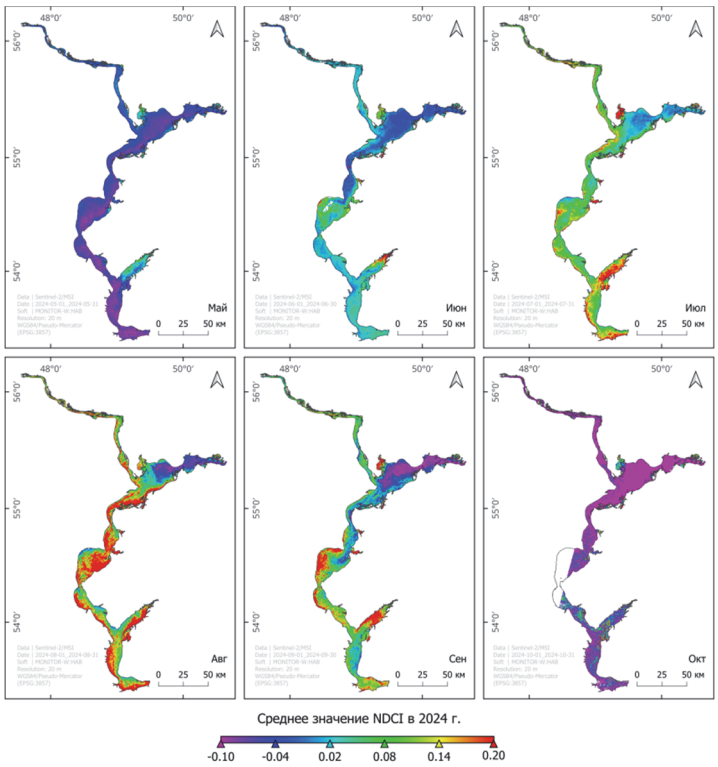


Рис. Процессы цветения фитопланктона в акватории Куйбышевского водохранилища в 2024 г. в градациях индекса NDCI (средние значения для соответствующего месяца)

Полученные результаты сопоставлены с ранее опубликованными данными за 2019–2023 гг. [Пространственно-временная … , 2024], что позволило подтвердить наличие устойчивой межгодовой тенденции к увеличению как средней интенсивности цветения (рост NDCI на ~0,004 ед./год), так и площади максимального цветения (на 2 %/год). Максимум за весь период наблюдений зафиксирован в 2021 г. (NDCI=0,045), минимум – в 2019 г. (NDCI=0,009).

Предложенный подход позволяет осуществлять долгосрочное, воспроизводимое и масштабируемое картирование динамики цветения фитопланктона водохранилищ на основе спутниковых данных высокого разрешения. Спутниковые методы демонстрируют высокую эффективность при выявлении пространственно-временных закономерностей цветения водоёмов. Их применение позволяет оперативно оценивать экологическое состояние акватории, минимизируя затраты на полевые исследования. Полученные данные могут быть использованы для выработки рекомендаций по управлению водными ресурсами и прогнозированию рисков, связанных с массовым развитием цианобактерий.

Благодарности. Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной КФУ для выполнения гос. задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004.

Список литературы

Применение методов обработки и анализа космических снимков для изучения эвтрофированных водоёмов (обзор) / Т. И. Кутявина, Г. Я. Кантор, Т. Я. Ашихмина, В. П. Савиных // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 14–25. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-2-014-025

Пространственно-временная динамика «цветения» фитопланктона в Куйбышевском водохранилище по данным спутникового зондирования / О. В. Никитин, Н. Ю. Степанова, Т. А. Кондратьева [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21, № 6. С. 284–293. DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-284-293

УДК 556.552:639.21

ВЛИЯНИЕ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА НА ПОПУЛЯЦИИ РЫБ

А. И. Никитенко[1]*, Д. В. Горячев[1], Д. В. Артеменков [2], И. А. Жернаков[1], А. А. Смирнов[2,3,4]

[1]Филиал по пресноводному рыбному хозяйству «ВНИРО» (Россия, 141821, Московская обл., Дмитровский округ, пос. Рыбное, 40А)
[2]ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (Россия, 105187, Москва, Окружной просп., 19)
[3]Северо-Восточный государственный университет (Россия, 685000, Магадан, ул. Портовая, 13)
[4]Дагестанский государственный университет (Россия, 367025, Махачкала, ул. Гаджиева, 43а)
**Автор для переписки: alexey_nikitenko90@mail.ru*

Аннотация. Исследование посвящено анализу влияния уровенного режима Иваньковского водохранилища на состояние промысловых запасов рыб за период с 1951 по 2022 г. Установлено, что водохранилище характеризуется высокой межгодовой изменчивостью водности и значительными сезонными колебаниями уровня воды, особенно в период нереста. Выявлено снижение запасов большинства видов рыб в начале 2000-х гг. с последующей стабилизацией и частичным восстановлением к 2022 г. Запрет промысла в 2007 г. и снижение максимальной сработки уровня воды способствовали улучшению состояния ихтиофауны. Основные выводы включают необходимость контроля уровня воды в критические периоды для минимизации негативного воздействия на экосистему и оптимизации управления водными ресурсами.

Ключевые слова: водность, промысловые рыбы, динамика численности, гидрологический режим, регулирование стока

Иваньковское водохранилище, созданное в 1937 г., играет ключевую роль в водообеспечении Москвы и Московской области, а также в работе Волго-Балтийского водного пути [Динамика … , 2023; Промысел … , 2024]. Его гидрологический режим подвержен значительным колебаниям, что оказывает влияние на экосистему, особенно на ихтиофауну [Бурдин, 2011; Пространственно-временные … , 2023]. Цель исследования – анализ влияния динамики уровня воды и водности водохранилища на промысловые запасы рыб за период с 1951 по 2022 г.

Исследования проводили с использованием данных гидрологических и ихтиологических наблюдений, включая фондовые материалы за 1951–2022 гг. Методика включала отбор проб на всех плесах Иваньковского водохранилища (Шошинский, Верхневолжский, Средневолжский, Нижневолжский) в разные сезоны. Для оценки численности рыб применяли метод Трещёва, основанный на промысловой мощности ставных сетей. Видовую идентификацию выполняли по стандартным определителям.

Характерны высокая межгодовая изменчивость водности (4,292–14,311 км³) и значительные сезонные колебания уровня воды. Среднегодовой уровень воды увеличился с 123,12 м (1951–1980 гг.) до 123,47 м (1999–2010 гг.), но в последние годы наблюдается небольшое снижение. Зимняя сработка уровня воды варьировала от 1,71 до 4,47 м, что в отдельные годы (2003, 2006, 2010, 2011) приближалось к критическим отметкам (ниже 121,0 м). Основные промысловые виды: лещ *Abramis brama*, судак *Sander lucioperca*, щука *Esox lucius*, плотва *Rutilus rutilus*, окунь *Perca fluviatilis*, густера *Blicca bjoerkna*. В начале 2000-х гг. отмечено снижение запасов большинства видов, с последующей стабилизацией и частичным восстановлением к 2022 г. Запасы леща, как доминирующего вида, в начале 2000-х сократились, но к 2022 г. стабилизировались на уровне 2200–2400 т. После запрета промысла в 2007 г. наблюдалась положительная корреляция между снижением сработки уровня и ростом запасов рыб ($r = 0,32$). Многоводные годы (2004, 2009, 2012, 2017, 2020) способствовали поддержанию высокого уровня воды, благоприятного для нереста и нагула рыб. Маловодные периоды (2014–2016 гг.) привели к критически низким уровням воды,

негативно повлияв на экосистему. Колебания уровня в период нереста (май – июнь) с суточными изменениями более 5 см снижали успешность размножения, особенно у фитофильных видов.

Режим регулирования уровня Иваньковского водохранилища оказывает значительное влияние на состояние рыбных популяций. Ключевыми факторами являются: Снижение максимальной сработки уровня воды в последние годы, что способствует восстановлению запасов; Необходимость контроля уровня воды в период нереста для минимизации негативного воздействия; Важность дальнейших исследований для оптимизации управления водными ресурсами с учетом экологических и экономических потребностей.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю признательность всем сотрудникам ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»), которые принимали участие в сборе первичного материала.

Список литературы

Бурдин Е. А. Проблемы создания Иваньковского водохранилища (1993–1997 гг.) // Вестник УлГТУ. 2011. № 3(55). С. 21–24.

Динамика запасов и биологические показатели основных промысловых видов рыб Иваньковского водохранилища за период 1998–2021 гг., их освоение / А. И. Никитенко, Д. В. Горячев, В. Ю. Жарикова [и др.] // Вопросы рыболовства. 2023. Т. 24, № 3. С. 172–194. DOI: 10.36038/0234-2774-2023-24-3-172-194

Промысел на водоемах Тверской области: историческая ретроспектива и современность / Д. В. Горячев, А. И. Никитенко, Д. А. Гвоздарев [и др.] // Вопросы рыболовства. 2024. Т. 25, № 2. С. 75–88. DOI: 10.36038/0234-2774-2024-25-2-75-88

Пространственно-временные различия гидроэкологических характеристик Иваньковского водохранилища в годы с различными погодными условиями / М. Г. Гречушникова, Д. В. Ломова, В. А. Ломов [и др.] // Водные ресурсы. 2023. Т. 50, № 1. С. 81–89. DOI: 10.31857/S0321059623010078

УДК 574.52:579.68

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПОЙМЕННОГО ОЗЕРА СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ОБИ

Э. Г. Никиткина[1, 2]*, Р. С. Воробьёв[1], И. В. Лущаева[1, 2], А. А. Коханенко[1]

[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет (Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 36)
[2]Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России (Россия, 634050, Томск, Московский тракт, 2)
**Автор для переписки: madderroot@mail.ru*

Аннотация. Представлены результаты изучения таксономического и метаболического микробиологического разнообразия типичного мелкого озера центрального участка поймы среднего течения р. Оби (Томская область, Кривошеинский район). На основании результатов метагеномного изучения смешанной пробы воды определены доминирующие таксономические группы бактерий. С применением метода мультисубстратного тестирования исследована пространственно-сезонная динамика метаболической активности и рассчитаны индексы функционального разнообразия бактерий.

Ключевые слова: микробиологическое разнообразие, метагеном, пойменное озеро, пойма Оби, мультисубстратное тестирование

Недавно учёными ТГУ было подтверждено, что выбросы CO_2 с территории поймы в 3–10 раз выше, чем из самой реки [Floodplain ... , 2024]. Известно, что мелкие озёра являются горячими точками выбросов парниковых газов [Eutrophication … , 2015], поэтому определение роли микробных сообществ поймы р. Оби в трансформации органического вещества имеет большое научное и практическое значение для прогнозирования последствий климатических изменений и управления водными ресурсами. В работе представлены результаты изучения таксономического и метаболического микробиологического разнообразия типичного мелкого озера центрального участка поймы среднего течения р. Оби в районе научно-исследовательского стационара ТГУ «Кайбасово» (Томская область, Кривошеинский район, 57°13'32.8"N 84°16'08.3"E).

Метагеномный анализ проводился в лаборатории экологии, генетики и охраны окружающей среды НИИ ББ ТГУ с помощью высокопроизводительного нанопорового секвенирования генов ДНК микробиома (Oxford Nanopore, Великобритания). Мультисубстратное тестирование проведено с использованием микропланшет BIOLOG ECO MicroPlate (США) и ИФА-фотометра (Multiskan FC, Thermo).

Бактериальное биоразнообразие проточного пойменного оз. Малева представлено 1721 видами. 68 % ридов соответствовало бактериям филума *Proteobacteria*. Доминирующая группа – «экологические» бактерии семейства *Comamonadaceae* (20,96 % ридов) – фенотипически многообразные мезофильные бактерии, населяющие почвенные и водные местообитания. В изобилии встречались метилофильные бактерии семейства *Methylophilaceae* (10,32 % прочтений). Достаточно высокой встречаемостью обладали целлюлозолитические бактерии семейства *Chitinophagaceae* (3 % ридов), зелёные серобактерии (семейство *Chlorobiaceae*) (2,36 % от общего числа ридов), щавелевокислые бактерии семейства *Oxalobacteriaceae* (1,53 % прочтений).

Индексы биологического разнообразия для разных таксономических уровней представлены в табл. 1, видовое биоразнообразие микробоценоза можно охарактеризовать как высокое со средней степенью выравненности. Среди выявленных видов 332 (19,28 %) не классифицированных и 43 не культивированных.

Таблица 1. Значения индексов разнообразия микробного сообщества пойменного озера для разных таксономических уровней

Показатель	Филумы	Классы	Порядки	Семейства	Роды	Виды
Количество OTE	33	59	126	276	716	1721
Индекс Шеннона (H')	1,56	2,12	2,56	2,52	1,40	4,75
Индекс Пилу (E)	0,31	0,36	0,37	0,31	0,15	0,44
Индекс Симпсона (D)	0,50	0,70	0,72	0,67	0,30	0,92
Индекс Маргалефа (DMg)	2,5	4,5	9,7	21,4	55,5	134,0
Индекс Менхиника (DMn)	0,1	0,1	0,2	0,4	1,1	2,7
Chao1	33	62	135	353	964	2749
ACE	33	61	130	295	812	2099

Изучение спектров потребления микробным сообществом 31 тест-субстрата системы BIOLOG ECO MicroPlate (США) позволило охарактеризовать метаболический потенциал микробных сообществ поймы как высокий: имело место потребление каждого из субстратов линейки. Наиболее востребованными были углеводы (D-ксилоза, D-маннит, N-ацетил-D-глюкозамин), что характеризует активную утилизацию растительных полисахаридов, водорослевых экссудатов, хитина и хитозана (например, бактериями семейств *Chitinophagaceae* и *Flavobacteriaceae*), аминокислоты (L-аспарагин, L-аргинин, L-серин), что указывает на потребление органического азота (например, бактериями семейства *Pseudomonadaceae*, также детектированными при метагеномном анализе), оксикарбоновые кислоты (D-галактуроновая кислота, метиловый эфир пирувата, D-глюкозаминовая кислота), что характеризует потребление простых органических кислот и брожение в анаэробных зонах.

Рассчитаны значения индексов функционального разнообразия Шеннона (H') и AWCD (average well-covered development) в поверхностном и придонном слое на разных стадиях пойменного режима представлены (табл. 2).

Таблица 2. Значения индексов функционального разнообразия микробного сообщества пойменного озера

	H'		AWCD	
	Поверхностный	Придонный	Поверхностный	Придонный
Летняя межень	1,35	1,35	1,05	0,58
Зимняя межень	1,17	2,23	0,87	1,16
Паводок	1,01	1,66	0,78	0,83

Таким образом, данная работа характеризует реализацию широкого спектра метаболических стратегий протеобактерий, доминирующих в микробном сообществе пойменного озера и подтверждает значимость микробиологической активности в процессах трансформации органического вещества поймы в меняющихся условиях.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке грантом РНФ № 24-17-00300 «Роль озер в балансе углерода болотных экосистем бореальной зоны Западной Сибири».

Список литературы

Eutrophication effects on greenhouse gas fluxes from shallow lake mesocosms override those of climate warming / T. A. Davidson, J. Audet, J. Svenning [et al.] // Global Change Biology 2015. Vol. 21, N 12. P. 4449–4463. DOI: 10.1111/gcb.13062

Floodplain carbon dioxide emissions strongly exceed those of the main river stem: A case study of the Ob River, western Siberia / S. N. Vorobyev, L. G. Kolesnichenko, Y. Y. Kolesnichenko [et al.] // Journal of Hydrology. 2024. Vol. 638, N 1. Art.131468. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2024.131468

УДК 664.959:664.14

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТАЦИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ РЫБЫ И ВТОРИЧНОГО РЫБНОГО СЫРЬЯ

А. П. Никифорова*

Университет ИТМО (Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский просп., 49А)
**Автор для переписки: anna.p.nikiforova@gmail.com*

Аннотация. Производство рыбы в России и мире характеризуется ростом. В процессе производства рыбы образуется большое количество отходов, рациональная переработка которых является перспективным направлением развития рыбообрабатывающей отрасли. Ферментация – это важный процесс, который традиционно применяется для переработки рыбы, обеспечивающий сохранение продуктов, формирование вкуса и аромата. Применение ферментации для разработки новых комплексных технологий переработки рыбы и рыбных отходов с получением продуктов высокой ценности представляет большой интерес. Таким образом, основной целью исследования является систематизация знаний в области применения процесса ферментации для обработки рыбы и вторичного рыбного сырья. Проведенный обзор литературных источников позволил установить основные направления использования ферментации для получения продуктов высокой ценности.

Ключевые слова: ферментация, рыба, рыбные продукты, вторичные продукты переработки рыбы, рыбные отходы, молочнокислые бактерии, переработка рыбы

Производство рыбы в России и мире постоянно увеличивается, а рыба и рыбные продукты пользуются значительным спросом у потребителей. Так, в России в 2024 г. улов рыбы и добыча других водных биоресурсов составила 4,913 млн т. При переработке рыбы образуется значительное количество отходов, которые включают головы, кожу, внутренности, молоки, икру и т. д. По оценкам они составляют до 70 % общей массы рыбы [Impact … , 2025].

В соответствии с ГОСТ Р 57095-2016 под ферментацией понимают «процесс биохимической переработки органического сырья с помощью микроорганизмов, отдельных ферментов или их комплексов». Ферментация является способом, который может применяться для разработки новых комплексных, безотходных, ресурсосберегающих технологий переработки рыбы и вторичного рыбного сырья, позволяющих получить ценные продукты высокого качества. Таким образом, основной целью работы является анализ источников литературы, связанных с применением ферментации при переработке рыбы и рыбных отходов.

Методология исследования, использованная в данной работе, была основана на обзоре научной литературы, для проведения обзора использовали статьи из рецензируемых журналов. В работе представлены данные об использовании ферментации для переработки рыбы и рыбных отходов с целью получения продуктов высокой ценности.

Результаты исследования были систематизированы в виде таблицы.

Таблица. Некоторые направления использования ферментации для переработки рыбы и вторичных продуктов

Наименование вида рыбы и вида применяемого сырья	Применяемые виды бактерий	Наименование готового продукта	Литература
Производство пищевых продуктов			
Пресноводные вилы рыб, особенно белый амур (*Ctenopharyngodon idellus)*	*LpB. plantarum*, *P. acidilactici* и *P. pentosaceus*	Улучшение качества Zhayu (традиционный китайский ферментированный продукт)	[Quality … , 2022]
Кожа и фарш белого амура, соевые бобы, пшеница	*Aspergillus oryzae*	Соево-рыбная паста	[Impact … , 2025]
Производство кормов и пищевых добавок для животных			
Вторичные пролукты латеса (*Lates calcarifer*)	*LpB. plantarum*	Ферментированный рыбный корм для креветок	[Cheng, Kang, Liu, 2025]

Окончание табл.

Наименование вида рыбы и вида применяемого сырья	Применяемые виды бактерий	Наименование готового продукта	Литература
Отходы радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*)	*LpB. plantarum* и *P. acidilactici*	Пищевая пробиотическая добавка для животных	[Dadkhodazadeh, Hamidi-Esfahani, Khanahmadi, 2024]
Получение различных соединений			
Кожа тюрбо (*Scophthalmus maximus*)	*Aspergillus oryzae*	Антиоксидантные пептиды	[Conversion … , 2017]
Традиционные ферментированные пасты из креветок (Тайланд)	Спонтанная ферментация	Антиоксидантные пептиды и пептиды, ингибирующие ангиотензинпревращающий фермент (АПФ)	[Extraction … , 2015]

Представленные в таблице данные показывают, что ферментация с использованием различных микроорганизмов позволяет получить не только ферментированные рыбные продукты [Fermented … , 2024], которые производятся традиционно во многих странах мира, но и другие продукты, например, корма и пищевые добавки для животных, и различные соединения, такие как биоактивные пептиды. Следует отметить, что есть и другие методы использования рыбных отходов с применением ферментации.

Таким образом, применение ферментации для производства рыбных продуктов и переработки вторичных продуктов представляет большой научный интерес.

Список литературы

Cheng A.-C., Kang R.-J., Liu C.-H. Fermented fish meal derived from barramundi by-product enhances growth, immunity, and gut microbiota in white shrimp Penaeus vannamei // Aquaculture. 2025. Vol. 610. Art. 742876.

Conversion of turbot skin wastes into valuable functional substances with an eco-friendly fermentation technology / B. Fang, J. Sun, P. Dong [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 156. P. 367–377. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.04.055

Dadkhodazadeh V., Hamidi-Esfahani Z., Khanahmadi M. Improvement of the valuable compounds of fish waste through solid-state fermentation with probiotics // Applied Food Research. 2024. Vol. 4, N 2. Art. 100534. DOI: 10.1016/j.afres.2024.100534

Extraction of antioxidant and ACE inhibitory peptides from Thai traditional fermented shrimp pastes / T. Kleekayai, P. A. Harnedy, M. B. O'Keeffe [et al.] // Food Chemistry. 2015. Vol. 176. P. 441–447. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.12.026.

Fermented Fish Products: Balancing Tradition and Innovation for Improved Quality / H. Li, G. Li, Y. Bi, S. Liu // Foods. 2024. Vol. 13 (16). Art. 2565. DOI: 10.3390/foods13162565

Impact of Enzyme–Microbe Combined Fermentation on the Safety and Quality of Soy Paste Fermented with Grass Carp By-Products / J. Yang, Z. Li, X. Lin [et al.] // Foods. 2025. Vol. 14, N 1. Art. 106. DOI: 10.3390/foods14010106

Quality Improvement of Zhayu, a Fermented Fish Product in China: Effects of Inoculated Fermentation with Three Kinds of Lactic Acid Bacteria / Y. An, X. Cai, L. Cong [et al.] // Foods. 2022. Vol. 11(18). Art. 2756. DOI: 10.3390/foods11182756

УДК 575.17

ОЦЕНКА СТРАТЕГИЙ РАЗМНОЖЕНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ *HYDRA VULGARIS* НА ОСНОВЕ ML-АНАЛИЗА ЧАСТОТ МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ МАРКЕРОВ

Т. А. Николаева*, А. А. Порошина, Д. Ю. Щербаков

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: t.maryanovskaya@alumni.nsu.ru*

Аннотация. В данной работе исследуются стратегии размножения популяций пресноводной гидры *Hydra vulgaris* с использованием методов глубокого обучения для анализа частот микросателлитных маркеров. Основная целью исследования – разработка комплексного подхода, сочетающего современные методы молекулярной генетики с технологиями машинного обучения для анализа популяционной динамики и стратегий размножения у гидробионтов. Анализ данных проводился с использованием модели глубокого обучения со сверточными слоями, которая была обучена на симулированных данных модифицированной модели Райта-Фишера, включающей компонент асексуального размножения. Размерность обучающей выборки совпадала с размерностью анализируемых данных, что обеспечивало высокую точность результатов.

Ключевые слова: *Hydra vulgaris*, стратегии размножения, машинное обучение, микросателлитные маркеры, генетическое разнообразие

Гидры (*Hydra vulgaris*) представляет собой ключевой модельный организм в экологии, эволюционной биологии и генетике благодаря своей простоте, высокой репродуктивной способности и способности к регенерации. Однако до сих пор остаются недостаточно изученными особенности ее популяционной структуры и стратегий размножения – а именно соотношение между бесполым и половым путем воспроизводства в разных условиях среды. Микросателлитные маркеры (STR-локусы) являются высокоинформативным инструментом для анализа генетического разнообразия и оценки репродуктивных стратегий популяций.

В ходе данного исследования был проведен анализ образцов гидр, собранных из оз. Байкал с целью выяснения соотношения различных стратегий размножения (половое и бесполое). Сбор образцов проводился в августе 2024 г. на НИС «Титов» на территории оз. Байкал (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»). Использование современных методов генетического анализа позволило оценить частоты микросателлитных маркеров, которые являются важными индикаторами генетической изменчивости в популяциях. Поскольку *H. vulgaris* способна к факультативному половому размножению, особенно важно было выяснить, как смена этих стратегий влияет на характер генетического полиморфизма.

Современные методы машинного обучения (ML), в частности глубокое обучение, позволяют выявлять скрытые закономерности в сложных генетических данных, автоматизировать классификацию и прогнозирование на основе многомерных показателей. Использование ML-подходов в анализе частот длин микросателлитных маркеров открывает новые возможности для точной оценки стратегий размножения у *H. vulgaris* и выявления факторов, влияющих на соотношение между бесполым и половым размножением.

Ключевым аспектом модификации исходной модели Райта – Фишера стало введение учета возмущений, вносимых организмами, которые размножаются бесполым образом, что позволило более точно отразить реальное репродуктивное поведение популяций гидр. Размерность обучающей выборки была тщательно подобрана и полностью соответствовала размерности анализируемых данных.

Полученные результаты демонстрируют значительный потенциал глубокого обучения как ключевого инструмента для оптимизации анализа и интерпретации биологических данных. Данный подход позволяет более детально исследовать взаимосвязь между репродуктивными стратегиями и экологическим контекстом, в котором функционируют популяции.

Это открывает новые горизонты для регулирования воздействия на пресноводные экосистемы, учитывая необходимость сохранения генетического разнообразия для устойчивого существования популяций.

Представленный методологический подход обладает высокой прогностической ценностью и может стать фундаментальной основой для дальнейших междисциплинарных исследований в области экологии, эволюционной биологии и популяционной генетики. Применение данного инструментария способствует более глубокому пониманию динамики экосистем и разработке адаптивных стратегий охраны биоразнообразия, что особенно актуально в условиях глобального изменения климата и интенсификации антропогенного воздействия.

УДК 543.062

ПОДХОДЫ К КОЛИЧЕСТВЕННОМУ АНАЛИЗУ АСПАВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФХМА, ВНЕШНИЕ И ВНУТРЕННИЕ СТАНДАРТЫ

А. А. Никонова *, Д. М. Тактоев

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: alenaxis@list.ru*

Аннотация. Анионные синтетические поверхностно-активные вещества (АСПАВ) являются одними из наиболее распространенных загрязнителей природных вод. Для их контроля используют разные физико-химические методы анализа, которые должны требовать и разных подходов к оценке количественного содержания данных веществ. На сегодняшний день на практике используется лишь два стандарта ГСО АСПАВ 8748-2006 (додецилсульфат натрия) и ГСО АСПАВ 8578-2004 (алкилбензолсульфонат натрия), обеспечивающие суммарное определение АСПАВ методами спектрофотометрии, флуориметрии, колориметрии, а также при определении алкилсульфатов и групп гомологов алкилбензолсульфонатов натрия методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с с детектированием в УФ-диапазоне спектра (ВЭЖХ-УФ) по способу внешнего стандарта. В данной работе мы рассматриваем новые способы количественного анализа АСПАВ и стандарты при использовании методов ВЭЖХ-УФ и газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС).

Ключевые слова: внешний стандарт, внутренний стандарт, АСПАВ, линейные алкилбензолсульфонаты натрия, ГХ-МС, ВЭЖХ-УФ

Анионные синтетические поверхностно-активные вещества (АСПАВ) являются одними из наиболее распространенных загрязнителей природных вод. Среди них наиболее распространены алкилсульфаты натрия, широко используемые при производстве мыл и шампуней и линейные алкиблензолсульфонаты натрия (АБС), которые входят в состав большинства стиральных порошков, чистящих и моющих средств. На долю АБС приходится около 80 % мирового производства СПАВ. Высокая токсичность АБС по отношению к водным организмам [Linear ... , 2005] требует разработки новых инструментальных методов анализа, которые отличаются высокой чувствительностью, точностью и селективностью.

Требования к селективности связаны с тем, что аттестованные методики анализа АСПАВ подразумевают их анализ в виде суммарного количества АСПАВ, к которым относятся вещества разных классов. Для этого используются методы спектрофотометрии, флуориметрии, колориметрии. Количественный анализ осуществляется по способу внешнего стандарта, в качестве которого может выступать ГСО АСПАВ 8748-2006 (додецилсульфат натрия) или ГСО АСПАВ 8578-2004 (алкилбензолсульфонат натрия). Аттестованных методик контроля АБС как отдельного класса АСПАВ в природных объектах нет. Существует методика анализа групп гомологов АБС С10–С13 в технических растворах методом ВЭЖХ-УФ и их определение по способу внешнего стандарта с применением ГСО АСПАВ 8578-2004 [МВИ … , 2017]. Целью данной работы является поиск аналитических решений для количественного анализа АБС как отдельного класса соединений в природных объектах, включая выбор внутренних и внешних стандартов при ВЭЖХ-УФ и ГХ-МС анализе.

1. Анализ АБС методом ВЭЖХ-УФ. Нами впервые предложен анализ алкилбензолсульфонатов натрия ($C_nH_{(2n+1)}C_6H_4SO_3\mathbf{Na}$) АБС в форме метиловых эфиров алкилбензолсульфокислот ($C_nH_{(2n+1)}C_6H_4SO_3\mathbf{CH_3}$) методом ВЭЖХ-УФ. Метод требует дериватизации аналитов в ходе пробоподготовки. Дериватизация проходит легко при комнатной температуре с использованием минимального количества метилирующего агента (100–500 мкл триметилортоформиата) с выходом целевых продуктов реакции >98 % [Efficient … , 2023]. Такой подход требует дериватизации смеси ГСО АСПАВ 8578-2004 с получением смеси 20 изомеров метиловых эфиров алкилбензолсульфокислот. Полученная смесь может быть растворена в *н*-гексане, ацетоне, ацетонитрили и спиртах с нужным значением концентрации и использована в качестве внешнего стандарта для определения групп гомологов С10–

С13 и суммарного содержания АБС. Достоинствами такого подхода являются: 1) гомогенность пиков на хроматограммах в результате увеличения времени удерживания метилированных компонентов; 2) использование в качестве элюентов при хроматографии ацетонитрила и воды без их подкисления или использования буферных растворов; 3) чистота экстрактов природных проб, обусловленная сменой полярности аналитов при дериватизации. Предлагаемый подход позволяет количественно определять группы гомологов АБС и их суммарное содержание с высокой степенью надежности.

2. Анализ АБС методом ГХ-МС. Прямой анализ АБС методом ГХ-МС невозможен по причине их низкой летучести и требует дериватизации. Дериватизация, описанная в разделе 1, наиболее эффективна [Efficient … , 2023]. При этом возможен анализ суммы АБС, групп гомологов и отдельных изомеров, пики которых удается разделять на капиллярных колонках при электронной ионизации молекул, выходящих из колонки с регистрацией пиков в режиме селективного ионного мониторинга. Показано, что использование метилированной смеси ГСО АСПАВ 8578-2004 мало приемлемо для количественного анализа по причине разной интенсивности сигнала для отдельных изомеров даже в рамках одной гомологической группы. Для проведения анализа необходим набор стандартов, содержащих группы изомеров с одинаковой длиной алкильного заместителя или отдельные изомеры. Сделаны первые шаги к синтезу подобных стандартов. Проведено сравнение алкилирования бензола через получение хлоралканов (рис., *1, 2*) и прямое алкилирование алкенами (рис., *3*), которое дает наилучший выход ~85 % целевых продуктов (4 изомера децилбензола) в присутствии катализатора $AlCl_3$. Исследование требует своего развития, выбора оптимальных условий алкилирования и силы кислот Льюиса, применяемых в качестве катализаторов. Полученные вещества могут быть в дальнейшем сульфированы и использованы в качестве стандартов.

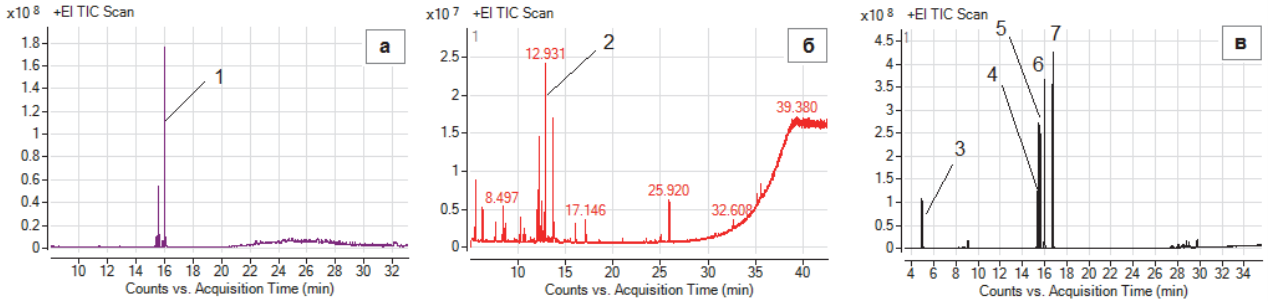


Рис. 1. Хроматограммы продуктов алкилирования бензола:
1 – 2-хлордекан, *2* – 2-децилбензол, *3* – децен-1, *4–7* – изомеры линейного децилбензола

Благодарности. Исследование выполнено в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования РФ № 0279-2021-0005 «Исследование трансформации водоемов... ».

Список литературы

Linear alkylbenzene sulfonates. SIDS Initial Assessment Report for 20th SIAM. UNEP Publications, Paris, France, 19–21 April, 2005. P. 1–357.

МВИ ФР.1.38.2017.27043 «Методика измерений массовой концентрации алкилбензолсульфоната натрия (сульфонола) методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовым детектированием». М. : ЭкоНова, 2017.

Efficient and green esterification approach for determining of sodium alkylbenzene sulfonates in dry extracts / A. A. Nikonova, A. G. Proidakov, A. V. Rokhin [et al.] // Talanta Open. 2023. Vol. 8. Art. 100238. DOI: 016/j.talo.2023.100238

УДК 574.632

НАКОПЛЕНИЕ И ВЫСВОБОЖДЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ БИОМАССЫ УРУТИ (*MYRIOPHYLLUMSPICATUM*) В РЕКЕ ЕНИСЕЙ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Ю. Д. Новицкая (Анищенко)[1]*, О. В. Анищенко[1], Е. А. Иванова[2], А. А. Колмакова[3]

[1]Институт биофизики Красноярскго научного центра СО РАН (Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/50)
[2]Сибирский федеральный университет (Россия, 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79)
**Автор для переписки:anishhenko.1996@bk.ru*

Аннотация. Для исследования накопления и высвобождения элементов в ходе разложения биомассы *Myriophyllumspicatum* на участке антропогенного воздействия в р. Енисей проведен эксперимент *in situ*. Экспозиция разлагающейся биомассы урути в протоке, подверженной влиянию вод ТЭЦ и рыбоводческого хозяйства в течение 66-дневного эксперимента показала, что 54 % биомассы разлагается к 15-му дню. По индексу аккумуляции (AI) большинство элементов накапливалось в биомассе в первые две недели. В ходе всего эксперимента наблюдалось высвобождение In, K, Mg, Mn, Na, Pb, S, Sb, Tl, N и C. Разлагающаяся биомасса урути может способствовать поступлению ТМ в пищевые цепи, а высвобождение C, N и ТМ может способствовать вторичному загрязнению вод.

Ключевые слова: тяжелые металлы, биогенные элементы, речная экосистема, рыбоводческое хозяйство, высшая водная растительность

В настоящее время водные экосистемы подвержены антропогенному воздействию эвтрофирования в результате поступления биогенных элементов (БЭ) (азота и фосфора), загрязнению тяжелыми металлами (ТМ), которые могут накапливаться в трофических цепях и представляют опасность для человека. Высшая водная растительность (ВВР) способна накапливать данные элементы, является индикатором загрязнения и используется для фиторемедиации среды. Однако растения могут выделять накопленные элементы в воду при разложении биомассы, способствуя вторичному загрязнению. Отсутствие данных о скорости разложения высших растений, высвобождения ими БЭ и ТМ в водоемах, подверженных антропогенному загрязнению, не позволяет адекватно управлять качеством природных вод, проводя своевременное изъятие биомассы водных растений. В черте г. Красноярска расположена Абаканская протока р. Енисей, верховья которой перекрыты дамбой, подверженная воздействию антропогенных факторов. В центральной части Абаканской протоки, где расположено рыбоводное хозяйство и поступают подогретые воды ТЭЦ, наблюдалось повышенное, по сравнению с фоновым участком, содержание Cu, Pb и Sr в одном из доминирующих видов ВВР – урути колосистой (*Myriophyllum spicatum* L., 1753) [Оценка … , 2023]. Скорость разложения биомассы видоспецифична, зависит от климата, температуры, содержания кислорода и БЭ, активности организмов, питающихся растительными остатками [Metal … , 2022]. Исследования по высвобождению и накоплению ТМ и БЭ разлагающейся биомассой ВВР в р. Енисей не проводились. Цель работы – исследовать накопление и высвобождение элементов в ходе разложения биомассы *Myriophyllumspicatum* на участке антропогенного воздействия в р. Енисей. В задачи входило: оценить скорость разложения биомассы урути колосистой, определить элементы накапливающиеся и высвобождающиеся в ходе разложения биомассы *M. spicatum* в протоке р. Енисей, подверженнойвлиянию вод ТЭЦ и рыбоводческого хозяйства.

Исследования были начаты 16.08.2024. Растения для эксперимента отбирали в центре Абаканской протоки р. Енисей с лодки вручную, затем промывали в лаборатории, подсушивали для определения сырой биомассы. Около 9 г сырой биомассы урути помещали в сетчатые мешки с размером ячеи 1 мм (всего 30 шт.). Мешки затем выдерживали при –

80 °С 4 дня. 21.08.2024 мешки закрепили на сетке, которую опустили под воду, закрепив на подводной опоре рыбоводческого хозяйства. Пакеты с разлагающейся биомассой урути (в трех повторностях) отбирали на 2-й, 3-й, 6-й, 8-й, 15-й, 29-й, 44-й и 66-й дни эксперимента. В это же время проводили измерения температуры, электропроводности, содержания кислорода, pH воды полевым зондом HannaHI7698194 на глубине 0,5 м. Пробы воды отбирали с поверхности ведром в пластиковую бутылку, предварительно профильтровав через планктонную сеть. Содержание Al, As,B, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, In, Li, K, Na, Ca, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Sr, S, Sb, Se, Ti, Tl, V, Zn и Pв воде и в сухой биомассе урути определяли на спектрометре с индуктивно-связанной плазмой iCAP 6300 Duo (ThermoScientific, Великобритания). Содержание общего азота и углерода в растениях определяли с помощью анализатора Flash 2000 NCSoilAnalyzer (ThermoFisherScientific, Германия). Содержание нитратов, нитритов, аммония и минерального фосфора в воде определяли фотометрически по стандартным методикам.

В период проведения эксперимента в воде протоки общее содержание Al и Cu в среднем превышало ПДК рыб.-хоз. в 1,1 и 4,9 раза, а температура в среднем превысила рекомендованный показатель (20 °С), в конце августа достигнув 26,7 °С, что свидетельствует о тепловом загрязнении. В сухой биомассе урути в начале эксперимента, наблюдалось более высокое содержание B, Ca, Mn, Na, Pb, чем отмечалось ранее [Оценка … , 2023], особенно для Pb (40 мг/кг). На 15-й день эксперимента разложилось 54 %, а на 44-й день – 92,7 % исходной биомассы урути. В ходе эксперимента содержание большинства элементов увеличивалось по мере снижения биомассы. Содержание ряда элементов в биомассе урути увеличилось в десятки раз: Al в 53,5 раза, Fe–в 42 раза, Ti–в 76,2 раза, Ga–в 84,8 раза. Индекс аккумуляции (AI) позволяет оценить чистое высвобождение или накопление элементов [Metal … , 2016]. При AI>1 наблюдается аккумуляция, при AI<1 – высвобождение элемента. По AI большинство элементов (Al, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Li, Mo, Ni, Se, Sr, Ti, V, Zn) накапливалось в биомассе в первые две недели. K 29-му дню наблюдалось высвобождение Ba, Cdи Zn, к 44-му дню – высвобождение As, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Se, Zn. В ходе всего эксперимента наблюдалось высвобождение In, K, Mg, Mn, Na, Pb, S, Sb, Tl, N и C. Увеличение содержания большинства элементов в биомассе может быть связано с их поступлением из отходов рыбоводческого хозяйства, как показал анализ смывов с пустых мешков, которые экспонировались в конце эксперимента. Показано, что разлагающаяся биомасса *M. spicatum* может аккумулировать большинство элементов, поступающих в воду в ходе антропогенного загрязнения, однако, являясь источником пищи для беспозвоночных (личинок хирономид, гаммарусов) может способствовать поступлению ТМ в пищевые цепи. Высвобождение C, N и ряда ТМ из биомассы урути может способствовать вторичному загрязнению вод.

Благодарности. Работа выполнена по госзаданию ИБФ СО РАН № FWES-2024-0024.

Список литературы

Оценка антропогенного воздействия на экосистему р. Енисей в черте г. Красноярска на основе элементного анализа макрофитов и воды / Ю. Д. Анищенко, О. В. Анищенко, И. В. Зуев [и др.] // Журнал СФУ. Биология. 2023. Т. 16, № 1. С. 87–108.

Metal release/accumulation during the decomposition of *Potamogeton crispus* in a shallow macrophytic lake / H. Deng, J. Zhang, S. Chen [et al.] // Journal of Environmental Sciences. 2016. Vol. 42. P. 71–78. DOI: 10.1016/j.jes.2015.07.004

УДК 57.042.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КРИТИЧЕСКИЕ АНТРОПОГЕННЫЕ НАГРУЗКИ НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ СОЛОВЕЦКОГО АРХИПЕЛАГА

А. П. Новоселов*, И. Н. Болотов

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова УрО РАН (Россия, 163020 Архангельск, просп. Никольский, 20)
**Автор для переписки: alexander.novoselov@rambler.ru*

Аннотация. Выявлены основные факторы, определяющие современное состояние водных экосистем Соловецкого архипелага. Установлено, что как количественные показатели фито- зоопланктона и зообентоса, так и биологические характеристики рыб, находятся в диапазоне параметров, характерных для этой климатической зоны. Водоемы озерно-канальной системы пока не испытывают чрезмерной антропогенной нагрузки, т. е. их можно оценить как *средние.* Следы посещений человеком в виде троп, вытоптанных участков, кострищ и т. д. к следующему сезону остаются, но их площадь невелика и может быть полностью восстановлена при ограничении посещения. Промышленная нагрузка на водные биологические ресурсы в прибрежной зоне практически отсутствует, при ведении любительского рыболовства на озёрах вылавливается порядка 1–2 т при потенциальной продуктивности Соловецких озер в объеме 3–5 тонн.

Ключевые слова. Соловецкий архипелаг, водные экосистемы, антропогенная нагрузка, современное состояние

Решением XVI сессии Комитета Всемирного наследия ЮНЕСКО историко-культурный и природный комплекс Соловецких островов был включен в Список Всемирного природного и культурного наследия [Природная … , 2007]. Основная антропогенная нагрузка на водные экосистемы Соловецкого архипелага складывается: 1) из рекреационной нагрузки на озерные и прибрежные экосистемы, приуроченной к основным паломническо-туристическим маршрутам; 2) техногенной нагрузки на окружающую среду, связанную с хозяйственной деятельностью пос. Соловецкий и 3) воздействия на водные биологические ресурсы в виде промысла морских водорослей в прибрежной зоне островов, а также любительского лова рыбы как в прибрежной зоне, так и на озёрах.

Состояние озер. На Большом Соловецком острове располагается 483 озера, часть из которых соединена в единую озерно-канальную систему. Средняя площадь озер составляет 25 000 м^2 (2,5 га) [Гидрология … , 1972]. В летний период по озерной канальной системе проходят два популярных лодочных маршрута на веслах или электромоторах, так называемые «Большой круг» и «Малый круг». Кроме этого, осуществляются экскурсии на автомобильном транспорте по грунтовым дорогам, проходящим рядом с озёрами Нижний Перт, Большое Карзино, Исакиевское (Лесное), Большое Красное. В зимний период большая часть озер систематически посещается рыбаками на снегоходах и мотобуксировщиках.

Обследование берегов Соловецких озер показало, что по их береговой линии тянутся тропы, вдоль которых присутствуют своеобразные «пятна» рекреации. Это участки с вытоптанным (в той или иной степени) напочвенным покровом, уплотненной лесной подстилкой, часто со следами кострищ. Размеры таких участков относительно невелики, колеблются в основном от 5 до 150 м^2, средняя их площадь составляет 77,6 м^2. По экспертным оценкам, тропиночная сеть составляет 41 140 м^2. Общая площадь тропиночной сети и площадок с высокой степенью дигрессии, оценивается величиной в 6,3 га, что от общей площади Большого Соловецкого острова составляет всего 0,04 %. При проведении экспертной оценки может не учитываться часть тропиночной сети и площадь вытоптанных участков на озёрах. В целом с учетом возможных указанных отклонений площадь дигрессии составит 0,12 %, а из всей площади обследованных озер антропогенным воздействием затронута лишь незначительная часть акваторий – не более 5 %, в основном это их прибрежная зона. Последствия антропогенной нагрузки на озёра можно оценить как *средние,* т. е. следы по-

сещений человеком в виде троп, вытоптанных участков, кострищ и т. д. к следующему сезону остаются, но их площадь невелика и может быть полностью восстановлена при ограничении посещения.

В целом водоемы озерно-канальной системы пока не испытывают чрезмерной (критической) антропогенной нагрузки. Меры, которые могут быть применены для снижения антропогенной нагрузки: профилактические работы по укреплению берегов от разрушения; периодическая очистка заиленных участков; инструктаж участников лодочных экскурсий о правилах поведения и сохранению чистоты, недопустимости засорения каналов.

Водные биологические ресурсы. Выявлено состояние гидробионтов и ихтиофауны в озёрах, расположенных как непосредственно на территории поселка, так и входящих в озерно-канальную систему. Установлено, что как количественные показатели фито- зоопланктона и зообентоса, так и биологические характеристики рыб, находятся в диапазоне параметров, характерных для этой климатической зоны. Озера используются населением поселка для широкого ведения любительского рыболовства в соответствии с существующими Правилами рыболовства. Объектами лова являются в основном щука, окунь и плотва, имеющие хорошие биологические показатели и достаточно высокий темп роста. Содержание тяжелых металлов (ТМ) в тканях рыб (окуня) в озёрах Банное и Святое, расположенных непосредственно на территории пос. Соловецкий, значительно ниже предельно-допустимых концентраций (ПДК), установленных ГОСТ. При ведении любительского рыболовства на озёрах (по экспертной оценке) вылавливается порядка 1–2 т при потенциальной продуктивности Соловецких озер в объеме 3–5 т. По литературным источникам, Соловецкие озёра являются малопродуктивными, тем не менее достаточно эффективно используемыми местным населением [Новоселов, Дворянкин, 2023].

В 2023 г. для осуществления промышленного рыболовства на рыболовных участках в прибрежной зоне Соловецкого архипелага оформлялись разрешения одному хозяйствующему субъекту, по которому добыто (при квоте в 10 тыс. т): ламинарии 750,1 т; фукусов 51,6 т. Также для осуществления промышленного рыболовства Отделом оформлены разрешения 16 хозяйствующим субъектам, по которым они могли осуществлять добычу водных биологических ресурсов (ВБР) в районе Соловецкого архипелага. Разрешения на осуществление промышленного и любительского рыболовства в пресноводных объектах Соловецкого архипелага в 2023 г. не оформлялись. Ситуация с прибрежной зоной относительно промысла рыб и добычи водорослей, на наш взгляд, также пока не вызывает опасений, поскольку из рекомендованной к изъятию квоте по водорослям реализуется только примерно одна десятая часть.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме ФНИР FUUW-2024-0011 «Состояние природной среды Большого Соловецкого острова (по материалам комплексного мониторинга 2024–2026 гг.), № гос. регистрации 124103100030-1.

Список литературы

Гидрология и гидрохимия Соловецких озер / Г. Л. Грицевская, Г. К. Кябилева, Л. А. Николаева, В. Н. Семенов // Труды СевНИОРХ. Т. 6. Петрозаводск, 1972. С. 5–44.

Новоселов А. П., Дворянкин Г. А. Экологические особенности и возможности хозяйственного использования пресноводной ихтиофауны Соловецкого архипелага // Биология внутренних вод. 2023. № 3. С. 372–381.

Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата / под ред. Ю. Г. Шварцмана, И. Н. Болотова. Екатеринбург : УрО РАН, 2007. 184 с.

УДК 574.52

К ВОПРОСУ О РОЛИ АТМОСФЕРЫ В ПОСТУПЛЕНИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ЭКОСИСТЕМУ ОЗЕРА БАЙКАЛ

В. А. Оболкин*, О. Г. Нецветаева

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: obolkin@lin.irk.ru*

Аннотация. Рассматриваются особенности потоков химических веществ в экосистему озера с атмосферными выпадениями. Показано, что балансовый подход к оценке доли атмосферных выпадений в общем поступлении химических веществ в озеро существенно недооценивает роль атмосферных потоков биогенных соединений в верхние трофогенные слои открытой части озера. Особенно значительное влияние атмосферы на продуктивность экосистемы может быть связано с прямыми влажными и сухими осаждениями нитратного и аммонийного азота на акваторию озера. Значительная часть этих осаждений может иметь антропогенные источники.

Ключевые слова: атмосферные выпадения, биогенные элементы, экосистема озера

Химический состав вод является одним из важнейших факторов функционирования водных экосистем. Химия вод Байкала формируется за счет поступления химических веществ с речными водами, а также сухими и влажными выпадениями из атмосферы непосредственно на акваторию озера. Хотя речные воды также формируются из атмосферных осадков, они в процессе стока обогащаются химическими веществами из почв и коренных пород в разных частях водосборного бассейна, поэтому минерализация речных вод становится примерно в 10 раз выше минерализации атмосферных осадков. А так как речной приток составляет более 80 % водного баланса Байкала, вклад атмосферы в химию озера нередко оценивается в среднем как не более 3–5 %. Однако балансовые оценки потоков веществ из атмосферы на акваторию озера не отражают их реальной значимости для экосистемы озера. В отличие от речного стока, атмосферные выпадения напрямую, сразу поступают в верхние трофогенные слои открытой части озера, где и происходят процессы фотосинтеза и образование первичной продукции. Поэтому реальную роль атмосферных потоков химических веществ в экосистему озера правильнее было бы оценивать не по общему балансу с речным стоком, а по их влиянию на процессы в верхних слоях озера.

В частности, очень показательным является простое сравнение соотношения средних концентраций основных ионов в атмосферных осадках и в воде открытой части озера, формирующейся в основном за счет речного стока (табл.). Видно, что концентрации большинства ионов в атмосферных осадках кратно (до нескольких десятков раз) ниже их концентраций в озере. То есть поступления этих ионов с атмосферными осадками ведет к временному снижению их концентраций в верхних слоях озера. И только концентрации ионов азота – NO_3^-, NH_4^+ и фосфора PO_4^{3-} (в меньшей степени) в атмосферных осадках кратно выше, чем в озере. Эти ионы хорошо известны как биогены, а также как минеральные удобрения, используемые в сельском хозяйстве. Именно по этим ионам в верхних слоях озера обычно имеется дефицит из-за потребления их водорослями. В связи с этим следует ожидать, что фитопланктон в верхних слоях озера должен реагировать на случаи выпадения богатых биогенами атмосферных осадков. Важно также отметить, что более высокие концентрации аммония и фосфатов в атмосферных осадках отмечаются в летний период, а нитратов – в зимний, что может говорить об их возможных источниках: нитраты – преимущественно от теплоэнергетики (выбросы NO_x крупными ТЭЦ), а аммоний и фосфаты – возможно, от сельского хозяйства и природных источников.

Таблица. Концентрации ионов в атмосферных осадках и в верхних слоях озера, мг/л

	SO_4^{2-}	Cl^-	**NO_3^-**	**NH_4^+**	**PO_4^{3-}**	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Средние концентрации ионов в атмосферных осадках, Листвянка, 2020–2024 гг.									
лето	2,03	0,15	0,84	**0,41**	**0,022**	0,13	0,46	0,50	0,14
зима	2,39	0,20	**2,66**	0,26	0,009	0,23	0,21	1,25	0,18
Средние концентрации ионов в озере, Южный Байкал [Ионный … , 2019]									
лето	5,36	0,47	0,16	0,005	0,010	3,36	0,96	16	3,03
зима			0,32	0,004	0,018				
Отношение концентраций ионов в атмосферных осадках к концентрациям в озере (разы)									
лето	0,4	0,3	**5,3**	**82**	**2,2**	0,04	0,5	0,03	0,05
зима	0,4	0,4	**8,3**	**65**	0,5	0,07	0,2	0,08	0,06

Именно таким поступлением биогенов из атмосферы можно объяснить феномен так называемого «весеннего цветения» на Байкале. В апреле лед на озере начинает распадаться и становится проницаемым для богатых биогенами осаждений из атмосферы, что, по-видимому, привлекает огромные массы водорослей в подледные слои воды и даже внутрь льда (рис.) – ближе к потокам биогенов из атмосферы.



Рис. Скопления динофитовых водорослей внутри весеннего льда и в прилегающих слоях воды

Известно, что многие планктонные водоросли способны двигаться в направлении высоких концентраций питательных веществ (пример таких движений представлен на видео:<https://cloud.mail.ru/public/rbif/yRDYAKgM3>). Отсутствие ветрового перемешивания подо льдом способствует более длительному сохранению повышенных концентраций биогенов в этой зоне.

Таким образом, атмосферные выпадения биогенных элементов на поверхность оз. Байкал могут играть более важную роль (чем речной приток) в межсуточной и сезонной изменчивости состояния верхних слоев озера и первичной продукции экосистемы озера. Следует обратить особое внимание на атмосферные переносы/выпадения оксидов азота от некоторых антропогенных источников – крупных региональных тепло-энергоисточников (угольных ТЭЦ), а также от водного транспорта на Байкале.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0279-2021-0014.

Список литературы

Ионный состав воды озера Байкал, его притоков и истока реки Ангара в современный период / В. М. Домышева, Л. М. Сороковикова, В. Н. Синюкович [и др.] // Метеорология и гидрология. 2019. № 10. С. 77–86.

УДК 553.068.24

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: РОЛЬ БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Е. А. Овдина*, В. Д. Страховенко, Г. И. Малов, В. И. Малов

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН
(Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3)
**Автор для переписки: ovdina@igm.nsc.ru*

Аннотация. Представлена систематизация органоминеральных донных отложений малых озёр юга Западной Сибири, формирующихся под комплексным воздействием абиотических (ландшафтная зональность, геохимия водосборов) и биотических факторов (доминирующая первичная продукция). На основе анализа более 150 залежей органоминеральных отложений предложена классификация по критериям зольности, соотношению Si/Ca и типу биопродуктивности (планктоногенный, макрофитогенный, смешанные виды). Установлена связь распределения типов отложений с ландшафтами (подтайга, лесостепь, степь) и зонами сапропелеобразования, что имеет значение для рационального природопользования.

Ключевые слова: сапропель, классификация, малые озёра, юг Западной Сибири

Органоминеральные донные отложения (ДО) озёр юга Западной Сибири формируются в результате взаимодействия литосферы (горные породы, почвы, рельеф), гидросферы (озёрные, поверхностные и подземные воды), атмосферы (газы, аэрозоли) и биосферы (флора, фауна, микроорганизмы), определяющего их уникальный геохимический и минеральный состав. Несмотря на существование множества классификаций ДО по генезису, содержанию органики, практическому назначению [Кордэ, 1969; Штин, 2005; ГОСТ Р 54000-2010, 2011; Генезис … , 2019 и др.], систематизация с учётом региональной специфики биотических и абиотических факторов остаётся актуальной задачей.

Целью работы является оценка распространенности органоминеральных отложений малых озёр юга Западной Сибири на основе комплексного анализа влияния биотических и абиотических факторов в контексте ландшафтной зональности и зон сапропелеобразования.

Пробы донных отложений отбирались в центре озёр цилиндрическим пробоотборником (Ø = 82 мм) с параллельным отбором воды, почв, пород водосбора и биоты. Анализы проведены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН, Новосибирск: определены зольность, макро-/микроэлементный состав (ААА, ИСП-АЭС), морфология и элементный состав образцов, минеральный состав (СЭМ, РСА).

На основе анализа более 150 залежей органоминеральных ДО малых озер, расположенных в разных ландшафтах юга Западной Сибири (подтайга, лесостепь, степь, ленточные боры), предложена классификация, развивающая подход Н. В. Кордэ [1969]. Донные отложения группируются по значению зольности на: органогенные (<30 %), органоминеральные (30–50 %), минерально-органогенные (50–70 %), минерализованные (70–85 %) и минеральные илы (>85 %). По соотношению Si/Ca типы ДО подразделяются на классы: кремниевый (Si>Ca), кальциевый (Ca>Si), смешанный (Si≈Ca). Регионально органогенные ДО крайне редки; наиболее распространены органоминеральные и минерально-органогенные; для минерализованных ДО характерно преобладание терригенной составляющей и аутигенных фаз (био-/хемо-/биохемогенная составляющая). При этом распределение по классам сапропеля среди всех рассмотренных озер происходит неравномерно, с преобладанием озёр с кремниевым классом отложений. Кремний поступает в донные отложения как с терригенным сносом, так и биогенным путем ($mSiO_2 \cdot nH_2O$). Кальциевый класс характеризуется аккумуляцией в донных отложениях аутигенных карбонатов разной степени магнезиальности и/или арагонита.

Сопоставление распространенности типов и классов рассмотренных донных отложений с зонами сапропелеобразования по [Штин, 2005] и ландшафтами юга Западной Сибири показало, что зона интенсивного накопления сапропеля коррелирует с подтаежными и лесостепными ландшафтами. В озёрах лесостепи встречаются все типы и классы сапропелей. В зоне степи и подзоне ленточных боров наиболее распространенным типом донных отложений является минерально-органогенный и минерализованный сапропель, а также минеральный ил.

На основе многолетних детальных полевых и аналитических комплексных исследований установлено, что генезис сапропелей определяется типом биопродукции [Взаимосвязь … , 2018, Генезис … , 2019]: макрофитогенные ДО богаты лигнином и гуминовыми веществами, планктоногенные – белками и липидами. Именно поэтому одним из важнейших критериев систематизации ДО юга Западной Сибири является вид доминирующей первичной продукции: *планктоногенный, макрофитогенный, планктоно-макрофитный, макрофито-планктонный*. Вне зависимости от зоны сапропелеобразования и ландшафта, типа и класса ДО, наиболее распространены планктоно-макрофитный и макрофито-планктонный виды.

Таблица. Классификация донных отложений малых озёр юга Западной Сибири по типам и классам с учетом зоны сапропелеобразования и ландшафта

Зона сапропелеобразования	Ландшафт	Тип донных отложений	Класс
интенсивная	подтайга	органо-минеральный	Si
		минерально-органогенный	См
		минерализованный	Si, Ca
	лесостепь	органогенный	–
		органо-минеральный	Si, Ca
		минерально-органогенный	Si, Ca, См
		минерализованный	Si, Ca
слабая	степь	минерально-органогенный	Ca
		минерализованный	Si, См

Благодарности. Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7) при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Список литературы

ГОСТ Р 54000-2010 2011. Удобрения органические. Сапропели. Общие технические условия. М. : Стандартинформ. 11 с.

Взаимосвязь химического состава органического вещества озерных систем и генезиса сапропелей / О. П. Таран, В. В. Болтенков, Н. И. Ермолаева [и др.] // Геохимия. 2018. № 3. С. 269–279.

Генезис органоминеральных отложений озер центральной части Барабинской низменности (юг Западной Сибири) / В. Д. Страховенко, Е. А. Овдина, Г. И. Малов [и др.] // Геология и Геофизика. 2019. № 11. С. 1231–1243.

Кордэ Н. В. Биостратиграфия и типология русских сапропелей. М. : Изд-во АН СССР, 1969. 219 с.

Штин С. М. Озерные сапропели и основы их комплексного освоения. М. : Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2005. 373 с.

УДК 504.453

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ КРЕМНИЯ В ПРИТОКАХ ЮЖНОГО БАЙКАЛА (ЗАЛ. ЛИСТВЕННИЧНЫЙ)

Н. А. Онищук*, Т. В. Ходжер

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: onischuk@lin.irk.ru*

Аннотация. Приведены результаты многолетних исследований концентраций кремния в воде притоков оз. Байкал зал. Лиственничный. Выявлена сезонная динамика содержания кремния. Показано, что по течению рек наблюдается невыраженное изменение концентрации кремния. Проведено сравнение современных данных концентраций кремния с результатами исследований прошлых лет. Вариация содержания кремния в воде притоков в современный период связаны вероятно всего с изменениями абиотических условий.

Ключевые слова: кремний, притоки оз. Байкал, сезонная динамика, зал. Лиственничный

Кремний – один из самых распространённых химических элементов в природе, играющий важную роль в круговороте веществ и энергии в водной среде. Кремний не относится к загрязняющим элементам, анализ распределения кремния позволяет оценить влияние естественных процессов на формирование вод притоков. Из процессов образования и трансформации органического вещества в связывании растворенного кремния наиболее значимым является его потребление диатомовыми водорослями. В оз. Байкал, как и во многих других водных экосистемах, основным продуцентом органического вещества являются диатомовые водоросли, развитие которых во многом зависит от содержания кремния в воде, поступающего в озеро в основном из притоков. Процессы образования органического вещества приводят к изъятию кремния из поверхностных вод, его переносу в придонные слои и захоронению в донных осадках.

В представленной работе рассматривается сезонная и межгодовая динамика содержания кремния в речных водах.

В 2015–2024 гг. проведены исследования малых рек, расположенных на западном побережье Южного Байкала в районе пос. Листвянка. Для исследования были выбраны р. Крестовка (самая крупная река в этом районе), а также ручьи – Большая и Малая Черемшанка, Каменушка. Для оценки антропогенного влияния поселка на химический состав вод рек пробы воды отбирались на двух створах- выше поселка и в устьях рек.

Самые высокие концентрации кремния в реках регистрируются зимой, а самые низкие во время весеннего половодья. Такие сезонные колебания содержания кремния отмечаются и для главного притока оз. Байкал – р. Селенги. По течению рек изменение содержания кремния в воде в отличие от азота и фосфора происходит незначительно. Для р. Крестовка и руч. Бол. Черемшанка выше поселка содержание кремния 6,46 и 5,29 мг/дм^3 в устье 6,51 и 5,57 мг/дм^3 соответственно. мг/дм^3. Для руч. Каменушка и М. Чермшанка среднемноголетнее содержание кремния в устье меньше, чем в точке отбора выше поселка 8,31 и 6,47 мг/дм^3 в устье 7,96 и 5,75 мг/дм^3 соответственно.

Для исследуемых притоков в 1950–1955 гг. содержание кремния для р. Крестовка, руч. Бол. Черемшанка и Каменушка было 6,90, 4,99 и 3,97 мг/дм^3 соответственно. Концентрация кремния в воде р. Крестовка в прошлом веке была выше, а в воде руч. Черемшанка ниже. Содержание кремния в воде руч. Каменушка в современный период в два раза выше, чем в прошлом веке.

Благодарности. Исследование выполнено по теме Государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0014 (121032300199-9).

УДК 556.555.2

КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ КАК ИНДИКАТОР ИЗМЕНЧИВОСТИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Э. Ю. Осипов[1]*, О. П. Осипова[2]

[1]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Институт географии СО РАН им. В. Б. Сочавы
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1)
**Автор для переписки: eduard@lin.irk.ru*

Аннотация. Исследуется наблюдаемая изменчивость уровня оз. Байкал за период 2010–2022 гг. с частотой синоптических процессов в водосборном бассейне главного притока озера – р. Селенги. На основе ежедневного каталога типов погоды составленного по данным атмосферного давления на уровне моря (реанализ NCEP/NCAR) была проанализирована сезонная повторяемость 27 синоптических типов. Во все сезоны (кроме летнего) преобладает антициклонический тип А. Статистически значимая корреляционная связь была выявлена между среднегодовым уровнем озера и годовыми осадками на метеостанциях Баргузин и Улан-Удэ. Для периода низкого уровня озера (2015–2017 гг.) характерно увеличение повторяемости антициклонов во все сезоны (кроме осени), а также уменьшение повторяемости циклонов.

Ключевые слова: Байкал, изменения уровня, атмосферная циркуляция, синоптическая классификация

Озеро Байкал является уникальным природным объектом на Земле в силу своих геологических и гидрологических особенностей, наличия эндемичной флоры и фауны. Изменения уровня озера оказывают существенное влияние на многие компоненты природной среды: подземный и речной сток, геоморфологические процессы, водную биоту. Кроме того, изменения уровня Байкала тесно связаны с жизнедеятельностью местного населения. Изучение колебаний уровня Байкала помогает своевременно выявлять периодически возникающие экологические риски и своевременно минимизировать их последствия. Межгодовые и сезонные колебания уровня озера формируются под влиянием климатических изменений и регулирования стока из озера на Иркутской ГЭС [The variation … , 2024]. В последние годы наблюдается значительную изменчивость уровня озера. В частности, выделяется периоды с низким (2015–2017 гг., минимум в 2016 г.) и высоким (2019–2022 гг., максимум в 2021 г.) средним годовым уровнем. Бассейн р. Селенги является основным водосбором Байкала (50 % суммарного речного притока), поэтому пространственно-временные изменения влажности здесь оказывают существенное значение на речной сток и колебания уровня озера. Однако синоптические условия этих изменений водности до настоящего времени детально не исследовались.

Целью настоящей работы было исследование связей между изменчивостью уровня оз. Байкал и повторяемостью синоптических процессов в бассейне р. Селенги с высоким (суточным) разрешением. Кроме того, оценивался вклад разных синоптических процессов в сезонные и многолетние изменения атмосферных осадков.

В основу синоптического анализа были положены данные по атмосферному давлению на уровне моря реанализа NCEP/NCAR за период 2010–2024 гг. Для синоптической классификации использовался метод объективной типизации Дженкинсона – Коллисона [Jenkinson, Collison, 1977] с использованием 16 точек. Детальное описание метода приведено в работе [Osipova, Osipov, 2022]. В итоге был построен ежедневный каталог 27 синоптических типов для бассейна р. Селенги за период 2010–2024 гг. Кроме того, были использованы опубликованные данные по уровню Байкала (2010–2022 гг.), а также данные Росгидромета по 13 метеостанциям, расположенным в переделах водосбора р. Селенги (2010–2024 гг.).

Анализ распределения типов погоды по сезонам показал, что во все сезоны (кроме летнего) преобладает антициклонический тип А (до 44 % зимой). Летом наибольшая повторяемость у не классифицируемого типа U (25 %), что объясняется низкими барическими

градиентами в приземном поле давления в этот период. Относительно высокая повторяемость у циклонов (тип C, до 11 % летом), а также у адвективных типов NE (до 10 % летом) и N (до 7 % летом).

Была выявлена статистически значимая ($p < 0,05$) корреляционная связь между средним годовым уровнем озера и годовыми осадками на метеостанциях Усть-Баргузин (r=0,58) и Улан-Удэ ($r = 0,59$). При этом наибольшая корреляция была обнаружена с осадками октября ($r = 0,60$) и июня ($r = 0,70$) соответственно. Наибольший вклад в годовую сумму осадков, выпадающих на метеостанции Улан-Удэ, вносят такие синоптические типы как N (18 %), NE (15 %), U (13 %), C (11 %) и A (11 %). В течение года наблюдается перераспределение вклада разных типов погоды в суммарные осадки: зимой возрастает доля NW (21 %), весной увеличивается доля NE (36 %) и уменьшается доля U (2 %) и C (1 %), летом увеличивается доля U (19 %) и C (14 %), осенью уменьшается доля U (5 %) и увеличивается доля C (14 %).

Сравнительный анализ многолетних данных показал, что для периода низкого среднегодового уровня (2015–2017 гг.) было характерно увеличение повторяемости антициклонов во все сезоны кроме осени (на 2,9–4,4 %), а также уменьшение повторяемости циклонов (на 0,6–4,1 %). В летний период (Табл. 1) высокий уровень озера (2019–2022 гг.) ассоциировался с увеличением повторяемости типов N (на 1,5 %), NE (на 2,1 %) и U (на 1,3 %), а осенью – с увеличением частоты антициклонов (на 2,7 %).

Таблица 1. Повторяемость отдельных типов погоды в разные периоды летом (%)

Период	Средний уровень (м)	A	C	N	NE	U
2015–2017	456,09	19,4	9,8	6,5	9,5	23,9
2019–2022	456,61	14,9	13,9	8,0	11,6	25,2
2010–2022	456,40	17,7	10,7	6,8	10,1	25,4

Таким образом, проведенное исследование показало наличие связи между колебаниями уровня, осадками и синоптическими процессами в атмосфере региона. Были выявлены типы погоды, наиболее характерные для высоких и низких уровней озера. Результаты, полученные в ходе исследования, вносят вклад в обоснование прогнозов изменения уровня Байкала с использованием различных климатических сценариев.

Благодарности. Исследование было проведено в рамках исследовательского проекта Минобрнауки № 0279–2021–0005.

Список литературы

Jenkinson A. F., Collison F. P. An initial climatology of gales over the North Sea // Synoptic climatology branch memorandum. 1977. N 62. Art. 18.

Osipova O. P., Osipov E. Y. Objective classification of weather types for the Eastern Siberia over the 1970–2020 period using the Jenkinson and Collison method // Atmospheric Research. 2022. Vol. 277, N 106291. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.atmosres.2022.106291

The variation in the water level of lake Baikal and its relationship with the inflow and outflow / V. N. Sinyukovich, A. G. Georgiadi, P. Y. Groisman [et al.] // Water. 2024. Vol. 16. P. 560. DOI: 10.3390/w16040560

УДК 551.57

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ НА ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ ОЗЕРА БАЙКАЛ

О. П. Осипова[1]*, Н. С. Домбровская[2]

[1]Институт географии СО РАН им. В. Б. Сочавы
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1)
[2]Иркутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
(Россия, 664047, Иркутск, ул. Партизанская, 76)
**Автор для переписки: oliosip@yandex.ru*

Аннотация. Исследуется влияние атмосферной циркуляции на ледовый режим оз. Байкал за период 1950–2025 гг. Проанализированы сроки наступления ледостава в южной, средней и северной частях озера и рассмотрены синоптические ситуации, предшествующие наступлению ледостава. Установлено, что начиная с середины 1970-х гг. сроки наступления ледостава на Байкале стали более поздними и сместились с конца декабря и начала января на середину и конец января. За исследуемый период продолжительность ледостава сократилась в среднем на 19 дней. Выявлено влияние зональной циркуляции атмосферы на ледовый режим озера. Ослабление Сибирского антициклона и усиление западно-восточного переноса оказывают существенное влияние на ледовый режим.

Ключевые слова: Байкал, ледостав, атмосферная циркуляция, синоптическая ситуация

Ледовый режим крупных озер является хорошим маркером климатических изменений. Регулярные наблюдения за замерзанием, толщиной льда и вскрытием ледяного покрова ведутся на Байкале с 1950-х гг. В период 1949–2000 гг. толщина льда уменьшалась в среднем на 2,4 см за 10 лет, а с 1896 по 2000 г. температура воздуха зимой увеличивалась со средней скоростью 2°С/100 лет [О проявлении … , 2002]. Ранее при исследовании ледово-термического режима в качестве предиктора атмосферной циркуляции использовали индексы североатлантического (NAO) и арктического колебаний (AO) [Todd, Mackay, 2003].

Цель данной работы заключалась в исследовании влияния атмосферной циркуляции на ледовый режим оз. Байкал на основе анализа синоптических ситуаций, которые предшествовали наступлению позднего ледостава. В качестве исходных данных использовались даты наступления ледостава с 1950 по 2025 г. для южной, средней и северной частей Байкала. Для синоптического анализа были использованы поля приземного давления, карты высот геопотенциала АТ-850, АТ-700, АТ-500.

Наиболее поздние даты наступления ледостава в южной части озера приходились на начало февраля (03.02.1984 и 04.02.1995), в средней и северной части – на конец января (29.01.1972, 27.01.1996). Синоптический анализ показал тесную связь поздних сроков наступления ледостава с активным переносом в район исследования теплых воздушных масс с Атлантики и Тихого океана, которые блокировали развитие Сибирского антициклона.

Благодарности. Исследование было проведено в рамках исследовательского проекта Минобрнауки № АААА-А21-121012190059-5.

Список литературы

О проявлении на Байкале глобальных изменений климата в XX столетии / М. Н. Шимараев [и др.] // Доклады академии наук. 2002. Т. 383, № 3. С. 397–400.

Todd M. C., Mackay A. W. Large-scale climatic controls on Lake Baikal ice cover // Journal of Climate, 2003. Vo. 16 (19): 3186–3199. DOI: 10.1175/1520-0442(2003)016<3186:LCCOLB>2.0.CO;2

УДК 597.2/.5(476)

РЫБЫ РОДА *COTTUS* В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БЕЛАРУСИ: РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ФИЛОГЕОГРАФИЯ

Ю. И. Охременко[1]*, А. С. Полетаев, В. К. Ризевский[1], А. О. Звездин[2], А. В. Колотей[2], Р. А. Комаровский[1], Е. С. Гайдученко[1]

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам (Беларусь, 220072, Минск, ул. Академическая, 27)
Институт проблем эволюции им. А. Н. Северцова РАН (Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33)
**Автор для переписки: okhremenko.yulia@yandex.by*

Аннотация. Представлены начальные данные о видовой принадлежности рыб рода *Cottus,* обитающих в водных объектах Беларуси. Результаты, полученные в ходе молекулярно-генетического анализа фрагмента гена контрольного региона (CR), позволяют утверждать, что в р. Сенканка (бассейн р. Неман) обитает вид *Cottus cyclophthalmus,* а в р. Овсянка и р. Ордежанка (бассейн р. Западная Двина) вид *Cottus dorofeevi*.

Ключевые слова: *Cottus,* подкаменщик, ихтиофауна, Беларусь, контрольный регион, мтДНК

Род Подкаменщики *Cottus* (семейство Керчаковые Cottidae) включает в себя 72 вида, 18 из которых встречаются в Европе. Несмотря на давнее и пристальное внимание ученых к видам рода *Cottus* за последнее десятилетие на территории Европы продолжают описывать новые виды и именно генетический инструмент позволяет разобраться в сложных случаях таксономии и эволюции рыб.

До недавнего времени на территории Беларуси отмечали обитание одного вид рода *Cottus* – подкаменщика обыкновенного *Cottus gobio*, распространенного во всех реках, главным образом в верховьях небольших речек и ручьях. Также предполагали, что в бассейнах р. Западная Двина и р. Днепр обитает *Cottus koshewnikowi*, но его распространение на территории Беларуси так и не было описано [Жуков, 1951]. Последние исследования В. Сиделевой и З. Жидкова показали обитание нового вида *Cottus dorofeevi* на территории Беларуси в р. Овсянки (бассейн р. Западная Двина) на основании морфологических и молекулярно-генетических данных [Sidileva, Zhidkov, 2024]. Кроме того, по результатам работы тех же авторов обнаружен вид *Cottus cyclophthalmus* в бассейнах р. Неман и р. Вента (Литва, бассейн Балтийского моря), морфологически и генетически отличный от видов *C. gobio* и *C. koshewnikowi*, а также произошла первая регистрация *Cottus microstomus* в бассейне р. Неман (Литва, бассейн Балтийского моря) [Sideleva, Kesminas, Zhidkov, 2022].

Специальное исследование видов рода *Cottus,* с применением молекулярно-генетических методов на территории Беларуси не проводили и наше исследование представляет первую попытку молекулярно-генетической оценки разнообразия видов рода *Cottus* в Беларуси.

Для настоящего исследования образцы тканей были собраны у 11 особей: р. Ордежанка ($n = 7$), р. Овсянка ($n = 1$) бассейн р. Западная Двина и р. Сенканка ($n = 3$) бассейн р. Неман.

Для получения целевого фрагмента области контрольного региона (CR) мтДНК использовали пару праймеров L16638 и H1122 [Sideleva, Kesminas, Zhidkov, 2022]. Секвенирование проводили с теми же праймерами на генетическом анализаторе 3500 Genetic Analyzer (Applied Diosistems).

Первичный анализ результатов секвенирования, редактирование и выравнивание последовательностей проводили в программе MEGAX. Филогенетическое дерево построено байесовским методом в программе BEASTX v10.5.0 и визуализировано в программе FigTree v1.44.

В ходе работы было проанализировано 87 последовательностей: 11 из них для Беларуси получены авторами статьи и 76 последовательностей представителей рода *Cottus* взяты из базы данных NCBI Genbank.

Анализ филогенетического дерева показал, что последовательности образцов из р. Сенканка (бассейн р. Неман), с высокой долей вероятности оказались генетически близки к последовательностям, относящимся к виду *C. cyclophthalmus*, что согласуется с ранее известными данными об обитании этого вида в бассейне р. Неман (Литва). Последовательности образцов из р. Овсянка и р. Ордежанка (бассейн р. Западная Двина) с высокой долей вероятности образуют единую кладу с последовательностями описанного в 2024 г. вида *C. dorofeevi* (рис.).

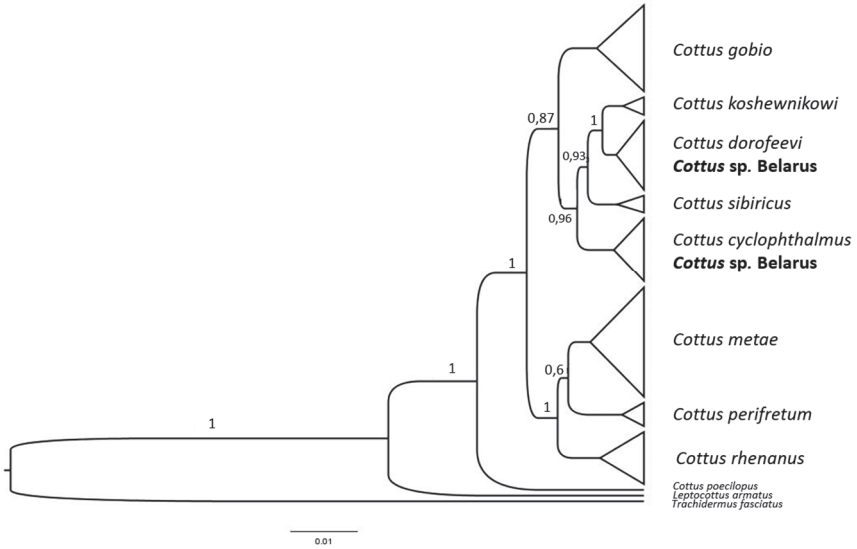


Рис. Филогенетическое дерево Европейской клады рода *Cottus* (включая *Cottus sibiricus*) участка гена контрольный регион (CR), построенное байесовским методом. В узлах указаны значения апостериорной вероятности

Полученные в ходе выполнения молекулярно-генетических исследований данные открывают ряд новых задач по ревизии таксономического статуса и распространения видов рода *Cottus* в водных объектах Беларуси – территории, по которой проходит Черноморско-Балтийский водораздел, примерно поровну разделяющий гидрографическую сеть между двумя морскими бассейнами. Для получения детальной картины генетического разнообразия подкаменщиков продолжаются исследования с расширением выборок и географии мест сбора материала.

Список литературы

Жуков П. И. Рыбы Белоруссии. Минск : Наука и техника, 1965. 414 с.

Sideleva V. G., Zhidkov Z. V. Description of a new species of *Cottus* Linnaeus (Cottidae) from the Western Dvina / Daugava River system, Baltic Sea basin, based on integrative taxonomy // Zootaxa. 2024. Vol. 5447, N 4. P. 473–495. DOI: 10.11646/zootaxa.5447.4.2

Sideleva V., Kesminas V., Zhidkov Z. A new species of the genus *Cottus* (Scorpaeniformes, Cottidae) from the Baltic Sea Basin and its phylogenetic placement // European Journal of Taxonomy. 2022. Vol. 834, N 1. P. 38–57. DOI: 10.5852/ejt.2022.834.1897

УДК 556.556.3

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ И ВНУТРЕННИЕ ВОЛНЫ В МАЛОМ ЛЕСНОМ ОЗЕРЕ

Н. И. Пальшин*, С. Р. Богданов, Г. Э. Здоровеннова, Т. В. Ефремова, Р. Э. Здоровеннов

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
(Россия, 185030, Петрозаводск, просп. А. Невского, 50)
**Автор для переписки: npalshin@mail.ru*

Аннотация. Данные автономных измерений температуры воды и скоростей течений с высоким разрешением по времени и по вертикали в ламбе Чудесная показали на присутствие в водной толще колебаний с периодами от нескольких минут до 2–3 ч. Эти колебания, которые регулярно наблюдались на протяжении всего летнего сезона 2024 г., усиливались в светлое время суток, а при уменьшении скорости ветра в ночные часы резко уменьшались. Периоды самых низкочастотных флуктуаций температуры воды и скоростей течений превышали оценки периодов главной моды продольной бароклинной сейши озера (около 1 ч). Такие колебания возникали в результате резонанса и образования многомодовой вертикальной структуры. Целью работы является исследование особенностей внутренних волн в малом лесном озере, которые могут способствовать вертикальному перемешиванию в мета- и гиполимнионе.

Ключевые слова: малое лесное озеро, термическая стратификация, скорости течений, температурные осцилляции, внутренние волны

На территории Карелии насчитывается 61,1 тыс. озер, которые занимают 21 % ее площади (без Онежского и Ладожского озер около 12 %). Только 1,67 тыс. водоемов имеют площадь более 1 км^2 [Озера Карелии, 2013], а почти 60 тыс. озер представляют класс малых лесных озер с площадью до 1 км^2. Водные объекты, включая малые водоемы как рассеянные источники, влияют на характеристики регионального климата (температуру, испарение, влажность) и газообмен с атмосферой, однако до сих пор термические и гидродинамические процессы в малых лесных озёрах остаются недостаточно исследованными.

В 2024 г. в рамках комплексных работ ИВПС КарНЦ РАН проведены детальные гидрофизические исследований на оз. Чудесная ламба. Озеро расположено в бассейне р. Суны в районе заповедника «Кивач». Его котловина длиной 146 м и шириной около 50 м вытянута с ССЗ на ЮЮВ. Глубины у берега достигают 2 м, по продольному разрезу изменяются от 3,5 до 4 м, а у самого северного берега есть небольшое по площади углубления дна до 6,9 м. Дно ламбы покрыто растительными остатками. Берега заболоченные. Целью гидрофизических исследований являлось изучение механизмов перемешивания и оценка их эффективности в очень малых лесных озёрах, в которых ветровое механическое перемешивание крайне ограничено.

Гидрофизические исследования включали установку в центре озера буйковых станций, оснащенных 22 датчиками температуры RBR Ltd (точность 0,002 ºC), охватывающими измерениями слой воды толщиной около 3,5 м через 15 см, ФАР-косы с пятью датчиками через 0,5 м, а также акустического допплеровского измерителя течений Aquadopp Nortek Profiler HR (ADCP). Временной шаг измерений на косах составлял 1 минуту. На берегу Чудесной ламбы была установлена метеостанция, которая проводила измерения на высоте 1 м над поверхностью воды с дискретностью 5 минут.

В результате исследований показано, что ветровые условия у поверхности воды ламбы существенно отличались от направления и скорости ветра МС Петрозаводск. На ламбе направление ветра соответствовало продольной оси озера. Изменения скоростей ветра на протяжении всего летнего сезона 2024 г. имели четко выраженный суточный характер. В дневные часы одновременно с увеличением солнечной радиации скорости ветра возрастали до 1–1,5 м/с (порывы до 2–3 м/с), ночью они уменьшались почти до нуля. Увеличение скорости ветра по данным МС Петрозаводск до 5–7 м/с не приводили к изменениям ветра на

ламбе. В спектрах ветра выделены суточные и полусуточные колебания. Возрастание интенсивности колебаний в диапазоне от нескольких минут до 2–3 ч не наблюдалось.

Изменения температуры воды на всех горизонтах тоже имели суточный характер. При этом в диапазоне от нескольких минут до 2–3 ч наблюдалось усиление интенсивности колебаний. Это позволило предположить о селекции колебаний и резонансном усилении в водной толще внутренних волн, амплитуды которых существенно уменьшались в ночное время одновременно с уменьшением скорости ветра у поверхности озера. В спектрах флуктуаций температуры воды и скоростей течений наиболее высокие пики близко соответствовали периоду главной продольной моды бароклинной сейши озера (около 1 ч).

Оценки мод бароклинных сейш Чудесной ламбы были выполнены для простейших случаев по двум формулам:

периоды продольных мод бароклинных сейш для двухслойной стратификации в приближении прямоугольной котловины при $\rho_1 = \text{const}_1$ и $\rho_2 = \text{const}_2$ [Океанографическая энциклопедия, 1974]

$$T_{n_1} = \frac{2L}{n_1\sqrt{gh_2}} \cdot \left(\frac{\rho_2}{\rho_2 - \rho_1} \cdot \frac{H}{h_1}\right)^{1/2}, n_1 = 1,\ 2,\ \ldots \quad (1)$$

частота колебаний многомодовой структуры бароклинных волн при выполнении условия N=const [Гилл, 1986]

$$\omega_{n_2} = \frac{kHN}{\sqrt{k^2H^2 + {n_2}^2\pi^2}}, n_2 = 1,\ 2,\ \ldots \quad (2)$$

где L и H – длина и глубина озера, h_1 и h_2 – толщины верхнего и нижнего слоев, ρ_1 и ρ_2 – плотности верхнего и нижнего слоев, g – ускорение силы тяжести, N – частота Вяйсяля-Брента, k – волновой вектор.

Рассчитанные периоды по обеим формулам главной продольной моды для периода термической стратификации с начала июня до середины августа 2024 г. дают близкие значения (с отличием лишь на 15–20 %) к полученным в эксперименте.

Горизонтальные компоненты скорости в присутствии внутренних волн неоднородны по глубине. Появление вертикального сдвига может приводить к неустойчивости водного столба и интенсификации перемешивания. При оценке градиентного числа Ричардсона $Ri = N^2/(\partial u/\partial z)^2$, по данным для основной моды, получены значения, превышающие критический уровень 0,25. В то же время следует иметь в виду, что в ходе эксперимента часто наблюдались вертикальные моды высоких порядков, а также взаимодействие и разрушение волн разного порядка. В этих условиях, как отмечено в [Münnich, Wüest, Imboden 1992] можно ожидать возникновения локальной неустойчивости и перемежающейся турбулентности даже в случае, когда среднее значение параметра Ri существенно превышает порог 0,25.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Института водных проблем Севера Карельского научного центра РАН.

Список литературы

Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т. 1. М. : Мир, 1986. 397 с.

Озера Карелии : справочник / под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2013. 464 с.

Океанографическая энциклопедия. Л. : Гидрометеоиздат, 1974.631 с.

Münnich M., Wüest A., Imboden D. M. Observations of the second vertical mode of the internal seiche in an alpine lake // Limnology and Oceanography. 1992. Vol. 37, N 8. P. 1705–1719. DOI: 10.4319/lo.1992.37.8.1705

УДК 556.02.637

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ГАЗООБМЕН CO_2 И CH_4 В СИСТЕМЕ «АТМОСФЕРА – ВОДА» НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

М. В. Панченко[1]*, Д. А. Пестунов[1], В. М. Домышева[2], М. В. Сакирко[2], А. М. Шамрин[1], В. П. Шмаргунов[1], В. Г. Иванов[2]

[1]Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН
(Россия, 634055, Томск, площадь Академика Зуева, 1)
[2]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
** Автор для переписки: pmv@iao.ru*

Аннотация. На основе многолетних исследований газообмена углеродосодержащих газов CO_2 и CH_4 в системе «атмосфера – вода» на оз. Байкал определен сезонный и суточный ход их концентраций воде и приводной атмосфере. Обнаружено, что в атмосфере озера наблюдается рост концентраций CO_2 и CH_4. Выявлено, что фотопериодизм водной биоты является ключевым процессом, регулирующим суточный ход фотосинтеза и концентрации CO_2. Показано, что в прибрежной зоне в период открытой воды годовой сток углерода из атмосферы, обусловленный потоками углекислого газа, превышает его выход в атмосферу из-за эмиссии метана. Обсуждаются результаты исследований пространственного распределения углекислого газа и метана в поверхностной воде в весенний период по всей акватории озера.

Ключевые слова: Байкал, газообмен, атмосфера, водная поверхность, углекислый газ, метан, фотосинтез

В рамках исследования актуальной проблемы наблюдающегося изменения климата и увеличения содержания в атмосфере углекислого газа и метана, которые являются парниковыми газами и основой цикла углерода в природе, необходимо изучение механизмов, определяющих процесс газообмена в системе «атмосфера-вода». В докладе представлен обзор основных результатов комплексных измерений концентраций парниковых газов CO_2 и CH_4 в воде, приводной атмосфере и их потоков, содержания биогенных элементов, хлорофилла и флуоресцентных характеристик в прибрежной зоне Байкала. Обнаружено, что в приводной атмосфере за период наблюдений наблюдается рост концентраций CO_2 и CH_4, многолетние тренды которых сопоставимы с глобальными. В свою очередь в этот период однонаправленные изменения растворенных газов и биогенных элементов отсутствуют, что указывает на определенную устойчивость экосистемы Байкала. Определен суточный и сезонный ход биогенных элементов и концентраций парниковых газов в приводной атмосфере в воде и их потоков. Учитывая процесс фотопериодизма водной биоты, предложена модель суточного хода потоков CO_2 в координатах продолжительности «солнечного сияния». Впервые на основе многолетних комплексных измерений концентраций углекислого газа в поверхностной и придонной воде, а также потоков в системе «вода-атмосфера» для прибрежной зоны проведена оценка биопродуктивности для характерных сезонных циклов в жизнедеятельности байкальского планктона. По данным многолетних измерений в прибрежной зоне и в 8 весенних экспедициях по акватории озера определено, что сток углерода на водную поверхность, обусловленный потоком углекислого газа, заметно превышает его выход в атмосферу из-за эмиссии метана.

Благодарности Работа выполнена в рамках государственных заданий ИОА (№ 121031500342-0) и ЛИН СО РАН (№ 121032300199-9).

УДК 57.065

РАЗНООБРАЗИЕ МШАНОК БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

Т. Е. Перетолчина*, Т. Я. Ситникова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: tanya@lin.irk.ru*

Аннотация. Исследовано разнообразие мшанок Байкальского региона методом ДНК баркодинга на основе нуклеотидных последовательностей фрагментов генов COI мтДНК и ITS1–5.8S–ITS2 яДНК. В составе фауны Bryozoa выявлено девять видов, из них семь относится к классу Phylactolaemata (*Plumatella repens* (Linnaeus, 1758), *P. fungosa (Pallas, 1758)*, *P. fruticosa* (Allman, 184)*, Plumatella* sp.1, *Plumatella* sp.2, *Hyalinella punctata* (Hancock, 1850), *Cristatella mucedo* Cuvier, 1798), два – к классу Gymnolaemata (*Paludicella articulata* (Ehrenberg, 1831) и *Hislopia placoides* (Korotneff, 1901)). Оценен их генетический полиморфизм и охарактеризованы паттерны распределения.

Ключевые слова: COI, ITS1-5.8S-ITS2, мшанки, делимитация таксонов

Мшанки (тип Bryozoa) принадлежат колониальным животным, ведущим прикрепленный образ жизни. В типе Bryozoa выделяют три класса: Phylactolaemata (Покрыторотые), Stenolaemata (Узкоротые) и Gymnolaemata (Голоротые). К пресноводным мшанкам (все представители Phylactolaemata и два семейства Paludicellidae и Hislopiidae из класса Gymnolaemata) относится около 70 видов мировой фауны. Несмотря на небольшое разнообразие, представители пресноводных мшанок широко распространены по всему миру, некоторые виды считаются космополитами [Wood, 2002].

В оз. Байкал, его притоках, примыкающих водоемах, а также в бассейне р. Ангары из класса Phylactolemata были отмечены космополиты – *Plumatella repens* (Linnaeus, 1758), *P. emarginata* Allman, 1844, *Fredericella sultana* (Blumenbach, 1779), и голаркты – *Hyalinella punctata* (Hancock, 1950), *P. fungosa* (Pallas, 1768), *Cristatella mucedo* Cuvier, 1798; из класса Gymnolemata – отмечен эндемик *Hislopia placoides* (Korotneff, 1901) и палеаркт *Paludicella articulata* (Ehrenberg, 1831) [Кожов, 1962; Виноградов, 2008].

Несмотря на то что мшанки часто встречаются в водоемах Байкальского региона, подробных исследований фауны Bryozoa не проводилось. Целью данной работы было исследование таксономического состава мшанок методом ДНК баркодинга по фрагментам генов COI мтДНК и ITS1-5.8S-ITS2 яДНК.

Материал собирали во время летних экспедиций с 2019 по 2024 г. с высшей водной растительности, затопленной древесины и других субстратов. Всего было обследовано 25 районов. Образцы фиксировали 70%-ным этанолом. ДНК экстрагировали по модифицированному методу Дойла и Диксон [Doyle, Dickson, 1987]. Амплификацию проводили с помощью универсальных праймеров [DNA … , 1994; Amplification … , 1990] с последующим секвенированием на генетическом анализаторе «НАНОФОР 05» (ЦКП ЛИН СО РАН). Делимитацию таксонов проводили с помощью программы ASAP (https://bioinfo.mnhn.fr/abi/public/asap/). Дополнительно для разных видов мшанок использовали нуклеотидные последовательности из базы данных GenBank. Статобласты исследовали при помощи сканирующего электронного микроскопа Quanta 200 (США).

По результатам ДНК баркодинга с использованием двух молекулярно-генетических маркеров установлено присутствие *H. placoides*, *P. articulata*, *P. repens*, *P. fungosa*, *H. punctata* и *C. mucedo* в водоемах Байкальского региона.

В сборах зооперифитона, по строению колоний и статобластов, идентифицирована *P. fruticosa* (Allman, 1844), ранее не отмечавшаяся в Байкальском регионе.

В ходе исследований обнаружено два вида мшанок, которые отнесли к *Plumatella* sp.1 и *Plumatella* sp.2. По фрагменту гена COI делимитацию таксонов провести не удалось из-за отсутствия нуклеотидных последовательностей соответствующих видов в GenBank.

По фрагменту ITS1–5. 8S–ITS2 *Plumatella* sp.1 оказалась близка к *P. vaihiriae* (Hastings, 1929) (генетическая дистанция 0,4 % замен). Дополнительно мы расшифровали нуклеотидные последовательности фрагмента гена 16S мтДНК *Plumatella* sp. 1, по которому сестринским видом для этой мшанки является *P. emarginata* (генетическая дистанция составила 2 % нуклеотидных замен). Следует отметить, что присутствие *P. emarginata* отмечалось ранее в Байкальском регионе [Виноградов, 2008], однако обнаруженные нами мшанки по уровню генетических отличий, скорее всего, представляют собой самостоятельный вид.

Plumatella sp.2 по форме колонии сходна с *P. fungosa*, по маркеру COI она также кластеризуется с этим видом, однако генетическая дистанция между ними составляет 10 % замен. Возможно, *Plumatella* sp.2 – это *P. coralloides* Allman, 1844 (=*P. fungosa* var. *coralloides*), который отмечался в составе фауны Байкальского региона некоторыми исследователями [Абрикосов, 1924]. Для точной видовой идентификации *Plumatella* sp. 1 и *Plumatella* sp. 2 необходим детальный морфологический анализ.

Таким образом, в составе фауны Bryozoa на обследованной территории выявлено семь видов мшанок из класса Phylactolaemata и два вида из класса Gymnolaemata. Представители Bryozoa часто встречались симпатрически: до четырех видов на одном субстрате. Однако распределение разных видов мшанок в водоемах неравномерно. Так, в открытом Байкале, в ультра олиготрофных условиях, при температуре, не превышающей 4°C, обнаружен только *H. placoides*. Еще один вид *P. repens* обнаружен в большинстве исследованных водоемов, включая лотические экосистемы, демонстрируя широкий диапазон устойчивости к разным параметрам окружающей среды; *P. articulata* отмечен в оз. Зама и дельте р. Томпуда, а *H. punctata* – только в р. Малая Еловка. Вероятно, на распространение мшанок влияют температурный и гидрохимический режим водоемов, а также их трофический статус, причем разные виды отличаются по диапазону чувствительности к этим параметрам.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке бюджетных проектов 121032300196-8 и 121032300180-7. Авторы выражают благодарность А. П. Федотову, К. М. Кучеру, а также командам НИС «Титов» и «Папанин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала») за помощь в отборе проб. Секвенирование образцов и сканирующая электронная микроскопия выполнены в Приборном центре коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикроанализ»).

Список литературы

Абрикосов Г. Г. К познанию фауны мшанок озера Байкал // Русский гидробиологический журнал. 1924. Т. 3, № 11–12. С. 260–266.

Виноградов А. В. Фауна мшанок Eurystomata и Phylactolaemata озера Байкал // Вестник Самарского государственного педагогического университета. 2008. Т. 6, № 1. С. 19–31.

Кожов М. М. Биология озера Байкал. М. : Изд. АН СССР, 1962. 315 с.

Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics / T. J. White, T. Bruns, S. Lee [et al.] // PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications / eds.: Innis M. A., Gelfand D. H., Sninsky J. J., White T. J.. N. Y. : Acad. Press, 1990. P. 315–322.

DNA Primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates / O. Folmer, M. Black, W. Hoeh [et al.] // Molecular Marine Biology and Biotechnology. 1994. Vol. 3. P. 294–299.

Doyle J. J., Dickson E. Preservation of plant samples for DNA restriction endonuclease analysis // Taxon. 1987. Vol. 36. P. 715–722. DOI: 10.2307/1221122

Wood T. Freshwater bryozoans: a zoogeographical reassessment // Bryozoan studies 2001 / eds. Jackson P. N. W, Buttler C. J., Jones M. E. S. Lisse, Abington : A. A. Balkema Publishers, 2002. P. 339–345.

УДК 574.5

ДИНАМИКА ВОЗРАСТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОМАССЫ ЕНИСЕЙСКОГО ОСЕТРА

А. И. Пережилин[2]*, Н. Д. Гайденок[1]

[1]Красноярский государственный аграрный университет
(Россия, 660049, Красноярск, просп. Мира, 90),
[2]Сибирский государственный университет науки и технологий им. М. Ф. Решетнева
(Россия, 660037, Красноярск, просп. им. газеты Красноярский рабочий, 31)
**Автор для переписки: alex_pr@mail.sibsau.ru*

Аннотация. Рассмотрены динамика биомассы и возрастная структура популяции енисейского осетра. Показано состояние популяции енисейского осетра.

Ключевые слова: енисейский осетр, популяционный континуум, возрастная структура, динамика биомассы

Данная работа является обзором цикла исследований, начальные этапы которого изложены в работах [Гайденок, Заделенов, 2024; Гайденок, Кириченко, Пережилин, 2025). Положение, в котором сейчас находится популяционный континуум енисейского осетра (ЕО) показано на рис. 1, *В*, заимствованном из [Гайденок, Заделенов, 2024] и на 3D-иллюстрациях, где отражена динамика общей биомассы (Biom) и вылова (Cap) (рис. 1, *А*) и фазовый 3D-портрет (половозрелые – Adl, неполовозрелые – Sub, вылов – Cap) (рис. 1, *Б*). Соответствие фаз динамики цикла фазового 3D-портрета отмечено одинаковыми символами.

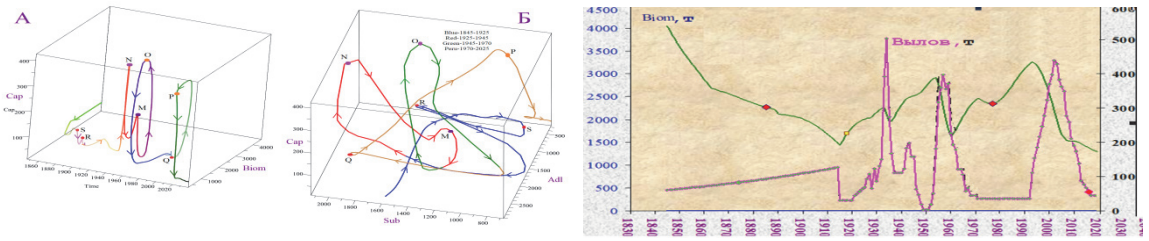


Рис. 1. Современное состояние популяционного континуума ЕО:
А – неустойчивый 3D-фокус; *Б* – фазовый 3D-портрет; *В* – динамика вылова и общей биомассы

В отмеченных непериодических колебаниях (рис. 1, *Б*), представляющих последний этап перехода от детерминизма к полной стохастике – уже не детерминизма, но еще и не стохастика – есть весьма любопытные моменты, отражающие сложную зависимость динамики между переменными: половозрелые – Adl, неполовозрелые – Sub и скорость изменения общей биомассы dB в виде 3D фазового портрета (рис. 2).

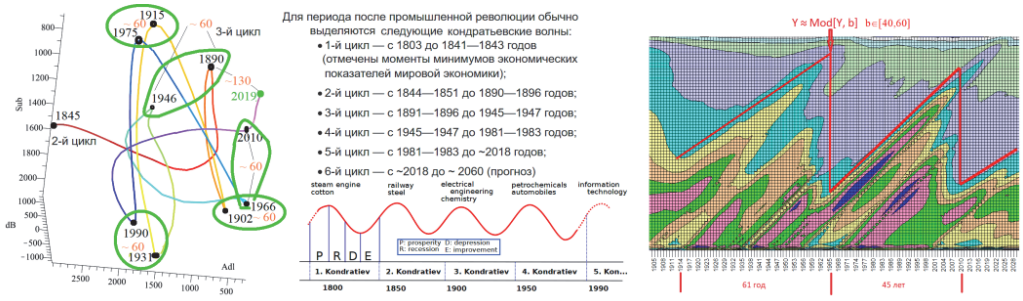


Рис. 2. 3D портрет ЕО в координатах Adl, Sub, dB , связь с циклами Кондратьева и проекция динамики когорт ЕО

Здесь разность дат в вершинах петель (экстремумы фазовой кривой) – «овалы», отражающих поворотные моменты динамики указанными переменными, составляет 40–60 лет при среднем 50 лет. Что, в свою очередь, в первом приближении соответствует периоду Волны Кондратьева (см. рис. 2) и указывает, как на связь с экономикой – экономическое развитие требует обеспечения питанием – так и на некоторый резонанс между временем генерации 48 лет и длиной Волны. Здесь есть также удвоенный цикл – 130 лет.

Далее, в результате проведения вычислительного эксперимента на основе вышеуказанных сведений была получена динамика возрастного распределения Lg биомассы ЕО (рис. 3).

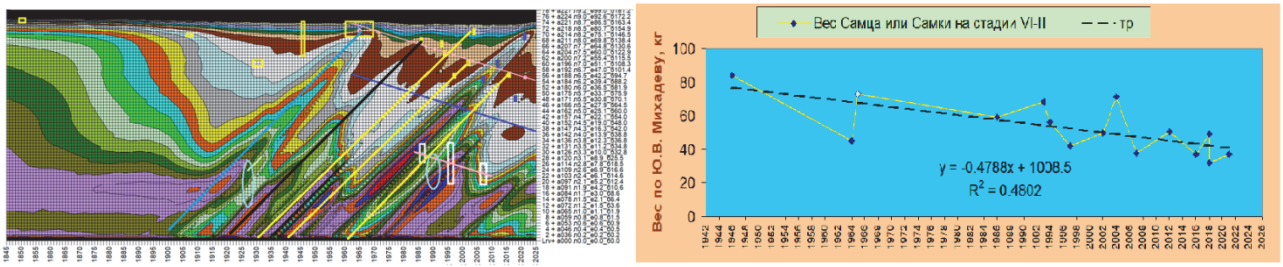


Рис. 3. Динамика возрастного распределения Lg биомассы ЕО с локализаций рекордных весов. Обозначения: xx+ – возраст; axxx – длина абсолютная, см; lxxx – вес ленского осетра; exxx – вес ЕО; bxxx – вес байкальского осетра

На рис. 3, *а* помимо уже упомянутой в работе [Гайденок, Кириченко, Пережилин, 2025] локализации записей рекордных весов на «подошвах» когорт, приведены три тренда:

1) рекордных весов – уравнении регрессии при абсолютной значимости $R = 0{,}46$ (рис. 3, *б*), говорящей о падении рекордных весов ЕО со скоростью ~0,5 кг/год – верхняя красная линия. Что, в свою очередь полностью подтверждается опросными данными рыбаков, говорящих об увеличении в уловах ЕО молоди, падении старшевозрастных особей после 2015 г.;

2) абсолютной длины, практически параллельной тренду рекордного веса – нижняя красная линия;

3) рекордных весов в байкальской шкале – средняя синяя линия. Данный тренд показан с целью иллюстрации факта, что максимальные веса ЕО могут нести потомки байкальских осетров, попавших в Енисей в период Мегацунами 12 тыс. и 128 тыс. л. н. [Гайденок, Кириченко, Пережилин, 2025]. Об этом более подробно будет сказано, как ниже, так и в третьей части работы

Аппроксимация трендов влево говорит об устойчивом падении рекордных весов ЕО с середины 1930 гг. Далее на рис. 3, *а* голубыми овалами показаны «провалы» биомассы ЕО вызванные, белые прямоугольники показывают динамику падения длины ЕО [Гайденок, Кириченко, Пережилин, 2025], что также подтверждает увеличение доли молоди ЕО в популяции.

Список литературы

Гайденок Н. Д., Заделенов В. А. Демография, таксономия, генетика модели енисейского осетра – 20 лет спустя. Ч. 1 // Рыбное хозяйство 2024. № 3. С 52–62.

Гайденок Н. Д., Кириченко О. И., Пережилин А. И. Демография, таксономия, генетика модели енисейского осетра – 20 лет спустя. Ч. 2. Морфометрический полиморфизм енисейского осетра // Рыбное хозяйство. 2025. № 3. С. 104–115.

УДК 556.551

БАЛАНС ПОТОКОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПО АКВАТОРИИ ОЗ. БАЙКАЛ В ВЕСЕННИЙ И ЛЕТНИЙ ПЕРИОДЫ 2024 ГОДА

Д. А. Пестунов[1]*, М. В. Панченко[1], В. М. Домышева[2], М. В. Сакирко[2], А. М. Шамрин[1], В. П. Шмаргунов[1], В. Г. Иванов[2]

[1]Институт оптики атмосферы СО РАН (Россия, 634055, Томск, площадь Академика Зуева, 1)
[2]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: pest@iao.ru*

Аннотация. Сравниваются расчетные потоки метана и углекислого газа в системе «водная поверхность – атмосфера» по акватории оз. Байкал в весенний и летний периоды 2024 г. Поток метана всегда направлен в атмосферу по всей поверхности озера и усиливается в теплый период от 0,15 мкг $м^{-2}$ $ч^{-1}$ весной до 0,34 мкг $м^{-2}$ $ч^{-1}$ летом. Средний поток углекислого газа в весенний период направлен в атмосферу со скоростью 0,7 мг $м^{-2}$ $ч^{-1}$, но меняет направление и усиливается летом до среднего значения –8,8 мг $м^{-2}$ $ч^{-1}$. Таким образом, можно заключить, что интегрально в этот период оз. Байкал является стоком атмосферного углерода и оказывает выхолаживающее воздействие на климат.

Ключевые слова: углекислый газ, метан, баланс углерода, газообмен «вода – атмосфера», Байкал

В данной работе мы рассматриваем акваторию оз. Байкал как экосистему, участвующую в газообмене с атмосферой парниковыми газами CO_2 и CH_4. В 2024 г. были проведены два цикла измерений (30.05–12.06 и 30.07–06.08) парциальных давлений CO_2 и CH_4 растворенных в поверхностной воде и в атмосфере по всей акватории оз. Байкал. Для измерений был задействован судовой газоаналитический комплекс Байкальской атмосферно-лимнологической обсерватории (входит в состав ЦКП «Атмосфера»). Для анализа используются величины потоков, рассчитанные по разнице парциальных давлений исследуемых газов между водой и атмосферой [Wanninkhof, 2014]. Для корректного сравнения данные для каждого рейса были сгруппированы и усреднены по секторам размерами 0,1° по долготе и 0,05° по широте, а для рассмотрения принимались только данные в тех секторах, которые были посещены в обоих рейсах, всего 239 общих сектора.

Средний поток углекислого газа в весеннем и летнем рейсах, соответственно, составил +0,7 и –8,8мг $м^{-2}$ $ч^{-1}$, поток метана – +0,15 и +0,34мкг $м^{-2}$ $ч^{-1}$. То есть интенсивность газообмена CH_4 на три порядка ниже, чем CO_2, и даже с учетом высокого нагревательного потенциала метана (https://ghgprotocol.org), значительное воздействие оз. Байкал на климатическую систему оказывает газообмен углекислым газом. А превышение стока CO_2 на водную поверхность в теплый период над его эмиссией в атмосферу весной позволяет заключить, что на рассматриваемом промежутке времени и, вероятно, на протяжении всего теплого периода оз. Байкал 1) является стоком атмосферного углерода и 2) оказывает выхолаживающее воздействие на климат.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственных заданий ИОА СО РАН № 121031500342-0 и ЛИН СО РАН № 121032300199-9. Авторы выражают признательность экипажам экспедиционного научно-исследовательского судна “Г. Ю. Верещагин” (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала» ЛИН СО РАН) и всем участникам экспедиций- коллегам из ЛИН СО РАН.

Список литературы

Wanninkhof R. Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean revisited // Limnol Oceanogr: Methods. 2014. Vol. 12. P. 351–362. DOI: 10.4319/lom.2014.12.351

УДК 556.08

ИНТЕРКАЛИБРОВКА ПАРОФАЗНОГО И ЭКВИЛИБРАТОРНОГО МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ МЕТАНА В ВОДЕ

Д. А. Пестунов[1]*, М. В. Панченко[1], А. М. Шамрин[1], В. П. Шмаргунов[1], В. Г. Иванов[2]

[1]Институт оптики атмосферы СО РАН (Россия, 634055, Томск, площадь Академика Зуева, 1)
[2]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: pest@iao.ru*

Аннотация. Рассмотрены два метода измерения концентрации растворенного метана используемых для получения пространственного распределения содержания метана в водоемах, как в поверхностном слое, так и по глубине. Эквилибраторный метод используется там, где есть возможность непрерывной подачи пробы в измерительную систему, парофазный метод позволяет измерять содержание растворенных газов в ограниченном объеме пробы. Интеркалибровка по данным, полученным в ряде экспедиций на оз. Байкал в прибрежной зоне и открытой акватории, показала хорошую сходимость в широком диапазоне концентраций, различие показаний составляет менее 5 %.

Ключевые слова: растворенный метан, проточный эквилибратор, парофазный метод, пространственное распределение

Представление о пространственном распределении растворенного метана в естественных водоемах помогает локализовать источники поступления метана и оценить их интенсивность, что, несомненно, представляет научный и практический интерес. В тело водоема растворенный метан поступает как с речным стоком, так и из подводных источников. Таким образом, неоднородности распределения растворенного метана проявляются во всех трех измерениях: и по поверхности, и по глубине. Для измерения концентрации газов в соответствующих локациях используются разные подходы. Эквилибраторный метод [Gas-analytic … , 2015] имеет существенные преимущества над парофазным [Вертикальное … , 2020] при построении пространственного распределения в поверхностном слое, но совершенно не подходит для работы с глубинными пробами. При обобщении данных, полученных данными методами, необходимо иметь общие точки, по которым будет проводиться интеркалибровка. В работе рассматриваются данные комплексных измерений концентрации растворенного метана на оз. Байкал, полученных в ряде экспедиций как в прибрежной зоне, так и в открытой акватории. За это время процедура измерений и приборная база совершенствовались. На данный момент различие показаний методов составляет менее 5 %, и в ряде случаев несовпадение показаний вызвано естественными причинами, в том числе из-за высокого градиента концентраций на локации.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственных заданий ИОА СО РАН № 121031500342-0 и ЛИН СО РАН № 121032300199-9. Авторы выражают признательность экипажам экспедиционного научно-исследовательского судна «Г. Ю. Верещагин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала» ЛИН СО РАН) и всем участникам экспедиций – коллегам из ЛИН СО РАН.

Список литературы

Вертикальное распределение метана в водной толще Байкала / И. Б. Мизандронцев, В. В. Козлов, В. Г. Иванов [и др.] // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 1. С. 78–85.

Pestunov D. A., Shamrin A. M., Shmargunov V. P., Panchenko M. V. Gas-analytic measurement complexes of Baikal atmospheric-limnological observatory // Proceedings of SPIE. 2015. 9680. DOI: 10.1117/12. 2205538

УДК 528.88

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА-А В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

И. А. Пестунов[1,2]*, Е. А. Мамаш[1], А. А. Иргит[2], И. А. Асламов[3], М. В. Сакирко[3], Т. Я. Чурилова[4]

[1]Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий (Россия, 630090, Новосибирск, просп. Лаврентьева, 6)
[2]Новосибирский государственный университет (Россия, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2)
[3]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[4]ФИЦ институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова, 2)
**Автор для переписки: pestunov@ict.nsc.ru*

Аннотация. Проведен сравнительный анализ и валидация океанических и региональных алгоритмов оценки концентрации хлорофилла *a* в поверхностном слое оз. Байкал по спутниковым данным MODIS (Aqua/Terra, разрешение 1 км и 4,616 км), MSI (Sentinel-2) и OLCI (Sentinel-3). На основе экспедиционных данных показана применимость океанических моделей. Статистический анализ выявил оптимальные алгоритмы: OC3 для данных MODIS (оба разрешения) и OC2E для данных MSI/Sentinel-2 и OLCI/Sentinel-3. Эти модели могут быть рекомендованы для анализа пространственно-временной изменчивости хлорофилла *a* в оз. Байкал.

Ключевые слова: Байкал, оценка концентрации хлорофилла *a*, спутниковые данные

Хлорофилл *a* является основным фотосинтетическим пигментом и ключевым индикатором биомассы фитопланктона, а также продуктивности водоемов. В последние годы для оценки его концентрации в поверхностном слое континентальных водоемов все активнее применяются методы спутникового дистанционного зондирования Karimi, Hashemi, Aghighi, 2024]. Это обусловлено существенными ограничениями традиционных методов: они носят точечный характер, недостаточно репрезентативны для крупных акваторий и сложных экосистем (таких как озера), требуют значительных финансовых и временных затрат и могут иметь логистические ограничения.

Для крупных водоемов, таких как оз. Байкал (площадь ~31,7 тыс. км²), спутниковый мониторинг становится практически незаменимым инструментом. Он обеспечивает оперативное получение пространственно-временной информации о состоянии всей акватории и протекающих процессах, недоступной при использовании исключительно судовых и стационарных наблюдений.

Для оценки концентрации хлорофилла *a* в морях и океанах по спутниковым данным разработан и валидирован ряд универсальных моделей, широко применяемых исследователями [O'Reilly, Werdell, 2019[. Однако для континентальных водоемов подобные универсальные модели отсутствуют. Основная причина заключается в сложности учета специфических оптических характеристик каждого водоема, обусловленных уникальным составом и соотношением оптически активных компонентов. Поэтому для крупных озер, как правило, разрабатываются собственные региональные модели [Karimi, Hashemi, Aghighi, 2024; Monitoring … , 2023; Болданов, 2022; Satellite-derived … , 2023; Comparison … , 2016 Regional … , 2019; Quantification … , 2021].

Первые попытки оценки хлорофилла *a* в Байкале по спутниковым данным (спектрорадиометр AVHRR), описанные С. В. Семовским [1999], оказались неудачными.

Значительный прогресс достигнут в проекте CONTINENT (Бельгия, Германия, Испания, Швейцария, Великобритания, Россия/РАН) под эгидой BICER. На данных SeaWiFS и океанических алгоритмах OC2/OC4 разработаны эмпирические модели с корреляцией до 0,74 [Variation … , 2005].

В работе [Болданова, 2022] для данных Sentinel-2 и ЛИН СО РАН (май – июнь 2016 г.) протестированы известные 2-, 3- и 4-канальные алгоритмы, однако все они продемонстрировали низкую точность. В качестве альтернативы авторами предложена полиномиальная модель второй степени по каналу B3, но даже она обеспечила точность лишь с погрешностью 51 % [Болданова, 2022].

В данной работе для оценки пригодности спутниковых алгоритмов на оз. Байкал выполнены сравнительный анализ и валидация пяти океанических (OC2E, OC3, OC4, OC5, OC6) и 32 региональных моделей оценки концентрации хлорофилла *a*, представленных в работах [Karimi, Hashemi, Aghighi, 2024; O'Reilly, Werdell, 2019; Monitoring … , 2023; Болданов, 2022; Satellite-derived … , 2023; Comparison … , 2016; Regional … , 2019; Quantification … , 2021; A global … , 2019]. Использованы спутниковые данные сенсоров MODIS (Aqua/Terra; 1 км и 4,616 км), MSI/Sentinel-2 и OLCI/Sentinel-3 в сравнении с 324-мя экспедиционными измерениями ЛИН СО РАН (июль, сентябрь 2021 г., июнь – сентябрь 2022 г., май – сентябрь 2023 г.) и ФИЦ ИнБЮМ (июль 2018 г., сентябрь 2019 г.).

Статистический анализ выявил приемлемую точность океанических моделей для Байкала. Оптимальные результаты достигнуты алгоритмом OC3 на данных MODIS (Bias = –0,214, RMSE = 0,908, MAPE = 62,6 при 4,616 км) и алгоритмом OC2E [9] на данных MSI/Sentinel-2 (Bias = –0,158, RMSE = 0,722, MAPE = 52,1) и OLCI/Sentinel-3. Для мониторинга пространственно-временной динамики хлорофилла *a* в оз. Байкал рекомендуется комбинация: OC3 с данными MODIS и OC2E с данными Sentinel-2/3.

Список литературы

Болданова Е. В. Оценка трофности озера Байкал с использованием дистанционного зондирования // Географический вестник. 2022. Т. 2 (61). С. 73–89.

Семовский С. В. Водные экосистемы: от космических наблюдений к математическому моделированию. Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 1999. 200 с.

A global approach for chlorophyll-a retrieval across optically complex inland waters based on optical water types / C. Neil, E. Spyrakos, P. D. Hunter, A. N. Tyler // Remote Sensing of Environment. 2019. Vol. 229. P. 159–178. DOI: 10.1016/j.rse.2019.04.027

Comparison of satellite reflectance algorithms for estimating chlorophyll-a in a temperate reservoir using coincident hyperspectral aircraft imagery and dense coincident surface observations / R. Beck, S. Zhan, H. Liu [et al.] // Remote Sensing of Environment. 2016. Vol. 178. P. 15–30. DOI: 10.1016/j.rse.2016.03.002

Karimi B., Hashemi S. H., Aghighi H. Application of Landsat-8 and Sentinel-2 for retrieval of chlorophyll-a in a shallow freshwater lake // Advances in Space Research. 2024. Vol. 74. P. 117–129. DOI: 10.1016/j.asr.2024.03.056

Monitoring trophic status using *in situ* data and Sentinel-2 MSI algorithm: lesson from Lake Malombe, Malawi / R. Makwinja, Y. Inagaki, T. Sagawa [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. 2023. Vol. 30. P. 29755–29772. DOI: 10.1007/s11356-022-24288-8

O'Reilly J. E., Werdell P. J. Chlorophyll algorithms for ocean color sensors -OC4, OC5 & OC6 // Remote Sensing of Environment. 2019. Vol. 229. P. 32–47.

Quantification of chlorophyll-a in typical lakes across China using Sentinel-2 MSI imagery with machine learning algorithm / S. Li, K. Song, S. Wang [et al.] // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 778. Art. 146271. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146271

Regional models for highresolution retrieval of chlorophyll a and TSM concentrations in the Gorky Reservoir by Sentinel-2 imagery / A. A. Molkov, S. V. Fedorov, V. V. Pelevin [et al.] // Remote Sensing. 2019. Vol. 11. Art. 1215.

Satellite-derived multivariate worldwide lake physical variable timeseries for climate studies / L. Carrea, J.-F. Cr´etaux, X. Liu [et al.] // Scientific Data. 2023. Vol. 10. P. 30.

Variation in Lake Baikal's phytoplankton distribution and fluvial input assessed by SeaWiFS satellite data / B. Heim, H. Oberhansli, S. Fietz [et al.] // Global and Planetary Change. 2005. Vol. 46, N 1–4. P. 9–27. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2004.11.011

УДК 595.371.13

ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ *EULIMNOGAMMARUS VERRUCOSUS* ЗАПАДНОЙ ПОПУЛЯЦИИ

Ж. В. Петунина, Ю. С. Букин, Е. В. Романова, А. В. Юдинцева*

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: udinceva.a@yandex.ru*

Аннотация. Исследуются морфологические особенности байкальской эндемичной амфиподы *Eulimnogammarus verrucosus* (Gerstfeldt, 1858) из западной популяции по 21 признаку. Показано влияние факторов пола и географической приуроченности на особенности внешней морфологии вида. Половая принадлежность вносит основной вклад во внутривидовую изменчивость и достоверно влияет на 8 признаков. Различия в наборах значимых признаков для каждого фактора свидетельствуют об их дифференцированной роли. При помощи кластерного анализа выявлены косвенные признаки наличия интерсексуальных особей в популяции, однако по внешним первичным половым признакам данное явление не обнаружено.

Ключевые слова: морфологическая изменчивость, половой диморфизм, интерсексуальность, популяции, амфиподы, Байкал

Вид *Eulimnogammarus verrucosus* является широко распространенным представителем амфипод (Crustacea) прибрежной зоны Байкала. По данным Гуркова с соавторами, данный вид представлен в озере тремя популяциями: западной (W), восточной (E) и южной (S). Данное разделение основано на различиях последовательностей фрагментов генов *COI* и *18S*. Местом разделения южной и западной популяций *E. verrucosus*, вероятно, является исток р. Ангары. Показано, что особи трех популяций морфологически схожи и могут быть отнесены к виду *E. verrucosus* [Indication … , 2019]. Работа Дроздовой и др. (2022) подтвердила разделение этого вида на три группы по результатам филогенетического анализа 15 митохондриальных генов. Исследования показали различия в размере генома между особями *E. verrucosus* из трех популяций, а также наличие постзиготического репродуктивного барьера между особями западной и южной популяций [Experimental ... , 2022].

Установлено, что особи из западной и южной популяций морфологически неотличимы и имеют смежные ареалы. При этом для особей из восточной популяции выявлены морфологические особенности: 1) количество щетинок на дорсальной части метасомы и уросомы заметно меньше; 2) прерывистые чёрные полосы вдоль каудальных краёв сегментов тела (в отличие от непрерывных); 3) меньший размер тела [Indication of ongoing 2019]. Дроздова с соавторами [2022] предполагают, что особи из западной и южной популяций являются скрытыми видами, а особи из восточной популяции – псевдоскрытым.

По данным Вяйноля с соавторами (2024), *E. verrucosus* разделяется на три основные группы и две подгруппы по частотам аллелей ядерных локусов аллозимов. При этом поток генов через границы групп, вероятно, всё ещё сохраняется. Исследователи рассматривают криптическое подразделение *E. verrucosus* как модельный пример комплекса подвидов. Такая структура могла возникнуть в результате постледникового распространения из ряда (по крайней мере восьми) локальных рефугиумов [Congruent … , 2024].

Итак, *E. verrucosus* является удобным объектом для исследований процессов микроэволюции, в том числе благодаря установленной внутривидовой подразделенности на группы (мы используем данную терминологию вследствие отсутствия единого мнения об их таксономическом статусе в современной литературе). Исследование морфологических особенностей представителей разных групп внутри *E. verrucosus* позволит определить, сопровождаются ли различия, наблюдаемые на генетическом уровне, морфологической изменчивостью, а также выявить морфологические характеристики групп и влияние экологических факторов на эти признаки. Подобные исследования позволяют уточнить диагнозы и

выявить скрытое разнообразие байкальских амфипод. Анализ полового диморфизма необходим для понимания его механизмов и популяционной динамики.

Целью исследования является изучение полового диморфизма у представителей вида *E. verrucosus* из западной популяции по 21 морфологическому признаку и анализ взаимосвязи морфологических признаков с географической приуроченностью.

Проанализировано 25 особей *E. verrucosus* из пяти станций западного берега оз. Байкал. Видовая принадлежность устанавливалась при помощи определителя Базикаловой [1945]. У каждой особи определяли пол по внешним первичным половым признакам (самец, самка, интерсекс) и измеряли 21 пластический признак. Обработка и анализ данных проводились в среде программирования R версии 4.2.2.

В результате анализа установлено влияние половой принадлежности и географической приуроченности на изменчивость некоторых морфологических признаков. Фактор пола достоверно влияет на 8 из 21 измеренного признака. В свою очередь, фактор географической приуроченности также влияет на 8 из 21 морфологического признака. Однако перечень изменяющихся признаков под влиянием этих факторов различается, что указывает на их различную функциональную значимость: часть из них играет ключевую роль в половом поведении, тогда как другие важны для экологической адаптации.

Для западной группы *E. verrucosus* не было обнаружено интерсексуальных особей по внешним первичным половым признакам. Тем не менее в результате кластерного анализа при заданном разделении на две группы сформировались: гомогенный кластер по морфологическим признакам, состоящий исключительно из особей женского пола (12 особей), и гетерогенный кластер, включающий как особи женского (7 особей), так и мужского пола (6 особей). Причиной бимодального распределения морфологических признаков у самок может являться наличие в популяции интерсексуальности (в том числе скрытой).

Перечень морфологических признаков, изменяющихся под влиянием факторов пола и географической приуроченности, может быть использован для дальнейшего исследования динамики групп вида *E. verrucosus*, в том числе для изучения характера полового диморфизма и интерсексуальности, анализа степени внутривидовых различий по внешним признакам строения тела на уровне отдельных групп, и оценки влияния факторов среды на эти признаки. Это позволит глубже изучить микроэволюцию байкальских амфипод и уточнить таксономический статус внутривидовых групп *E. verrucosus*.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке темы бюджетного финансирования № 0279-2021-0010 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Лимнологического института Сибирского отделения Российской академии наук.

Список литературы

Базикалова А. Я. Амфиподы озера Байкал // Труды Байкальской лимнологической станции. 1945. Т. 11. С. 370.

Congruent and Hierarchical Intra-Lake Subdivisions from Nuclear and Mitochondrial Data of a Lake Baikal Shoreline Amphipod / R. Väinölä, T. Kontula, K. Mashiko, R. M. Kamaltynov // Diversity. 2024. Vol. 16, N 11. P. 706. DOI: 10.3390/d16110706

Experimental Crossing Confirms Reproductive Isolation between Cryptic Species within *Eulimnogammarus verrucosus* (Crustacea: Amphipoda) from Lake Baikal / P. Drozdova, A. Saranchina, E. Madyarova [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23, N 18. Art. 10858. DOI: 10.3390/ijms231810858

Indication of ongoing amphipod speciation in Lake Baikal by genetic structures within endemic species / A. Gurkov, L. Rivarola-Duarte, D. Bedulina [et al.] // BMC Evolutionary Biology. 2019. Vol. 19. P. 1–16. DOI: 10.1186/s12862-019-1470-8

УДК 595.371.13

АНАЛИЗ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ В ПОПУЛЯЦИЯХ *GMELINOIDES FASCIATUS* ОЗЕРА БАЙКАЛ

Ж. В. Петунина[1]*, Ван Ю. [1], Ю. С. Букин[1,2]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Иркутский государственный университет, Биолого-почвенный факультет (Россия, 6640003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
**Автор для переписки: petuninajmk@mail.ru*

Аннотация. Настоящее исследование посвящено анализу изменчивости внешних признаков строения тела и его придатков у байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing 1899). Впервые получены данные измерений 21 морфологического признака особей этого вида из четырех генетических популяций трёх котловин озера. Выявлена внутривидовая морфологическая дифференциация *G. fasciatus*. Показана согласованность морфологической и генетической изменчивости: существуют четыре внутривидовые морфологические группы, более ярко выраженные у самок, с характерными различиями. Приуроченность самок к одной из котловин озера также отражается на их морфологии формированием трех достоверно различимых групп. Среди причин формирования групп могут быть многолетние различия в условиях обитания. Предложены количественные морфологические признаки, пригодные для сравнительного анализа отдельных популяций *G. fasciatus*.

Ключевые слова: морфологическая изменчивость, внутривидовое разнообразие, популяции, амфиподы, зообентос, Байкал

Вид *Gmelinoides fasciatus* является широко распространенным представителем амфипод (Crustacea) прибрежной зоны Байкала, расселившимся далеко за пределы озера. По данным Гоманенко с соавторами на основании различий последовательностей фрагментов генов mt*COI* этот вид представлен в озере четырьмя популяциями: юго-западной, юго-восточной, центральной и северной [Популяционная … , 2005]. Последовательности же интрона гена (ядерный маркер), кодирующего бета-субъединицу АТФ-синтазы, в исследовании Коваленковой с соавторами демонстрируют немного другую популяционную структуру вида: существует три популяции с границами, частично отличающимися от таковых по митохондриальному маркеру [Kovalenkova, Petunina, Sherbakov, 2015]. Ранее для *G. fasciatus* был показан ярко выраженный половой диморфизм [Sexual … , 2020]. Целью настоящего исследования послужило выявление морфологических различий между представителями четырех популяций *G. fasciatus*.

Проведены измерения 21 морфологического признака 80 экземпляров половозрелых самцов и самок этого вида из всех генетических популяций, представленных в оз. Байкал, и обитающих в водах всех котловин озера (Северная, Центральная, Южная). Статистический анализ выполнен в среде программирования R с привлечением функций пакета vegan v.2.6-10 [Community … , 2013].

Выявлена внутривидовая морфологическая дифференциация *G. fasciatus*: описаны различия между самками этого вида амфипод. Для самок по результатам многомерного шкалирования характерны различия в зависимости от принадлежности к генетической популяции и местообитанию в водах одной из трех котловин озера, тогда как для самцов наличие различий не подтверждается. Приуроченность места обитания к западному или восточному берегу оз. Байкал не является фактором морфологической эволюции *G. fasciatus*. Набор признаков, по которым самки разных котловин достоверно отличаются друг от друга, совпадает за некоторым исключением с таковым при разделении самок из разных популяций озера.

Морфологические признаки самок популяций *G. fasciatus* изменяются в соответствии с географическими дистанциями между этими популяциями на замкнутом ленточной ареале. Ранее было показано, что наибольший вклад в разделение самок и самцов вносят такие признаки, как длина и ширина проподитов гнатоподов первой и второй пар грудных конеч-

ностей, однако различия обнаружены и по ряду других признаков [Sexual … , 2020]. В настоящем исследовании показана согласованность морфологической и генетической изменчивости. Предложены количественные морфологические признаки, пригодные для сравнительного анализа отдельных популяций *G. fasciatus*: длина первого-третьего членика стебелька антенны I; длина и ширина проподитов гнатоподов первой и второй пар, а также базиподитов переоподов третьей-пятой пар грудных конечностей; ширина тельсона; длина наружной ветви уроподов третьей пары брюшных конечностей.

Результаты работы будут полезны: для исследования изменчивости особей из внебайкальских популяций *G. fasciatus*, а также внутривидовой изменчивости некоторых других близкородственных видов байкальских амфипод; для исследования и анализа микроэволюционных процессов. Перечень морфологических признаков, предложенных в данной работе, может быть использован для дальнейшего исследования динамики популяций вида *G. fasciatus*, для анализа влияния факторов среды на формирование тех или иных признаков морфологии вида. Полученные данные позволят глубже изучить микроэволюционные процессы исследуемого вида и уточнить таксономический статус внутривидовых групп *G. fasciatus*.

Благодарности. Работа выполнена в рамках ГЗ № 121032300196-8.

Список литературы

Популяционная структура байкальского бокоплава *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing) / Г. В. Гоманенко, Р. М. Камалтынов, Ж. В. Кузьменкова [и др.] // Генетика. 2005. Т. 41, № 8. С. 1108–1114.

Community ecology package. R package version 2(0) / J. Oksanen, F. G. Blanchet, R. Kindt [et al.]. 2013. P. 321–326.

Kovalenkova M. V., Petunina J. V., Sherbakov D. Yu. Nuclear and mitohondrial polymorphism in baikalian of *Gmelinoides fasciatus* // Modern achievements in population, evolutionary, and ecological genetics: Program and Abstracts of VIII Int. Symp., Vladivostok, 1–10 Sept. 2015. Vladivostok, 2015. P. 43.

Sexual dimorphism of Baikalian amphipoda *Gmelinoides fasciatus* (Crustacea, Amphipoda) / J. V. Petunina, Van Y., I. V. Mekhanikova, Yu. S. Bukin // Limnology and Freshwater Biology. 2020. N 4. P. 807–809. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-807

УДК 550.424:551.24

ПОДВОДНАЯ РАЗГРУЗКА НАЗЕМНОГО ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА КОТЕЛЬНИКОВСКИЙ (ГУБА ГОРЯЧИНСКАЯ ОЗ. БАЙКАЛ)

Т. В. Погодаева*, Н. А. Онищук, В. Г. Иванов, К. М. Кучер, С. М. Черницына, Т. В. Наумова, Т. Я. Ситникова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: tatyana@lin.irk.ru*

Аннотация. Впервые в губе Горячинская (оз. Байкал) установлена подводная разгрузка наземного гидротермального источника Котельниковский. Исследован основной химический состав, микроэлементный состав, окислительно-восстановительные характеристики вод наземного источника Котельниковский, пруда и излива вод в оз. Байкал, а также придонных и поровых вод донных отложений губы Горячинская. Полученные результаты свидетельствуют о существовании единого очага наземной и подводной разгрузки вод. Поровые воды, как и воды наземного источника, значительно обогащены макро и микрокомпонентами со схожими соотношениями между ними. Подводная разгрузка гидротермальных вод не оказывает существенного влияния на состав придонной воды губы Горячинская.

Ключевые слова: Байкал, источник Котельниковский, поровые воды, химический состав, микроэлементы, разгрузка флюидов

Источник Котельниковский расположен на берегу южной части губы Горячинская (оз. Байкал) в 20–30 м от уреза воды. С появлением (ТНПА) «Ровбилдер» открылись новые возможности поиска его подводных проявлений. Отбор донных отложений осуществлялся с борта НИС «Папанин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала») на глубине 135–175 м прицельно ковшом робота и гравитационной трубой. Поровые воды отделяли центрифугированием. Содержание анионов определяли на борту судна на жидкостном хроматографе «Милихром А-02». Содержание катионов определяли в подкисленной фильтрованной поровой воде на спектрометре ContrAA-800 Analytik Jena, микроэлементов – на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500ce в Центре ультрамикроанализа ЛИН СО РАН. Аналогично исследовали воды наземного источника Котельниковский, пруда и излива вод в оз. Байкал. Воды наземного источника с минерализацией 0,3 г/л соответствуют полувековым данным [Ломоносов, 1974]. Поровые воды, как и воды наземного источника, обогащены макро (Na, SO_4^{2-}, Cl, F, Si) и микрокомпонентами (Li, Sr, Rb, W, Cs, B, As, REE и др.) со схожими соотношениями между ними. Полученные результаты свидетельствуют о существовании единого очага наземной и подводной разгрузки вод. Также установлено, что подводная разгрузка гидротермальных вод не оказывает существенного влияния на состав придонной воды губы Горячинская.

Благодарности. Работа выполнена в рамках гос. задания ЛИН СО РАН 121032300180-7, 121032300154-8, 121032300223-1, 121032300199-9, 0279-2021-0014. Авторы признательны за помощь в выполнении исследований команде НИС «Папанин».

Список литературы

Ломоносов И. С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск : Наука, 1974. 168 с.

УДК 552.142:550.424:551.214/24

ЙОД В ПОРОВЫХ ВОДАХ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРЕСНОВОДНОГО ГЛУБОКОВОДНОГО ОЗЕРА БАЙКАЛ

Т. В. Погодаева*, Н. А. Онищук, А. В. Хабуев, О. М. Хлыстов

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: e-mail tatyana@lin.irk.ru*

Аннотация. Впервые представлены данные о содержании йода в воде и поровых водах донных отложений уникального глубокого пресноводного оз. Байкал. Установленное содержание йода в воде озера (1 мкг/л) характерно для пресных вод центральных континентальных районов. В пелагических отложениях озера содержание йода в поровой воде ниже, чем то же в более мелких озёрах и составляет 50–100 мкг/л. В отложениях структур разгрузки нефти, газа и присутствия газовых гидратов обнаружено сильное обогащение поровых вод йодом до 1800 мкг/л, связанное с глубинными флюидами. Выявленные градиенты (до 650 мкг/л·м$^{-1}$), сопоставимы с подобным в структурах континентальных окраин океана по всему миру. Йод маркер разгрузки флюидов и в отложениях оз. Байкал.

Ключевые слова: йод, пресноводное озеро, поровые воды, газовые гидраты, разгрузка флюидов, Байкал

Йод является жизненно важным микроэлементом, основное содержание которого приходится на морские (океанические) отложения [Commemorating … , 2011]. Обогащение им в отложениях связано с органическим веществом, разложение которого вследствие диагенеза высвобождает йод в поровую воду. В пелагических отложениях океана его содержание в поровой воде составляет 500–900 мкг/л (при 45–60 мкг/л в морской воде) [Шишкина, 1972; Kennedy, Elderfield, 1987], при этом до 150 000 мкг/л регистрируется в поровой воде континентальных окраин в районах разгрузки флюидов и, особенно, областях, содержащих газовые гидраты [Pore-Water … , 2022]. В поровых водах пресноводных водоемов концентрация йода составляет от 150–520 мкг/л в отложениях олиготрофных озер, до 800–1400 мкг/л – в отложениях, богатых органическим веществом (при 1–10 мкг/л в пресной воде) [Gilfedder, Petri, Biester, 2009]. Озеро Байкал уникально для исследований в этом ключе. С одной стороны, это крупнейшее пресноводное озеро в мире с чистой водой низкой минерализации и низким содержанием органического углерода. С другой стороны, это единственное в мире озеро, в отложениях которого присутствуют газовые гидраты. При этом до настоящего времени не имеется никаких данных о содержании йода в поровых водах отложений, как впрочем, и в воде Байкала.

Для исследования были отобраны придонные и поровые воды отложений пелагиали (депоцентры осадконакопления Южной и Северной котловин), изолированного от терригенных источников Академического Хребта, отложений структур разгрузки нефти, газа и присутствия газовых гидратов (всего около 400 проб на 30 станциях на глубину отложений до 5 м).

Отбор отложений осуществлялся с борта НИС «Г. Ю. Верещагин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала») гравитационными и бентосными трубами. Поровые воды отделяли центрифугированием (20 мин, 8000 об/мин; 10 мин, 14000 об/мин). Содержание йода определяли в подкисленной (pH 2) фильтрованной (0,20 мкм, ацетат целлюлозы, Владисарт, Россия) поровой воде на квадрупольном масс-спектрометре Agilent 7500ce в Центре ультрамикроанализа Лимнологического института СО РАН.

Концентрации йода в придонной воде озера составили 0,8–1,5 мкг/л, что характерно для поверхностных пресных вод центральных континентальных и горных районов [Gilfedder, Petri, Biester, 2009]. При этом схожие концентрации йода регистрировались в придонных водах как фоновых районов пелагиали, так и районов нефте-газовой разгрузки.

В отложениях Академического Хребта, подверженного сильным течениям и изолированного от терригенных источников материала, где регистрируются самые низкие скорости осадконакопления (0,015–0,04 мм/год) и самое низкое содержание органического углерода

(0,3 %), концентрации йода в поровых водах составили 50 мкг/л и имели практически прямолинейный вертикальный (с нулевым градиентом) профиль на протяжении 5 м. В отложениях пелагиали (депоцентрах Южной и Северной котловин) со скоростями осадконакопления (0,8–1,0 и 0,5–0,7 мм/год) и содержанием органического углерода (≈ 2,3 % и 1,8 %), наблюдается некоторое (с градиентом 14–16 мкг/л·м$^{-1}$) обогащение поровых вод йодом, достигая 110 и 80 мкг/л к 3 м отложений, при этом выявляется четкая зависимость содержаний йода и органического углерода.

Аномально высокие концентрации йод обнаруживает в районах структур фокусированной разгрузки флюидов. Из-за схожих коэффициентов диффузии йода и метана, а также из-за незначительного сродства йода к взаимодействию с окружающими отложениями, в осадочных средах с избыточным давлением йод мигрирует в водных флюидах совместно с метаном, маркируя его перемещения в структурах фокусированной разгрузки [Halogen … , 2007]. Максимальные концентрации йода (до 1800 мкг/л) регистрируются в Средней котловине в структурах Гидратного разлома. При этом градиенты концентрационных профилей, отражающие интенсивность разгрузки [Pore-Water … , 2022], составляют 650 мкг/л·м$^{-1}$, что соизмеримо с градиентами йода в структурах континентальных окраин по всему миру (у берегов Северной Америки, Перу, Японии, Новой Зеландии, Тайваня). Несколько ниже значения и градиенты определяются в районах нефте-газовой разгрузки Горевой Утес и Толстый, затем в зоне накопления дельты р. Селенги (метановые сипы Посольская Банка, Песчанка, Красный Яр; г/в Маленький, К2), районе залегания древних осадочных толщ (г/в Кедр).

Таким образом, содержание йода в поровой воде оз. Байкал низко и определяется содержанием органического углерода в отложениях; значительное обогащение йодом и его характер, подобно континентальным окраинам океана, является маркером и показателем активности разгрузки глубинных флюидов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках гос. задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0014 и гос. задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0006. Авторы признательны за помощь в выполнении исследований команде НИС «Г. Ю. Верещагин».

Список литературы

Шишкина О. В. Геохимия морских и океанических иловых вод. М. : Наука, 1972. 228 с.

Commemorating Two Centuries of Iodine Research: An Interdisciplinary Overview of Current Research / F. C. Küpper, M. C. Feiters, B. Olofsson [et al.] // Angew. Chem. Int. Ed. 2011. Vol. 50. P. 11598–11620. DOI: 10.1002/anie.201100028

Gilfedder B. S., Petri M., Biester H. Iodine speciation and cycling in fresh waters: a case study from a humic rich headwater lake (Mummelsee) // J. Limnol. 2009. Vol. 68. P. 396–408. DOI: 10.3274/JL09-68-2-22

Halogen concentrations in pore waters and sediments of the Nankai Trough, Japan: Implications for the origin of gas hydrates / Y. Muramatsu, T. Doi, H. Tomaru [et al.] // Appl. Geochem. 2007. Vol. 22, N 3. P. 534–556. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2006.12.015

Kennedy H. A., Elderfield H. Iodine diagenesis in pelagic deep-sea sediments // Geochim. Cosmochim. Acta. 1987. Vol. 51, N 9. P. 2489–2504. DOI: 10.1016/0016-7037(87)90300-0

Pore-Water Geochemical Gradients of Sulfate, Calcium, Magnesium, and Iodide Correlated With Underlying Gas Hydrate Potential: A Case Study of the Shenhu Area, South China Sea / X. Ai, R. Zha, Y. Lai [et al.] // Front. Earth Sci. 2022. Vol. 10. Art. 882207

УДК 639.2.05(470.22)

ИЗМЕНЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РЫБ КИЖСКИХ ШХЕР ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА: РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА

В. Р. Погосян[1,2*], В. Н. Коваленко[1,3]

[1]Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
(Россия, 185030, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50)
[2]Петрозаводский государственный университет
(Россия, 185910, Петрозаводск, просп. Ленина, 33)
[3]Карельский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
(Россия, 185035, Петрозаводск, ул. Анохина, 29А, 6-Н)
**Автор для переписки: po.va.ru@yandex.ru*

Аннотация. Проведён мониторинг ихтиофауны Кижских шхер Онежского озера в условиях антропогенной нагрузки. Исследованы 4 промысловых вида: окунь (доминирующий, 53 % улова), лещ, щука и судак. Выявлены особенности размерно-возрастной и половой структуры: преобладание самок у окуня (85 %) и щуки (75 %), самцов у леща (57 %). Судак встречался редко. Популяции сохраняют типичные для Онежского озера характеристики, но отмечены изменения, связанные с антропогенным воздействием.

Ключевые слова: Онежское озеро, Кижи, Карелия, ихтиофауна, рыбы, размер, возраст

Онежское озеро – второе по величине пресноводное озеро Европы, 80 % его акватории расположено в Карелии. Северные берега скалистые и изрезанные, южные – низкие и слаборасчленённые [Онежское озеро, 2010]. В северной части озера находится о. Кижи, где в 1989 г. создан федеральный заказник «Кижский», ежегодно посещаемый более 360 тыс. туристов. Учитывая антропогенную нагрузку, необходима оценка современного состояния ихтиоценозов Кижских шхер.

В 2023–2024 гг. проведены исследования ихтиофауны Кижских шхер Онежского озера. Сбор материала осуществлялся на семи станциях в районе островов Малый Леликовский, Большой Леликовский и Кижи с использованием жаберных сетей с ячеёй 20–60 мм. Обработка пойманных рыб проводилась по стандартным методикам с измерением основных биометрических показателей и определением возраста [Правдин, 1966; Чугунова, 1959].

В уловах преобладали четыре промысловых вида рыб: судак (*Sander lucioperca*), щука (*Esox lucius*), лещ (*Abramis brama*) и окунь (*Perca fluviatilis*). Судак встречался редко (3 особи), при этом его размерно-весовые показатели соответствовали средним значениям для данного вида в озере [Стерлигова, Павлов, Ильмаст, 2012]. В выборке щуки (16 экз.) отмечено преобладание самок (соотношение 3:1), большинство особей принадлежало к возрастным группам 4+…5+. Среди пойманных лещей (47 особей) доминировали рыбы возрастом 6+…7+ лет, что характерно для эвтрофированных заливов [Георгиев, 2014]. Окунь оказался наиболее многочисленным в уловах (72 особи), причём 85 % выборки составляли самки. Все особи старше 4+ лет перешли на хищный тип питания, а их размерные характеристики соответствовали данным по другим озёрам Карелии [Широков, Черепанова, Георгиев, 2019].

Проведённые исследования позволили сделать ряд важных выводов. Доминирующим видом оказался окунь (53 % улова), что объясняется благоприятными условиями мелководий, богатой кормовой базой и наличием двух экологических форм. Популяция леща (27 %) характеризовалась преобладанием молоди на нагульных участках. Щука (17 %) была представлена преимущественно первыми половозрелыми генерациями (4+…5+ лет). Судак встречался единично (3 %), что свидетельствует о его низкой численности в исследуемом районе. Все виды демонстрировали типичные для Онежского озера размерно-весовые показатели. Наблюдаемая вариабельность роста, особенно выраженная у окуня, связана с до-

ступностью кормовых ресурсов и абиотическими факторами среды. Полученные результаты важны для понимания структуры рыбных сообществ шхер и разработки мер по сохранению биоразнообразия. В перспективе необходим мониторинг кормовой базы и дополнительные исследования трофических связей, а также отслеживание динамики численности судака как уязвимого вида.

Благодарности. Данное исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-20018, https://rscf.ru/project/23-17-20018/», проводимого совместно с органами власти Республики Карелия с финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (ФВИ РК).

Список литературы

Георгиев А. П. Роль рыб семейства окуневых (Percidae) в рыбохозяйственном отношении в условиях Онежского озера // JSRP. 2014. № 11(15).

Онежское озеро. Атлас / ред. Филатов Н. Н. Петрозаводск : КарНЦ РАН. 2010. 151 с.

Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). М. : Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.

Стерлигова О. П., Павлов В. Н., Ильмаст Н. В. Сравнительная биологическая характеристика судака Sander lucioperca (L.) озер Онежского и Выгозера // Биология внутренних вод. 2012. № 2. С. 55–60.

Чугунова Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб: метод. пособие по ихтиологии. М. : Изд-во АН СССР, 1959. 165 с.

Широков В. А., Черепанова Н. С., Георгиев А. П. Рыбохозяйственная характеристика окуня (Perca fluviatilis L.) в некоторых водоемах Республики Карелия // Известия Самарского научного центра РАН. 2019. № 2.

УДК 615.32.099:639.41.043.2

ВЛИЯНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА ФИКОБИЛИПРОТЕИНОВ НА ВЗРОСЛЫХ ТИХООКЕАНСКИХ УСТРИЦ (*MAGALLANA GIGAS*)

М. С. Подольская*, А. А. Ткачук, В. В. Парфенов, Т. А. Кухаерва, А. Ю. Андреева

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН
(Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова, 2)
**Автор для переписки: podolskaya_m99@bk.ru*

Аннотация. В работе оценивается влияние водного экстракта фикобилипротеинов (ФБП) из спирулины *Arthrospira platensis* на гигантскую устрицу *Magallana gigas*. Устрицы подвергались воздействию экстракта в трех концентрациях – 2 мкг/мл, 20 мкг/мл и 200 мкг/мл в течение 24–48 ч. В результате исследования выявлено увеличение интенсивности дыхания (до 363 % при 200 мкг/мл), что может свидетельствовать об активации фильтрационной активности. Высокие концентрации ФБП (20–200 мкг/мл) вызывали сдвиг клеточного состава гемолимфы в сторону увеличения доли агранулярных клеток (агранулоцитов и гиалиноцитов), а также угнетали метаболизм гемоцитов устриц. При этом инкубация моллюсков с экстрактом не вызывала их гибели, а также не провоцировала апоптоз в гемоцитах. Результаты работы свидетельствуют о низкой токсичности водного экстракта ФБП по отношению к взрослым устрицам, что подтверждает возможность его использования в качестве кормовой добавки для устриц при концентрациях ниже 200 мкг/мл.

Ключевые слова: фикобилипротеины, *Magallana gigas*, аквакультура, гемоциты, дыхательная активность

Гигантская устрица *Magallna gigas* является массовым объектом в России и мире, встречается в естественных местообитаниях побережья Японского моря в Приморье, а также была успешно интродуцирована в Черное море для выращивания на фермах [Lisitskaya, Shchurov, 2024]. Ввиду роста и усложнения отечественной аквакультуры двустворчатых моллюсков, отрасль все чаще нуждается в решении таких проблем, как высокие риски развития инфекций, повышение усвояемости кормов, снижения общего уровня стресса у производителей молоди, которые могут привести к потерям качества и объемов получаемой продукции. В связи с этим возникает потребность в применении различных кормовых добавок, обладающих широким спектром биологической активности. Перспективным направлением является применение фикобилипротеинов (ФБП) спирулины (*Arthrospira platensis*). ФБП оказывают антиоксидантное, иммуномодулирующее, противовоспалительное и антимикробное действие, а также стимулируют аппетит у водных организмов, положительно влияют на параметры их роста [Bioactive … , 2022]. В данной работе оценивалось влияние водного экстракта ФБП из *A. platensis* на функциональное состояние промыслового вида двустворчатых моллюсков, гигантской устрицы *M. gigas*.

Экстракт ФБП получали из биомассы *A. platensis* методом замораживания-размораживания с последующей спектрофотометрической оценкой концентрации пигментов. В эксперименте использовали взрослых устриц *M. gigas* ($n = 101$), разделенных на 4 группы: контроль и три опытные группы с концентрациями экстракта 2, 20 и 200 мкг/мл. Устрицы содержались в воде с экстрактом в течение 24 и 48 ч. В работе оценивали интенсивность дыхания устриц, а также методом проточной цитометрии с применением специфических флуоресцентных красителей анализировали клеточный состав гемолимфы, метаболическую активность гемоцитов и активацию в них апоптоза. Статистическая обработка данных проведена с использованием двухфакторного дисперсионного анализа (ANOVA) в программе GraphPad Prism ($p < 0,05$). Различия между конкретными экспериментальными группами и контрольной группой (post-hoc анализ) рассчитывали с помощью критерия Даннета.

В результате исследования было выявлено, что экстракт ФБП не вызывает гибели взрослых устриц *M. gigas* в ходе эксперимента. Установлено дозозависимое увеличение потребления кислорода устрицами на 227–363 % по сравнению с контролем. Максимальный эффект (363 %) отмечен при 200 мкг/мл через 24 ч. Увеличение дыхательной активности (до 363 %) свидетельствует об интенсификации фильтрации, что согласуется с ранее полученными данными о трофической стимуляции у двустворчатых моллюсков [Sobral, Widdows, 1997]. С другой стороны, ряд исследователей рассматривает повышение потребления кислорода как маркер стрессового состояния при воздействии экотоксикантов [Sokolova, 2004; Kamermans, Saurel, 2022]. Установлено, что доля гранулоцитов в гемолимфе устриц, подвергшихся воздействию высоких концентраций экстракта ФБП (200 мкг/мл), через 48 ч снизилась на 15–20 % с одновременным увеличением агранулоцитов и гиалиноцитов. Инкубация устриц с экстрактом ФБП снижала метаболическую активность клеток гемолимфы на 25–30 % при концентрации экстракта ФБП 20–200 мкг/мл. Изменения были достоверными относительно контрольной группы ($p < 0{,}0001$). Снижение метаболической активности гемоцитов может быть признаком общего угнетения механизмов внутриклеточного уничтожения патогенов и ослаблением роли клеток гемолимфы как эффекторов клеточного иммунного ответа устриц [Renault, 2015]. Что касается измерения уровня апоптоза – достоверных изменений относительно контроля не выявлено. Таким образом, водный экстракт ФБП из спирулины перспективен для применения в аквакультуре устриц в концентрациях ниже 200 мкг/мл, однако необходимы дальнейшие исследования для оптимизации дозировок и оценки долгосрочных эффектов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 24-16-00245 Оценка иммуномодулирующих и антиоксидантных свойств водного экстракта фикобилипротеинов (С-фикоцианин, В-фикоэритрин), перспективной кормовой добавки для гигантской устрицы *Magallana gigas.*

Список литературы

Bioactive immunostimulants as health-promoting feed additives in aquaculture: A review / S. Vijayaram, Y. Z. Sun, A. Zuorro [et al.] // Fish & Shellfish Immunology. 2022. Vol. 130. P. 294–308.

Immunity in molluscs: recognition and effector mechanisms, with a focus on bivalvia / M. Gerdol, M. Gomez-Chiarri, M. G. Castillo [et al.] // Advances in comparative immunology. 2018. P. 225–341. DOI: 10.1007/978-3-319-76768-0_11

Kamermans P., Saurel C. Interacting climate change effects on mussels (Mytilus edulis and M. galloprovincialis) and oysters (*Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis*): experiments for bivalve individual growth models // Aquatic Living Resources. 2022. Vol. 35(e). P. 1. DOI: 10.1051/alr/2022001

Lisitskaya E. V., Shchurov S. V. The first record of larval *Crassostrea gigas* (Thunberg 1793) (Bivalvia, Ostreidae) from the Black Sea // Biol Bull Russ Acad Sci. 2024. Vol. 51, N 9. P. 2688–2692. DOI: 10.1134/S1062359024701516

Renault T. Immunotoxicological effects of environmental contaminants on marine bivalves // Fish & shellfish immunology. 2015. Vol. 46, N 1. P. 88–93.

Sobral P., Widdows J. Influence of hypoxia and anoxia on the physiological responses of the clam *Ruditapes decussatus* from southern Portugal // Marine Biology. 1997. Vol. 127. P. 455–461.

Sokolova I. M. Cadmium effects on mitochondrial function are enhanced by elevated temperatures in a marine poikilotherm, *Crassostrea virginica* Gmelin (Bivalvia: Ostreidae) // Journal of Experimental Biology. 2004. Vol. 207, N 15. P. 2639–2648. DOI: 10.1242/jeb.01054

УДК 595.324.4

ВСТРЕЧАЕМОСТЬ *PLEUROXUS DENTICULATUS* BIRGE, 1879 (CLADOCERA: CHYDORIDAE) В ВОДОЕМАХ СЕВЕРА ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ (СРЕДНЕЕ ПОВОЛЖЬЕ)

В. Н. Подшивалина[1, 2]*, Н. Г. Шевелева[3]

[1]Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова
(Россия, 428015, Чебоксары, Московский просп., 15)
[2]Государственный природный заповедник "Присурский"
(Россия, 428034, Чебоксары, пос. Лесной, 9)
[3]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: verde@mail.ru*

Аннотация. Изучение фауны планктонных беспозвоночных на севере Приволжской возвышенности ведется с 2002 г. В составе фауны ветвистоусых рачков установлено обитание шести видов из рода *Pleuroxus* Baird, 1843, пять из которых широко распространены в водоемах Северной Евразии. Рачок *P. denticulatus* (Birge, 1879) широко распространен в Северной Америке, а на территории Евразии, вероятно, является видом-вселенцем. Целью работы стало описание находок этого инвазивного вида на севере Приволжской возвышенности. Найденные в собранном материале самки имеют характерные для вида морфологические особенности.

Ключевые слова: Cladocera, *Pleuroxus*, морфология, распространение, инвазии

Род *Pleuroxus* Baird, 1843 распространен повсеместно, в Северной Евразии представлен пятнадцатью видами [Ветвистоусые … , 2021]. В водных объектах севера Приволжской возвышенности (Среднее Поволжье) в ходе исследований зоопланктона стандартными методами с 2002 г. установлено обитание шести видов данного рода. Из числа найденных нами таксонов *P. laevis* (Sars, 1862), *P. striatus* (Schödler, 1862), *P. aduncus* (Jurine, 1820), *P. trigonellus* (O. F. Müller, 1785), *P. truncatus* (O. F. Müller, 1785) и *P. uncinatus* Baird, 1850 широко распространены в водоемах Северной Евразии, а *P. striatus* также входит в состав фауны ветвистоусых в Северной Америке и Африке [Smirnov, 1996], рачок *P. denticulatus* (Birge, 1879) широко распространен в Северной Америке, найден также в некоторых районах Палеарктики [Smirnov, 1996] и на западе Центральной Африки [Chiambeng, Dumont, 2004]. Согласно современным представлениям [Ветвистоусые … , 2021], в Западной и Центральной Европе и Восточном полушарии в целом последний, вероятно, является видом-вселенцем. В бассейне верхнего течения р. Сура (центральная часть Приволжской возвышенности) вид не отмечался [Фаунистический … , 2023]. Одновременно, наряду с обычными для региона представителями рода здесь обнаружен *P. similis* (Vávra, 1900), характерный для дождевых тропических лесов [Chiambeng, 2004].

Все перечисленные виды *Pleuroxus*, являясь типичными для севера Приволжской возвышенности, встречаются относительно редко в исследованных водных объектах (встречаемость 0,5–5 %), преимущественно в открытой или заросшей литорали пойменных озер, а также в прибрежье в малых реках, в запрудах на ручьях.

Рачок *P. denticulatus* был отмечен в литорали пойменных озер Верхнее и Башатеры в пределах охранной зоны Государственного природного заповедника «Присурский» (пойма р. Сура, правый приток Волги в среднем течении (Чебоксарское водохранилище)) в 2018 г. и в небольшом пойменном водоеме в пойме р. Була (бассейн р. Свияга, правый приток Волги в среднем течении (Куйбышевское водохранилище)) на территории Батыревского участка заповедника в 2021 г.

Найденные в собранном материале самки имеют характерные длинные узкие зубцы (у всех экземпляров – по 3, дистальный из них отчетливо загнут вниз) на задне-вентральном углу имеющей отчетливую линейную ретикуляцию створки, длинный постабдомен со слабо выступающим дистальным углом, хорошо выраженным преанальным углом и укруп-

ненными первыми двумя дистальными анальными зубцами, с дополнительными мелкими шипиками у основания тонких заостренных маргинальных зубцов. Перечисленные признаки соответствуют диагностическим характеристикам вида [Ветвистоусые … , 2021].

Вид также был обнаружен в расположенном выше по отношению к исследованным притоке Средней Волги [Zhikharev, Sinev, Shurganova, 2022] и в других малых реках бассейна Средней Волги [Сиротина, 2017].

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы «Изучение естественного хода процессов и явлений в целях сохранения природной среды на территории заповедника «Присурский» и его охранной зоны (1-25-70-1)», зарегистрированной в ЕГИСУ НИОКТР для заповедника «Присурский» (№ 1024040300018-3-1.6.13;1.5.9;1.6.11;1.6.14;1.6.17). Материал частично собран при финансовой поддержке Русского географического общества, грант № 29/2018-Р от 01.07.2018. Автор искренне признателен за помощь в сборе материала Е. В. Осмелкину, Л. В. Егорову, О. В. Глушенкову, А. Н. Александрову.

Список литературы

Ветвистоусые ракообразные (Crustacea, Cladocera) северной Евразии. Т. 2 / Н. М. Коровчинский, А. А. Котов, А. Ю. Синев [др.]. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2021. 544 с.

Сиротина М. В. Материалы к формированию списка зоопланктеров малых рек заповедника «Кологривский лес» // Научные труды государственного природного заповедника «Кологривский лес». 2017. Вып. 1. С. 87–96.

Фаунистический анализ планктонных организмов водных экосистем Пензенской области / В. А. Сенкевич, Т. Г. Стойко, Ю. А. Пастухова, Ю. А. Мазей // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 1. С. 14–41. DOI: 10.21685/2307-9150-2023-1-2

Chiambeng G. Y. Rainforest Branchiopoda (Crustacea: Anomopoda, Ctenopoda and Cyclestherida) of Cameroon, Gulf of Guinea, Central Africa. Ph.D abstr. Belgium, 2004. 307 p.

Chiambeng G. Y., Dumont H. J. The genus Pleuroxus Baird, 1843 (Crustacea: Anomopoda: Chydoridae) in Cameroon, Central-West Africa // Int J Lim. 2004. Vol. 40, N 3. P. 211–229. DOI: 10.1051/limn/2004019

Smirnov N. N. Cladocera: the Chydorinae and Sayciinae (Chydoridae) of the world. Guides to the identification of the microinvertebrates of the continental waters of the world. Amsterdam : SPB Academic Publ., 1996. 197 p.

Zhikharev V. S., Sinev A. Yu., Shurganova G. V. New record of alien cladoceran *Pleuroxus denticulatus* Birge, 1879 (Cladocera: Chydoridae) in the European Russia // Invert Zool. 2022. Vol. 19, N 3. P. 317–323. DOI: 10.15298/invertzool.19.3.05

УДК 597:502.743:502.4(476)

РЕДКИЕ И ИСЧЕЗАЮЩИЕ ВИДЫ РЫБ В ВОДОТОКАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НАРОЧАНСКИЙ» (БЕЛАРУСЬ)

А. С. Полетаев[1]*, Д. Ф. Куницкий[1], А. В. Равко[1], А. А. Углянец[2]

[1]Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам (Беларусь, 220072, Минск, ул. Академическая, 27)
[2]Национальный парк «Нарочанский» (Беларусь, 222395, к. п. Нарочь, ул. Ленинская, 11)
**Автор для переписки: viroxylan@gmail.com*

Аннотация. Исследована ихтиофауна 29 водотоков на территории Национального парка «Нарочанский». Отмечены 25 видов рыб и 1 вид миног. Впервые показано обитание на территории парка европейской ручьевой миноги. Установлено обитание в системе р. Страча двух видов рыб, включенных в Красную книгу Республики Беларусь – ручьевой форели и европейского хариуса. Состояние выявленных популяций стабильное.
Ключевые слова: рыбы, ихтиофауна, Красная книга, ООПТ, водотоки, Беларусь

В актуальную Красную книгу Республики Беларусь [2015] включены 9 представителей ихтиофауны: речная минога, стерлядь, атлантический лосось, кумжа (включая резидентную форму – ручьевую форель), европейский хариус, европейская корюшка, обыкновенный усач, рыбец и озёрный гольян. За исключением корюшки и озёрного гольяна, все включенные в Красную книгу виды рыб и миног относятся к реофильным.

Национальный парк «Нарочанский» (далее – НП «Нарочанский») расположен в северо-западной части Беларуси, на водоразделе бассейнов р. Нёман и р. Западная Двина (бассейн Балтийского моря). По территории парка протекает 61 водоток бассейна Нёмана и 6 – бассейна Зап. Двины [Водные … , 2018]. По данным предыдущих исследований, на территории НП «Нарочанский» отмечалось обитание 35 видов рыб, в том числе 28 – в водоёмах и 28 – в водотоках [Лещенко, Плюта, Ермолаева, 2012]. В то время как ихтиофауна озёр НП «Нарочанский» изучена достаточно подробно, систематические исследования ихтиофауны водотоков парка до недавнего времени не проводились. На первом этапе данной работы, как наиболее вероятные места обитания популяций редких и исчезающих видов рыб, были исследованы системы рек Мяделка (бассейн Зап. Двины), Нарочанка и Страча (бассейн Нёмана).

Исследования проводили в период с июня по август 2024 г. Для изучения структуры ихтиофауны водотоков НП «Нарочанский» использовали электроловильную установку Samus-725 на основании разрешения Минприроды Республики Беларусь № 0000682 от 07.06.2024. Отловленных особей после учёта выпускали в живом виде. Обловы проводили на контрольных участках водотоков протяжённостью 50–200 м, протяжённость и количество которых зависели от протяжённости и биотопического разнообразия водотока.

В водотоках НП «Нарочанский», обследованных в 2024 г., нами было достоверно установлено обитание 25 видов рыб (*Salmo trutta morpha fario, Thymallus thymallus, Esox lucius, Gasterosteus aculeatus, Abramis brama, Alburnoides bipunctatus, Alburnus alburnus, Blicca bjoerkna, Carassius carassius, C. auratus* s. lato*, Gobio gobio, Leucaspius delineatus, Leuciscus idus, L. leuciscus, Phoxinus sp., Rutilus rutilus, Scardinius erythrophthalmus, Squalius cephalus, Tinca tinca, Cobitis taenia, Barbatula barbatula, Lota lota, Gymnocephalus cernuus, Perca fluviatilis, Cottus sp.)* и 1 вида миног – *Lampetra planeri*, впервые зарегистрированной на территории национального парка. Очевидно, данный вид не является новым на территории парка и ранее не приводился в составе его ихтиофауны из-за низкой численности и ограниченного распространения. Особи ручьевой миноги были отловлены в р. Страча и её притоке р. Биоста. Из числа видов, приводимых ранее в составе рыбного населения водотоков парка, нами не были отловлены особи 4 видов: *Anguilla anguilla, Rhodeus amarus, Misgurnus fossilis* и *Silurus glanis*. Очевидно, отсутствие их регистраций в 2024 г. связано с особенностями распределения популяций данных видов в пределах парка, а не с их исчезновением.

Особи рыб и/или миног были отловлены в 19 из 29 исследованных водотоков; на контрольных участках 10 ручьёв системы р. Страча рыбное население отсутствовало. В р. Нарочанка отмечены 15 видов рыб, видовой состав рыбного населения обследованного участка сходен с таковым в прибрежной зоне оз. Нарочь [Лещенко, Плюта, Ермолаева, 2012], представлен эврифильными видами. В р. Мяделка в границах национального парка встречается 6 видов, преимущественно эврифильных. Редкие и исчезающие виды рыб в данных реках не выявлены.

В водотоках системы р. Страча нами выявлено обитание 1 вида миног и 22 видов рыб, в том числе двух видов, включенных в Красную книгу Республики Беларусь – форели ручьевой и хариуса европейского. В ихтиофауне системы р. Страча преобладают реофильные виды рыб, эврифильные виды сравнительно немногочисленны и приурочены к канализированным, трансформированным бобрами либо медленнотекущим участкам. Популяции населяющих систему р. Страча краснокнижных видов рыб приурочены к быстротекущим холодноводным извилистым рекам с каменистым или каменисто-галечным (реже песчаным) дном, текущим в лесной зоне, характеризующимся обилием укрытий и низким зарастанием макрофитами.

Форель ручьевая отмечена нами на 3 из 4 исследованных участков р. Страча, 1 из 3 участков р. Колодянка, а также в реках Биоста и Лынтупка. Плотность популяций форели варьирует от 2,4 (в р. Биоста) до 11,3 (в р. Лынтупка) экз./100 м русла, доля форели в уловах составляет от 2,5 % в р. Биоста до 84,6 % в населённом ей участке р. Колодянка. Ряд ручьёв системы р. Страча (Ламанник 1-й, Ламанник 2-й, Остань, Кирчиха), по сообщениям местных жителей, ранее являлись местами обитания ручьевой форели. В настоящее время эти ручьи значительно трансформированы прудообразующей деятельностью бобра. Для восстановления естественного характера их течения представляются перспективными демонтаж бобровых плотин на всём протяжении данных водотоков и ликвидация существующих на них бобровых поселений, что позволит провести реинтродукцию ручьевой форели в данные водотоки.

Особи европейского хариуса были отловлены в р. Лынтупка и на 2 из 4 участках р. Страча, места обитания вида те же, что и у ручьевой форели. Плотность популяций хариуса составляет от 1,0 до 5,1 экз./100 м русла, доля вида в уловах – от 3,0 до 14,3 %. Следует отметить, что поведенческие особенности хариуса препятствуют его эффективному учёту при помощи электроловильной установки, что приводит к недооценке численности данного вида при использовании данного метода облова. Кроме того, эффективность электролова максимальна в малых водотоках и снижается при работе в более крупных, таких как реки Нарочанка и Страча. Реальная плотность популяций хариуса, в первую очередь в р. Страча, как и плотность популяции форели в р. Страча, вероятно, превышает рассчитанную нами.

Населённые редкими и исчезающими видами рыб участки водотоков не являются антропогенно трансформированными, часть их находится в пределах заповедной зоны парка. Плотность популяций форели и хариуса типична для сходных с исследованными водотоков. Полученные результаты позволяют оценить состояние данных популяций как стабильное.

Список литературы

Водные ресурсы национального парка «Нарочанский» / А. Г. Аронов, Т. И. Аронова, Б. П. Власов [и др.]. 2-е изд. Минск : РИФТУР ПРИНТ, 2018. 128 с.

Красная книга Республики Беларусь. Животные: редкие и находящиеся под угрозой виды диких животных / М. Е. Никифоров, В. И. Парфёнов [и др.] ; гл. ред. Качановский И. М. 4-е изд. Минск : Беларуская Энцыклапедыя імя П. Броўкі, 2015. 320 с.

Лещенко А. В., Плюта М. В., Ермолаева И. А. Современный видовой состав ихтиофауны водоемов и водотоков национального парка «Нарочанский» // Зоологические чтения 2012 : материалы респ. науч.-практ. конф., 2–4 марта 2012 г. Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2012. С. 81–84.

УДК 597.2/.5:575.86

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЯ СИГОВ ЮЖНОЙ СИБИРИ

Д. В. Политов[1]*, Н. А. Бочкарёв[2], А. Н. Матвеев[3], Н. Тувшинжаргал[4], Л. В. Суханова[5]

[1]Институт общей генетики им. Н. И. Вавилова РАН (Россия, 117971, Москва, ул. Губкина,3)
[2]Институт систематики и экологии животных СО РАН (Россия, 630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 11)
[3] Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[4]Институт биологии Монгольской академии наук (Монголия, 13330, район Баянзурх, Улан-Батор)
[5] Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: dvp@vigg.ru*

Аннотация. Представлены результаты сравнительного анализа генетической дифференциации, полученные с помощью аллозимных и ДНК-маркеров для практически исчерпывающего списка видов и экоморф сигов, ведущих начало из рефугиумов ледниковой эпохи, располагавшихся на территории Байкальской рифтовой зоны и Алтае-Саянской горной страны.

Ключевые слова: сиги, аллозимы, мтДНК, популяция, филогения, филогеография, интрогрессия

Сиговые рыбы (Teleostei: Salmoniformes: Salmonidae: Coregoninae) – одна из наиболее сложных в таксономическом отношении групп позвоночных животных. Множество примеров видовых комплексов, выделяемых на основании немногих пластических и меристических признаков с неясными механизмами наследования, симпатрического видообразования, букетов видов, гибридизации, интрогрессии и сетчатой эволюции. Южная Сибирь – горная страна, являвшаяся в плейстоцене местом нахождения рефугиумов ледниковой эпохи для многих организмов, включая сиговых и других лососевидных (Salmonoidei) рыб. Изолированные в настоящее время бассейны крупных сибирских рек, текущих в меридиональном направлении, в различные периоды плейстоцена и голоцена периодически соединялись. Особую роль в процессах древней миграции пресноводных рыб юга Сибири играли соединявшие эти бассейны перигляциальные озёра, формировавшиеся при таянии ледников Алтае-Саянской горной системы и, вероятно, также меганаводнения вследствие прорывов подпорных озер и дилювиальных потоков. Молекулярные маркеры являются эффективными инструментами для филогенетических и филогеографических реконструкций пресноводных рыб, данное сообщение обобщает результаты, полученные с помощью аллозимных и ДНК-маркеров для практически исчерпывающего списка видов и экоморф сигов Южной Сибири.

Молекулярно-генетические данные по ядерным маркерам (аллозимные локусы) и маркерам митохондриальной ДНК (мтДНК) свидетельствуют о существенном своеобразии фауны пыжьяновидных («настоящих») сигов *Coregonus (lavaretus) pidschian* sensu lato верхней Оби (сижок Правдина *C. pravdinellus* и телецкий сиг *C. smitti* оз. Телецкое), практически изолированной от низовьев заморной зоной в среднем течении этой реки. Генетический пул верхнеобских сигов частично представлен в верховьях Енисея, популяции Тоджинской котловины на северо-востоке Республики Тыва демонстрируют признаки интрогрессии телецких сигов. Однако диагностические аллели и гаплотипы обских сигов отсутствует ещё выше по Енисею в Дархатской котловине на территории Монголии, что объясняется, очевидно, их более продолжительной изоляцией. В бассейне Байкала сиги представлены тремя видами: собственно эндемиками Байкала байкальским омулем *C. migratorius* и его экоморфой байкальским озёрным сигом *C. baikalensis*, а также байкаль-

ским озёрно-речным сигом, традиционно рассматривавшимся как *C. lavaretus pidschian* natio *baikalensis*. Все три вида демонстрируют гораздо более близкие филогенетические отношения с пыжьяновидными сигами, чем с омулями. Однако базальное положение байкальского омуля может являться основанием рассматривать его в качестве возможной предковой формы для настоящих омулей (арктического *C. autumnalis* и берингийского *C. laurettae*). Молекулярно-генетические данные однозначно свидетельствуют о выраженном генетическом своеобразии байкальского озёрно-речного сига среди пыжьяновидных сигов Сибири и его конспецифичности с енисейским (горбоносым) речным сигом, описанным ранее как сиг Исаченко, *C. fluviatilis.* Кроме Байкала этот вид известен из р. Ангары (включая водохранилища) и её притоков, а также встречается в Енисее от среднего течения (типовое местообитание) вниз до Нижней Тунгуски, в то время как граница его распространения в верхнем течении Енисея неизвестна. *C. fluviatilis* нерестится также в нескольких крупных притоках Байкала (основные группировки в реках Верхней Ангаре, Баргузин, Селенге), при этом использование им общих нерестилищ с омулем приводит к интрогрессии, о которой можно судить по встречаемости на достаточно высоких частотах гаплотипов мтДНК омуля у байкальского озёрно-речного сига (называемого также «байкальским пыжьяном»), и гаплотипов последнего у омуля. В Селенге, очевидно, обитает не только проходной сиг Исаченко, но и жилые популяции, причём не только на территории России, но и в Монголии. В то же время сиги Дархатской котловины не имеют родства с сигом Исаченко и, таким образом, верхний Енисей не может рассматриваться в качестве центра происхождения или рефугиума для этого вида.

В бассейне верхней Лены сиг Исаченко отсутствует, однако в системе Ципо-Ципиканских (Баунтовских) озёр (верхнее течение р. Витим), обитают несколько форм сигов, существенно отличающихся от симпатричных пыжьяновидных как по морфологии и экологии, так и по молекулярно-генетическим данным. Особенно выделяются сиг оз. Б. Капылюши *C. baunti* и долгое время считавшаяся подвидом сибирской ряпушки «баунтовская ряпушка» (*C. sardinella baunti*), мтДНК которой оказалась представленной двумя сильно дивергировавшими гаплотипами, один из которых уникален, очевидно, принадлежал древней, ныне в чистом виде не сохранившейся предковой эндемичной формой, а другой – мтДНК пыжьяновидных сигов, типичных для бассейна Витима.

Благодарности. Исследование проведено при поддержке гранта РНФ № 25-24-00634. Авторы благодарят В. А. Петерфельда (Байкальский филиал ФГБНУ «ВНИРО» и В. А. Заделенова (Тюменский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО») за помощь в сборе материала.

УДК 574.58

ОЗЕРНОЕ МЕСТООБИТАНИЕ ЛИЧИНОК МИНОГИ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»

Н. В. Полякова[1]*, А. С. Генельт-Яновская[2], П. С. Зеленковский[3], А. В. Кучерявый[1]

[1]Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (Россия, 119071, Москва, Ленинский просп, 33)
[2]Экстерский университет, Департамент наук о земле и окружающей среде (Великобритания, Корнуолл, Пенрин, Пенрин кампус)
[3]Санкт-Петербургский государственный университет (Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9)
**Автор для переписки: nvpnataly@yandex.ru*

Аннотация. Работа посвящена характеристике прибрежных донных ценозов в местообитании личинок миноги *Eudonthomyzon* sp. в оз. Баклановское (Национальный парк «Смоленское поозерье»). Материал собран в течении года 4 раза. Показано, что личинки миног (пескоройки) постоянно присутствуют в прибрежной части озера в районе выхода р. Сенокосица, где песчаное дно граничило с зарослями тростника. Глубина распространения пескороек не превышает 2 м. Состав макрозообентоса типичен для литорали озёр, представлен малощетинковыми червями, личинками насекомых, моллюсками. Биомасса определялась личинками миног и беззубками. Показано, что пескоройки присутствуют в озере постоянно, как летом, так и зимой, плотность поселения составляла 20–70 экз/м^2.

Ключевые слова: личинки миноги, макрозообентос, озёрное местообитание

Личинки миног являются типичными обитателями донных сообществ рек и широко распространены в европейской части России. При этом сведений о наличии местообитаний личинок миног в озёрах крайне мало. В основном это участки литорали озера вблизи реки. В 2019 г. было обнаружено присутствие личинок *Eudonthomyzon* sp. в некоторых озёрах национального парка Смоленское Поозерье, в частности в оз. Баклановском [Discovery … , 2021]. Целью настоящей работы было дать подробное описание донного ценоза и его изменение в течении разных биологических сезонов и установить, является ли находка личиок миног в озере случайностью, или данное местообитание можно считать постоянным и пригодным для жизни и развития личинок.

Материал отбирали в августе и сентябре 2020 г., и в январе и мае 2021г. Пробы отбирали в 2–3 точках по краю зарослей тростника начиная от места впадения реки. Макрозообентос отбирали зубчатым водолазным дночерпателем (1/20 кв. м) и дночерпателем Петерсона (1/40 кв. м), плотность поселения пескороек оценивали с помощью сети Киналёва.

В результате проведённых исследований показано, что присутствие миног в литорали оз. Баклановское носит не случайный характер, поскольку пескоройки присутствовали в данной точке в течении всего года, распространялись до глубины 2 м, плотность поселения их составляла 20–50 экз/м^2. Кроме них, в составе донных ценозов отмечены личинки комаров сем. Chironomidae и малощетинковые черви сем. Tubificidae, составляя высокую долю в численности. Также высокую долю составляли личинки насекомых – ручейники *Potamophylax* sp. и подёнки *Ephemera vulgata*. Биомассу наряду с пескоройками определяли двустворчатые моллюски *Anodonta* sp.

Таким образом показано, что личинки миног могут играть существенную роль в формировании донных сообществ не только рек, но и некоторых озёр.

Благодарности. авторы благодарят администрацию Национального парка Смоленское Поозерье за возможность выполнения работы. Рабата выполнена при поддержке гранта РНФ 24-14-00111 Миграционный полиморфизм у рыб и миног: формирование и экологические последствия (рук. Д. С. Павлов).

Список литературы

Discovery of *Eudontomyzon* sp. (Petromyzontidae) larvae in lakes and a characterization of their habitats / A. O. Zvezdin, N. V. Polyakova, A. V. Kucheryavyy et al. // Nat. Conserv. Res. 2021. Vol. 6, N 3. P. 73–86. DOI: 10.24189/ncr.2021.039

УДК 574.5

НОВАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НИША *PARAPHAEOSPHAERIA SPORULOSA*: ТАКСОНОМИЯ, ФИЛОГЕНИЯ И ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ

М. С. Полякова[1,2], Т. А. Пудовкина[3], Е. Д. Бедошвили[3], Е. В. Минчева[1]*

[1]Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл, пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
[2]Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул Лермонтова, 132а)
[3] Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: e.mincheva2023@gmail.com*

Аннотация. Впервые из оз. Байкал изолирован микромицет *Paraphaeosphaeria sporulosa*. Молекулярная и морфологическая идентификация подтвердили его принадлежность к виду. Скрининг ферментативного потенциала показал активность при низких температурах. Получены ультраструктурные характеристики гриба.

Ключевые слова: *Paraphaeosphaeria sporulosa*, Байкал, таксономия, филогения, ферментативная активность, экологическая ниша

Paraphaeosphaeria sporulosa –вид грибов, относящийся к классу Dothideomycetes и порядку Pleosporales – группе, характеризующейся высоким таксономическим разнообразием и сложной, постоянно пересматриваемой филогенией.

Вид описан в 2014 г. [Novel … , 2014] и известен как почвенный и фитопатогенный гриб, что свидетельствует о его роли в экосистемах почвы и возможных взаимодействиях с растениями. Некоторые исследования показывают, что этот гриб также встречается в пресных водоемах, где он может играть роль в разложении органического материала или участвовать в водных экосистемах как сапротроф. Например, в статье Goh et al. [Four … , 2014] было зафиксировано присутствие *Paraphaeosphaeria sporulosa* в растительном опаде пресноводных водоемов.

В рамках нашего исследования этот вид в трех независимых повторностях был изолирован из оз. Байкал – из грунта с глубины 10 м в районе пролива Ольхонские ворота, также из района Чивыркуйского залива и в районе р. Сосновки. Были получены чистые культуры всех трех образцов.

Таксономическая принадлежность исследуемого образца виду *Paraphaeosphaeria sporulosa* была установлена на основании молекулярно-генетического анализа нуклеотидных последовательностей ITS-региона (ITS1-5.8S-ITS2). Этот маркер является общепринятым баркодом при идентификации грибов. Сравнение полученной последовательности с данными международной базы GenBank показало высокую степень идентичности (97–100 %) с эталонными последовательностями *P. sporulosa*.

Морфологическая верификация вида была проведена с помощью культивирования на разных средах (картофельно-глюкозном и овсяном агаре) и световой микроскопии. На картофельно-глюкозном агаре колонии бело-кремовые с ровным, голым, бесцветным краем, Погруженный мицелий бесцветный, в центре кажется оливковым, покрыт плотным матом воздушного мицелия от белого до охристого цвета. Аверс колонии от бледно-жёлтого до охристого цвета с более тёмными участками в центре. Псевдоконидиомы появляются на 10-е сут культивирования. На овсяном агаре колонии бело-кремовые с бесцветным краем, погруженный мицелий с бледно-жёлтой, реже коричневатой пигментацией, на поверхности с пучками белого воздушного мицелия. Псевдоконидиомы появляются на 6-е сут культивирования.

Дополнительным этапом исследования стала сканирующая электронная микроскопия, впервые примененная к *Paraphaeosphaeria sporulosa*, что позволило получить детальную ультраструктурную характеристику морфологии гриба (рис.), недоступную при световой микроскопии.

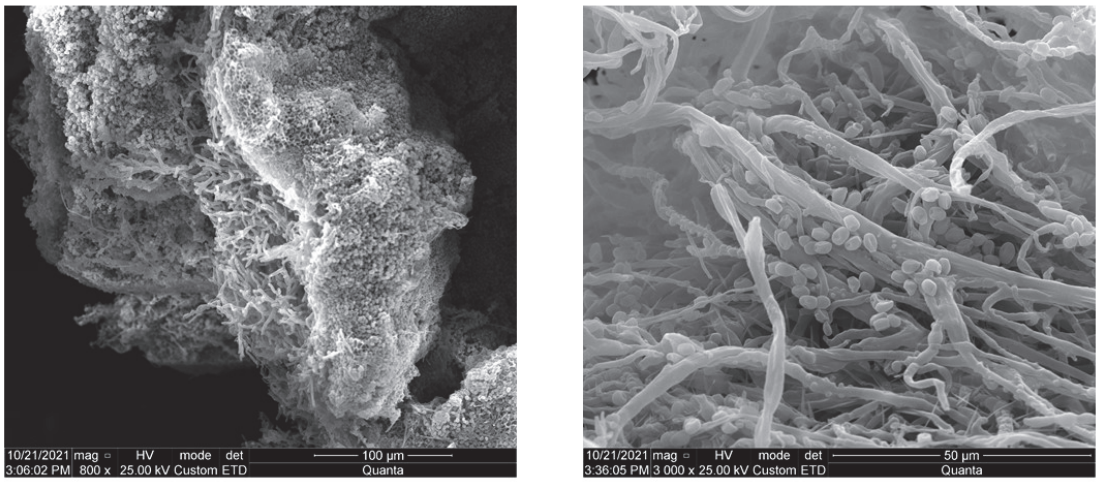


Рис. Сканирующая электронная микроскопия *P. sporulosa* из оз. Байкал

Анализ ферментативного потенциала выявил активность амилазы, липазы, протеазы, лакказы и пероксидазы у изолированного штамма. Особенно отмечена активность протеазы, лакказы и пероксидазы при температуре +4 °C, что указывает на адаптивный метаболический потенциал, позволяющий виду утилизировать разнообразные органические субстраты в контрастных условиях.

Обнаружение *Paraphaeosphaeria sporulosa* в оз. Байкал является веским научным доказательством освоения им новой экологической ниши – сапротрофа в пресноводных экосистемах. Это расширяет понимание роли данного вида в биогеохимических циклах и показывает его потенциал для участия в разложении органического вещества при низких температурах, что важно для оценки экологической функции микромицета в уникальных условиях Байкальского региона.

Благодарности. Работа выполнена в рамках бюджетных тем № 121032900077-4 «Экологическая диагностика изменений некоторых элементов биогеоценозов территории Восточной Сибири» и 0279-2021-0010 «Генетика сообществ байкальских организмов: структура генофонда, стратегии консервации». Сканирующая электронная микроскопия выполнена с использованием оборудования Приборного центра коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикроанализ») при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 121032300186-9.

Коллектив авторов благодарит лично Дмитрия Юрьевича Щербакова за инициирование и всестороннюю поддержку данного исследования.

Список литературы

Four species of Montagnulaceae unrecorded in Korea and isolated from plant litter in freshwater / J. Goh, H. Y. Mun, Y. Oh, N. Chung // The Korean Journal of Mycology. 2016. Vol. 44, N 4. P. 263–270.

Novel genera and species of coniothyrium-like fungi in Montagnulaceae (Ascomycota) / G. J. M. Verkley, K. Dukik, R. Renfurm [et al.] // Persoonia-Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi. 2014. Vol. 32, N 1. P. 25–51.

УДК 591.471.36/.37

ОСОБЕННОСТИ СВЯЗОЧНОГО АППАРАТА ПЛЕЧЕВОГО И ЛОКТЕВОГО СУСТАВОВ БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ

Т. Е. Помойницкая*, Н. И. Рядинская

Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского
(Россия, 664038, Иркутская обл., пос. Молодежный, 1/1)
**Автор для переписки: konkova.t@bk.ru*

Аннотация. Изучены анатомические особенности плечевого и локтевого суставов передней ласты у байкальской нерпы. Выявлено, что плечевой сустав имеет хорошо выраженную капсулу, которая укреплена мышечно двуглавым мускулом плеча. Локтевой сустав кроме капсулы имеет длинную латеральную, которая начинается с плечевой кости и заканчивается на запястье, и короткую медиальную (начинается с плечевой и заканчивается на лучевой костях) связки. Кости предплечья соединены межкостными связками как с латеральной, так и с медиальной поверхностей.

Ключевые слова: байкальская нерпа, локтевой сустав, плечевой сустав, водное млекопитающее

Байкальская нерпа (*Phoca sibirica* Gmelin,1798) – один из мелких видов тюленей, обитает в пресноводном оз. Байкал, возглавляет пищевую пирамиду, является единственным млекопитающим этого великого водоема [Пастухов, 1993]. Климат на Байкале – резко континентальный – с холодной зимой и жарким летом и типично морское животное – байкальская нерпа – испытывает в течение года все особенности местного климата, прекрасно к ним адаптируясь [Пастухов, 1993; Петров, 2009].

Передние конечности байкальской нерпы принимают непосредственное участие в передвижении животного как под водой, так и на суше. Активно используются передние ласты для проделывания отдушин во льду, а также для обустройства логова.

Скелет свободной грудной конечности байкальской нерпы начинается плечевой костью, которая образует с лопаткой плечевой сустав [Скелет … , 2020]. Сочленяющиеся поверхности лопатки и плечевой кости конгруэнтны и образуют многоосный простой сустав. Плечевая кость байкальской нерпы короткая, имеет четыре поверхности – дорсальную, пальмарную, медиальную и латеральную. Проксимальный эпифиз имеет видовые особенности строения и представлен головкой с хорошо выраженной шейкой и двумя буграми: латеральный бугор – малый, а медиальный – большой, более выражен за счет отростка, который отсутствует у наземных хищников. Плечевой сустав заключен в цельную капсулу, которая окружает его со всех сторон. Крепится капсула к краю суставной впадины лопатки, затем переходит на бугры плечевой кости и к ним прикрепляется. Капсула укреплена мышечно двуглавым мускулом, который проходит в межбугорковом желобе (заканчивается на шейке лопатки) и плотно срастается с капсулой.

Локтевой сустав образован сочленением плечевой кости с костями предплечья. Капсула начинается на шейке лучевой и блоке плечевой костей и заканчивается по краю полулунной вырезки локтевого бугра. Сустав укрепляется боковой медиальной (начинается с медиального мыщелка плечевой кости, заканчивается на лучевой кости) и длинной боковой латеральной (начинается с латерального мыщелка плечевой кости и заканчивается на первом ряду запястья). Кости предплечья укороченные и плоские, между диафизами локтевой и лучевой костей имеется межкостное пространство с межкостными связками – проксимальными и дистальными как с латеральной, так и с медиальной поверхности (рис.).

Таким образом, плечевой сустав образован суставной впадиной лопатки и головкой плечевой кости, сустав имеет хорошо выраженную капсулу, которая укреплена мышечно двуглавым мускулом плеча. Локтевой сустав кроме капсулы имеет длинную латеральную и короткую медиальную связки. Кости предплечья соединены межкостными связками как с латеральной, так и с медиальной поверхностей.

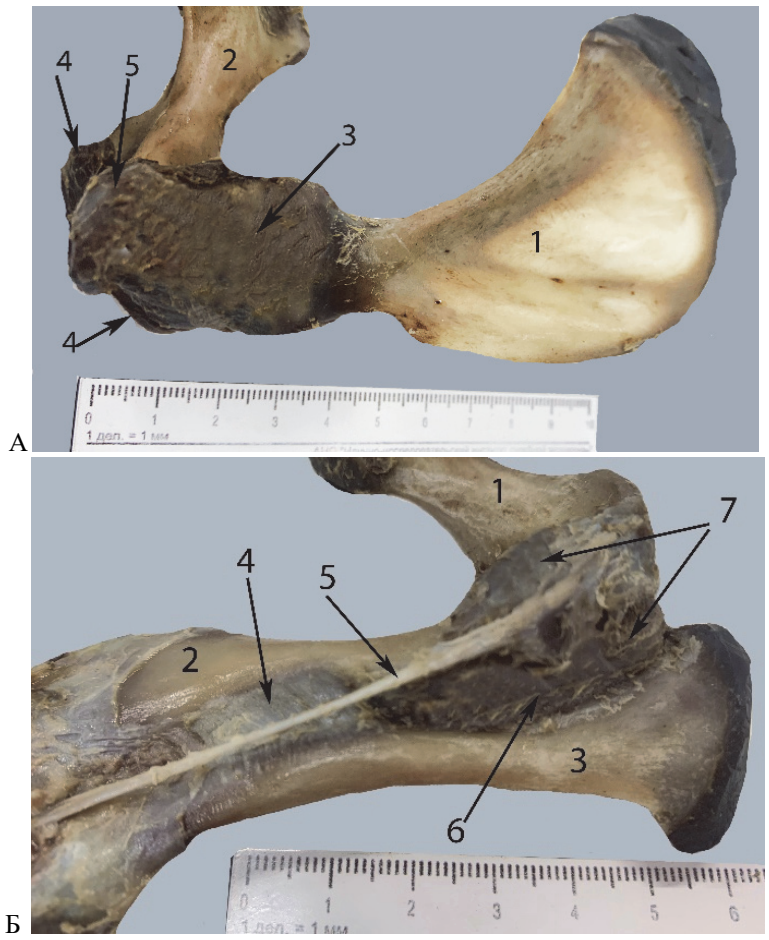


Рис. Связки плечевого (*А*) и локтевого (*Б*) суставов байкальской нерпы в возрасте 3 мес.
А: *1* – лопатка (медиальная поверхность); *2* – плечевая кость; *3* – капсула сустава; *4* – двуглавый мускул; *5* – большой медиальный бугор. *Б*: *1* – плечевая кость; *2* – лучевая кость; *3* – локтевая кость; *4* – дистальная межкостная связка; *5* – латеральная связка локтевого сустава; *6* – проксимальная межкостная связка; *7* – капсула локтевого сустава

Список литературы

Пастухов В. Д. Нерпа Байкала. Новосибирск : Наука, 1993. 271 с.

Пастухов В. Д. Нерпа Байкала: биологические основы рационального использования и охраны ресурсов. Новосибирск : Наука, 1993. 272 с.

Петров Е. А. Байкальская нерпа. Издание исправленное, дополненное. (Все о байкальской нерпе. Улан-Удэ : ЭКОС, 2009. 176 с.

Скелет байкальской нерпы. Skeleton phoca sibirica, Gm. 1798 / Н. И. Рядинская, И. В. Аникиенко, Д. Р. Иконникова [и др.] ; под общ. ред. Рядинской Н. И. Иркутск, 2020. 63 с.

УДК 575

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕПРОДУКТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ DAPHNIIDAE С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНДИВИДУАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ И МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ МАРКЕРОВ

А. А. Порошина*, Т. А. Николаева, Д. Ю. Щербаков

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: a.poroshina@lin.irk.ru*

Аннотация. Исследование направлено на сравнительный анализ репродуктивных стратегий Daphniidae с использованием индивидуально-ориентированного моделирования и экспериментального анализа микросателлитных маркеров. Разработанная модель позволяет оценивать генетическое разнообразие, в частности параметр неравновесности (*D*) в популяциях со смешанной репродуктивной стратегией. Полученные результаты демонстрируют эффективность комбинированного подхода для оценки доли полового размножения и других популяционных параметров.

Ключевые слова: Daphniidae, микросателлиты, индивидуально-ориентированное моделирование, капиллярный электрофорез, полиморфизм, репродуктивные стратегии

Полиморфные микросателлитные локусы представляют собой ценный инструмент для изучения генетического разнообразия и эволюционных процессов в популяциях. Особый интерес представляют кладоцеры, такие как дафнии (Daphniidae), демонстрирующие смешанную репродуктивную стратегию, включающую как половое, так и бесполое размножение [Microsatellite … , 2006].

В данной работе мы использовали ранее разработанную индивидуально-ориентированную модель [Poroshina, Sherbakov, 2023], которая позволяет оценивать генетическое разнообразие и параметр неравновесности (*D*) на смоделированных данных. Модель учитывает эффективный размер популяции (*Ne*) для расчета θ-параметра с использованием нейтральных маркеров, а также специфику микросателлитных маркеров.

Экспериментальная часть исследования включала: сбор проб дафний из различных популяций, экстракцию ДНК, амплификацию с использованием предсказанных алгоритмом праймеров, анализ методом капиллярного электрофореза [Discrimination … , 2012].

Сравнение экспериментальных данных с результатами моделирования позволило: оценить степень искажения частот микросателлитных аллелей, уточнить параметры популяции, включая долю полового размножения и определить эффективный размер популяции. На основании имеющихся данных можно предположить, что дафнии преимущественно пребывают в состоянии покоя, при этом их численность остается относительно стабильной. Полученные полиморфные маркеры будут использоваться для мониторинга популяций дафний и изучения их репродуктивных стратегий. Предложенный подход может быть адаптирован для других организмов с факультативным размножением, таких как гидры.

Список литературы

Discrimination of hybrid classes using cross-species amplification of microsatellite loci: methodological challenges and solutions in Daphnia / A. Thielsch, N. Brede, A. Petrusek [et al.] // Molecular Ecology Resources. 2012. Vol. 12, N 4. P. 697–705. DOI: 10.1111/j.1755-0998.2012.03142.x

Microsatellite markers for European Daphnia / N. Brede, A. Thielsch, C. Sandrock [et al.] // Molecular Ecology Notes. 2006. Vol. 6, N 2. P. 536–539. DOI: 10.1111/j.1471-8286.2005.01218.x

Poroshina A., Sherbakov D. A Procedure for Modeling Genetic Diversity Distortions in Populations of Organisms with Mixed Reproductive Strategies // Mathematics. 2023. Vol. 11 (13). Art. 2985. DOI: 10.3390/math11132985

УДК 578.2

КОЛЬЦЕВЫЕ REP-КОДИРУЮЩИЕ ОДНОЦЕПОЧЕЧНЫЕ (CRESS) ДНК ВИРУСЫ В МЕТАГЕНОМАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ

С. А. Потапов [1]*, А. С. Гладких[2], О. И. Белых[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Санкт-Петербургский НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Пастера (Россия, 197101, Санкт Петербург, ул. Мира, 14)
**Автор для переписки: poet1988@list.ru*

Аннотация. В исследовании проведён анализ CRESS ДНК вирусов, последовательности которых выявлены в метагеномах воды оз. Байкал (фракция менее 0,2 мкм). Идентифицированы последовательности Rep (replication initiator protein, белок инициации репликации) и капсидных белков. Филогенетический анализ Rep протеинов показал, что байкальские последовательности группируются с некультивированными представителями (CRESS1, CRESS2, CRESS3, CRESS5) и формируют соседние ветви с *Nanoviridae*/*Alphasatellitidae*, *Circoviridae* и CRESS4, а также образуют свои собственные «байкальские» кластеры. Всего восстановлено 47 геномов CRESS ДНК вирусов.

Ключевые слова: CRESS ДНК вирусы, Байкал, метагеном, вирусы эукариот

Неоспоримый факт на сегодняшний день – огромный неизведанный пул вирусов в природных экосистемах, особенно в пресноводных. Метагеномика позволяет выявить некультивируемые вирусы, которые сложно или невозможно получить в лабораторных условиях.

Вирусы с одноцепочечной ДНК (оцДНК) очень разнообразны и распространены в различных средах обитания, кроме того, они заражают различных хозяев из всех трех доменов (эукариоты, археи, бактерии) [Krupovic, 2013; Eukaryotic … , 2019].

Большинство оцДНК вирусов имеют небольшой кольцевой геном, который реплицируется через механизм катящегося кольца [Eukaryotic … , 2019]. Все эукариотические вирусы CRESS-ДНК кодируют хеликазы суперсемейства 3 (S3Hs), которые чаще всего сливаются с эндонуклеазами HUH, образуя двухдоменные Reps; в отличие от них прокариотические вирусы оцДНК кодируют одиночные эндонуклеазы HUH.

Цель исследования – выявить и охарактеризовать последовательности CRESS ДНК вирусов в метагеномах фракции менее 0,2 мкм из воды оз. Байкал.

Отбор образцов выполнен в пелагиали оз. Байкал в трёх котловинах и на центральной станции в проливе Малое Море (всего 18 образцов) в 2018–2024 гг. в различные сезоны, экстракция ДНК и секвенирование проведено как описано ранее [Search … , 2024].

Биоинформатический анализ выполнен, используя ряд программ, таких как FastQC, Trimmomatic v.0.36, metaSPAdes v.4.0.0, Prodigal v.2.6.3, Diamond v.2.0.9, HMMSCAN v.3.0, MAFFT v.7.407, VirSorter2, CheckV v.1.0.3 и базы данных RefSeq v.226 и GenBank v.258.

В целом восстановлено 47 предполагаемых геномов CRESS ДНК вирусов. Длина последовательностей варьировала от 1003 до 5249 нуклеотидов. На основании анализа CheckV 12 последовательностей были классифицированы как «полные» и, вероятно, представляют собой полноразмерные геномы. Наличие последовательностей схожих с CRESS ДНК вирусами выявлено во всех образцах. Нонануклеотидные последовательности (участвуют в инициации репликации по механизму катящегося кольца) идентифицированы в 38 геномах, все последовательности содержали от 1 до 4 открытых рамок считывания.

Анализ blastp белка Rep показал низкое сходство с известными последовательностями, представленными в базах данных. Сходство последовательностей варьировало от 30 % до 77,2 %, при этом покрытие составило от 43 до 100 % (RefSeq). Двадцать три последовательности (49 %) имели сходство с белками вирусов, полученными из водных беспозвоночных и осадков оз. Сара (Новая Зеландия) [Diverse … , 2016].

Филогенетический анализ белка Rep показал, что последовательности байкальских Rep были включены в кластеры CRESS2, CRESS3 и CREES5 (некультивированные вирусы). Некоторые последовательности образовали отдельные сестринские ветви с *Nanoviridae*/*Alphasatellitidae* (вирусы растений). Кроме того, 3 последовательности, вместе с некоторыми референтными последовательностями из CRESS1, которые не кластеризовались в основной группе CRESS1, образовали сестринскую кладу с *Circoviridae*. Одна последовательность образовала соседнюю ветвь с *Circoviridae*. Кроме того, белки Rep из оз. Байкал образовали четыре отдельных клады (B1–B4). Ни одна из последовательностей не группировалась с известными кладами бактериальных плазмид (pCRESS1–pCRESS6).

На основе построенных генетических карт геномов большинство классифицировано как принадлежащие к типу II и V [Rosario, Duffy, Breitbart, 2012]. Геномы типа II напоминают геномы цикловирусов; они обладают амбисенс-организацией и структурой стебель-петля на 5′-конце основных открытых рамок считывания (ORF), в то время как в типе V ORF ориентированы в одном направлении.

Рассмотренная структура Rep в 22 белках показала наличие в мотиве II эндонуклеазы последовательности HLQ идентифицированной ранее в вирусах семейств *Circoviridae* и *Nanoviridae*/*Alphasatellitidae.*

Таким образом впервые детально рассмотрена геномная структура CRESS ДНК вирусов в байкальских метагеномах, выявлено наличие данных вирусов во всех образцах, показано низкое сходство с известными.

Благодарности. Отбор образцов проводился с борта НИС «Г. Ю. Верещагин» и «Г. Титов» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»). Работа выполнена при поддержке государственного проекта № 0279-2021-0015 «Вирусные и бактериальные сообщества как основа устойчивого функционирования пресноводных экосистем».

Список литературы

Diverse circular replication-associated protein encoding viruses circulating in invertebrates within a lake ecosystem / A. Dayaram, M. L. Galatowitsch, G. R. Argüello-Astorga [et al.] // Infect. Genet. Evol. 2016. Vol. 39. P. 304–316. DOI: 10.1016/j.meegid.2016.02.011

Eukaryotic circular Rep-encoding single-stranded DNA (CRESS DNA) viruses: ubiquitous viruses with small genomes and a diverse host range / L. Zhao, K. Rosario, M. Breitbart, S. Duffy // Advances in Virus Research. 2019. Vol. 103. P. 71–133. DOI: 10.1016/bs. aivir.2018.10.001

Krupovic M. Networks of evolutionary interactions underlying the polyphyletic origin of ssDNA viruses // Curr. Opin. Virol. 2013. Vol. 3. P. 578–586. DOI: 10.1016/j.coviro.2013.06.010

Rosario K., Duffy S., Breitbart M. A field guide to eukaryotic circular single-stranded DNA viruses: insights gained from metagenomics // Arch. Virol. 2012. Vol. 157. P. 1851–1871. DOI: 10.1007/s00705-012-1391-y

Search for putative complete and near-complete genomes of DNA-containing viruses in metagenomes obtained from the Lake Baikal / S. A. Potapov, A. E. Tupikin, I. V. Tikhonova [et al.] // Limnol. Freshw. Biol. 2024. Vol. 4. P. 1050–1065. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-1050

УДК 556.535.6:282.256.341

ТРОПИЧЕСКИЕ НОЧИ И ЖАРКИЕ ДНИ В РАЙОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ – ПРИЗНАКИ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Т. Г. Потемкина *

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: tat_pot@lin.irk.ru*

Аннотация. Анализ срочных наблюдений за температурой воздуха с мая по сентябрь за 1966–2022 гг. выявил наличие в районе оз. Байкал таких экстремальных явлений, как тропические ночи и жаркие дни. Впервые исследована встречаемость, многолетняя и внутригодовая изменчивость этих явлений по данным 10 станций. После 1990 г. встречаемость тропических ночей и жарких дней увеличилась с наибольшей частотой в июле (57 % тех и других). Возникновение и увеличение тропических ночей и жарких дней в районе Байкала связано с глобальным потеплением и изменениями в атмосферной циркуляции. Изменчивость экстремальных явлений зависит также от особенностей регионального потепления климата, локальной циркуляции воздушных масс и условий окружающей среды вокруг каждой станции.

Ключевые слова: глобальное потепление, тропические ночи, жаркие дни, Байкал

При изучении изменения климата более информативны экстремальные погодные и климатические явления, чем их средние характеристики. Одним из проявлений потепления климата является возникновение экстремальных явлений, таких как тропические ночи и жаркие дни. Изучение тропических ночей и жарких дней как одних из основных индексов изменения климата было предложено Всемирной метеорологической организацией (WMO) и Командой экспертов по выявлению, мониторингу и индексам изменения климата (ETCCDMI). До сих пор тропические ночи обычно наблюдались только в низких (тропических) широтах. Однако в последние десятилетия, в связи с глобальным потеплением, их можно наблюдать и в более высоких широтах, включая даже горные районы на высоте около 1500 м, в том числе и в районе оз. Байкал [Climatology … , 2017; Regional … , 2022; Kornus, Danylchenko, Skyba, 2023; Potemkina, Potemkin, 2024; и др.]. Ночи считаются тропическими, если минимальная ночная температура воздуха ≥ 20 °С, жаркие дни – если максимальная дневная температура воздуха ≥ 25 °С. С наступлением тропических ночей и жарких дней связан целый ряд проблем: негативное влияние на здоровье и жизнь человека, повышение риска смертности и заболеваемости, нагрузка на энергетический сектор, увеличение количества дорожно-транспортных происшествий, влияние на наземные и водные экосистемы и др. [Climatology … , 2017; Keeping … , 2020; Effects … , 2021; и др.]. В данной работе впервые исследованы экстремальные явления – возникновение, многолетняя и внутригодовая изменчивость тропических ночей и жарких дней в районе оз. Байкал. Исследование важно для расширения знаний о реакции регионального климата на глобальное потепление, а также для его обоснованной интерпретации.

За период 1966–2022 гг. возникновение экстремальных явлений в районе оз. Байкал отмечалось в разных локациях: на побережье озера, в горной местности на высоте 1442 м и во внутриконтинентальных районах. Данные метеостанций выделены в две группы, различающиеся по количеству и распределению тропических ночей и жарких дней в анализируемом периоде. В первую группу входят внутриконтинентальные и прибрежные станции с преобладающим количеством как тропических ночей, так и жарких дней. Вторую группу составляют прибрежные, высокогорные и островные станции, преимущественно с тропическими ночами. За анализируемый период рост количества тропических ночей и жарких дней наблюдался после 1990 г. В 1990–2022 гг. количество тропических ночей увеличилось на 4–64 дня по сравнению с предыдущим периодом 1966–1989 гг., а жарких дней на 40–189 дней в первой группе станций, во второй группе количество тропических ночей увели-

чилось на 8–11 дней. В 1966–2022 гг. на июль-август приходилось 232 дня (86 %) с тропическими ночами, а на июнь-июль 803 случая (88 %) с жаркими днями. Доля тропических ночей и жарких дней в июле одинакова (по 57 %). В целом возникновение и увеличение частоты тропических ночей и жарких дней в районе Байкала является следствием глобального потепления и изменений в глобальной циркуляции. Кроме того, возникновение и изменчивость тропических ночей и жарких дней зависят от различных факторов, связанных с особенностями регионального потепления климата и локальной циркуляции воздушных масс, а также с условиями окружающей среды вокруг каждой станции.

Таким образом, Байкальский регион испытывает потепление климата, индикаторами которого являются экстремальные явления – тропические ночи и жаркие дни. Этот процесс имеет сложный пространственно-временной характер. Вопрос же возникновения этих экстремальных явлений и их влияния на живые организмы, наземные и водные экосистемы, энергетический сектор и т. д. остается еще открытым, поэтому важно изучать, понимать и прогнозировать такие события, а также своевременно принимать меры по смягчению неблагоприятных последствий изменения климата.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного проекта Лимнологического института СО РАН (грант No 0279-2021-0005).

Список литературы

Climatology and historical trends in Tropical nights over the Georgian territory / M. Elizbarashvili, E. Elizbarashvili, N. Kutaladze [et al.] // Earth Sciences, Special Issue: New Challenge for Geography. 2017. Vol. 6, N 5-1. P. 23–30. DOI: 10.11648/j.earth.s.2017060501.14

Effects of Hot Nights on Mortality in Southern Europe / D. Roye, F. Sera, A. Tobías [et al.] // Epidemiology. 2021. Vol. 32, N 4. P. 487–98. DOI: 10.1097/EDE.0000000000001359

Keeping pace with climate change in global terrestrial protected areas / P. R. Elsen, W. B. Monahan, E. R. Dougherty, A. M. Merenlender // Science Advances. 2020. Vol. 6 (25). Art. 0814. DOI: 10.1126/sciadv.aay0814

Kornus O., Danylchenko O., Skyba O. Tropical nights (1976–2019) as an indicator of climate change in Ukraine // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1126. Art. 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/1126/1/012023

Potemkina T., Potemkin V. Extreme phenomena in the Lake Baikal basin: tropical nights and hot days as indicators of climate warming (Eastern Siberia, Russia) // Theoretical and Applied Climatology. 2024. Vol. 155. P. 6581–6590. DOI: 10.1007/s00704-024-05031-4

Regional characteristics of hot days and tropical nights in the Honam area, South Korea / T. W. Park, C. G. Lee, M. Chang, D. S. R. Park // Atmospheric Science Letters. 2022. Vol. 23, N 6. Art. e1086. DOI: 10.1002/asl.1086

УДК 556.55

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ОЗЕР ОСТРОВА БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКИЙ

Н. С. Прилуцкая*, С. И. Климов, О. Ю. Морева, А. А. Чупакова, Т. Я. Воробьева

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова УрО РАН
(Россия, 163020, Архангельск, просп. Никольский, 20)
**Автор для переписки: priluckaya.fickia@mail.ru*

Аннотация. Представлены результаты исследования содержания биогенных элементов в поверхностных водах 19 озёр о. Большой Соловецкий (Архангельская область). Показано, что содержание минеральных форм биогенных элементов в поверхностных водах большинства исследуемых озер низкое, что связано как с атмосферным питанием, так и подстилающими породами и почвами.

Ключевые слова: биогенные элементы, поверхностные воды, о. Большой Соловецкий

Соловецкий архипелаг является уникальным природным комплексом, на территории которого находится большое количество озер, довольно разнообразных по ряду гидрохимических показателей, несмотря на общность ландшафтных и климатических условий [Гидрология … , 1972]. Согласно Шварцману с соавт. [2007], озерность для всей территории архипелага составляет 9,66 %, а для о. Большой Соловецкий она выше средней и достигает 11,63 %. До настоящего времени для большинства озер не проводилось детальных исследований содержания биогенных элементов, которые являются как основой биологической продуктивности водоемов, так и показателем качества воды.

Цель работы – выявление особенностей содержания биогенных элементов в поверхностных водах озер о. Большой Соловецкий.

В качестве объектов исследования были выбраны озёра, входящие, как в западную (Большое Красное, Валдай, Щучье, Плотичье, Средний Перт, Питьевое, Светлое Орлово, Большое Гремячье, Большое Карзино, Малый Валдай и Светленькое), так и в южную (Большое и Малое Каменное, Малая Ламинога) канальные системы, в том числе и оз. Святое. Кроме того, отбор проб проводился в озёрах Лесное, Большое Куможье, Западное Лобское, Варваринское. Всего были отобраны пробы на 19 озёрах.

Исследование содержания растворимых форм биогенных элементов, таких как соединения азота (нитритный ($N\text{-}NO_2^-$), нитратный ($N\text{-}NO_3^-$), аммонийный азот ($N\text{-}NH_4^+$), общий азот), соединения фосфора (минеральный фосфор ($P\text{-}PO_4^-$) и общий фосфор) и кремния проводили стандартными колориметрическими методами [Руководство … , 2003; ПНД Ф 14.1:2.2.4-95 … , 1985].

Представлены результаты исследований с 2021 по 2024 г. В летний период рассматривалось содержание биогенных элементов в эпилимнионе, в зимний период в поверхностном подледном слое до глубины достижения практически постоянных значений вертикального температурного градиента, преимущественно до 3–4 м, реже до 5–9 м.

Результаты исследования показали, что в поверхностных водах озёр западной и южной канальных систем, а также оз. Святого, содержание минеральных форм азота не превышало 220 µgN\L, а в оз. Лесное – 250 µgN\L, как в летний, так и в зимний периоды. В оз. Западное Лобское содержание минерального азота доходило до 300 µgN\L, а в оз. Варваринское в зимний период наблюдалось превышение данного значения примерно в 2 раза. При этом минеральный азот в поверхностных водах исследуемых озер преимущественно содержался в нитратной форме вследствие достаточного насыщения кислородом верхних водных горизонтов.

Концентрация минерального фосфора в поверхностных водах озер западной и южной канальных систем, а также оз. Святого, в большинстве случаев не превышала 10 μgP\L. Относительно высокие значения минерального фосфора наблюдались в озёрах Лесное (до 25 μgP\L) и Варваринское (до 50 μgP\L).

Содержание кремния в поверхностных водах исследуемых озер варьировалось в широких пределах: от 83 μg\L в оз. Светлое Орлово до 6905 μg\L в оз. Западное Лобское. В целом в озёрах западной и южной канальных систем, а также оз. Святого его содержание не превышало 2250 μg\L.

Низкое содержание минеральных форм биогенных элементов в поверхностных водах большинства исследуемых озёр о. Большой Соловецкий связано с наличием у них в основном атмосферного питания. Также оно обусловлено подстилающими породами (алюмосиликатами), подзолистыми и болотными почвами, широко распространенными на острове, бедными биогенными элементами.

Содержание общего фосфора в поверхностных водах озер западной и южной канальных систем, а также оз. Святого не превышала 40 μgP\L, а содержание общего азота – 500 μgN\L. Самое высокое значение общего фосфора и азота наблюдалось в оз. Варваринское (до 107 μgP\L и 790 μgN\L соответственно).

Соотношение элементов $N_{общ}/P_{общ}$, используемое для характеристики лимитирования развития продукционных процессов первичными гидробионтами [Redfild, Ketchum, Richards 1963] показало, что в основном в поверхностных водах лимитирующим элементом является фосфор, но в озёрах Большое Куможье, Лесное и Западное Лобское лимитирующим является азот.

Результаты кластерного и дискриминантного анализов группирования озер по содержанию биогенных элементов в поверхностных водах показало схожесть озер западной и южной канальных систем. В то же время, согласно расстоянию Махаланобиса, озёра Большое Куможье, Западное Лобское, Лесное и Варваринское характеризовались максимальным различием по сравнению с остальными озёрами.

Благодарности. Авторы выражают благодарность за всестороннюю помощь в экспедиционном исследовании на Соловках А. В. Максимову, А. В. Пермагорскому, сотрудникам Соловецкого музея-заповедника А. Я. Мартынову и А. Н. Соболеву.

Список литературы

Гидрология и гидрохимия Соловецких озер. Соловецкие острова: материалы по комплексному изучению озер / Г. Л. Грицевская, Г. К. Кябелева, Л. А. Николаева, Семенов В. Н. // Труды СевНИОРХ. 1972. № 6. С. 5–44.

ПНД Ф 14.1:2.2.4-95. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрат-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой. М. : Изд-во Гос. ком. РФ. по охране окружающей среды, 1995. 15 с.

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоёмов и перспективных для промысла районов Мирового океана / В. В. Сапожников, А. И. Агатова, Н. В. Аржанова [и др.]. М. : Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.

Шварцман Ю. Г., Болотов И. Н. Природная среда Соловецкого архипелага в условиях меняющегося климата. Екатеринбург : УрО РАН, 2007. 184 с.

Redfild A. C., Ketchum B. H., Richards F. A. The influence of organisms on the composition of sea water. The sea. John Wiley and Sons. New York, London, 1963. Vol. 2. P. 26–49.

УДК 595.121:597(28):577.122

АНТИМИКРОБНЫЕ БЕЛКИ И ПЕПТИДЫ КАК МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ РЕГУЛЯЦИИ ПАРАЗИТО-ХОЗЯИННЫХ ОТНОШЕНИЙ В СИСТЕМЕ «ЦЕСТОДЫ – ПРЕСНОВОДНЫЕ РЫБЫ»

Е. А. Рогожин*, Т. В. Фролова, Г. И. Извекова

Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
(Россия, 152742, Борок, 109)
**Автор для переписки:e-mail: rea21@list.ru*

Аннотация. Цель работы – исследование свойств экскреторно-секреторных белков и пептидов, продуцируемых плоскими червями в процессе их выживания в организме хозяина, обеспечивающих защиту паразита от протеиназ хозяина и присутствующей в его организме микробиоты. На примере изучения структуры и функций секретируемых белков и пептидов плоских червей и их роли в развитии паразитизма в водных экосистемах получены новые данные об эколого-биохимических механизмах адаптации метаболизма в системе «паразит-хозяин». Выявление природных антимикробных пептидов открывает возможность создания новых терапевтических средств борьбы с микроорганизмами, что делает эти вещества важным звеном в поиске лекарств нового поколения.

Ключевые слова: биохимические адаптации, белки, антимикробные пептиды, взаимоотношения паразит–хозяин, цестоды, рыбы

Цестоды – паразиты с длительной совместной эволюцией со своими хозяевами–позвоночными животными. Их физиологические потребности полностью адаптированы для паразитизма, включая проникновение в хозяина, питание и размножение, а также механизмы, с помощью которых они оказывают влияние на метаболизм хозяина с максимальной выгодой для себя. Для очень специфических приспособлений к конкретным хозяевам необходимы биоактивные молекулы. Взаимодействие между паразитом и его хозяином происходит в основном посредством секретируемых белков, облегчающих инвазию хозяина и уклонение от его иммунного ответа. Состав и функция этих белков варьируют в зависимости от образа жизни и окружающей среды. Не менее протеаз для гельминтов важны и их ингибиторы, сдерживающие потенциально опасную избыточную или несвоевременную протеолитическую активность и создающие для своего существования более безопасную среду в организме хозяина за счет регулирования активности протеаз и иммуномодуляции. Кроме того, гельминты, обитающие в кишечнике, взаимодействуют с его микробным сообществом, оказывая влияние на качественный и количественный состав кишечной микробиоты. Природные антимикробные пептиды (АМП) вырабатываются всеми живыми организмами. У многоклеточных животных они действуют как факторы защиты хозяина, устраняя микробные патогены. Способность цестод выделять АМП остается под вопросом. В то же время открытие природных антимикробных пептидов дает возможность создания новых терапевтических средств борьбы с микроорганизмами и делает эти естественные антибиотики важным звеном в поиске лекарств нового поколения для лечения бактериальных и грибковых инфекций.

Таким образом, изучение структуры и функций секретируемых белков и пептидов значительного числа пар *паразит – хозяин* позволяет дополнить имеющиеся и получить принципиально новые данные, касающиеся механизмов их взаимоотношений, и выявить как общие черты, так и отличия. В дальнейшем это открывает возможности нейтрализации негативного влияния паразитов на хозяев и обнаружение видов гельминтов, продуцирующих антимикробные пептиды с возможно широким спектром действия.

УДК 504.4.054:579.69

АКТИВНОСТЬ БАКТЕРИЙ-ДЕСТРУКТОРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЗОНЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТОПОЧНЫМ МАЗУТОМ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ

Е. В. Рогожина*, Е. А. Наумова, Л. В. Захарихина, В. Н. Бехтерев, Т. Л. Горбунова, П. С. Лесникова, В. В. Керимзаде, С. П. Черненко

Субтропический научный центр Российской академии наук
(Россия, 354002, Сочи, ул. Я. Фабрициуса, 2/28)
**Автор для переписки: rogojinaEW@yandex.ru*

Аннотация. Целью данной работы являлся анализ углеводородокисляющей активности аборигенных штаммов бактерий-эпифитов макроводорослей и мидий прибрежной территории Анапы, загрязненной топочным мазутом марки М100, при их взаимодействии с природным микробным сообществом, заселяющим данный нефтепродукт. С поверхности гидробионтов выделены чистые культуры штаммов бактерий-деструкторов углеводородов; которые различались способностью к деструкции водорастворимой фракции мазута во времени: 1) активные в 1-е сут инкубации (снижение количества углеводородов относительно контроля на 20–45 %) погибали в течение 5 сут; 2) характеризовались медленным ростом, замедляли процесс самоочищения на 1-е и 5-е сут опыта, подавляя рост ассоциированного с мазутом микробиома, а на 10-е сут инкубации проявляли эффективность 40–50 %.

Ключевые слова: микроорганизмы, деструкция мазута, биоремедиация, Чёрное море

Полученные в ходе выполнения работы результаты направлены на решение важной экологической и хозяйственной проблемы – нахождение способа биодеградации топочного мазута, являющегося трудноразлагаемым высокотоксичным углеводородным загрязнителем [Ecological … , 2020]. Исключительную роль в биодеградаци углеводородов нефти в природной среде играют микроорганизмы [Семенов, Федоренко, Семенова, 2014; Bioremediation … , 2021; Evaluation … , 2022; Mohan, Damare, 2023]. Целью данной работы являлось выделение с поверхности гидробионтов штаммов бактерий-деструкторов углеводородов; оценка в условиях модельного опыта способности чистых культур к разложению мазута марки М100 в условиях взаимодействия с природной ассоциацией микроорганизмов, заселяющей мазут и обеспечивающей самоочищение в природе.

Исследование микробных сообществ морской воды и биообрастаний макроводорослей (*Scytosiphon lomentaria* (Lyngb.) Link, *Cystoseira crinite*, *Polysiphonia flucoudes* (Greville), *Ulva compressa*, *Ectocarpus confervoides*, *Ulva albida*), а также черноморской мидии (*Mytilus Galloprovincialis* Lamarck) Анапского побережья (г. Анапа 44.8936, 37.2965 – пос. Витязево 44.5855, 37.1856) проведено через 2 мес. после разлива топочного мазута марки М100 в Керченском проливе 15 декабря 2024 г.; в качестве фоновой рассматривалась прибрежная территория заповедника «Утриш» (44.4516, 37.2347), не затронутая загрязнением нефтепродуктами. Штаммы углеводородокисляющих бактерий (УОБ) были выделены с поверхности макроводорослей и мидий методом десятикратных разведений смыва и посева на плотную элективную среду Милса, численность гетеротрофных бактерий определена в результате посева на агаризованный гидролизат рыбный ферментативный (ГРФ-агар). В условиях модельного опыта флуориметрическим методом оценена способность УОБ к разложению мазута марки М100 по изменению суммарного количества водорастворимых углеводородов в опытных ёмкостях (суспензии штаммов с концентрацией 10^6 клеток/мл с добавлением нестерильного мазута, отобранного с места катастрофы, в количестве 5 % по объёму) на 1, 5, 10-е сут инкубации.

Установлено, что численность гетеротрофов в морской воде варьировала от 60,0 до 64,7 млн КОЕ/мл, а на поверхности гидробионтов от 52,3 до 69,3 млн КОЕ/мл, что выше в среднем на 20 % по сравнению с фоном (51,3 и 54,3 млн КОЕ/мл в морской воде и в составе биообрастаний соответственно). Увеличение численности микроорганирзмов на поверхно-

сти гидробионтов относительно воды обусловлено симбиотическим альго-бактериальным взаимодействием [Семенов, Федоренко, Семенова, 2014; Does … , 2023]. Углеводородокисляющие бактерии концентрировались на поверхности гидробионтов только в загрязненной зоне моря в количестве от 2,4 до 3,4 тыс. КОЕ/мл, в большей степени на мидиях. Полученные результаты свидетельствовали о повышенном содержании в загрязненных акваториях легкоразлагаемых органических веществ и углеводородов. Выделенные штаммы различались проявлением деструктивной активности к водорастворимым углеводородам мазута во времени: 1-я группа – активные в 1-е сут инкубации (отмечено снижение количества углеводородов в опытной ёмкости относительно контроля на 20–40 %) погибали в течение 5 сут; 2-я группа – характеризовались медленным ростом, замедляли процесс самоочищения на 1-е и 5-е сут опыта, подавляя рост микробиома мазута, а на 10-е сут инкубации проявляли эффективность 40–50 %. Гибель штаммов первой группы в течение первых 5 сут взаимодействия с поллютантами подтверждалась результатами посевов суспензии из опытных ёмкостей на элективные среды. Массовая гибель клеток тестируемого штамма в опытной ёмкости сопровождалась увеличением на порядок численности гетеротрофных бактерий микробного сообщества, ассоциированного с мазутом. Лабораторный эксперимент доказал эффективность применения выделенных штаммов бактерий для очистки окружающей среды от загрязнения топочным мазутом марки М100 в конкретных природно-климатических условиях с учётом особенностей их роста и проявления активности. Выявленные особенности штаммов указывают на то, что эти микроорганизмы потенциально могут быть использованы для очистки пляжей от мазута для краткосрочного воздействия или в виде консорциумов (симбиотических ассоциаций с микроорганизмами мазута), обеспечивающих более продолжительное разложение водорастворимых углеводородов, входящих в состав топлива.

Благодарности. Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СНЦ РАН FGRW-2024-0004, № госрегистрации 124022000094-8.

Список литературы

Семенов А. М., Федоренко В. Н., Семенова Е. В. Микроорганизмы на поверхности морских макрофитов в северных морях России и их возможное практическое использование // Биосфера. 2014. № 1. С. 60–76.

Bioremediation of marine oil spills by immobilized oil-degrading bacteria and nutrition emulsion / Q. Luo, D. Hou, D. Jiang, W. Chen // Biodegradation. 2021. Vol. 32. P. 165–177. DOI: 10.1007/s10532-021-09930-5

Does Caulerpa prolifera with its bacterial coating represent a promising association for seawater phytoremediation of diesel hydrocarbons? / S. Caronni, L. A. Quaglini, A. Franzetti [et al.] // Plants. 2023. Vol. 12 (13). Art. 2507. DOI: 10.3390/plants12132507

Ecological Impacts of Total Petroleum Hydrocarbons / S. Kuppusamy, N. R. Maddela, M. Megharaj [et al.] // Total Petroleum Hydrocarbons. Springer, Cham, 2020. P. 95–138. DOI: 10.1007/978-3-030-24035-6_5

Evaluation of a glycolipopepetide biosurfactant from Aeromonas hydrophila RP1 for bioremediation and enhanced oil recovery / R. Pandey, B. Krishnamurthy, H. P. Singh, D. R. Batish // Journal of Cleaner Production. 2022. Vol. 345. Art. 131098. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.131098

Mohan M. C., Damare V. S. Source and Effect of Oil Spills on Associated Microorganisms in Marine Aquatic Environment // Current Status of Marine Water Microbiology / eds.: Soni R., Suyal D. C., Morales-Oyervides L., Fouillaud M. Singapore : Springer, 2023. P. 193–220. DOI: 10.1007/978-981-99-5022-5_9

УДК 574.5:551.8

ОЗЕРА ЭВЕНКИИ КАК СВИДЕТЕЛИ ТУНГУССКОЙ КАТАСТРОФЫ 1908 ГОДА

Д. Ю. Рогозин[1,2]*, Л. Б. Назарова[3,4], Л. А. Фролова[3], Л. С. Сырых[5], Г. Н. Болобанщикова[1], А. В. Дарьин[6]

[1]Институт биофизики Красноярского научного центра СО РАН (Россия, 660036, Красноярск, ул. Академгородок, 50/50)
[2]Сибирский федеральный университет (Россия, 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79)
[3]Казанский федеральный университет (Россия, 420008, Казань, Кремлевская, 18)
[4]Институт Альфреда Вегенера, Гельмгольц центр (Германия, 14473, Потсдам, Telegrafenberg, A43)
[5]Российский Государственный Педагогический Университет им. Герцена (Россия, 191186, Санкт-Петербург, наб. Мойки, 48)
[6]Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (Россия, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3)
**Автор для переписки: rogozin@ibp.ru*

Аннотация. Тунгусская катастрофа 1908 г. («Тунгусский метеорит») – мощнейший на памяти человечества атмосферный взрыв неизвестной природы, произошедший над территорией Эвенкийского района Красноярского края. Следы какого-либо космического тела до сих пор найти не удалось. Ранее была выдвинута гипотеза, что оз. Чеко, расположенное вблизи эпицентра Тунгусской катастрофы, является кратером от падения фрагмента космического тела в момент катастрофы. Мы провели исследования ряда глубоких озер вблизи эпицентра и выявили, что все озёра, включая оз. Чеко, имеют возраст старше 1908 г., следовательно, оз. Чеко не может быть результатом Тунгусской катастрофы. В донных отложениях нескольких озер выявлены неоднородности элементного состава, угольных частиц, видового состава хирономид, диатомей и кладоцер, вероятно являющиеся следствием Тунгусской катастрофы 1908 г.

Ключевые слова: Тунгусская катастрофа 1908, оз. Чеко, донные отложения, XRF анализ, угольные частицы, диатомеи, кладоцеры

Причины Тунгусской катастрофы 1908 г. («Тунгусский метеорит») до сих пор не выяснены. Однако это загадочное явление в случае его повторения может нести серьезную опасность, поэтому любые новые сведения о нем чрезвычайно актуальны. Итальянскими учеными была выдвинута гипотеза, что оз. Чеко, расположенное вблизи эпицентра Тунгусской катастрофы 1908 г., является кратером от падения фрагмента космического тела в момент Тунгусской катастрофы 1908 г. [A possible … , 2007]. Аргументами для этой гипотезы служили непонятное происхождение, воронкообразная форма и относительно большая глубина. Оценка возраста отложений, проведенная Гасперини с соавт. [A possible … , 2007], также свидетельствовала о справедливости этой гипотезы. Нами была проведена собственная оценка возраста на основе измерений ^{137}Cs, ^{210}Pb и подсчета годичных слоев (варв), которая свидетельствует, что озеро значительно старше Тунгусской катастрофы [Оценка … , 2017]. Кроме того, в окрестности эпицентра нами впервые были исследованы озёра Заповедное и Пеюнгда, и выявлено, что форма и размеры этих озер аналогичны оз. Чеко, а возраст отложений составляет несколько тысяч лет. Следовательно, форма оз. Чеко не является уникальной, что свидетельствует против гипотезы о его импактном происхождении. В донных отложениях оз. Чеко выявлены следы лесного пожара, предположительно в результате Тунгусской катастрофы. В отложениях озёр Заповедное и Пеюнгда выявлен слой с повышенным содержанием терригенных элементов, предположительно образовавшийся в результате смыва почвенного покрова, нарушенного массовым вывалом деревьев в момент катастрофы 1908 г. [Климатические … , 2024; Tracking … , 2025]. В отложениях озёр Заповедное и Пеюнгда выявлены изменения количества и видового состава хирономид, диатомей и кладоцер в слоях, соответствующих периоду непосредственно после 1908 г. [Tracking … , 2025]. Новые сведения могут быть полезны как свидетельства нарушения и

последующего восстановления экосистем озер после сильного воздействия, а следовательно – дают новую информацию в массив знаний о Тунгусской катастрофе 1908 г.

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств Российского научного фонда, грант № 25-17-68006 (продление проекта 22-17-00185). https://rscf.ru/project/22-17-00185.

Список литературы

Климатические изменения приарктических территорий Восточной Сибири за последнее тысячелетие по литолого-геохимическим данным донных осадков озера Пеюнгда (Красноярский край, Эвенкия) / А. В. Дарьин, Д. Ю. Рогозин, В. С. Новиков [и др.] // Доклады РАН. Науки о Земле. 2024. 514(2): 343–349.

Оценка скорости накопления донных отложений в озере Чеко (Эвенкия, Сибирь): новые сведения по проблеме Тунгусского феномена 1908 года / Д. Ю. Рогозин, А. В. Дарьин, И. А. Калугин [и др.] // Доклады АН. Науки о Земле. 2017. Т. 476, № 6. С. 685–687.

A possible impact crater for the 1908 Tunguska Event / L. Gasperini, F. Alvisi, G. Biasini [et al.] // Terra Nova. 2007. Vol. 19. P. 245–251.

Tracking late Holocene climate change and the 1908 Tunguska impact event from lake sediments in Central Siberia / D. Y. Rogozin, L. B. Nazarova, N. A. Rudaya [et al.] // Quaternary Research. 2025. DOI: 10.1017/qua.2024.35

УДК 575.852'1

РАЗНЫЕ СКОРОСТИ ЭВОЛЮЦИИ МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ ГЕНОМОВ БАЙКАЛЬСКИХ АМФИПОД

Е. В. Романова[1]*, Ю. С. Букин [1,2], А. В. Юдинцева[1], Д. Ю. Щербаков[1,3]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Иркутский государственный университет(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[3]Новосибирский государственный университет (Россия, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2)
**Автор для переписки: elena_romanova@lin.irk.ru*

Аннотация. Проведен филогенетический, статистический и структурный анализ последовательностей митохондриальных (мт) геномов 69 видов байкальских амфипод. Выявлена разная скорость эволюции у разных видов. Наиболее быстро эволюционирующими являются виды первой линии (сем. Micruropodidae, Crypturopodidae, Macrohectopodidae, Baikalogammaridae) и виды р. *Pallaseopsis* из второй линии. Повышенная скорость эволюции во всех случаях была ассоциирована с измененным порядком белок-кодирующих генов мт генома. Влияние факторов среды на распределение средних скоростей эволюции в мт геномах байкальских амфипод имело достоверное, но слабое влияние.

Ключевые слова: эволюция, митохондриальный геном, амфиподы, Байкал

Эволюция митохондриального (мт) генома определяется процессами, которые делятся на неадаптивные (мутационное давление и генетический дрейф) и адаптивные (отбор), взаимодействующие по-разному на разных уровнях организации: от клеточного и организменного до уровня популяций и высоких таксонов [Schaack, Ho, Macrae, 2020]. Анализируя последовательности мт геномов можно проследить вклад этих процессов в их эволюцию интересующих групп организмов, и связь с разнообразными географическими факторами среды и биологическими особенностями (например, продолжительность жизни, скорость метаболизма, популяционные характеристики вида и пр.). Одна из часто оцениваемых характеристик, в том числе и для генов мт генома – это скорость эволюции [Lanfear, Welch, Bromham, 2010]. Ранее проведенный анализ мт геномов десяти видов байкальских амфипод показал статистически значимое ускорение эволюции в шести белок-кодирующих генах по сравнению с группой родственных небайкальских амфипод рода *Gammarus* [Romanova, Sherbakov, 2019].

В настоящем исследовании мы расширили спектр последовательностей байкальских видов до 69 путем сборки мт геномов из данных транскриптомных чтений, опубликованных ранее [Transcriptome-based … , 2017]. Была проведена филогенетическая реконструкция на основе выравненных нуклеотидных последовательностей белок-кодирующих и рибосомных генов методом максимального правдоподобия [IQ-TREE … , 2015]. Данные об экологических характеристиках каждого вида (глубина обитания, размерные характеристики, степень вооруженности) были взяты из литературных источников [Базикалова, 1945; Тахтеев, 2000; Камалтынов, 2001]. Статистический анализ был проведен с использованием средств программирования Python 3.12.3, Biopython 1.84 [Biopython … , 2009] и R [Anderson, 2001].

Анализ показал, что скорости эволюции мт геномов внутри группы байкальских амфипод достоверно отличаются. Среди наиболее быстро эволюционирующих выделяются виды первой линии байкальских амфипод, а также виды из монофилетической группы рода *Pallaseopsis*. У видов группы *Pallaseopsis* наиболее быстро эволюционирующими генами являются *CO2, CO3, ND1-ND5*, в то время, как у видов линии I набор наиболее быстро эволюционирующих генов отличается как между видами линии, так от набора соответствующих генов в группе *Pallaseopsis*. Нами показано слабое ($R2 = 0{,}09–0{,}11$), но достоверное ($P = 0{,}008–0{,}033$) влияние факторов среды на распределение средних скоростей эволюции в мт геномах, в то же время влияние фактора перестроенности мт генома было заметно выше

как для общего распределения скоростей накопления замен (R = 0,283), так и для распределений скоростей каждого гена (R = 0,068–0,59). Учитывая, что повышенная скорость эволюции наблюдается в отдельных монофилетических группах байкальских амфипод, можно предполагать, что это явление носит адаптивный характер, однако у видов разных линий наблюдается ускорение эволюции разных генов мт генома. У всех «быстро эволюционирующих» мт геномов наблюдаются перестройки порядка белок-кодирующих генов по сравнению с преобладающим порядком генов, наблюдающимся у остальных видов.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке темы бюджетного финансирования № 0279-2021-0010.

Список литературы

Базикалова А. Я. Амфиподы озера Байкал // Труды байкальской лимнологической станции. 1945. Т. 1. С. 1–440.

Камалтынов Р. М. Амфиподы (Amphipoda: Gammaroidea). Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. 2001. № 1 (1). С. 572–831.

Тахтеев В. В. Очерки о бокоплавах озера Байкал (систематика, сравнительная экология, эволюция). Иркутск : Изд-во ИГУ, 2000. 355 с.

Anderson M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance // Austral Ecol. 2001.Vol. 26. P. 32–46. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x

Biopython: freely available Python tools for computational molecular biology and bioinformatics / P. J. Cock, T. Antao, J. T. Chang [et al.] // Bioinformatics. 2009. Vol. 25, N 11. P. 1422–3. DOI: 10.1093/bioinformatics/btp163

IQ-TREE: A Fast and Effective Stochastic Algorithm for Estimating Maximum-Likelihood Phylogenies / L-T. Nguyen, H. A. Schmidt, A. Von Haeseler, B. Q. Minh // Mol Biol Evol. 2015. Vol. 32. P. 268–274. DOI: 10.1093/molbev/msu300

Lanfear R., Welch J. J., Bromham L. Watching the clock: Studying variation in rates of molecular evolution between species // Trends Ecol Evol. 2010. Vol. 25. P. 495–503. DOI: 10.1016/j.tree.2010.06.007

Romanova E. V., Sherbakov D. Yu. Different rates of molecular evolution of mitochondrial genes in Baikalian and non-Baikalian amphipods // Limnol Freshw Biol. 2019. Vol. 6. P. 339–344. DOI: 10.31951/2658-3518-2019-A-6-339

Schaack S., Ho E. K. H., Macrae F. Disentangling the intertwined roles of mutation, selection and drift in the mitochondrial genome // Philos Trans R Soc B Biol Sci. 2020. Vol. 375. Art. :20190173. DOI: 10.1098/rstb.2019.0173

Transcriptome-based phylogeny of endemic Lake Baikal amphipod species flock: fast speciation accompanied by frequent episodes of positive selection / S. A. Naumenko, M. D. Logacheva, N. V. Popova [et al.] // Mol Ecol. 2017. Vol. 26. P. 536–553. DOI: 10.1111/mec.13927

УДК 57.065

ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЕ РОДСТВО И ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СТАТУС *VALVATA* SPP. (GASTROPODA, HETEROBRANCHIA) В ПРИБАЙКАЛЬЕ

А. К. Ромашова[1], А. В. Натяганова[2], М. В. Коваленкова[2]*

[1]Иркутский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: kovalenkovam@mail.ru*

Аннотация. Генетическая ревизия пресноводных моллюсков семейства Valvatidae Gray, 1840 представляет значительный интерес в связи с существующими противоречиями между морфологическими и молекулярно-генетическими данными. Предыдущие исследования фауны Прибайкалья были сосредоточены преимущественно на эндемичных байкальских родах *Megalovalvata Lindholm, 1906* и *Pseudomegalovalvata Kozhov, 1936*. В настоящей работе выполнен анализ нуклеотидных последовательностей митохондриального гена *COI* представителей Valvata *sensu lato* с применением методов автоматической видовой делимитации. Выявлены две генетические линии, одна из которых, по-видимому, является эндемичной для Прибайкалья, тогда как вторая принадлежит таксону, распространённому в Восточной Сибири и Монголии. Полученные данные позволяют предположить существование региональных видов и ограниченную способность представителей семейства к расселению.

Ключевые слова: региональный эндемизм, расселение, Байкал

Несмотря на достаточно пристальное внимание исследователей к биоразнообразию Байкала, фауна беспозвоночных Прибайкалья остается слабоизученной. Семейство пресноводных моллюсков Valvatidae (Gastropoda: Heterobranchia) насчитывает около шестидесяти видов, большинство из которых имеют палеарктическое распространение. Использование молекулярно-генетических методов в изучении этого семейства приводит к пересмотру существующей систематики [A new … , 2024; Schäffer, Hausdorf, 2024]. Малакологи западной Европы различают в роде *Valvata* номинативный и два подрода *Cincinna* и *Tropidina* (Glöer, 2019), в России принято считать *Cincinna* самостоятельным родом с тремя подродами. Небольшие размеры вальватид и наличие крышечки позволяют предполагать их пассивное расселение при помощи водоплавающих птиц [Miller, Weigel, Mock, 2006]. Моллюски сем. Valvatidae при вселении в Байкал сформировали два эндемичных рода, однако их ближайшие родственники остаются неизвестными. Ввиду изменчивости конхологических признаков и противоречий между различными школами специалистов-систематиков, актуальной задачей является генетическая ревизия сем. Valvatidae. В последнее десятилетие обсуждаются процессы изменения бентосных сообществ оз. Байкал, в том числе вселение чужеродных брюхоногих моллюсков [Alien … , 2024]. Поэтому практический интерес представляет пополнение генетических баз данных референсными последовательностями, для дальнейших экологических и мониторинговых исследований, в том числе методом метаборкодинга донных сообществ [DNA … , 2025].

Сбор моллюсков проводился в ходе экспедиций на НИС «Папанин» и «Титов» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала») в 2017–2024 гг. Секвенирование фрагмента митохондриального гена первой субъединицы цитохром-с-оксидазы (*COI*) проведено на базе ЦКП «Ультрамикроанализ». Для сравнительного анализа загружены все доступные в GenBank последовательности этого гена, принадлежащие представителям рода *Valvata.* В программе BEAST построено ультраметрическое байесовское дерево. Автоматическое разграничение видов проведено с помощью трех методов: дистантного ASAP (Assemble Species by Automatic Partitioning), и топологических bGMYC (Bayesian Generalized Mixed Yule Coalescent) и bPTP (Bayesian Poisson Tree Process). Топологические тесты проведены на веб-сервере Exelixis Lab (https://species.h-its.org).

Предполагаемый баркодинг-гэп для метода ASAP находится в диапазоне от 1 до 5 % нуклеотидных замен, разграничивая при этом от 14 до 35 таксонов в пределах рода *Valvata*, наиболее вероятная генетическая составляет 2,9 % нуклеотидных замен. При применении трех методов делимитации видов было получено следующие количество таксонов: ASAP – 19, GMYC – 29, PTP – 27. Наиболее сходные результаты делимитации видов методом ASAP в сравнении с топологическими методами получены для генетической дистанции 1,5 % нуклеотидных замен (26 таксонов). Основные противоречия между результатами делимитации, полученными разными методами, при этом относятся к широко распространенному голарктическому виду *V.* (*C.) piscinalis* (Müller, 1774), который, однако не был обнаружен в Прибайкалье. На данный момент по данным методов делимитации получены нуклеотидные последовательности *COI* двух таксонов видового ранга представителей рода *Valvata* (*Cincinna*). Одна из обнаруженных в Прибайкалье генетических линий формирует самостоятельный вид, который пока нигде более не обнаружен и, вероятно, специфичен для этого региона. Большая часть обнаруженных в Прибайкалье вальват кластеризуются с представителями из Восточной Сибири и Монголии, и, вероятно, представляют региональный вид (в соответствии с кластеризацией GMYC и PTP) или западную популяцию дальневосточного вида (в соответствии с кластеризацией ASAP при межвидовых дистанциях 2,9 % нуклеотидных замен), объединяющего несколько морфовидов: *V.* (*C.) amurensis* Moskvicheva, 1985, *V.* (*C.) biwaensis* Preston, 1916, *V.* (*C.) japonica* E. von Martens, 1877 и *V.* (*C.) kizakikoensis* (Fujita & Habe, 1991). Моллюски нижнего течения р. Ангара кластеризуются с образцами из Юганского заповедника (Западная Сибирь), идентифицированными в GenBank как *V. aliena* Westerlund, 1876, широко известного в окрестностях Байкала. Филогеографические особенности распространения генетических линий вальватид позволяют предполагать у представителей семейства Valvatidae не высокую способность к расселению и большое количество региональных видов, что ставит под сомнение гипотезу о расселении этих моллюсков с помощью водоплавающих птиц.

Благодарности. Работа выполнена в рамках тем государственного задания ЛИН СО РАН 0279-2021-0010 (121032300196-8), 0279 2021-0007 (121032300180-7).

Авторы благодарны Т. Я. Ситниковой за консультации по систематике.

Список литературы

A new species of the genus *Valvata* (Gastropoda: Valvatidae) from Lake Lugu, southern China / S. Y. Fan, Y. M. He, H. Q. Xiang, H. Chen // Ecologica Montenegrina. 2024. Vol. 71. P. 284–291. DOI: 10.37828/em.2024.71.30

Alien gastropods among endemics in the open waters of Lake Baikal / T. Y. Sitnikova, I. V. Khanaev, M. V. Kovalenkova [et al.] // Biology Bulletin. 2024. Vol. 51, N 9. P. 2671–2687. DOI: 10.1134/S1062359024701462

DNA Metabarcoding of Macroinvertebrates in the Biomonitoring System of Lake Baikal / L. S. Kravtsova, T. E. Peretolchina, T. I. Triboy [et al.] // Biology Bulletin. 2025. Vol. 52, N 1. P. 5. DOI: 10.1134/S1062359024611844

Glöer P. The fresh- and brackish water Gastropods of the West Palaearctics. Germany, 2019. 399 p.

Miller M. P., Weigel D. E., Mock K. E. Patterns of genetic structure in the endangered aquatic gastropod *Valvata utahensis* (Mollusca: Valvatidae) at small and large spatial scales // Freshwater Biology. 2006. Vol. 51, N 12. P. 2362–2375. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01665.x

Schäffer M., Hausdorf B. An Integrative Analysis of the Specific Distinctness of *Valvata (Cincinna) ambigua* Westerlund, 1873 and *Valvata (Cincinna) piscinalis* (Müller, 1774) (Gastropoda: Valvatidae) // Diversity. 2024. Vol. 16, N 7. P. 419. DOI: 10.3390/d16070419

УДК 574.583

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ БАЙКАЛЬСКОГО СЕТНОГО ЗООПЛАНКТОНА ЗА 80 ЛЕТ НАБЛЮДЕНИЙ НА «ТОЧКЕ № 1»

О. О. Русановская*, А. А. Демидова, Т. П. Ржепка, Е. В. Пислегина, С. В. Шимараева, М. А. Тимофеев, Е. А. Зилов

Иркутский государственный университет, НИИ биологии
(Россия, 664025, Иркутск, ул. Ленина, 3)
**Автор для переписки: rusanovskaya-o.o@mail.ru*

Аннотация. В 2025 г. исполняется 80 лет с начала непрерывных режимных гидробиологических наблюдений за состоянием планктона оз. Байкал – проекта «Точка № 1». Исследования направлены на оценку состояния планктонного сообщества озера. Зоопланктон Байкала представлен коловратками, веслоногими и ветвистоусыми ракообразными. Изменения в его структуре могут приводить к снижению видового разнообразия и перестройке сообществ. Согласно многолетним данным, за период с 1946 по 2024 г. в зоопланктоне наблюдается незначительное снижение численности веслоногих ракообразных – эндемичной *Epischura baikalensis* и неэндемичного вида *Cyclops kolensis*. Однако основным компонентом зоопланктона остаётся *E. baikalensis*. Отмечено уменьшение численности эндемичных коловраток подледного комплекса и увеличение численности ветвистоусых ракообразных и коловраток летне-осенней группы.

Ключевые слова: Байкал, зоопланктон, экологический мониторинг, многолетняя динамика, динамика численности

Зоопланктон является чувствительным и информативным индикатором состояния водных экосистем [Investigating … , 2025]. Регулярный сбор и анализ данных о видовой структуре, численности и динамике зоопланктонных сообществ позволяют выявлять ранние признаки экологических изменений, включая антропогенное воздействие и климатические изменения [Current … , 2017, Шевелёва, Пенькова, Зайцева, 2022; Структурные … , 2023].

Материалом для исследования послужили данные круглогодичных еженедельных сборов проб сетного зоопланктона за период с 1946 по 2024 г. Станция отбора проб (Точка № 1) располагается в открытой части Южного Байкала напротив биостанции НИИ биологии ФГБОУ ВО «ИГУ» (пос. Большие Коты).

По данным многолетней динамики численности зоопланктонного сообщества за период с 1946 по 2024 г. (рис.) доминирующее положение занимает *Epischura baikalensis* Sars, 1900 – 53,71 % от численности всего зоопланктона за исследованный период, на втором месте Rotifera – 22,61 %, *Cyclops kolensis* Lilljeborg, 1901 – 11,3 %, *Bosmina longirostris* Müller, 1785 – 9,21 % и *Daphnia galeata* Sars, 1863 – 3,19 %. В целом в зоопланктоне наблюдается снижение численности веслоногих ракообразных. Эта тенденция отмечается как для эндемичной *E. baikalensis*, так и для неэндемичного вида *C. kolensis*. Кроме того, происходит уменьшение численности эндемичных коловраток подледного комплекса и неэндемичных круглогодичных коловраток, которые развиваются и подо льдом, и в летне-осеннее время. Также наблюдается и увеличение численности некоторых групп зоопланктона, к ним относятся ветвистоусые ракообразные и летне-осенняя группа коловраток.

Рассматривая динамику зоопланктонного сообщества в последние годы, можно выделить следующие ключевые изменения.

Резкое увеличение доли коловраток в 2015 г. В этом году их доля достигла 48–55 % в составе зоопланктона. Одновременно в пелагиали Южного Байкала была зафиксирована рекордно высокая среднегодовая температура поверхностного слоя воды за 80-летний период – 7,7 °С. В открытую часть озера проник прибрежный вид *Gastropus stylifer*. Однако с 2017 г. численность коловраток начала снижаться, и в период с 2021 по 2023 г. наблюдалось значительное уменьшение их показателей.

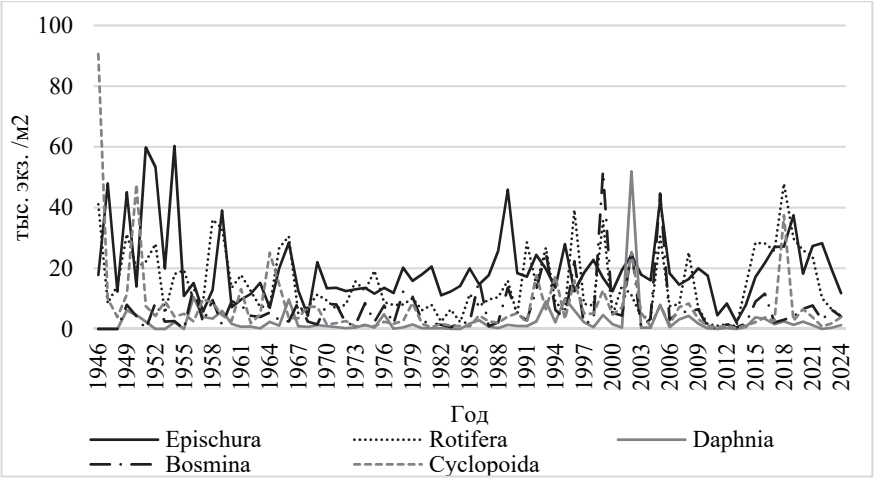


Рис. Долговременная динамика среднегодовой численности сетного зоопланктона на «Точке № 1» в пелагиали Южного Байкала в 1946–2024 гг.

Массовое развитие зимне-весенней коловратки *Notholca intermedia* в 2020 г. Впервые зарегистрирован вид *Harpacticella inopinata* Sars, 1908, ранее не встречавшийся на «Точке № 1» и сохраняющийся в составе зоопланктона до настоящего времени.

Рост численности циклопоидного рачка *C. kolensis* в 2023–2024 гг.

В 2024 г. в литоральной и пелагической зонах озера впервые была обнаружена хищная кладоцера *Leptodora kindtii* Focke, 1844 которая ранее не встречалась в акватории Южного Байкала. Этот факт может свидетельствовать в пользу проходящих процессов перераспределения в структуре планктонных сообществ в озере.

E. baikalensis стабильно является самым массовым компонентом зоопланктона, её доля составляет более 80 %.

Данные мониторинга «Точка № 1» демонстрируют изменения в зоопланктонных сообществах Байкала за последние годы, что подчёркивает необходимость продолжения систематического наблюдения и комплексного анализа для своевременного выявления экологических угроз и разработки мер по сохранению уникальной экосистемы озера.

Благодарности. Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Фонда поддержки прикладных экологических разработок и исследований "Озеро Байкал".

Список литературы

Структурные перестройки фито- и зоопланктона под воздействием климатических изменений и антропогенной нагрузки (оз. Байкал, Россия) / Н. А. Бондаренко, И. В. Томберг, О. Г. Пенькова, Н. Г. Шевелева // Биология внутренних вод. 2023. № 6. С. 727–739.

Шевелева Н. Г., Пенькова О. Г., Зайцева Е. П. Тенденции изменения структуры зоопланктона пролива Малое Море (оз. Байкал) на фоне усиления антропогенной нагрузки (1993–2019 гг.) // Эволюция биосферы и техногенез : материала Всерос. конф. с междунар. участием, 30 авг. – 1 сент. 2021 г. Чита : ФГБУН Ин-т природ. ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2022.

Current state of Lake Baikal plankton: results of long-term monitoring / E. A. Silow, Krashchuk, K. A. Onuchin [et al.] // Symposium for European Freshwater Sciences – 10 (SEFS-10). Olomouc, Czech Republic, 2–7 July, 2017.

Investigating the Seasonal Dynamics of Zooplankton Abundance in Relation to Water Quality Parameters / H. R. Manjunath, V. K. Sharma, J. Guntaj, S. S. Kolaventi // Natural and Engineering Sciences. 2025. Vol. 10, N 1. P. 279–289.

УДК 574.583

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ УЧЁТА ЗООПЛАНКТОНА В МОНИТОРИНГЕ БАЙКАЛА

О. О. Русановская [1]*, С. С. Орешков[2], М. А. Тимофеев[1]

[1]Иркутский государственный университет, НИИ биологии (Россия, 664025, Иркутск, ул. Ленина, 3)
[2]MaritimeAI (Россия, 236019, Калининград, ул. Артиллерийская, 69)
**Автор для переписки: rusanovskaya-o.o@mail.ru*

Аннотация. Зоопланктон является важным компонентом водных экосистем. Анализ его таксономической структуры и количественных показателей помогает выявлять динамику экосистемных изменений. Программа экологического мониторинга зоопланктонного сообщества оз. Байкал реализуется с 1945 г. В период с 2022 по 2024 г. в программу мониторинга были введены технологические решения сочетающие методы машинного обучения с экспертным анализом. Микроскопические изображения зоопланктона обрабатываются алгоритмом, который автоматически идентифицирует, классифицирует и оценивает численность представителей разных видов. Сложные объекты передаются на рассмотрение специалистам для точной интерпретации. Результатом работы стала регулярно обновляемая база данных изображений представителей зоопланктона оз. Байкал с аннотационной разметкой. Эта база служит источником экологической статистики и может быть использована для дальнейших исследований в области компьютерного зрения, микроскопии и экологии.

Ключевые слова: Байкал, зоопланктон, глубокие нейронные сети, метрическое обучение, человек в контуре, компьютерное зрение

Проект долгосрочного экологического мониторинга оз. Байкал «Точка № 1» реализуется в НИИ биологии ИГУ с февраля 1945 г. [Kozhov, 1963]. В основе проекта лежит регулярная оценка состояния фито- и зоопланктона. Планктонные организмы являются основой функционирования экосистемы любого крупного озера, и их мониторинг позволяет делать прогнозы, в том числе и глобальных климатических изменений. За время существования проекта отобрано около 31 тыс. проб из разных слоев воды, результаты обработки которых сведены в единую базу данных. С момента инициации мониторинга все пробы обрабатываются методом микроскопирования. Это достаточно трудоемкий и медленный процесс, выполняемый квалифицированными специалистами. Внедрение методов машинной обработки позволит вывести проект на новый технический уровень, увеличив его эффективность, при сохранении преемственности основных подходов.

Исследование организмов в водной среде не является новой задачей, и уже существует множество решений к автоматизации идентификации зоопланктона. Эти подходы различаются методами получения изображений, извлечения признаков и моделями классификации. Например, DeepLOKI [DeepLOKI- … , 2023] использует глубокую нейронную сеть для анализа изображений. Система разработана для определения списка ключевых видов и не подразумевает его расширения. Другие подходы включают использование камер in-situ с ансамблями из нескольких нейронных сетей [Deep … , 2021, Annotation-free … , 2020]. Большинство этих подходов ориентировано на распознавание in-situ, тогда как в нашем случае образцы собираются и анализируются отдельно. Поэтому важно внедрить дополнительные возможности в процесс анализа без изменения уже отлаженного процесса.

Планктонные пробы отбирали в открытой части Южного Байкала на стационарной точке «Точка № 1». Затем пробы обрабатывали с помощью микроскопа, учитывая видовое разнообразие и численность организмов. После образцы фотографировали и загружали в систему автоматического анализа. Система обрабатывает хранящиеся изображения образцов, обнаруживает объекты на изображениях и классифицирует их.

Для обработки изображений в системе используется подход «человек в контуре». Все изображения обрабатываются автоматическим конвейером компьютерного зрения с последующей визуальной проверкой экспертами.

Конвейер компьютерного зрения сначала автоматически выделяет объекты на изображениях (архитектура SAM), затем классифицирует их по классам. Исходный датасет (12 174 изображения) был создан вручную: эксперты выделяли и классифицировали объекты с двойной проверкой для минимизации ошибок. После этого алгоритмы брали на себя основную обработку, а эксперты проверяли только сложные случаи. Автоматическая система успешно обрабатывает 87 % изображений с одним или несколькими чётко разделёнными объектами.

Для классификации объектов используется метрическое обучение с ResNet34 [Deep … , 2015]. Затем выходные векторы оцениваются на основе близости изображений различных классов. Векторные представления объектов сохраняются в Faiss-индексе [The Faiss … , 2024], для быстрого поиска. Новые объекты при классификации получают метку близлежащего кластера. Модели регулярно обновляются (4 раза в год) на основе новых данных, одобренных экспертами-людьми, для учёта сезонных изменений.

Для сравнения эффективности микроскопического и машинного анализа были изучены результаты обработки одной летней пробы. В 30 % случаев различий между методами не было выявлено, в 40 % нейросеть не учитывала часть организмов (чаще Rotifera), а в 30 % – переоценивала численность (главным образом *Epischura baikalensis*). По видовому разнообразию существенных различий не отмечено.

В системе выбран подход «человек в контуре»: алгоритмы обрабатывают основную часть изображений, а сложные случаи передаются экспертам. Такой подход обеспечивает адаптацию к новым видам и условиям, снижая риск ошибок. Эвристики позволяют автоматизировать обработку 15–63 % изображений, в зависимости от сложности. Прозрачность и масштабируемость системы способствуют сотрудничеству специалистов и развитию открытых наборов данных для науки и инноваций.

Разработанная система может стать важным элементом программы мониторинга Байкала «Точка № 1», необходимым для оценки и прогнозирования экологического состояния озера и влияния изменения климата на его экосистему.

Благодарности. Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Фонда поддержки прикладных экологических разработок и исследований «Озеро Байкал» и компании «Яндекс.Облако».

Список литературы

Annotation-free learning of plankton for classification and anomaly detection / V. P. Pastore, T. G. Zimmerman, S. K. Biswas [et al.]. // Sci. Rep. 2020. Vol. 10. Art. 12142. DOI: 10.1038/s41598-020-68662-3

Deep Learning Classification of Lake Zooplankton / S. P. Kyathanahally, T. Hardeman, E. Merz [et al.] // Sec. Aquatic Microbiology. 2021. Vol. 12. DOI: 10.3389/fmicb.2021.746297

Deep Residual Learning for Image Recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun. 2015. DOI: 10.48550/arXiv.1512.03385

DeepLOKI- a deep learning-based approach to identify zooplankton taxa on high-resolution images from the optical plankton recorder LOKI / E. Oldenburg, R. M. Kronberg, B. Niehoff [et al.] // Sec. Ocean Observation. 2023. Vol. 10. DOI: 10.3389/fmars.2023.1280510

Kozhov M. M. Lake Baikal and its life. The Hague : Dr. W. Junk, 1963. DOI: 10.1007/978-94-015-7388-7

The Faiss library / M. Douze, A. Guzhva, C. Deng [et al.]. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2401.08281

УДК 579.26:574.24

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА БАКТЕРИОПЛАНКТОНА ОЗЕРА БАЙКАЛ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ С ДОБАВЛЕНИЕМ МИКРОЦИСТИНА-LR

Е. А. Рымарева[1]*, И. В. Тихонова[1], Н. Г. Медведева[2], И. Л. Кузикова[2], Т. Б. Зайцева[2], А. Ю. Краснопеев[1], С. А. Потапов[1], Е. Г. Сороковикова[1], О. И. Белых[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН (Россия, 199178, Санкт-Петербург, 14-я линия В. О., 39)
**Автор для переписки: rymarevae84@gmail.com*

Аннотация. В исследовании обсуждается влияние микроцистина-LR на состав микробных сообществ оз. Байкал. Пробы для метабаркодинга по 16S рДНК отобраны на центральной пелагической станции разреза пос. Листвянка – пос. Танхой. Исследование показало, что при добавлении микроцистина-LR происходит изменение структуры микробного сообщества байкальской воды, однако эти изменения носят неоднозначный характер и показывают разностороннее влияние микроцистина на бактериальное сообщество. Общей тенденцией во всех образцах воды с добавлением микроцистина являлось увеличение представленности бактерий Pseudomonadota и Planctomycetota и снижение доли Bacteroidota, остальные изменения были индивидуальны для каждой пробы.

Ключевые слова: планктон, Байкал, микробные сообщества, микроцистин

Микроцистин – один из самых распространенных токсинов цианобактерий, он представляет серьезную угрозу для экосистем и здоровья человека. Его структура очень стабильна, а микробная деградация является эффективным и безопасным путем очищения водоемов от цианотоксинов [Massey, Yang, 2020; Elucidating … , 2023]. В оз. Байкал регулярно наблюдаются цветения токсичных цианобактерий, присутствие самого токсина задокументировано, однако пути его деструкции в озере неизвестны [Идентификация … , 2015]. Целью работы является исследование состава микробных сообществ озера с помощью высокопроизводительного секвенирования в эксперименте с добавлением микроцистина-LR.

Для исследования использованы пробы воды, отобранные в осенний период на центральной глубоководной станции разреза пос. Листвянка – пос. Танхой с глубин 5 м, 1250 м и 1350 м. Пробы воды, профильтрованные через мембранные фильтры с диаметром пор 5 мкм, инкубировали с микроцистином-LR в концентрации 0,72 мкг/мл (Sigma-Aldrich) в течение двух месяцев. Для выделения ДНК использовали природную воду оз. Байкал, собранную на фильтры (диаметр пор 0,2 мкм) сразу же после отбора проб и фильтры, полученные сбором воды после эксперимента. Полноразмерный ген 16S рРНК амплифицировали из геномной ДНК с использованием универсальных праймеров по протоколу для технологии PacBio. Данные секвенирования аннотированы по базе данных SILVA v.138.2.

В исследованных нами пробах воды аннотированы бактерии филумов Actinomycetota, Armatimonadota, Bacillota, Bacteroidota, Cyanobacteriota, Planctomycetota, Pseudomonadota и Verrucomicrobiota, на долю этих групп приходится более 95 % сообщества (рис.). В поверхностном слое воды преобладал филум Actinomicetota (36 %). На глубине 1250 м преобладали представители Pseudomonadota (44 %), на глубине 1350 м доминировали Bacillota (более 50 %). В профильтрованных для эксперимента образцах воды филумы Acidobacteriota, Bacillota, Cyanobacteriota были либо практически полностью элиминированы, либо их количество резко снизилось.

Во всех контрольных образцах преобладали филумы Pseudomonadota (около 57 %) и Bacteroidota (25–40 %). Во всех образцах с добавлением микроцистина наблюдали увеличение доли Pseudomonadota и Planctomycetota, и уменьшение доли Bacteroidota (на 6–13 %), независимо от глубины отбора проб.

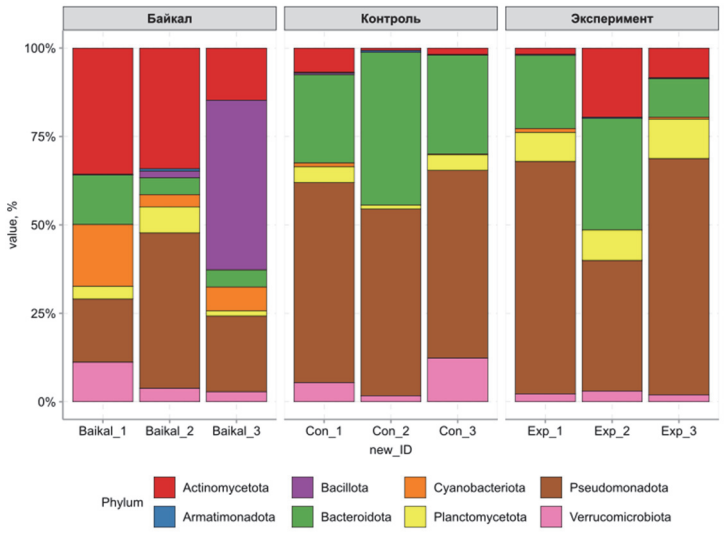


Рис. Доминирующие филумы прокариот в пробах воды из оз. Байкал. Пробы природной воды: Baikal-1 – с глубины 5 м; Baikal-2 – с глубины 1250 м; Baikal-3 – с глубины 1350 м; контрольные образцы (вода, профильтрованная через 5 мкм фильтр): Con-1 – с глубины 5 м, Con-2 – с глубины 1250 м, Con-3 – с глубины 1350 м; образцы, инкубированные с микроцистином до его полного разрушения: Exp-1 – с глубины 5 м, Exp-2 – с глубины 1250 м, Exp-3 – с глубины 1350 м

В образце поверхностной воды с глубины 5 м после добавления микроцистина наблюдалось уменьшение доли филумов Actinomycetota, Verrucomicrobiota до 2–3 % и Bacteroidota – с 24 до 18 %, а доля представителей филума Pseudomonadota, наоборот, увеличилась на 10 %.

В образцах глубинных вод наблюдалась общая тенденция к увеличению доли представителей филума Actinomycetota в присутствии микроцистина, особенно в образце Exp-2 (с 3 до 20 %). В образце Exp-3 доля филума Pseudomonadota по сравнению с контролем увеличилась на 10 %, как и в образце воды с поверхности, а доля Verrucomicrobiota уменьшилась с 12 до 1 %. Образец Exp-2 отличался от других тем, что доля представителей Pseudomonadota по сравнению с контролем уменьшилась (с 52 до 36 %), а Verrucomicrobiota увеличилась в 2 раза (до 2 %).

Благодарности. Данное исследование проведено в рамках бюджетного проекта № 0279-2021-0015 «Вирусные и бактериальные сообщества как основа устойчивого функционирования пресноводных экосистем» и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FFZF-2025-0017).

Отбор образцов для химического анализа проводился с борта НИС «Титов» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»).

Список литературы

Идентификация токсичных цианобактерий в озере Байкал / О. И. Белых, А. С. Гладких, Е. Г. Сороковикова [и др.] // Доклады Академии наук. 2015. С. 353–353. DOI: 10.7868/S0869565215210227

Elucidating microbial mechanisms of microcystin-LR degradation in Lake Erie beach sand through metabolomics and metatranscriptomics / C. Salter, J. A. Westrick, S. R. Chaganti [et al.] // Water Research. 2023. P. 120816. DOI: 10.1016/j.watres.2023.120816

Massey I. Y., Yang F. A mini review on microcystins and bacterial degradation // Toxins. 2020. Vol. 12. P. 268. DOI: 10.3390/toxins12040268

УДК 597.58:591.5

ПОПУЛЯЦИИ СУДАКА *SANDER LUCIOPERCA* (L.) В РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМАХ КАРЕЛИИ

Д. С. Савосин [1]*, В. Н. Коваленко[2], Е. С. Савосин[1]

[1]Институт биологии Карельского научного центра РАН
(Россия, 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11)
[2]Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
(Россия, 185030, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50)
**Автор для переписки: sadenser@inbox.ru*

Аннотация. Представлены результаты сравнительного анализа биологических показателей судака из разнотипных водоемов Республики Карелия (Онежское озеро, Выгозеро, Водлозеро, Суоярви). Выявлено, что лучшие показатели роста характерны для популяции судака Онежского озера, в остальных озёрах хищник растет медленнее, что связано с менее благоприятными условиями обитания.

Ключевые слова: обыкновенный судак, *Sander lucioperca,* водоем, популяция, Карелия

Введение. Широко распространенный в водных экосистемах Северо-запада Европы судак *Sander lucioperca* (L.) является излюбленным объектом любительского и спортивного рыболовства. Биология этого хищника представляет большой научный интерес ввиду его широких адаптивных возможностей и существующей практики по его искусственному расселению.

Цель данной работы – сравнить биологические показатели судака *Sander lucioperca* (L.) в разнотипных водоемах Карелии, а также провести анализ связи темпов его роста и условий обитания.

Материал и методы. Основная часть материала по судаку на исследуемых озёрах была получена при проведении комплексных научно-исследовательских работ. Исследование состояния популяции судака Онежского озера выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-20018, https://rscf.ru/project/23-17-20018/», проводимого совместно с органами власти Республики Карелия с финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (ФВИ РК). Камеральная обработка ихтиологического материала проводилась по общепринятым методикам [Правдин, 1966; Методическое … , 1974; Решетников, 1980; Дгебуадзе, Чернова, 2009]. Для сравнительного анализа с популяцией судака оз. Водлозера использовали архивные материалы и материалы исследований других авторов [Петрова, Кудерский, 2006; Черепанова, Георгиев, 2014].

Результаты и обсуждение. Судак – пример успешного опыта по улучшению качественного состава ихтиофауны водоемов Республики Карелия. В двух (Выгозеро, Суоярви) из четырех водоемов, представленных в работе, популяции судака – результат интродукции этого вида в советский период. Исследуемые озёра значительно отличаются по своим гидрологическим, гидробиологическим и гидрохимическим показателям, в двух из них судак (Выгозеро, Суоярви) был вселен. Онежское озеро (9720 км^2) относится по региональной шкале трофности и цветности к олиготрофным и олигогумусным. Выгозеро (1251 км^2) характеризуется мезотрофным статусом вод, со значительной степенью антропогенной нагрузки. Водлозеро (322 км^2) – эвтрофный, хорошо прогреваемый водоем в составе ООПТ НП «Водлозерский», является одним из самых рыбопродуктивных в Карелии. Озеро Суоярви (58,5 км^2) – мезотрофное, с повышенным содержанием гуминовых кислот и дефицитом кислорода в зимний период. Сравнительный анализ темпов роста судака из исследуемых озер показал, что наибольший темп роста характерен для популяции Онежского озера (табл.), в котором условия обитания являются более благоприятными. Гумусовые и кислые воды Выгозера и Суоярви, находящиеся под влиянием болотного стока, меньше подходят для данного вида, предпочитающего чистые водоемы. Кроме того, спектр питания судака в этих озёрах ограничен 4–5 видами рыб. В Водлозере судак характеризуется высоким тем-

пом роста, поздним созреванием и выступает индикатором развивающихся изменений термического режима водохранилища. В условиях контролируемого лова в Водлозере сохраняется сбалансированное равновесие между характером промысла и степенью воспроизводства судака.

Таблица 1. Линейно-весовой рост судака исследуемых водоемов

Водоемы	Возраст, лет								
	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+
Длина (AD), см									
Онежское озеро	17,0	30,0	36,7	40,0	42,6	44,1	47,5	50,0	52,3
Выгозеро*	-	20,0	25,2	30,1	37,2	40,5	42,0	45,0	48,6
Водлозеро	-	22,0	27,0	32,5	33,8	37,6	40,6	43,0	44,6
Суоярви*	14,0	16,2	24,6	27,6	34,0	38,0	40,0	43,0	46,0
Масса, г									
Онежское озеро	145	550	720	900	1100	1350	1700	1900	2100
Выгозеро*	-	80	220	280	700	880	1400	1600	1850
Водлозеро	-	125	243	375	450	606	770	807	945
Суоярви*	25	52	200	240	470	700	900	1200	1400

Примечание: * – результат интродукции вида.

Выводы. Таким образом, выявленные различия в биологических показателях судака непосредственно связаны с гидрологическими, гидрохимическими и кормовыми особенностями водоемов. Дополнительным фактором может выступать интенсивность изъятия запасов этого ценного промыслового вида.

Благодарности. Финансовое обеспечение исследований на Выгозере и Суоярви осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Карельского научного центра РАН (FMEN 2022-0007).

Список литературы

Дгебуадзе Ю. Ю., Чернова О. Ф. Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура. М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2009. 315 с.

Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М. : Наука, 1974. 254 с.

Петрова Л. П., Кудерский Л. А. Водлозеро: природа, рыбы, рыбный промысел. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2006. 196 с.

Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищ. пром-сть, 1966.. 376 с.

Черепанова Н. С., Георгиев А. П. Рыбохозяйственная характеристика судака (Sander lucioperca L.) Водлозерского водохранилища (Карелия) // Исследования в области естественных наук. 2014. Т. 11. URL: https://science.snauka.ru/2014/11/8501

УДК 556.55:574.52

СООТНОШЕНИЕ ФОРМ ФОСФОРА В ВОДЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

М. В. Сакирко*, В. М. Домышева

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: sakira@lin.irk.ru*

Аннотация. Проведена количественная оценка содержания всех форм фосфора в воде оз. Байкал, а также анализ их соотношений в разные сезоны.

Ключевые слова: Байкал, фосфор, пелагиаль

Фосфор является одним из важнейших биогенных элементов, содержание которого регулирует первичные продукционные процессы в пресноводных экосистемах. В воде он присутствует в растворенной и взвешенной форме, в виде минеральных и органических соединений. Растворенный минеральный фосфор активно потребляется планктонными водорослями и бактериопланктоном для своего роста и развития в процессе фотосинтеза.

Данные о содержании общего органического фосфора в воде Байкала впервые были получены расчетным методом по разности между содержанием общего и минерального фосфора в 1960-е гг. [Тарасова, 1975], содержание фосфора во взвеси аналитически определено в 80-е гг. прошлого века [Тарасова, Мещерякова, 1992]. Ведущую роль в круговороте фосфора играют внутриводоемные процессы, 94 % фосфора, ассимилированного планктоном, возвращается во внутренний круговорот [Гранина, 2008].

Измерения фосфора в воде пелагиали выполнены в июне, июле и сентябре 2024 г. Аналитически (ГОСТ 18309) и расчетным путем были определены основные формы фосфора: общий фосфор (TP), характеризующий валовое содержание всех форм фосфора; общий растворенный фосфор (TDP), оценивающий содержание всех растворенных форм фосфора; общий минеральный фосфор (TIP) показывает содержание минеральных форм фосфора; минеральный растворенный фосфор (DIP), наиболее биодоступная форма, активно использующуюся водными организмами; общий взвешенный фосфор (TPP) характеризующий содержание фосфора во взвешенном минеральном (PIP) и взвешенном органическом веществе (POP); общий органический фосфор (TOP) – содержание органического фосфора; органический растворенный фосфор (DOP), который в ходе комплекса биохимических реакций под воздействием ферментов (фосфатаз) переходит в минеральную форму, а также при возникновении дефицита биодоступной (минеральной растворенной) формы используется некоторыми водорослями для своего развития.

Содержание валового фосфора (TP) в пелагиали озере в 2024 г. изменяется от 8,2 до 18,9 мкг P/дм^3 и имеет ярко выраженную положительную вертикальную динамику с максимумом в придонной области. Доля минеральной формы фосфора (отношение TIP/TP) в общем валовом в верхнем 25- метровом слое составляет в среднем 56 % в марте, 68 % в июне и 49 % и 35 % в июле и сентябре, соответственно, возрастая с глубиной к придонной области до 90–95 % в каждом из рассматриваемых сезонов. Содержание общего минерального изменяется в марте в пределах 7,4–14,2 мкг P/дм^3, 4,5–18,8 мкг/дм3 в июне, 1,0–17,3 и 1,0–19,0 мкг/дм^3, соответственно, в июле и сентябре 2024 г., увеличиваясь от поверхности ко дну озера. В марте доля минерального фосфора, находящегося во взвешенном состоянии (PIP/TIP) в верхних горизонтах, не превышает 22 % от общего минерального, в июне таковая составляет уже 40 % (рис.). К июлю количество взвешенного минерального фосфора в слое 0–25 м достигает 80–90 % от общего минерального фосфора, в сентябре картина не меняется, только на некоторых станциях растворенный минеральный фосфор может достигать нулевых значений, а доля взвешенной минеральной части увеличивается до 100 %.

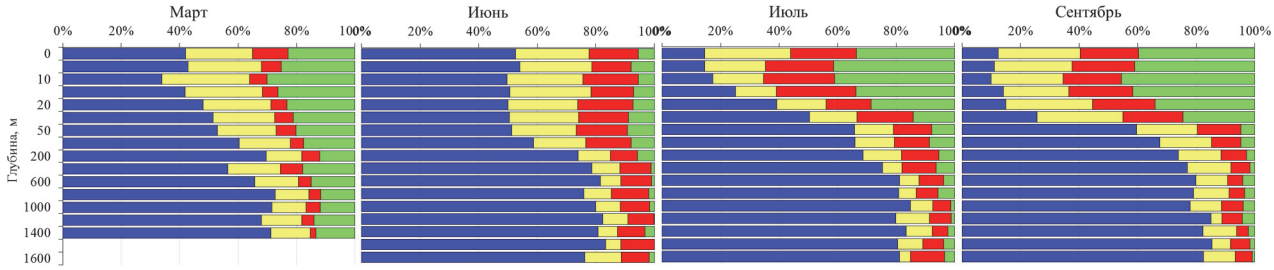


Рис. Доля растворенного минерального (DIP) и органического (DOP), взвешенного минерального (PIP) и органического (POP) фосфора в общем валовом фосфоре (TP) в пелагиали оз. Байкал в 2024 г.

Общие закономерности вертикального распределения органической части фосфора в целом совпадают с аналогичными тенденциями для общего, взвешенного и минерального фосфора. Содержание общего органического фосфора в озере не превышает 8,8 мкг Р/дм^3, а среднее значение TOP составляло около 3,3 мкг Р/дм^3. В марте органический фосфор на 35–40 % находится во взвешенном состоянии, в июне взвешенная часть органического фосфора снижается в среднем до 18 %. В июле и сентябре с повышением концентрации TOP возрастает в нем доля взвешенного, особенно в верхнем 50-метровом слое воды, соотношение POP/TOP возрастает здесь до 70 %, что можно объяснить фотосинтетической активностью мелкоклеточного фитопланктона.

Концентрация общего фосфора возрастает с глубиной, максимальное значение 22 мкг Р/дм^3 зарегистрировано в придонном области средней части озера. В верхнем трофогенном слое содержание растворенных и взвешенных, минеральных и органических форм фосфора подвержено сезонной изменчивости в зависимости от активизации продукционных процессов. В июне после завершения подледной весенней вегетации водорослей преобладает минеральный фосфор в виде растворенной формы, в июле с развитием летнего комплекса фитопланктона его количество, а также доля в общем фосфоре в верхнем небольшом слое снижается, преобладающим становится органический фосфора, в сентябре область низких концентраций TIP распространяется до более глубоких (25 м) горизонтов, возрастает доля общего органического фосфора с преобладанием растворенной формы. В центральном ядре озера и в придонных горизонтах доминирует минеральный фосфор, в среднем, 80 % от общего содержания вне зависимости от сезона. Содержание TIP снижается с марта к сентябрю за счет уменьшения количества растворенной формы, концентрация TOP наоборот возрастает в результате роста содержания взвешенной формы. Накопление взвешенного и органического фосфора происходит в июле и сентябре, а в зимний период, происходит деструкция органического вещества и активизируется накопление минерального фосфора.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0005 (121032300224-8).

Список литературы

Верещагин Г. Ю. Байкал. Науч. -попул. очерк. Иркутск: Иркут. обл. изд-во, 1947. 171 с.

Вотинцев К. К. Гидрохимия озера Байкал. М. : Изд-во АН СССР, 1961. 311 с.

Гранина Л. З. Ранний диагенез донных осадков озера Байкал. Новосибирск : Гео, 2008. 160 с.

Тарасова Е. Н. Органическое вещество вод Южного Байкала. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. 147 с.

Тарасова Е. Н., Мещерякова А. И. Современный гидрохимический режим озера Байкал. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 142 с.

УДК 597.2/.5-57.02

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ТРАНСКРИПТОМИКА КАК КЛЮЧ К ПОНИМАНИЮ АДАПТИВНЫХ СТРАТЕГИЙ БАЙКАЛЬСКИХ РОГАТКОВИДНЫХ РЫБ К ОБИТАНИЮ В РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НИШАХ

Ю. П. Сапожникова*, А. Г. Королева, Т. В. Сидорова, Е. А. Вахтеева, А. А. Епифанцев, В. М. Яхненко, С. А. Потапов, С. В. Кирильчик, Л. В. Суханова, И. А. Небесных, И. В. Ханаев

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: jsap@mail.ru*

Аннотация. В контексте изучения адаптации эндемичных рыб к разнородным условиям обитания в оз. Байкал впервые описываются транскрипционные профили мышц и печени 8 видов рогатковых рыб (Cottoidei). Исследования позволят глубже понять молекулярные механизмы, которые обеспечивают адаптацию эндемичных видов к специфическим условиям обитания в оз. Байкал, в том числе, на глубинах свыше 500 м (до 1600 м).

Ключевые слова: Байкал, адаптация, рогатковидные рыбы, Cottoidei, транскриптомный анализ, дифференциальная экспрессия генов

Уникальность байкальской ихтиофауны определяется разнообразием видов рогатковых рыб (Cottoidei). Виды этой группы рыб характеризуются высоким эндемизмом и значительным разнообразием морфологического строения и образа жизни, что позволило им заселить различные экологические ниши озера, в том числе на глубинах свыше 500 м (до 1600 м) [Талиев, 1955; Sideleva, 2003]. Адаптация рогатковых рыб к конкретным экологическим условиям является ключевым аспектом их выживания [Sex … , 2021]. В этом контексте транскриптомный ответ играет важную роль, позволяя видам эффективно реагировать на изменения в окружающей среде [Transcriptional … , 2024]. В последние годы молекулярные и клеточные биомаркеры стали важными инструментами для оценки состояния и адаптационных характеристик организмов, что открывает новые горизонты в исследовании благополучия эндемичных гидробионтов оз. Байкал и поиска ключевых генов-кандидатов на глубоководный образ жизни.

Исследуемые виды – каменная широколобка (*Paracottus knerii* Dybowski, 1874), малая голомянка (*Comephorus dybowski* Korotneff, 1905), большая голомянка (*Comephorus baikalensis* Pallas, 1776), жирная широколобка (*Batrachocottus nikolskii* Berg, 1901), пестрокрылая широколобка (*Batrachocottus multiradiatus* Berg, 1907), тепловодная широколобка (*Neocottus thermalis* Sideleva, 2002), короткоголовая широколобка (*Cottinella boulengeri* Berg, 1907), узкая широколобка (*Limnocottus pallidus* Taliev, 1948) – были отобраны во время траловых работ на НИС «Верещагин» в августе 2023 и 2024 гг. Общая РНК была выделена из каждой особи (печени и мышц) от 10–15 особей каждого вида с использованием реагента TRIzol (Thermo Fisher Scientific, Уолтем, Массачусетс, США). Количественно оцененные библиотеки были объединены в эквимолярных количествах и секвенированы на высокопроизводительном секвенаторе Illumina NovaSeq 6000 с набором реагентов NovaSeq 6000 Reagent Kit v1.5 в 150 парных конечных прочтениях в компании Novogene Limited (Пекин, Китай). Сборка транскриптомов была выполнена методом de novo с использованием пакета программного обеспечения Trinity v.2.13.2, а также дополнительно на основе референсного генома близкородственного вида, шерстистого бычка (*Clinocottus analis* Girard, 1858). Количественная оценка полноты данных проводилась с использованием BUSCO (Benchmarking Universal Single-Copy Orthologs) версии 5.5.0. Транскрипты, содержащие ORF длиной менее 200 пар оснований, впоследствии были исключены из дальнейшего анализа. Функциональная аннотация полученных унигенов была выполнена с использованием инструмента DIAMOND путем запроса базы данных UniProtKB/SwissProt

(http://www.uniprot.org и дополнительно с помощью инструмента BLASTp в следующих базах данных: KEGG (http://www.genome.jp/kegg) и eggNOG (http://eggnogdb.embl.de). Анализ дифференциальной экспрессии генов проводился с использованием программного обеспечения пакета R EdgeR v4.0.3., Bowtie2 v2.3.5.1 и Trinity v2.13.2.EdgeR. Строгая фильтрация была достигнута с применением предопределенного порога значимости $p = 0{,}001$, а также минимального изменения логарифмического отношения (logFC) = 2.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что каменная широколобка акцентирует внимание на адаптации к переменным условиям прибрежной зоны, что отражается в повышенной экспрессии генов, связанных с энергетическим метаболизмом (*ATP5D, ATP5A1, SLC25A4, ALDOA, GAPDH*), структурной поддержкой (*ACTC1, MYL1, FN1, KRT18, KIF11, ILK*), защитными механизмами (*HSPA1A, HSPB1, APOA1, APOA2*). Донные абиссальные виды (жирная, пестрокрылая, тепловодная, короткоголовая и узкая широколобки) адаптированы к стабильной, но экстремальной среде, что проявляется в акценте на механизмы транспорта ионов (*ATP2A1*), связыванием кислорода (*HBE1*), регуляцией клеточной сигнализации (*IMPAD1, STAT5B*) и структурной защитой (*TPM1*), что позволяет этим видам выживать в условиях низкого уровня света и высокого давления. У большой голомянки наблюдается повышенная экспрессия ряда генов, связанных с эффективным метаболизмом при сниженном уровне кислорода (*ALDH16A1, COX4I1, SHMT1*), клеточной адгезией и сигнализацией (*CFL2, ILK, GPX4*), что указывает на ее адаптацию к глубоководной среде. Малая голомянка, напротив, ориентирована на быструю реакцию к изменениям среды за счет повышенной экспрессии генов, ассоциированных с энергетическим обменом (*HMG-T, MDH2, FABP3 и FTH1*).

В целом в результате работы определены гены-кандидаты на глубоководный донный и пелагический образ жизни для рогатковых рыб. Данные исследования позволят глубже понять молекулярные механизмы, которые обеспечивают адаптацию эндемичных видов к специфическим условиям обитания в оз. Байкал, в том числе на глубинах свыше 500 м (до 1600 м).

Благодарности. Работа выполнена в рамках бюджетной темы № 0279-2021-0005 (121032300224-8). Отбор материала проводился в ходе глубоководных тралений с борта НИС «Г. Ю. Верещагин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала») и с помощью водолазного сбора для пребрежных видов.

Список литературы

Талиев Д. Н. Бычки-подкаменщики Байкала (Cottoidei). М. ; Л. : Изд-во Акад. наук СССР, 1955. 603 с.

Sex Associated Effects of Noise Pollution in Stone Sculpin (Paracottus knerii) as a Model Object in the Context of Human-Induced Rapid Environmental Change / Y. P. Sapozhnikova, A. G. Koroleva, V. M. Yakhnenko [et al.] // Biology. 2021. Vol. 10 (10). Art. 1063. DOI: 10.3390/biology10101063

Sideleva V. G. The endemic fishes of Lake Baikal. Leiden : Backhuys Publishers, 2003. 270 p.

Transcriptional Rearrangements Associated with Thermal Stress and Preadaptation in Baikal Whitefish (Coregonus baicalensis) / Y. P. Sapozhnikova, A. G. Koroleva, T. V. Sidorova [et al.] // Animals. 2024. Vol. 14 (21) Art. 3077. DOI: 10.3390/ani14213077

УДК 575.86

АНАЛИЗ ФИЛОГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АМФИПОД *EULIMNOGAMMARUS MARITUJI* В БАЙКАЛЬСКОМ БАССЕЙНЕ

А. Е. Саранчина[1]*, Е. Б. Говорухина[1], Н. А. Романов[1], А. В. Филиппов[2], М. А. Тимофеев[1], П. Б. Дроздова[1]

[1]Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2]Байкальский исследовательский центр (Россия, 664011, Иркутск, ул. Рабочая 5в)
**Автор для переписки: alexandra147801@gmail.com*

Аннотация. Данная работа была направлена на изучение генетического разнообразия распространенного в южном Байкале и р. Ангаре морфологического вида амфипод *Eulimnogammarus marituji*. Согласно полученным генетическим сетям, построенным по генам первой субъединицы цитохром с-оксидазы и 18S рРНК, вид состоит из трех генетических линий (центральной, западной и южной). В Байкале все три линии разделены географически, но в Ангаре и Енисее они обитают совместно. Оценочный возраст последнего общего предка всех трех гаплогрупп составил 3,6 млн. лет. В ходе исследования удалось зафиксировать гибридов по ядерному гену, что косвенно свидетельствует о единстве морфологического вида.

Ключевые слова: Ангара, Енисей, цитохром с-оксидаза, 18S рРНК, амфиподы, Байкал

Для байкальских амфипод рода *Eulimnogammarus* Baz., 1945 известно криптическое разнообразие. Так, для вида *Eulimnogammarus verrucosus* (Gerstf., 1858) установлено наличие трех криптических видов, разделенных по митохондриальному маркеру, гену первой субъединицы цитохромс-оксидазы (COI) и ядерному гену 18S рРНК. Кроме того, установлено, что они разделены и репродуктивными барьерами [Experimental … , 2022]. Противоположная картина обстоит с другим видом этого рода – *Eulimnogammarus cyaneus* (Dyb., 1874). Этот вид не формирует отдельных генетических линий, а представители его разных географических популяций свободно скрещиваются между собой [The curious … , 2025]. Несмотря на схожие экологические предпочтения, *E. cyaneus* и *E. verrucosus* имеют разную эволюционную историю. Этот факт заставляет задаться вопросом о генетической структуре других представителей рода *Eulimnogammarus*.

В данной работе было проведено исследование литорального вида амфипод *Eulimnogammarus marituji* Baz., 1945. Указанный вид широко распространен в южной части Байкала [Базикалова, 1945], а также в р. Ангаре. Но несмотря на его распространенность, генетическая структура вида прежде не изучалась.

Отлов животных производили на побережье Байкала, в реках Ангара и Енисей. Суммарная выборка амфипод составляет 58 особей. Секвенировали по методу Сэнгера на приборе «Нанофор-05». Для построения филогенетических сетей использовали программу SplitsTree4, для калибровки филогении – пакет beast и Tracer.

Согласно филогенетической сети, построенной по митохондриальному гену COI, вид *E. marituji* делится на три генетические линии (рис., *А*). Можно обозначить их как центральная, южная и западная линии, согласно их географическому распределению в Байкале. По гену 18S рРНК можно наблюдать те же три группы, за исключением двух животных, формирующих отдельную, гибридную, группу (рис., *Б*). Представители *E. cyaneus* и *E. viridis* (Dyb., 1874) служат в качестве внешней группы. Согласно калиброванной байесовской филогении трех генетический линий *E. marituji,* построенной по участку гена COI, общий предок всех трех групп населял Байкал около 3,6 млн л. н.

В ходе данной работы были отловлены два образца гибридного происхождения по ядерному гену 18S рРНК. Они являются гетерозиготами по двум заменам в гене, и имеют западное/южное происхождение.

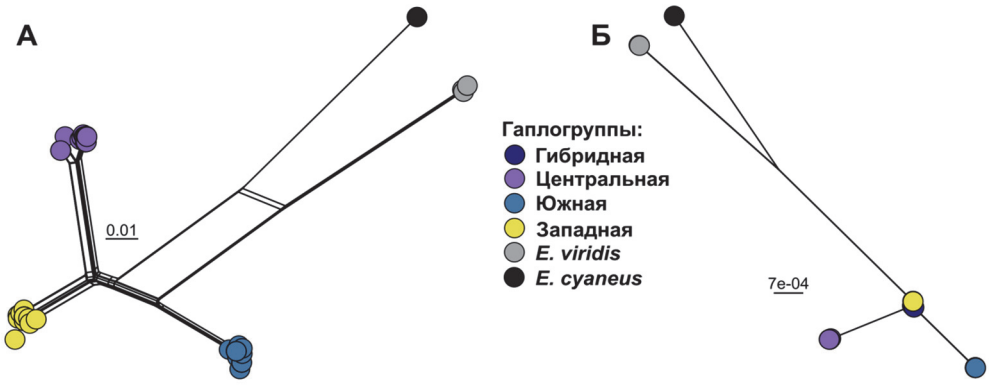


Рис. Филогенетические сети *E. marituji,* построенные по гену цитохром-с оксидазы (*А*) и 18S рРНК (*Б*)

Представители центральной генетической линии были зафиксированы в Малом Море (центральная котловина Байкала), а также в р. Ангаре в пределах Иркутского водохранилища и акватории города Иркутска. Западные *E. marituji* обнаружены возле поселков Листвянка и Большие Коты (западный берег Байкала по отношению к истоку Ангары), а также в Енисее. Южные представители обитают на противоположном берегу истока Ангары (Южная котловина Байкала), в черте г. Иркутска в р. Ангаре, а также в Енисее.

В ходе данного исследования было установлено, что вид *E. marituji* подразделяется на как минимум три генетические линии в Байкале, Ангаре и Енисее по маркерным генам COI и 18S рРНК. Однако зафиксированные гибриды, а также относительно недавнее (по сравнению с криптическими видами *E. verrucosus*) расхождение гаплогрупп косвенно свидетельствуют о единстве морфологического вида *E. marituji.*

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-14-00128-П, https://rscf.ru/project/22-14-00128/

Список литературы

Базикалова А. Я. Амфиподы озера Байкал // Труды Байкальской лимнологической станции / Акад. наук СССР. М. ; Л., 1945.

Experimental crossing confirms reproductive isolation between cryptic species within *Eulimnogammarus verrucosus* (Crustacea: Amphipoda) from Lake Baikal / P. Drozdova, A. Saranchina, E. Madyarova [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. 2022. Vol. 23, N 18. Art. 10858. DOI: 10.3390/ijms231810858

The curious case of *Eulimnogammarus cyaneus* (Dybowsky, 1874): Reproductive biology of a widespread endemic littoral amphipod from Lake Baikal / P. Drozdova, Z. Shatilina, A. Mutin [et al.] // Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology. 2025. Vol. 343, N 2. P. 285–293. DOI: 10.1002/jez.2891

УДК 504.054:547.68

ВЫЯВЛЕНИЕ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

М. Ю. Семенов*, И. И. Маринайте, Л. П. Голобокова, Т. В. Ходжер

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: smu@mail.ru*

Аннотация. Целью исследования было выявление факторов, обусловливающих различия в составах полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) атмосферного воздуха, поверхностных вод, почв и донных отложений. Установлено, что концентрации ПАУ во всех объектах среды уменьшаются с увеличением расстояния до населенных пунктов. Концентрации ПАУ также увеличивались с их возрастом, определяемым по величине отношения BaP/(BaP+BeP) (чем она ниже, тем старше ПАУ). В отличие от воздуха и воды, соотношение между газофазными и твердофазными ПАУ в донных отложениях и почвах слабо меняется с течением времени. Из-за различий в физико-химических свойствах ПАУ в почвах и донных отложениях происходит накопление гидрофобных тяжелых ПАУ, а водорастворимые легкие ПАУ остаются в водах. Точность идентификации источников ПАУ с помощью диагностических отношений (ДО) зависит от сродства ПАУ используемых в ДО к фазе, преобладающей в исследуемом объекте среды. Величины ДО, приведенные для различных источников ПАУ в иностранной научной литературе, не всегда характерны для источников, находящихся на Байкальской природной территории.

Ключевые слова: полициклические ароматические углеводороды, источники, атмосферный воздух, поверхностные воды, почвы, донные отложения

Исследования, связанные с полициклическими ароматическими углеводородами (ПАУ), обычно посвящены выявлению уровня загрязнения и происхождения ПАУ в отдельных компонентах природной среды, например, в поверхностных водах, подземных водах и почвах. Для решения более сложных задач, таких, как выявление путей миграции ПАУ, необходимы данные о составе и концентрациях ПАУ, по крайней мере в двух компонентах среды. На Байкальской природной территории подобные исследования ограничивались сопоставлением состава ПАУ в поверхностных водах и атмосферном воздухе [Source … , 2017], поверхностных водах и донных отложениях [Загрязнение … , 2013], поверхностных водах и почвах [Identifying … , 2022], поверхностных водах и биоте [Динамика … , 2018], поверхностных водах и подводных нефтепроявлениях [Fractioning … , 2022]. Полученные данные показывают, что увеличение числа одновременно изучаемых компонентов среды неизбежно сопровождается смещением фокуса с оценки уровней загрязнения и поиска источников на выявление факторов, определяющих поведение ПАУ в окружающей среде. Поэтому в настоящем исследовании были использованы данные о составе и концентрациях ПАУ сразу в четырех ее компонентах: в воздухе, воде, почве и донных отложениях.

Исследования проводились в 2011–2023 гг. Пробы вод и донных отложений отбирались из оз. Байкал и двенадцати его притоков (Селенга, Утулик, Переемная, Хара-Мурин, Снежная, Мишиха, Баргузин, Верхняя Ангара, Крестовка, Черемшанка, Бугульдейка и Баргузин). Пробы озерной воды и донных отложений отбирались как в литоральной зоне озера вблизи поселений, так и в пелагиальной зоне вдали от побережья. Речная вода и донные отложения отбирались в населенных пунктах и вблизи устьев рек. Пробы аэрозоля отбирались из атмосферы над оз. Байкал, в городах Байкальск, Слюдянка, Иркутск и Шелехов. Пробы почвы отбирались как в пределах перечисленных выше поселений, так и за ними. ПАУ из проб всех объектов среды экстрагировались n-гексаном. ПАУ измерялись методом газовой хроматографии. Были проанализированы двенадцать ПАУ, включая фенантрен

(PHE), антрацен (ANT), флуорантен (FLA), пирен (PYR), бензо[a]антрацен (BaA), хризен (CHR), бензо[b]фторантен (BbF), бензоепирен (BeP), бензоапирен (BeP), индено[1,2,3-cd]пирен (IcdP), бензо(ghi)перилен (BghiP). Идентификация источников ПАУ производилась на основе отношений концентраций изомеров ПАУ, называемых диагностическими отношениями (ДО).

Установлено, что факторами, влияющими на концентрацию ПАУ в любом компоненте среды являются плотность населения, плотность вещества, из которого состоит объект среды, и продолжительность загрязнения. Факторами, влияющими на распределение ПАУ между объектами среды являются физико-химические свойства ПАУ и свойства веществ, из которых состоят объекты среды. Свойствами ПАУ, определяющими их распределение между компонентами природной среды, являются сродство к газовой либо твердой фазе, растворимость и липофильность. Свойствами компонентов среды, определяющими состав содержащихся в них ПАУ, являются плотность вещества, соотношение между газовой и твердой фазой, а также содержание органического углерода. Главным фактором, влияющим на точность идентификации источников ПАУ, является сходство физико-химических свойств изомеров ПАУ, используемых для расчета каждого конкретного ДО. Другим фактором является сродство используемых в ДО изомеров ПАУ к (газообразной либо твердой) фазе, преобладающей в изучаемом компоненте среды. Еще одним фактором является число источников, которые могут быть идентифицированы с помощью выбранного ДО: чем оно больше, тем выше точность идентификации. Также установлено, что идентификация источников при помощи отношений FLA/(FLA+PYR) и IcdP/(IcdP+BghiP) более точна, чем при использовании с ANT/(ANT+PHE) и BaA/(BaA+CHR). Для получения еще более точных сведений о происхождении ПАУ в объектах среды исследуемой территории необходимо установить величины ДО, характерные для местных источников. Кроме того, необходимы лабораторные эксперименты по изучению изменений установленных местных величин ДО под влиянием различных факторов окружающей среды.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 0279-2021-0014 (121032300199-9).

Список литературы

Динамика накопления полициклических ароматических углеводородов в донных биоценозах озера Байкал по результатам биогеохимического мониторинга / С. А. Резников, О. В. Якунина, А. А. Матвеев [и др.] // Метеорология и гидрология. 2018. № 5. С. 80–90.

Загрязнение полиароматическими углеводородами бассейна озера Байкал: озеро Гусиное / Г. С. Ширапова, Н. С. Утюжникова, О. А. Рабина [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. 2013. № 2. С. 189–195.

Identifying and Characterizing Critical Source Areas of Organic and Inorganic Pollutants in Urban Agglomeration in Lake Baikal Watershed / M. Y. Semenov, A. V. Silaev, Y. M. Semenov [et al.] // Sustainability. 2022. Vol. 14. Art. 14827. DOI: 10.3390/su142214827

Fractioning of petroleum hydrocarbons from seeped oil as a factor of purity preservation of water in Lake Baikal (Russia) / A. Gorshkov, O. Pavlova, O. Khlystov, T. Zemskaya // Journal of Great Lakes Research. 2020. Vol. 1. P. 115–122. DOI: 10.1016/j.jglr.2019.10.010

Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in Lake Baikal water and adjacent air layer / M. Y. Semenov, I. I. Marinaite, L. P. Golobokova [et al.] // Chemistry and Ecology. 2017. Vol. 33. P. 977–990. DOI: 10.1080/02757540.2017.1393533

УДК 574.583

ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВИСЛИНСКОЙ ЛАГУНЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

А. С. Семенова[1, 2]*, О. А. Дмитриева[1,3]

[1]Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
(Россия, 236022, Калининград, ул. Дм. Донского, 5)
[2]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
(Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский район, пос. Борок)
[3]Институт океанологии им П. П. Ширшова РАН
(Россия, 117997, Москва, Нахимовский просп., 36)
**Автор для переписки: a.s.semenowa@mail.ru*

Аннотация. В результате исследования фито- и зоопланктона Вислинской лагуны, проведенного в 2002–2024 гг. установлены наиболее информативные показатели фито-и зоопланктона, отражающие как качество воды, так и степень эвтрофирования водоема. По этим показателям Вислинская лагуна соответствует переходному статусу между эвтрофным и гипертрофным, качество воды в ней оценивается как «посредственное».

Ключевые слова: Вислинская лагуна, качество воды, биоразнообразие, фитопланктон, зоопланктон, показатели смертности

Введение. Вислинская лагуна расположена в районе с развитой хозяйственной инфраструктурой г. Калининграда, а также городов и населенных пунктов Польши и испытывает значительную антропогенную нагрузку. Это крупнейшая лагуна Балтийского моря с переменной соленостью, на акватории которой наблюдается активный процесс вселения чужеродных видов. В изменяющихся условиях окружающей среды биологическое разнообразие является механизмом стабилизации функционирования как естественных, не загрязненных, так и антропогенно-измененных, и, возможно, нарушенных водных экосистем. Поэтому изучение видового разнообразия планктонных сообществ и их индикаторных характеристик особенно актуально в условиях антропогенного эвтрофирования, загрязнения водных экосистем, вселения чужеродных видов.

Целью работы было сравнить различные подходы к оценке качества воды на основании индикаторных характеристик планктонных сообществ на примере Вислинской лагуны.

Материалы и методы. В работе были использованы данные гидробиологических (фито- и зоопланктон) и гидрохимических наблюдений, полученные в ходе ежемесячных (март-ноябрь) научно-исследовательских рейсов в российскую часть Вислинской лагуны в 2002–2024 гг. Для оценки качества воды по фитопланктону были использованы: индекс видового разнообразии Шеннона (H), индекс Пантле-Букка в модификации Сладечека, Венгерский индекс качества воды Q [Use … , 2006], суммарная биомасса фитопланктона [Moglichkeiten … , 2002]. Для оценки качества воды по зоопланктону было рассчитано более 20 показателей, используемых в российских и зарубежных классификациях [Андроникова, 1996; Семенчеко, Разлуцкий, 2011], отражающих качество воды и степень эвтрофирования водоемов. С целью установления показателей смертности зоопланктона (доли мертвых особей от численности/биомассы зоопланктона) было выполнено его окрашивание анилиновым голубым красителем [Методы … , 2024].

Результаты. В результате проведенных исследований было установлено, что степень варьирования индекса сапробности и индекса Шеннона по фитопланктону невелика, поэтому эти показатели в целом малопригодны для оценки качества воды в водоемах эвтрофного и гипертрофного типа, таких как Вислинская лагуна. Применение Венгерского Q-индекса для решения подобных задач оказалось более информативным. Экологическое состояние Вислинской лагуны на основании значений биомассы и таксономического Q-

индекса в течение вегетационного сезона, характеризовалось как «удовлетворительное» и «среднее», а в отдельных случаях (весной) – как «хорошее».

В результате исследования зоопланктона было установлено, что из всех изученных показателей зоопланктона наиболее информативными отражающими как качество воды, так и степень эвтрофирования оказались показатель трофии (E/O) и коэффициент трофии (E), доля численности крупных Cladocera в общей численности Cladocera (КК) и доля мертвых особей в зоопланктоне. По показателям зоопланктона трофический статус Вислинской лагуны соответствовал переходному между эвтрофным и гипертрофным, качество воды в ней оценивается как «посредственное».

Доля мертвых особей в зоопланктоне Вислинской лагуны составляла от 0,6 до 68,6 % от численности и от 1,3 до 80,6 % от биомассы зоопланктона. Сезонная динамика доли мертвых особей в зоопланктоне была неодинаковой в разные годы исследований. На станциях, расположенных вблизи от пролива, соединяющего Вислинскую лагуну с открытым Балтийским морем, доля мертвого зоопланктона от численности и биомассы возрастала в 1,5–4,0 раза. Была получена высокая положительна корреляция между долей мертвых особей и соленостью. В отдельные годы средняя доля мертвых особей в зоопланктоне Вислинской лагуны находилась на высоком уровне и составляла 11–22 % от численности и 8–19 % от биомассы зоопланктона, что связано как со значительным загрязнением и эвтрофированием вод лагуны, так и с условиями переменной солености.

В годы после вселения и успешной натурализацией в водоеме двустворчатого моллюска *Rangia cuneata* (2011–2020 гг.), его фильтрационная деятельность способствовала улучшению качества воды лагуны, которое прослеживается как в уменьшении доли мертвых особей в зоопланктоне, так и по индексам, отражающим качество воды. В последние годы (начиная с 2021 г.) вместе со снижением количественных показателей моллюска-вселенца происходит ухудшение качества воды лагуны, что отражается на индикаторных характеристиках фито-и зоопланктона.

Выводы. Таким образом, в результате проведенных исследований были установлены наиболее информативные показатели фито-и зоопланктона, отражающие как качество воды, так и степень эвтрофирования Вислинской лагуны. Для фитопланктона такими показателями оказались значений биомассы и таксономический Q-индекс, для зоопланктона – показатель трофии (E/O) и коэффициент трофии (E), доля численности крупных Cladocera в общей численности Cladocera (КК) и доля мертвых особей в зоопланктоне. По этим показателям Вислинская лагуна соответствует переходному статусу между эвтрофным и гипертрофным, качество воды в ней оценивается как «посредственное».

Список литературы

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб: Наука, 1996. 189 с.

Методы гидробиологических исследований внутренних вод / под ред. А. В. Крылова. ИБВВ РАН; Ярославль: Филигрань, 2024. 592 с.

Семенченко В. П., Разлуцкий В. И. Экологическое качество поверхностных вод. Минск : Беларус. Навука, 2011. 329 с.

Moglichkeiten zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons / U. Mishke, B. Nixdorf, E. Hoehn [et al.] // Actueller Stend in Deutshland. Actueller Reihe. 2002. Vol. 5. P. 25–37.

Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of laces within the Water Framework Directive: the assemblage index / J. Padisak, G. Borics, I. Grigorszky, E. Soroczki-Pinter // Hydrobiologia. 2006. Vol. 553. P. 1–14.

УДК 574.583

ВЛИЯНИЕ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ НА ПАРАМЕТРЫ КАРБОНАТНОЙ СИСТЕМЫ В КУРШСКОМ И КАЛИНИНГРАДСКОМ ЗАЛИВАХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

А. С. Семенова[1,3,4]*, М. О. Ульянова[1,2], А. А. Муратова[1,2], О. А. Дмитриева[1,2,3]

[1]Балтийский федеральный университет им. И. Канта
(Россия, 236041, Калининград, ул. А. Невского, 14)
[2]Институт океанологии им П. П. Ширшова РАН
(Россия, 117997, Москва, Нахимовский просп., 36)
[3]Атлантический филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
(Россия, 236022, г. Калининград, ул. Дм. Донского, 5)
[4]Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
(Россия, 152742, Ярославская обл., Некоузский район, пос. Борок)
**Автор для переписки: a.s.semenova@mail.ru*

Аннотация. В вегетационный период 2024 г. изучено влияние планктонных сообществ Куршского и Калининградского заливов на элементы карбонатной системы (pH, общая щелочность, метан). Сезонная и пространственная изменчивость наблюдалась в распределении всех изученных параметров. Максимальные концентрации метана были отмечены в летний период, что связано как с макимальными в этот период показателями развития плантонных сообществ, так и с температурой. Максимальные концентрации общей щелочности, pH и арагонита фиксировались весной, после чего эти показатели постепенно снижались, достигая минимума осенью. Количественное развитие фитопланктона и зоопланктона, годовые значения параметров карбонатной системы, а также концентрация растворенного метана были выше в Куршском заливе по сравнению с Калининградским.

Ключевые слова: фитопланктон, зоопланктон, pH, общая щелочность, метан, лагуна

Введение. Фитопланктон и зопланктон играют важную роль в карбонатной системе Мирового океана. Фитопланктон, поглощая CO_2 из воды при фотоситнезе, снижает его концентрацию и увеличивает pH. Зоопланктон, в свою очередь, потребляет фитопланктон, а отмирая, переносит часть накопленной энергии из водной толщи на дно, что влияет на распределение углерода в пищевой цепи, и, косвенно, на карбонатную систему. В мелководных лагунах – Куршском и Калининградском (Вислинском) заливах эти процессы не изучены. Цель работы – оценка влияния распределения планктонных сообществ в Куршском и Калининградском заливах на параметры карбонатной системы.

Материалы и методы. Исследования выполнены с марта по ноябрь 2024 г. Отбор и анализ проб воды для изучения фито- и зоопланктона выполнялся по стандартным методикам [Методы … , 2024], определение общей щелочности – титрометрическим методом, pH – потенциометрическим, растворенного метана – хроматографическим.

Результаты. Динамика численности и биомассы фитопланктона в Куршском заливе характеризовалась следующими особенностями: от марта к июлю численность изменялась от 800 до 35819 млн орг/м^3, биомасса – от 0,6 до 36,9 г/м^3. Средняя численность составила 13653 млн орг/м^3, биомасса 13,7 г/м^3. В составе сообществ по численности доминировали криптофитовые водоросли, по биомассе – цианобактерии родов *Microcystis* и *Planktothrix* и диатомовые водоросли, формировавшие «цветение» воды в июле.

Динамика численности и биомассы фитопланктона в Калининградском заливе характеризовалась следующими особенностями: в феврале и марте численность и биомасса составили в среднем 482 млн орг/м^3 и 0,3 г/м^3. К маю отмечалось увеличение численности до 2364 млн орг/м^3 и биомассы до 1,2 г/м^3. К июлю-августу численность и биомасса еще возросли: 33743 млн орг/м^3 и 8,9 г/м^3. По численности и биомассе доминировали цианобактерии и диатомовые водоросли, формировавшие интенсивное «цветение» воды летом. В среднем за вегетационный сезон численность составила 14163 млн орг/м^3, биомасса 3,9 г/м^3.

В зоопланктоне Куршского залива весной доминировали *Keratella quadrata, Keratella cochlearis, Daphnia galeata, Eudiaptomus graciloides, Cyclops kolensis* и Mesocyclops leuckarti; в летний период – *Keratella quadrata, Keratella cochlearis, Polyarthra dolichoptera, Eubosmina coregoni, Chydorus sphaericus, Daphnia galeata, Leptodora kindtii, Eudiaptomus graciloides*, осенью – *Keratella quadrata, Polyarthra vulgaris, Daphnia galeata, Eudiaptomus graciloides* и *Mesocyclops leuckarti*. В весений период по численности и биомассе доминировали веслоногие ракообразные и коловратки, летом – ветвистоусые и веслоногие ракообразные, осенью – ветвистоусые и веслоногие ракообразные и коловратки. Показатели зоопланктона возрастали от весны к летнему периоду, когда они достигали своего максимума, и оставались на высоком уровне до осени. Доля мертвых особей была невысокой (2,5–4,0 %), наибольшие ее значения отмечены в летний период. В зоопланктоне Калининградского залива весной доминировали *Eurytemora affinis, Keratella quadrata* и личинки многощетинковых червей (Polychaeta), летом – *Keratella quadrata, Diaphanosoma mongolianum, Cercopagis pengoi, Acartia* spp. и *Eurytemora affinis*, осенью – *Keratella quadrata, Diaphanosoma mongolianum, Acartia* spp., *Eurytemora affinis* и личинки Polychaeta. Весной и осенью по численности и биомассе доминировали веслоногие ракообразные и многощетинковые черви, летом по численности доминировали веслоногие ракообразные и коловратки, по биомассе – ветвистоусые ракообразные. Численность и биомасса зоопланктона возрастали от весны к лету, а к осени снижались. Доля мертвых особей во все сезоны была на невысоком уровне (3,6–6,8 %), возрастая от весеннего к летне-осеннему периоду. Количественное развитие зоопланктона Куршского залива было выше (266 тыс. экз/м^3 и 3,8 г/м^3), чем количественное развитие зоопланктона Калининградского залива (127 тыс. экз/м^3 и 1,2 г/м^3).

На протяжении вегетационного периода наблюдалась выраженная сезонная изменчивость элементов карбонатной системы: максимальные концентрации общей щелочности, pH и арагонита фиксировались весной, после чего показатели постепенно снижались, достигая минимума осенью. Максимальные значения pH (9,30) и концентрации арагонита (11,25) наблюдались весной в Калининградском заливе, в то время как наибольшие значения общей щелочности (4148 мкмоль/кг) – в Куршском. Годовые минимумы параметров карбонатной системы – pH (7,04), концентрации арагонита (0,07) и общей щелочности (1719 мкмоль/кг) – были зарегистрированы осенью в Калининградском заливе.

Куршский залив характеризовался более высокими концентрациями растворенного в воде метана (медиана для года 205 нмоль/л), чем Калининградский (56 нмоль/л). Для обоих заливов максимальные медианные и абсолютные концентрации зафиксированы в теплый период, что связано с прогревом воды и развитием планктонных сообществ. Наиболее значительно сезонный ход выражен в Куршском заливе. В Калининградском заливе также заметна сезонность, однако различия в концентрациях велики как между сезонами, так и между точками, что говорит о значительном влиянии не только температуры, но и ветровых условий и речного стока, влияющих на сгон/нагон морских вод через пролив.

Благодарности. Исследование планктонных сообществ и карбонатной системы выполнено в рамках программы консорциума «Океан: мониторинг и адаптация», гидрофизические параметры изучены в рамках госзадания ИО РАН (тема № FMWE-2024-0025).

Список литературы

Методы гидробиологических исследований внутренних вод / под ред. А. В. Крылова. ИБВВ РАН; Ярославль : Филигрань, 2024. 592 с.

УДК 597.556.31

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОБОСОБЛЕННОСТЬ ЛОКАЛЬНОГО ЭНДЕМИКА *NEOCOTTUS THERMALIS*, АССОЦИИРОВАННОГО С ГИДРОТЕРМАЛЬНЫМ ПОЛЕМ В БУХТЕ ФРОЛИХА, ОЗ. БАЙКАЛ

В. Г. Сиделева[1]*, Н. С. Мюге[2], Н. В. Анненкова[1,3], З. В. Жидков[1]

[1]Зоологический институт РАН (Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 1)
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 105187, Москва, Окружной просп., 19)
[3]Институт цитологии РАН (Россия, 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий просп., 4)
**Автор для переписки: vsideleva@gmail.com*

Аннотация. Приведены морфологические и генетические особенности локального эндемика *Neocottus thermalis* из оз. Байкал, аасоциированного с гидротермальным полем. Впервые получены молекулярно-генетические данные по этому уникальному виду байкальских коттоидных рыб.

Ключевые слова: Abyssocottidae, генетическое разнообразие, коттоидные рыбы, морфология, мтДНК

На дне оз. Байкал присутствуют районы с высоким тепловым потоком и скрытой внутренней гидротермальной активностью. Из них наиболее изученным является гидротермальное поле бухты Фролиха на Северном Байкале [Голубев, 1982]. В этом месте тепловой поток проходит через рыхлую осадочную толщу отложений мощностью в несколько километров и обеспечивает небольшое, на десятые доли градуса, повышение температуры поверхностных слоев осадков в сравнении с фоновыми [Crane, Hecker, Golubev, 1991]. Образующиеся гидротермальные условия можно отнести к разряду «низкотемпературных», тем не менее, они стимулируют процессы метаногенеза и метаноокисления, что приводит к образованию в этих районах озера высокопродуктивных биоценозов, основанных, большей частью, на хемосинтезе [Гебрук, Галкин, 2002]. Район озера в бухте Фролиха, осложненный наличием гидротермы, является средообразующим и отличается от фоновых наличием высокопродуктивных биологических сообществ, начиная от бактерий и архей, и заканчивая коттоидными рыбами.

Для изучения рыб использованы визуальные наблюдения с ГОА «Пайсис», видеосъемки с ГОА «Мир», траления донным бимтралом на глубинах 420–480 м в бухте Фролиха и на таких же глубинах в фоновых районах Северного Байкала. Сообщество донных рыб, обнаруженных в районе гидротермального поля таксономически разнообразно, представлено 11–13 видами из 7 родов, среди которых: *Batrachocottus talievi, B. nikolskii, Asprocottus platycephalus, A. herzensteini, Cyphocottus eurystomus, Limnocottus pallidus, L. bergianus, L. godlewskii, L. griseus, Abyssocottus korotneffi, A. gibbosus, Cottinella boulengeri.* По числу особей в сообществе доминировал *Neocottus thermalis,* ассоциированный с уникальным высокопродуктивным биоценозом гидровента и не встречающийся в фоновой бентали оз. Байкал [Сиделева, Фиалков, 2015]. По траловым уловам в районе гидротермального поля, он составил от 70 до 81 % общей численности всех пойманных донных видов. Встроенность *N. thermalis* в биологическое сообщество гидротермы определяет наличие в мышцах облегчённых изотопов углерода ($\delta^{13}C$ –66,18…–68,83, в среднем –67,94 ‰) и азота ($\delta^{15}N$ 1,68–3,09, в среднем 3,31 ‰). Эти значения свидетельствуют о том, что органика бактериального происхождения переходит на высокий трофический уровень и используется плотоядным донным видом *N. thermalis* [Сиделева, Фиалков, 2015].

Морфологические особенности *N. thermalis.* К диагностическим признакам *N. thermalis* относятся: большая голова, которая содержится 3,5 раза в SL; маленький рот, угол которого не доходит до вертикали переднего края глаза; выступающий широкий гребень на подглазничных костях, его ширина соизмерима с межглазничным пространством;

приподнятые внешние края frontale, выступающие над орбитами; маленькие глаза, расположенные в глубоких орбитах; короткий анальный плавник, который содержит 10–12 лучей. Уникальным морфологическим признаком является форма папилл, на вершинах которых расположены наружные невромасты сейсмосенсорной системы. Папиллы имеют вид плоских выростов, узких у основания и расширяющиеся кверху; они светлые, непигментированные, хорошо заметные на поверхности темной кожи головы. Туловищная линия наружных невромастов также состоит из дермальных папилл; она проходит по середине тела и содержит 31–35 невромастов, плюс 8–12 расположены на ветвистом луче хвостового плавника.

Молекулярно-генетические особенности *N. thermalis.* Анализ последовательностей гена цитохрома b (*cytb*, 1140 п. н.), проведенный методами максимального правдоподобия и Байесова анализа показал, что представители *N. thermalis* формируют обособленную, надежно поддержаную кладу на филогенетическом древе байкальских Cottoidei. При этом клада *N. thermalis* оказалась сестринской по отношению к кладе, объединяющей виды рода *Limnocottus* (*L. bergianus, L. godlewskii*, *L. griseus*, *L. pallidus*) из семейства Abyssocottidae, которые входят в состав гидротермального сообщества рыб. Средние значения генетических p-дистанций (*cytb*) между *N. thermalis* и четырьмя видами *Limnocottus* варьировали от 1,65±0,41 % до 2,33±0,51 % (в среднем, 1,93 %). Наиболее генетически отличными от *N. thermalis* были мелководные представителей родов *Cottocomephorus*, *Leocottus* и *Paracottus* (p-дистанции по гену *cytb* от 4,56±0,74 % до 5,38±0,77 %). Примечательно, что расшифрованные фрагменты гена *cytb* демонстрируют высокую степень генетического разнообразия внутри исследованной выборки *N. thermalis*: у 15 изученных экземпляров выявлено 12 уникальных гаплотипов, что обусловило высокие значения показателя гаплотипического разнообразия (Hd = 0,962±0,040). Ближайшие *cytb*-гаплотипы *N. thermalis* обособлены друг от друга 1–11 нуклеотидными заменами, а средняя генетическая p-дистанция между всеми 12 гаплотипами составила 0,6±0,2 %. В целом в фрагменте *cytb* длиной 1140 п. н. выявлено 27 полиморфных позиций, а показатель нуклеотидного разнообразия (π) составил 0,005±0,001.

Таким образом, сообщество донных коттоидных рыб, представленных на гидротерме таксономически разнообразно (11–12 видов из 7 родов). На площади гидротермального поля 0,4 км^2 присутствуют почти 45 % видов донных коттоидных рыб, один из которых, *N. thermalis,* является локальным эндемиком бухты Фролиха. Уникальными морфологическими особенностями этого вида явились строение периферийной части сейсмосенсорной системы и комплекс внешних признаков. Последовательности генетического маркера (*cytb,* 1140 п. н.) дают основание для констатации надежной обособленности вида *N. thermalis,* который характеризуется большим внутривидовым гаплотипическим разнообразием. Это свидетельствует о его длительном и стабильном существовании в бухте Фролиха.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы Госзадания № 125012800885-4.

Список литературы

Гебрук А. В., Галкин С. В. Гидротермальный биотоп и гидротермальная фауна: общие положения // Биология гидротермальных систем. М. : КМК, 2002. С. 13–24.

Голубев В. А. Геотермия Байкала. Новосибирск : Наука,1982. 150 с.

Сиделева В. Г., Фиалков В. А. Коттоидные рыбы (Cottoidei) в глубоководном гидротермальном сообществе в бухте Фролиха, оз. Байкал // Труды ВНИРО. 2015. Т. 156. С. 132–145.

Crane K., Hecker B., Golubev V. Hydrothermal Vents in Lake Baikal // Nature. 1991. Vol. 350. P. 281.

УДК 597:556.31

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИВЕРГЕНЦИЯ МЕЖДУ ВИДАМИ *PARACOTTUS* В ОЗ. БАЙКАЛ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВИДА, ВСЕЛИВШЕГОСЯ В Р. АБАКАН, ПРИТОК Р. ЕНИСЕЙ

В. Г. Сиделева[1]*, Н. С. Мюге[2], З. В. Жидков[1]

[1]Зоологический институт РАН
(Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 1)
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии
(Россия, 105187, Москва, Окружной просп., 19)
**Автор для переписки: vsideleva@gmail.com*

Аннотация. Приведены морфологические и генетические различия между видами рода *Paracottus* (*P. knerii* и *P. insularis*) из оз. Байкал. Показано, что из Байкала в систему р. Енисей расселился *P. insularis.*

Ключевые слова: Cottidae, каменная широколобка, колонизация, мтДНК, речная форма, Ушканьи острова

В настоящее время в оз. Байкал известны 35 видов коттоидных рыб. Все жизненные циклы этих рыб проходят в пределах озера. Несмотря на обилие видов, только представители родов *Paracottus* и *Leocottus* смогли расселиться за пределы оз. Байкал. Согласно системе Cottoidei Д. Н. Талиева [1955] род *Paracottus* был представлен двумя видами: *Paracottus knerii* (Dybowski, 1874) и *P. insularis* Taliev, 1955.

Paracottus knerii распространен на каменистой литорали по периметру всего озера, а *P. insularis* встречается в урезе воды в бухте Пещерка на Большом Ушканьем острове. При таксономической ревизии В. Г. Сиделева [1982] синонимизировала *P. insularis* с *P. knerii.* Долгое время считалось, что в Байкале обитает только один вид этого рода. В 2022 г. в бухте Пещерка Большого Ушканьего острова Н. С. Мюге удалось поймать мелких подкаменщиков. Их идентификация по морфологическим признакам и окраске выявила, что они принадлежат к *P. insularis*. При внешнем сходстве с *P. knerii* эти экземпляры имели выраженные отличия. Размеры половозрелых *P. insularis* почти в 2 раза превышают таковые у *P. knerii* (SL 54–60 мм против 82–96 мм.). Из внешних морфологических признаков отличия *P. insularis* от *P. knerii* из Южного Байкала (бухта Песчаная) заключались в следующих: форма головы (заостренная против округлой); наличие более длинных брюшных плавников, почти доходящих до анального отверстия (16,0–19,1 %, в среднем 17,4 % SL, против 15,0–16,9 %, в среднем 16,6 % SL); более крупные выпуклые глаза (диаметр глаза 26,5–27,2 %, в среднем 26,8 % длины головы против 21,3–24,3 %, в среднем 22,6 % длины головы); наличие черного пятна на первом спинном плавнике (у *P. knerii* такое пятно отсутствует). Эти виды также отличались друг от друга окраской: *P. insularis* имеет мелкие пятна на голове, в то время как *P. knerii* свойственна однотонная окраска поверхности головы.

Уникальным комплексным морфологическим признаком у *P. knerii* является строение сейсмосенсорной системы, которое состоит в V-образном соединении предкорональной части надглазничного канала, наличии разрывов в надглазничном, подглазничном каналах, а также затылочной комиссуре. Сходное строение системы имеет *P. insularis*, а главное отличие от *P. knerii* состоит в меньшем количестве разрывов в сенсорных каналах.

Помимо морфологических различий, для изучения генетической обособленности *P. insularis* от другого вида рода *Paracottus* был использован генетический маркер, ген цитохрома b (*cytb*). Гаплотипы *cytb*, обнаруженные у *P. knerii* из бухты Песчаная (PKNCB1 и PKNCB2), и гаплотипы *P. insularis* из района Ушканьих островов (PINCB1-PINCB4) хорошо дифференцированы друг от друга. Средняя p-дистанция между ними составила

1,37±0,33 %, что позволяет утверждать о различиях на межвидовом уровне. Полученные результаты свидетельствуют о наличии достоверных генетических различиях между видами и подтверждают видовой статус *P. insularis*.

После того, как было установлено, что в Байкале присутствуют два вида рода *Paracottus*, возник вопрос о том, какой из видов расселился в бассейн р. Енисей. Согласно предыдущим исследованиям, считалось, что *P. knerii* из Байкала по системе р. Ангары мигрировал в бассейн р. Енисей и заселил его многочисленные притоки, а также оз. Агата Верхнее (плато Путорана) [Коряков, Сиделев, 1976; Сиделева, 2022].

Для изучения проблемы какой из байкальских видов расселился в бассейне Енисея, был использован материал, собранный в р. Абакан (приток верхнего Енисея) в июле 2023 г. Сравнительный анализ морфологических признаков обоих байкальских видов с экземплярами из р. Абакан выявил их сходство с *P. insularis*. Абаканским экземплярам так же свойственно наличие заостренной головы, больших выпуклых глаз (диаметр глаза 24,7–30,0 %, в среднем 27,0 % длины головы), узкого межглазничного пространства (10,8–18,8 %, в среднем 13,0 % длины головы), длинных брюшных плавников (17,5–19,8 %, в среднем 18,9 % SL), а также пестрой окраски головы и черного пятна на *D*1. Интересно отметить, что у речной формы *P. insularis* сохраняется то же уникальное строение сейсмосенсорной системы, что свойственно этому виду в оз. Байкал.

Сравнительно-генетический анализ обеих байкальских и абаканской форм показал, что гаплотипы *cytb* из р. Абакан (PINCB5 и PINCB6) обособлены от гаплотипов *P. knerii* на уровне p-дистанции 1,18±0,32 %. Уровень генетической дифференциации абаканской широколобки от *P. insularis* из района Ушканьих островов был на порядок ниже и составил 0,23±0,11 %. Данные по нуклеотидным последовательностям *cytb* подтверждают принадлежность особей *Paracottus* из системы р. Абакан к виду *P. insularis.*

Таким образом, уровень морфологической и генетической дивергенции между байкальскими видами *P. knerii* и *P. insularis* знаачительно превышает таковой между байкальской и речной формами *P. insularis.* Расхождения морфологических и генетических признаков между *P. insularis* из оз. Байкал и р. Абакан указывают на начальную стадию эволюционных преобразований при колонизации принципиально новой экосистемы.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы Госзадания № 125012800885-4.

Список литературы

Коряков Е. А, Сиделев Г. Н. Бычки-подкаменщики (Cottidae) из озера Агата плато Путарана // Вопросы ихтиологии. 1976. № 3. С. 553–555.

Сиделева В. Г. Устойчивость уникального паттерна сейсмосенсорной системы байкальской каменной широколобки (*Paracottus knerii*, Cottidae) при колонизации этим видом системы реки Енисей // Труды Зоологического института РАН. 2022. Т. 326. № 3. С. 203–210.

Талиев Д. Н. Бычки-подкаменщики Байкала (Cottoidei). М. ; Л. : Изд-во Акад. наук СССР, 1955. 603 с.

УДК 574.5:556.555.5(282.247.211)

СОСТОЯНИЕ ВОДНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ РАЙОНА КИЖСКИЕ ШХЕРЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В ПОДЛЕДНЫЙ ПЕРИОД

А. И. Сидорова[1]*, М. В. Зобкова[1], Ю. Ю. Фомина[1,2], Ю. Л. Сластина[1], С. М. Сидоров[1,3]

[1]Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (Россия, 185030, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50)
[2] Карельский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» (Россия, 185035, Петрозаводск, ул. Анохина,29А, 6-Н)
[3]Петрозаводский государственный университет (Россия, 185910, Петрозаводск, просп. Ленина, 33)
**Автор для переписки: bolt-nastya@yandex.ru*

Аннотация. Получены результаты о современном состоянии экосистемы водоема по гидрохимическим и гидробиологическим показателям в районе о. Кижи (в буферной зоне объекта всемирного наследия «Кижский погост» (С544)) Онежского озера в подледный сезон 2025 г.

Ключевые слова: химический состав, хлорофилл а, фитопланктон, зоопланктон, макрозообентос

Онежское озеро является стратегическим источником питьевой воды, а Кижские шхеры относятся к особо охраняемым природным территориям, однако испытывают многолетнюю нагрузку от водного транспорта и хозяйственной деятельности музея-заповедника целью работы являлось повести современную оценку состояния экосистемы Кижских шхер Онежского озера по гидробиологическим и гидрохимическим показателям в подледный сезон 2025 г.

По гидрохимическим показателям вода в районе Кижских шхер характеризуется низкой минерализацией. Содержание кислорода варьировало в пределах 10,4–13,5 мг/л, с углекислого газа – 2,4–7,5 мг/л. Насыщение воды кислородом было достаточно высоким и составляло 71–92 %. В зимний период концентрация фосфора общего составляла в среднем 7 мкг/л, что соответствует олиготрофным типам вод. Содержание железа, марганца и загрязняющих веществ (нефтепродукты и СПАВ) не превышало ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о хорошем качестве воды в исследованном районе Онежского озера.

Содержание органического вещества в воде Кижских шхер было низким и слабо отличалось на различных станциях, что подтверждается как прямым определением $C_{орг}$ (в среднем 6,5 мг/л), так и по косвенным показателям (цветность – 33 град., ХПК – 18,4 мгО/л, ПО – 6,7 мгО/л). Исходя из этого, воды исследуемого района озера согласно геохимической классификации [Лозовик, 2013] относились к олигогумусным. Значения $БПК_5$ варьировали в пределах 0,10–0,61 мг O_2/л, что характерно для зимнего периода, когда легкоокисляемого органического вещества в воде мало.

Концентрации железа и марганца в воде Кижских шхер зимой составляли в среднем 0,07 и 0,01 мг/л соответственно, что не превышало ПДК для рыбохозяйственных водоемов [Нормативы … , 2016]. Повышенные концентрации этих металлов могут встречаться в период открытой воды и, как и в случае с фосфором, могут быть обусловлены взвешенной их формой за счет взмучиванием донных осадков, вызванных интенсивным судоходством в этом районе озера. Содержание нефтепродуктов и СПАВ также не превышало ПДК, в среднем на них приходилось 0,04 и 0,01 мг/л соответственно. В случае нефтепродуктов это связано с отсутствием транспортной нагрузки в период ледостава.

Результаты исследования показали, что в феврале 2025 г. содержание Хл *a* в подледной воде района Кижских шхер Онежского озера изменялось от 0,85 до 0,33 мкг/л в поверхностном горизонте и от 0,42 до 0,19 мкг/л в придонном. Наибольшее значение обнару-

жено на станции Z1, а наименьшее на станции ZW1. На всех станциях наблюдения, где отбор проб производился на нескольких горизонтах, наблюдалось уменьшение концентрации пигмента от поверхности ко дну. Среднее значение Хл *a* в подледный период составило 0,49±0,21 мкг/л, что значительно ниже чем полученные значения в периоды активной вегетации фитопланктона.

В зимний период 2025 г. в воде подо льдом было обнаружено 36 видов и внутривидовых таксонов водорослей из 6 систематических групп. По численности и биомассе преобладали диатомовые, преимущественно *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim. На станции Z2, возле причала водного транспорта, по численности доминировали цианобактерии *Aphanocapsa elachista var. elachista* W. et G. S. West. На всех станциях наблюдения несмотря на интенсивную вегетацию доминанта олиготрофного периода *Aulacoseira islandica,* отмечено развитие и других представителей цианобактерий (*Oscillatoria planctonica* Wolosz., *Aphanizomenon flos-aquae* (Linne)Ralfs), а также хлорококковых водорослей. Значения численности и биомассы подледного фитопланктона находились в пределах 700 тыс. кл/л и 1,1 мг/л соответственно.

Основу зоопланктона составляли *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863), *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, виды родов *Conochilus*, *Synchaeta*. Кладоцеры отмечены единично *Daphnia (D.) cristata* (Sars, 1862), *Bosmina longispina* Leydig, 1860. Зимний зоопланктон характеризовался бедностью видового состава и обилия.

В макрозообентосе часто встречались личинки двукрылых Chironomidae, а также малощетинковые черви Oligochaeta. Отмечены также водяные клещи Hydracarina, личинки поденок Ephemeroptera и двустворчатые моллюски Bivalvia.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № № 23-17-20018, https://rscf.ru/project/23-17-20018/», проводимого совместно с органами власти Республики Карелия с финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (ФВИ РК).

Список литературы

Лозовик П. А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водные ресурсы. 2013. Т. 40, № 6. С. 583–593. DOI: 10.7868/S0321059613060072

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : утв. Приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552. URL: https://docs.cntd.ru/document/420389120 (дата обращения: 07.04.2025).

УДК 579.26

ИЗУЧЕНИЕ ПСИХРОФИЛЬНЫХ ПИГМЕНТООБРАЗУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ ИЗ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ВОДОЕМОВ ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ

Э. Ю. Симухина *, М. В. Башенхаева, Ю. Р. Захарова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: simuxina02@inbox.ru*

Аннотация. Психрофильные микроорганизмы, способные к росту и развитию в условиях низких температур, играют важную роль в биогеохимических циклах, протекающих в холодных пресноводных средах обитания. Цель работы заключалась в изучении психрофильных микроорганизмов, изолированных из водной толщи оз. Байкал и озёр Восточной Якутии. Все исследованные психрофилы при культивировании характеризовались пигментацией колоний, различными культуральными и морфологическими свойствами. В качестве источника энергии штаммы были способны разлагать глюкозу, арабинозу, мальтозу, сахарозу и рамнозу. Большая часть штаммов проявляли антибиотическую устойчивость к норфлоксацину, цефиксиму, оксациллину и триметоприму/сульфаметоксазолу. На основе последовательностей генов 16S рРНК штаммы были отнесены к родам *Arthrobacter*, *Microbacterium*, *Agrococcus, Caulobacter, Deinococcus*, и на основе гена 18S рРНК – к родам *Cystobasidium* и *Rhodotorula.*

Ключевые слова: психрофильные микроорганизмы, пигменты, биохимическая активность, антибиотикорезистентность

За последние несколько лет возрос интерес ученых к микроорганизмам, обитающим в холодных экосистемах. Данные микроорганизмы характеризуются уникальными адаптациями на биохимическом и цитоморфологическом уровнях, которые позволяют им выживать при низких температурах окружающей среды. Психрофилы способны вырабатывать пигменты, позволяющие адаптироваться к воздействию ультрафиолетового излучения, обладающие антибактериальной, противогрибковой, противовирусной и противоопухолевой активностью [Разнообразие … , 2015; Хаблюк, Аносова, 2022].

В работе исследованы 27 штаммов психрофильных пигментообразующих микроорганизмов из ранее полученной коллекции чистых культур, изолированных из водной толщи оз. Байкал, р. Похабихи и водоёмов Восточной Якутии – озёр Лабынкыр, Красное, Мямичи, Водораздельное и р. Лабынкыр. Были изучены культуральные особенности исследуемых штаммов, методом световой и флуоресцентной микроскопии определены морфологические особенности клеток, биохимическая активность и антибиотикорезистетность. На основе расшифрованных нуклеотидных последовательностей генов 16S рРНК и 18S рРНК были построены филогенетические деревья и определен таксономический статус исследуемых штаммов.

Исследованные психрофильные микроорганизмы характеризовались наличием различных пигментов: розового, оранжевого, желтого и фиолетового цвета. Было установлено, что 21 штамм относился к представителям бактерий, 6 штаммов являлись психрофильными дрожжами. По морфологии клетки бактерий делились на кокковидные и палочковидные. Анализ биохимической активности показал, что большая часть штаммов (78 %) утилизирует глюкозу, 52 % штаммов утилизируют арабинозу, также встречались штаммы, способные утилизировать сахарозу, рамнозу, мальтозу и маннит. У исследованных психрофилов были обнаружены ферменты: β-галактозидаза (у 30 % штаммов) и уреаза (у 18,5 % штаммов). Были штаммы, имеющие фенилаланиндезаминазу, аргининдигидролазу, фосфатазу, фосфолипазу, липазу, казеиназу, коллагеназу, каталазу, цитохромоксидазу и амилазу. При оценке антибиотикорезистентности было установлено, что большее число штаммов проявляет устойчивость к норфлоксацину (52 %), цефиксиму (52 %), оксациллину (48 %) и триметоприму/сульфаметоксазолу (44 %). Рост всех бактериальных штаммов подавлял антибиотик

левофлоксацин. Все дрожжи были чувствительны к гентамицину. Филогенетический анализ последовательностей выявил, что большая часть исследованных психрофильных бактерий относились к филуму *Actinomycetota*, роду *Arthrobacter*, также среди изученных бактериальных штаммов были представители филума *Pseudomonadota*. родов *Microbacterium*, *Agrococcus*, *Caulobacter*; и филума *Deinococcus – Thermus*, род *Deinococcus*. Среди дрожжей были обнаружены представители родов *Cystobasidium* и *Rhodotorula*.

Таким образом, показано, что психрофильные пигментообразующие штаммы, выделенные из оз. Байкал и озёр Восточной Якутии, характеризуются наличием различных пигментов, обладают высокой ферментативной и биохимической активностью и представлены разными таксономическими группами. Показано, что исследуемые штаммы проявляют каталазную, уреазную, коллагеназную, амилолитическую и липолитическую активности.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 121032300186-9). Авторы выражают благодарность А. С. Долженкову и Л. И. Копыриной за организацию экспедиции в Якутию; А. С. Марцинечко за получение коллекции штаммов; канд. биол. наук Д. П. Петровой и канд. биол. наук А. М. Марченкову за помощь в молекулярно-биологических работах; канд. биол. наук В. И. Тетериной (ЦКП «Ультрамикроанализ» ЛИН СО РАН) за проведение секвенирования.

Список литературы

Разнообразие психотолерантных микроорганизмов в атмосферных аэрозолях Западной Сибири / И. С. Андреева, Н. А. Соловьянова, В. А. Вечканов, В. А. Терновой // Международный научно-исследовательский журнал. Биологические науки. 2015. № 1. С. 52–55.

Хаблюк В. В., Аносова О. И. Биохимические механизмы адаптации психрофильных микроорганизмов // Студенческий форум. 2022. № 36. С. 8–10.

УДК 551.583:556.555(282.256.341)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕРА БАЙКАЛ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

В. Н. Синюкович[1]*, И. В. Латышева[2], С. Ж. Вологжина[2], К. А. Лощенко[2], В. Л. Макухин[1, 2]

[1]*Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)*
[2]*Иркутский государственный университет (Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)*
**Автор для переписки: sin@lin.irk.ru*

Аннотация. Проанализированы основные особенности колебаний климата в районе оз. Байкал и элементов водного режима озера за 1980–2023 гг. Отмечено потепление климата с наиболее высокими темпами роста температур воздуха в холодный период года, а также усиление его засушливости, или уменьшение годовых и месячных сумм атмосферных осадков. В периоды выхода южных циклонов и развития термической и орографической облачности наблюдается рост пространственной неоднородности выпадения летних атмосферных осадков. В зимнее время при господствующем влиянии Азиатского антициклона данные различия становятся минимальными. В соответствии с климатическими изменениями трансформируется соотношение между компонентами водного баланса озера, определяя особенности сезонных и межгодовых колебаний его уровня.

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферные осадки, речной приток, испарение, уровень

Текущее глобальное потепление, которое наиболее интенсивно происходит в азиатской части России [Третий … , 2022], характеризуется ростом повторяемости аномальных засушливых периодов и наводнений. Для Байкала такие события сопровождаются рисками нарушения условий для нормального функционирования экосистемы озера и требуют постоянного гидрометеорологического мониторинга. В рассматриваемый период (1980–2023 гг.) средние температуры воздуха по данным 13 репрезентативных метеорологических станций в районе оз. Байкал получились сравнительно близкими: от 0,9 °С на южной оконечности озера (Байкальск) до –2,7 °С в средней части (Баргузинский заповедник). Среднемесячные температуры изменялись от максимальных значений в июле на ст. Еланцы (18,4 °С) до минимальных в январе на ст. Томпа (–27,9 °С).

В течение года самые высокие по среднемесячным значениям температуры воздуха в январе зафиксированы в Байкальске (–4,7 °С), а в сентябре в Хужире (10,1 °С). С октября по декабрь самая теплая погода отмечается на Большом Ушканьем острове.

В целом на побережье оз. Байкал продолжается потепление климата с наиболее высокими темпами роста температур в первом квартале года, с максимальной интенсивностью в марте (до 1,2 °С/10 лет).

Среднегодовые суммы атмосферных осадков изменяются от 189 мм в средней части оз. Байкал (Сарма) до 1381 мм на высокогорной станции Хамар-Дабан, а среднемесячные – от максимальных значений в июле в Хамар-Дабане (266 мм) до минимальных в феврале на станциях Сарма, Большое Голоустное, Большой Ушканий, Еланцы (22 мм). Многолетняя изменчивость осадков характеризуется незначительным положительным трендом.

В соответствии с режимом выпадения осадков и температурными условиями приток поверхностных вод в озеро в расчетный период изменялся от 42,5 до 93,1 км^3 в год при среднем значении 62,8 км^3/год. Приведенные экстремумы притока наблюдались сравнительно недавно и не уступают соответствующим показателям за все время с начала зарегулирования озера плотиной Иркутской ГЭС.

Среднее годовое количество выпавших на водную поверхность Байкала осадков за 1980–2023 гг. составляет 12,3 км^3 с размахом колебаний от 9,3 до 6,1 км^3. При этом, несмотря на периодические продолжительные засушливые периоды, многолетняя тенденция снижения осадков не выражена.

Испарение с водной поверхности озера, в отличие от осадков, с потеплением заметно возрастает. Его среднее значение за рассматриваемые годы составляет 15,5 км^3 в год с колебаниями от 11,0 до 19,4 км^3 в год.

Уровенный режим Байкала в 1980–2023 гг. в основном следует изменениям притока и характеризуется крайне низкими значениями в начальный период и в 2014–2017 гг., осложняя проблемы регулирования уровня и использования водных ресурсов озера. Высокая приточность в многоводные годы сопряжена с превышением нормативных значений уровня, хотя часть их обусловлена и искусственным сдерживанием стока из озера.

Отличительными циркуляционными факторами изменений климата на Байкале в последние десятилетия являются тенденции усиления вклада подвижного циклогенеза в холодный период года (октябрь – март) и высотного антициклогенеза в теплый период (апрель – май). В зимние месяцы на юге Прибайкалья увеличилась вероятность выходов монгольских и атлантических циклонов с интенсивными и нередко продолжительными волнами тепла и холода, усиливающими контрастность погодных условий в регионе. Возросшая повторяемость блокирующих процессов в летние месяцы все чаще препятствуют образованию монгольских циклонов на полярной ветви высотной фронтальной зоны, где благодаря адвекции тепла ослабевают горизонтальные температурные контрасты. Как следствие, уменьшается бароклинность в значительной толще тропосферы как один из основных факторов формирования и развития внетропических циклонов. В то же время на фоне более высоких дневных температур летом возрастает вероятность выпадения более интенсивных ливневых осадков [Региональные … , 2018].

Отмеченные климатические характеристики указывают на рост тепло- и влагосодержания атмосферы вблизи оз. Байкал, повышающих риски продолжительных волн тепла и повышенных атмосферных осадков, сопровождающихся перестройкой водного и ледово-термического режимов озера, изменяющих интенсивность различных внутриводоемных процессов и условия обитания байкальской биоты.

Список литературы

Региональные особенности современного климатического периода в Иркутской области / И. В. Латышева, К. А. Лощенко, С. Ж. Вологжина [и др.] // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2025. Т. 51. С. 19–36.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб. : Наукоемкие технологии, 2022. 124 с.

УДК 594.32 :574.44

ТРОФИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ НА НЕДАВНО ОБНАРУЖЕННОМ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ БИОТОПЕ С ДИФФУЗНОЙ ЭМИССИЕЙ МЕТАНА

Т. Я. Ситникова[1]*, С. И. Кияшко[2], В. И. Тетерина[1], Ю. С. Букин[1], В. Г. Иванов[1], И. В. Ханаев[2], К. М. Кучер[1], С. В. Кирильчик[1], Л. С. Кравцова[1], Н. В. Максимова[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского (Россия, 690041, Владивосток, Пальчевского, 17)
**Автор для переписки:sit@lin.irk.ru*

Аннотация. Открытие в оз. Байкал мелководного биотопа с диффузной эмиссией метана и облегченным изотопом углерода в донном осадке по соседству с биотопом, где углерод имеет фотосинтезированное происхождение, позволило показать, что два вида брюхоногих моллюсков рода *Benedictia* способны усваивать пищу разного генезиса и переходить с фото- на хемосинтерзированную пищу и наоборот, сохраняя различия в трофических нишах при совместном обитании.

Ключевые слова: парапатрические виды, стабильные изотопы углерода и азота, трофическая дифференциация

Выяснение различий в трофических предпочтениях у сосуществующих животных различных таксономических групп в древних озёрах мира необходимо для понимания процессов эндемичного видообразования. В течение нескольких миллионов лет многочисленные геоморфологические и климатические перестройки приводили к изменениям в структуре биоценозов и сокращению пищевых ресурсов, что влекло к массовому вымиранию многих видов беспозвоночных, в том числе байкальских брюхоногих моллюсков. Поскольку некоторые виды были способны пережить катастрофические условия и с течением временем дать начало новым видам, повторно заселявшим освободившиеся экологические ниши, то всегда ученые говорили о рефугиумах внутри озера, где бы и смогли сохраниться предки современных видов. С открытием в Байкале гидротермального вента, метановых сипов и населяющих их специфических видов животных, усваивающих хемосинтезированное органическое вещество, основу которого составляют свободноживущие метанотрофные микроорганизмы, была высказана гипотеза о существовании таких рефугиумов в местах выходов газа и углеводородов [Faunal ... , 2012; Discordance … , 2021; Sideleva, Sitnikova, 2021; и др.]. Следующий этап в понимании роли трофической дифференциации в сохранении видов при разрушении биотопов в результате гео-климатических перестроек – это выяснение способности особей разных видов усваивать как фото- так и хемосинтезированный углерод и сохранять различие в трофических нишах при совместном обитании.

В 2023 г. с помощью телеуправляемого подводного аппарата ТНПА «Ровбилдер РБ-300» в бухте Большие Коты (Южный Байкал) на глубинах 130–170 м нами обнаружен мелководный биотоп с диффузной эмиссией метана. Проведен сравнительный анализ стабильных изотопов углерода и азота двух байкальских эндемичных видов брюхоногих моллюсков *Benedictia baicalensis* (Gerstfeldt, 1859) и *B. lamuana* Sitnikova, 1987, обитающих на двух разных биотопах, находящихся друг от друга на расстоянии около 500 м в бухте Большие Коты в руслах каньонов рек Большая Котинка (глубины 15–50 м) и Малая Котинка (глубины 130–170 м). Два исследованных вида легко различимы по размеру и морфологии протоконха и телеоконха, крышечки и строению зубов радулы. Генетическая однородность обоих видов из разных биотопов подтверждена анализом нуклеотидных последовательностей двух генов COI mDNA and ITSI nDNA.

Пузырьковая разгрузка газов не выявлена, между тем концентрация метана в донном осадке была различной. У Большой Котинки, где на дне находились только растительные остатки, концентрация метана не превышала таковой фоновых районов и составила 6,34±0,14 mg/L, тогда как в Малой Котинке была повышенной и составила 34,94±18,11 mg/L, где отмечены черные и белые пятна на дне с «торчащими» домиками личинок хирономид *Sergentia flavodentata* (Chernovsij, 1949). Личинки этих хирономид были найдены в пищевом комке обоих видов улиток в каньоне у Малой Котинки и отсутствовали на биотопе у Большой Котинки. Как и в других сиповых районах озера личинки хирономид имели облегченный изотопный состав углерода.

При отсутствии различий в изотопном составе азота у видов *Benedictia*, достоверные различия выявлены (непараметрический тест Уикосона – Манна – Уитни, P_value ≤ 0,05) в изотопном составе углерода между выборками особей каждого вида, обитающих на разных биотопах. При этом на биотопе с повышенной концентрацией метана изотопный состав углерода был облегченный у обоих видов (табл.). Трофические изотопные ниши двух видов статистически достоверно различались на биотопах без и с метаном (непараметрический тест PERMANOVA на основе евклидовых дистанций).

Таблица. Изотопный состав углерода и азота двух парапатрических видов рода *Beneictia*

Вид/биотоп	$\delta^{15}N$‰		$\delta^{13}C$‰	
	Без эмиссии метана	С эмиссией метана	Без эмиссии метана	С эмиссией метана
B. baicalensis (*n* = 20)	6,5±0,3 (5,9–7,0)	6,4±0,3 (6,2–6,9)	–13,7±1,1 (–15,6…–12,3)	–37,9±0,9 (–39,1…–36,8)
B. lamuana (*n* = 22)	7,7±0,6 (7,0–8,7)	7,8±0,3 (7,5–8,4)	–19,1±0,9 (–21,0…–18,1)	–33,3±1,8 (–34,7…–28,4)

Таким образом, два парасимпатрических вида *Benedictia* способны переходить с фотона хемосинтерзированную пищу и наоборот, не конкурируя за пищевые ресурсы.

Благодарности. Экспедиционные работы проведены с использованием НИС «Папанин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»). Анализ изотопного состава выполнен в лаборатории стабильных изотопов Дальневосточного геологического института ДВО РАН. Работа выполнена в рамках госбюджетных тем № 121032300224-8, 121032300180-7, 121032300154-8 (ЛИН СО РАН) и № 12421900011-9 (ННЦМБ ДВО).

Список литературы

Discordance of genetic diversification between deep-and shallow-water species of *Kobeltocochlea* Lindholm, 1909 (Caenogastropoda: Truncatelloidea: Benedictiidae) endemic to Lake Baikal with the description of a new species, review of the genus, and notes on its origin / T. Sitnikova, V. Teterina, N. Maximova, S. Kirilchik // Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research. 2021. Vol. 59(8): P. 1775–1797. DOI: 10.1111/jzs.12545

Faunal communities at sites of gas- and oil-bearing fluids in Lake Baikal / T. I. Zemskaya, T. Ya. Sitnikova, S. I. Kiyashko [et al.] // Geo-Marine Letters. 2012. Vol. 32, N 5. P. 437–451. DOI: 10.1007/s00367-012-0297-8

Sideleva V. G., Sitnikova T. Ya. Differentiation of communities of macroinvertebrates and cottoid fish associated with methane seeps of different bottom landscapes of Lake Baikal // Proceedings of the ZIN RAS. 2021. Vol. 325, N 4. P. 469–484. DOI: 10.31610/trudyzin/2021.325.4.469

УДК 591.524:577.472:556.5

ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АНОМАЛИЯХ В ТАКСОЦЕНОЗАХ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ В ЗОНАХ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ И НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЛАНДШАФТОВ НА ПОДВОДНОМ СКЛОНЕ ОЗ. БАЙКАЛ

Т. Я. Ситникова[1]*, Т. В. Наумова[1], Т. В. Погодаева[1], К. М. Кучер[1], В. Г. Иванов[1], А. Ковалевская[2], И. В. Механикова[1], Л. С. Кравцова[1], Н. А. Онищук[1], В. И. Тетерина[1], О. В. Лунина[3], Н. В. Максимова[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Геологический факультет (Россия, 119234, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1)
[3]Институт земной коры СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128)
**Автор для переписки: sit@lin.irk.ru*

Аннотация. Приведены первые сведения о беспозвоночных, населяющих бухты Малая Коса и Горячинская северо-западного участка подводного склона оз. Байкал в зоне влияния Северобайкальского разлома в зоне глубин ~140–175 м. В бухте Горячинская зарегистрированы повышенные концентрации метана в осадке и разгрузка суспензионного флюида; химический состав поровых вод донных осадков не отличался от вод находящегося по соседству наземного термального источника Котельниковский. Численность зообентоса на дне с небольшими нарушениями поверхностного слоя осадка не различалась в обоих бухтах. Аномально высокая численность (более 200 тыс. экз. м$^{-2}$) бентосных беспозвоночных зафиксирована в бухте Малая Коса рядом со структурами, сходными с покмарками, и повышенным содержанием растительных остатков.

Ключевые слова: субаквальная разгрузка, численность, зообентос

Для северо-западной акватории оз. Байкал характерны высокие скорости суспензионных селевых потоков, спускающихся по подводному склону и формирующих турбидитные отложения [Карабанов, 1984]. Первые исследования подводных ландшафтов этого района озера на глубинах от 100 до 200 м с помощью телеуправляемого подводного аппарата ТНПА «Ровбилдер РБ-300», оснащенного цифровой камерой для видео- и фотосъемки, а также орудиями сбора, показали наличие разрывных нарушений, грифонов и разрушающихся потухших грязевых вулканов, сосредоточенных в зоне Северобайкальского разлома [New … , 2023]. Отобрано 25 проб, из них 8 количественных проб зообентоса и по 12 проб донного осадка для химического анализа поровых вод и определения концентрации метана, гранулометрического и минералогического составов, а также гамма-активных радионуклидов в осадке.

Выявлено, что химический состав поровых вод донных осадков подводного склона в бухте Горячинская (к северу от м. Котельниковский) соответствует составу изливающихся термальных вод на побережье. Обнаруженные повышенные концентрации гидрокарбоната, хлора, брома и других ионов, концентрация метана в осадке более 43 мкл/л, а также отрицательные значения Eh, минеральный состав осадка и степени активности радионуклидов свидетельствуют о субаквальной разгрузке вод в этой бухте вне зоны потухших грязевых вулканов. В течение 10 с мы в режиме онлайн наблюдали излияние небольшого суспензионного флюида, оставившего на дне небольшое круглое отверстие. Сходные воронковидные понижения рельефа диаметром около 5 см, часто окруженные восстановленным серым осадком, присутствовали на некоторых участках дна в обеих бухтах. Концентрация основных ионов поровой воды и концентрации метана в осадках губы Малая Коса были ниже, чем в Горячинской бухте, но выше фоновых районов. Между тем численность зообентоса на окисленном донном осадке без видимых микробиальных матов и крупных ландшафтных неоднородностей (рис., *А*) было сходным в обоих бухтах и составило около 30 тыс. экз. м$^{-2}$ (от 17 до 44 тыс. экз. м$^{-2}$). Среди макрозообентоса на всех участках дна доминировали оли-

гохеты, среди мейозообентоса встречены участки с преобладанием нематод, копепод или остракод. На порядок больше (в среднем 261 тыс. экз. м$^{-2}$) составило обилие бентоса в бухте Малая Коса непосредственно у «покмарка» разрушающейся структуры, где донный осадок включал большое количество растительного детрита и древесных остатков (рис., *Б*), а также рядом с другим «покмарком» на восстановленном осадке. Здесь обнаружено высокое обилие (около 6 тыс. экз. м$^{-2}$) личинок и куколок хирономид *Paratanytarsus baicalensis*, отсутствовавших в Горячинской бухте. Сходное аномально высокое значение численности мейозообентоса зарегистрировано ранее на бактериальных матах гидротермального вента Фролиха [Faunal ... , 2012]. Среди макрозообентоса на окисленных донных осадках отмечены амфиподы *Parapallasea puzyllii puzyllii* и *Ommatogammarus carneolus melanophthalmus*, светло-коричневого цвета плоские черви-планарии *Bdellocephala* sp., а также брюхоногие моллюски *Benedictia* cf. *fragilis*. Скопления этих беспозвоночных не выявлены. На твердых поверхностях ступенчатых структур обнаружены улитки *Benedictia* cf. *pumyla*, генетически близкородственные особям, обитающим на венте Фролиха; а на «козырьках» этих же структур найдены колонии глобульных губок светлого цвета, в оскулумах которых присутствовали мелкие амфиподы *Eulimnogammarus* (*Eurybiogammarus*) sp. Продолжение исследований позволит выяснить биологические и количественные характеристики беспозвоночных, обитающих на участках с эмиссией газов и субаквальной разгрузкой вод на подводном склоне оз. Байкал, а также их ближайших генетических родственников.

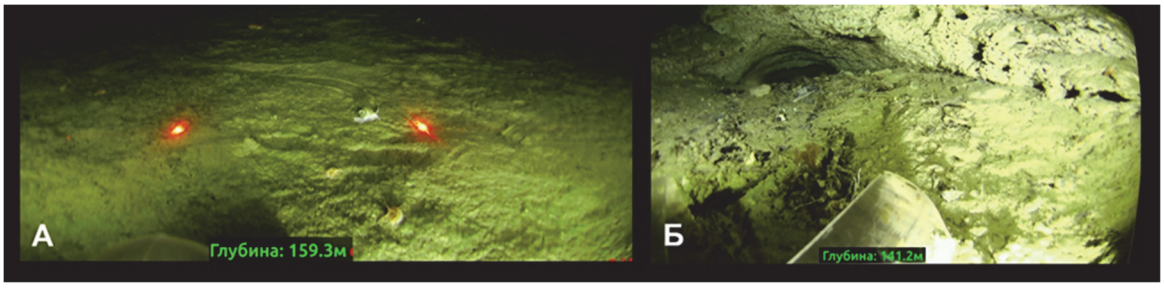


Рис. Дно подводного склона в б. Горячинская (А) и у «покмарка» в б. Малая Коса (Б)

Благодарности. Авторы благодарны канд. геогр. наук Н. В. Кузьменковой за гамма-спектрометрический анализ и канд. геол.-минерал. наук В. Л. Косорукову за минералогический анализ донных осадков. Экспедиционные работы выполнены с борта НИС «Папанин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»). Химический анализ образцов выполнен в Приборном центре коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикроанализ»). Работа выполнена в рамках госбюджетных проектов 121032300180-7, 121032300199-9, 121032300154-8, 121032300223-1.

Список литературы

Карабанов Е. Б. Суспензионные потоки и их роль в формировании осадочных толщ // Литодинамика и осадкообразование в Северном Байкале. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1984. С. 223–248.

Faunal communities at sites of gas- and oil-bearing fluids in Lake Baikal / T. I. Zemskaya, T. Ya. Sitnikova, S. I. Kiyashko [et al.] // Geo-Marine Letters. 2012. Vol. 32. P. 437–451. DOI: 10.1007/s00367-012-0297-8

New Findings of Mud Volcanism on the Northwest Coast of Lake Baikal Based on Underwater Video Recording / O. V. Lunina, K. M. Kucher, T. V. Naumova, T. Ya. Sitnikova // Doklady Earth Sciences. 2023. Vol. 513, N 2. P. 1332–1337. DOI: 10.1134/S1028334X23602055

УДК 581.174.1:574.583(282.247.211)

РАСТИТЕЛЬНЫЕ ПИГМЕНТЫ ФИТОПЛАНКТОНА КАК ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КИЖСКИХ ШХЕР ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Ю. Л. Сластина*

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
(Россия, 185030, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50)
**Автор для переписки: jls@inbox.ru*

Аннотация. Приведены данные по содержанию фотосинтетических пигментов фитопланктона, определенных стандартным спектрофотометрическим методом в районе о. Кижи Онежского озера. весной, летом и осенью 2023–2024 гг. Отмечается повышенное содержание хлорофилла а (Хл а) при снижении доли дополнительных хлорофиллов, что характерно при активной вегетации цианобактерий. Полученная за период исследования концентрация Хл а в воде шхерного района от 1,34 до 8,15 мкг/л (в среднем 4,37±1,19 мкг/л) сопоставима с данными предыдущих исследований и характеризует Кижские шхеры как мезотрофный участок Онежского озера.

Ключевые слова: фитопланктон, пигменты, хлорофилл, Онежское озеро, трофический статус

В северо-западной части Онежского озера, второго по величине водоема в Европе, расположен Кижский архипелаг. Один из его островов занимает музей-заповедник «Кижи» – объект всемирного культурного наследия ЮНЕСКО. С конца прошлого века отмечается рост антропогенной нагрузки на акваторию о. Кижи в связи с активным использованием водного транспорта, увеличения бытовых стоков. В связи с увеличением концентрации нефтепродуктов, общего фосфора, а также по уровню развития гидробионтов в период конца прошлого-начала XXI в. район исследования характеризовался как мезотрофный [Современное … , 1999; Биогенные … , 2012]. В последнее время, несмотря на рост туристического потока, отмечается уменьшение общего фосфора, нитратов, БПК5 в сравнении с данными прошлых лет [Galachina, Zobkov, Zobkova, 2022].

В гидробиологических исследованиях для оценки продукционных возможностей фитопланктона или его физиологического состояния часто используется относительное содержание в нем различных фотосинтетических пигментов, таких как хлорофилл «a», «b», «c» (Хл a, b, c) и каротиноиды. Увеличение доли вспомогательных пигментов в фитопланктоне и концентрации каротиноидов свидетельствует о структурно-функциональных перестройках в фитопланктоне, вызванных неблагоприятным воздействием на него факторов внешней среды. В целях оценки современного состояния экосистемы Кижских шхер Онежского озера и определения качества воды проведены исследования в 2023–2024 гг.

Полученная за 2023–2024 гг. концентрация Хл а в воде шхерного района от 1,34 до 8,15 мкг/л (в среднем 4,37±1,19 мкг/л). Концентрация вспомогательных пигментов составляла: Хл b – 0,32–1,11, в среднем по станциям его значение было равно 0,45±0,14 мкг/л; хлорофилла c (Хл c) – 0,78–2,74, в среднем – 1,40±0,79 мкг/л; каротиноидов – 0,25–1,84, в среднем – 1,69±0,25 mSPU/m^3. Значения пигментных индексов по станциям колебались: k/a в пределах 0,11–0,46, в среднем составляя 0,38±0,11; E_{480}/E_{664} – 0,68–1,25, в среднем – 1,00±0,29; E_{430}/E_{664} – 2,13–2,62, в среднем – 2,49±0,41.

Показатели активности фитопланктона в течении вегетационного периода 2024 г. были наиболее высокими в летний период, тогда как в 2023 г. максимумы концентраций Хл а и вспомогательных пигментов наблюдались осенью. Повышение продуктивности может быть вызвано как увеличением антропогенной нагрузки в этот период, так и природными факторами, высокими значениями температуры воды летом 2024 г.

Несмотря на то что минимальная и максимальная концентрации в 2024 г. выше значений предыдущего года проведения наблюдений (1,34–5,49 мкг/л), средние показатели достаточно близки (4,05±1,07 мкг/л). Полученный результат сопоставим с данными предыду-

щего периода исследований, начиная с 60–70 гг. XX в., когда шхерный район выделялся как наиболее продуктивный [Пырина, Елизарова, Николаев, 1973]. По содержанию Хл а в воде Кижские шхеры характеризуются как мезотрофный участок Онежского озера [Китаев, 2007].

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-20018, https://rscf.ru/project/23-17-20018/», проводимого совместно с органами власти Республики Карелия с финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (ФВИ РК).

Список литературы

Биогенные элементы и органическое вещество в Онежском озере и его заливах / А. В. Сабылина, Т. А. Ефремова, А. В. Рыжаков, М. Б. Зобков // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах : материалы V Всерос. симп.с междунар. участием. Петрозаводск, 10–14 сент. 2012 г. Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2012. С. 75–78.

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2007. 395 с.

Пырина И. Л., Елизарова В. А., Николаев И. И. Содержание фотосинтетических пигментов в фитопланктоне Онежского озера и их значение для оценки уровня продуктивности этого водоема // Микробиология и первичная продукция Онежского озера. М. : Наука, 1973. С. 108–122.

Современное состояние гидробиоценозов района Кижских шхер Онежского озера / И. Г. Вислянская, Т. П. Куликова, Т. Н. Полякова, Т. М. Тимакова // Труды Карельского научного центра РАН. Серия: Биогеография Карелии. 1999. № 1. С. 113–120.

Galakhina N., Zobkov M., Zobkova M. Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last htree decades with special reference to nutrient concentrations // Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management 2022. Vol. 17. P. 1–14.

УДК 574.583(282.247.211)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА КИЖСКИХ ШХЕР ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

В. С. Смирнова*, Ю. Л. Сластина, М. В. Зобкова

Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН
(Россия, 185030, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50)
**Автор для переписки: smirnovalera24@yandex.ru*

Аннотация. Приведены результаты исследования состояния фитопланктона в районе Кижских шхер Онежского озера весной, летом и осенью 2023 г. Отмечен высокий уровень развития и богатое видовое разнообразие планктонных фитоценозов. В весенний и осенний периоды активно развивались диатомовые и цианобактерии, в летний – цианобактерии, золотистые и зеленые водоросли. Установлено снижение от весны к осени концентрации кремния, что связано с динамикой развития диатомовых водорослей, а также уменьшение соотношения общего азота к общему фосфору, что могло вызвать активное развитие цианобактерий. На основании количественного развития индикаторных видов тип вод в районе наблюдения относится к β-мезосапробной зоне загрязнения с 3 классом качества воды, удовлетворительно-чистой. Интенсивная вегетация фитопланктона Кижских шхер обусловлена природными условиями этого района озера.

Ключевые слова: фитопланктон, Онежское озеро, сезонная динамика, биогенные элементы, трофический статус, качество воды

В середине XX в. по уровню развития фитопланктона и содержанию биогенов район о. Кижи характеризовался как олиготрофный. К 90-м гг. XX в. как результат климатических изменений и увеличение антропогенной нагрузки за счет водно-хозяйственных стоков, водного транспорта, туристического бизнеса, концентрация общего фосфора ($P_{общ}$) возросла до 25 мкг/л [Galachina, Zobkov, Zobkova, 2022], также изменилась структура и количественные показатели фитопланктона [Чекрыжева, 2008]. Трофический статус изменился на мезотрофный [Китаев, 2007]. В связи с вышеизложенным, цель настоящего исследования: дать характеристику современной структуре альгоценоза Кижских шхер, изучить количественное развитие фитопланктона в разные сезоны года, а также, на основе индикаторных значений видов, оценить качество воды изучаемого района.

Температура поверхностного слоя в период исследования в районе Кижских шхер Онежского озера была в пределах многолетней изменчивости: 14,9±0,41 °С (IV/2023 г.) – 10,5–19,9 °С (1994–2020 гг.); 18,1±0,24 °С (IIIV/2023 г.) – 17,2–20,8 °С (1996–2021 гг.); 14,5±0,05 °С (IX/2023 г.) – 9,8–14,20 °С (2004–2008 гг.). Содержание биогенных элементов (P, N, Si) в воде в 2023 г. было невысоким. В весенний и летний периоды концентрация $P_{общ}$ (1–12 мкг/л) соответствовала олиготрофному статусу, а сентябре олиго-мезотрофному (10–17 мкг/л). Содержание азотных форм на всех станциях было близким. В составе $N_{общ}$ наибольший вклад принадлежит $N_{орг}$: в мае – от 67,7 до 84 %; в июле – от 67,7 до 76 %; в сентябре –от 85,2 до 96,3 %. Летом на всех станциях отмечено уменьшение содержания нитратов и увеличение аммония в сравнении с весенним сезоном. К осени содержание минеральных форм азота снижалось до минимальных значений. Концентрация кремния уменьшалась от весны к осени (0,53–0,25 мгSi/л).

В составе фитопланктона идентифицировано 204 таксона рангом ниже рода, принадлежащих к 7 систематическим отделам: Bacillariophyta – 76 (37,2 %); Chlorophyta – 54 (26,5 %); Cyanobacteria – 33 (16,2 %); Chrysophyta – 26 (12,7 %); Euglenophyta – 5 (2,5 %); Cryptophyta– 6 (2,9 %); Dinophyta – 4 (2 %).

В весенний и осенний периоды в составе доминирующего комплекса по численности, биомассе и видовому разнообразию представлены диатомовые (численность 24–38 % от общей 750–2003 тыс. кл/л весной, 39–50 % от общей 4285–8645 тыс. кл/л осенью; биомасса 60–74 % от общей 0,61–1,21 мг/л весной, 84–95 % от общей 2,86–4,95 мг/л) осенью *Aulacoseira islandica*, *A. granulata*, *Tabellaria fenestrata, Fragilaria crotonensis* и цианобактерии

(численность 24–38 % весной, 35–57 % осенью) *Aphanocapsa inserta*, *A. elashita, Merismopedia punctata.* Летом доминировали цианобактерии (численность 41–65 % от общей 1450–4983 тыс. кл/л) *Gomphosphaeria lacustris, Gloeocapsa limnetica. Dolichospermum spiroides*, золотистые (численность 13–21 %, биомасса 31–80 % от общей 1,54–6,64) *Dinobryon divergens*, и зеленые водоросли sp. *Crucigenia, Oocystis, Chlamydomonas* (численность 12–36 %), *Coenococcus planctonicus*.

В результате анализа сапробиологических характеристик видов фитопланктона, обнаруженных в районе Кижских шхер Онежского озера в мае (S=1,61±0,05), июле (S = 1,52±0,03), августе (S = 2,11±0,14) 2023 г. данный тип водможно отнести к β-мезосапробной зоне (3-й класс качества воды, удовлетворительно-чистая).

Полученные данные в целом сопоставимы с результатами предыдущих исследований. Исключением являются высокие показатели развития фитопланктона в летний период, где возможной причиной усиленной вегетации цианобактерий является более высокий прогрев поверхностного слоя воды, а также изменение соотношения биогенных элементов. Таким образом, сложившиеся особые природные условия в районе Кижских шхер, а именно лучший прогрев водных масс, замедленный водообмен с открытой частью водоема, также наличие антропогенной нагрузки, определяют более продуктивное развитие фитопланктона в отличии от глубоководных участков озера. При усилении антропогенной нагрузки и потепления климата возможны более сильные изменения в фитоценозе исследованного района Онежского озера.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-20018, https://rscf.ru/project/23-17-20018/», проводимого совместно с органами власти Республики Карелия с финансированием из Фонда венчурных инвестиций Республики Карелия (ФВИ РК).

Список литературы

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.

Чекрыжева Т. А. Фитопланктон как компонент биоресурсной базы озера // Биоресурсы Онежского озера / ред. Кухарев В. И., Лукин А. А. Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2008. С. 24–36.

Galakhina N., Zobkov M., Zobkova M. Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last htree decades with special reference to nutrient concentrations // Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management. 2022. Vol. 17. P. 1–14. DOI: 10.1016/j.enmm.2021.100619

УДК 579.017.8

АНАЭРОБНОЕ ОКИСЛЕНИЕ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ МИКРОБНЫМ СООБЩЕСТВОМ ДОННЫХ ОСАДКОВ ОЗ. БАЙКАЛ В ТЕРМОФИЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Д. К. Смирнова*, О. Н. Изосимова, А. Г. Горшков, Т. И. Земская, О. Н. Павлова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
** Автор для переписки: smirnova@lin.irk.ru*

Аннотация. Изучена углеводородокисляющая активность микробных сообществ донных осадков нефте-метанового сипа «Зеленсип» в анаэробных термофильных условиях. Проведенные эксперименты показали более высокую степень трансформации углеводородов нефти микробными сообществами донных осадков в термофильных условиях, чем в психрофильных. За короткий период времени (6 мес.) в термофильных условиях убыль *н*-алканов составила до 90 %, ПАУ – до 95 %.

Ключевые слова: Байкал, биодеградация углеводородов, анаэробные термофильные условия, микробное сообщество, донные отложения

Байкал – пресноводное озеро, которое характеризуется природными выходами нефти [Нефтегазоносность … , 2007]. Нефть, обнаруживаемая на водной поверхности и в донных осадках в районе устья р. Б. Зеленовская (БЗ), представлена высокомолекулярной битумной фракцией [Новый … , 2022]. Отсутствие других углеводородных фракций может быть связано с деятельностью микробных сообществ, окисляющих компоненты нефти в анаэробных условиях глубинных донных осадков. Скопления углеводородов находятся длительное время в донных отложениях и не поступают на поверхность водной толщи [Новый … , 2022]. Расчетная температура в этой зоне достигает примерно 60–70 ºС [Особенности … , 1993], что соответствует условиям, благоприятным для термофильных микроорганизмов. Цель исследования – оценить углеводородокисляющую активность микробных сообществ донных осадков в анаэробных термофильных условиях.

Для получения накопительных культур в 2022 г. с борта НИС «Г. Ю. Верещагин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала») отобраны три образца донных осадков, соответствующие глубине керна 10–30 см (ZS1), 180–200 см (ZS2), 280–300 см (ZS3) в районе нефте-метанового сипа «Зеленсип», расположенного на расстоянии 3,5 км от устья р. Б. Зеленовская [Новый … , 2022]. Инкубация донных осадков проводилась на минеральной среде, содержащей различные акцепторы электронов: HCO_3^-, SO_4^{2-}, NO_3^-. В качестве источника углерода использовали нефть (50 мкл на 50 мл среды). В качестве отрицательного контроля – стерильные среды с нефтью без добавления проб осадков. Убыль *н*-алканов и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) оценивали во всем объеме экспериментальной среды (осадок и культуральная жидкость) по методикам [Anaerobic … , 2022; Анаэробное … , 2024] с использованием оборудования приборного центра коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН. Выделение ДНК, амплификацию, секвенирование (ЦКП «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ВНИИСХМ, г. Пушкин) и биоинформатический анализ проводили согласно [Microbial … , 2023].

По истечении 6 мес. культивирования наибольшая убыль *н*-алканов и ПАУ выявлена в культурах, содержащих подповерхностный осадок. В образцах ZS1_HCO_3 и ZS1_NO_3 конверсия алканов достигала 90 %. Содержание $\Sigma_{алк}$ в культуре ZS1_SO_4 снизилось до 2. 7 мг на объем экспериментальной среды в сравнении с контрольными накопительными культурами (11,4 мг), что составило 76 %. Убыль $\Sigma_{ПАУ}$ в культуре ZS1 достигала 95 % в присутствии гидрокарбонат и нитрат ионов и до 86 % в культуре ZS1_SO_4. В образце ZS2 отмече-

на меньшая углеводородокисляющая активность микробного сообщества в отношении исследуемых субстратов. Наибольшая убыль *н*-алканов и ПАУ (85–88 %) выявлена в культурах, содержащих гидрокарбонат ион. В присутствии сульфат и нитрат ионов, конверсия углеводородов составила 63–77 %. В культуре с глубинным образцом наиболее значимое влияние на убыль *н*-алканов и ПАУ оказало внесение нитрата, где их конверсия составила 90–94 % соответственно.

Более значимая убыль *н*-алканов и ПАУ в присутствии нитратов в накопительных культурах может быть обусловлена доминированием в подповерхностном осадке бактерий и архей филумов *Acidobacteriota*, *Nitrospinota*, *Nitrospirota и Halobacterota,* некоторые представители которых используют нитрат/нитрит в качестве акцепторов электронов, а в глубинном – *Bacteroidota, Desulfobacterota* и *Nanobdellota.* Основное различие в таксономическом составе микробных сообществ наблюдалось между подповерхностными и глубинными осадками. Микробные сообщества подповерхностных осадков характеризуются бóльшим бактериальным разнообразием, чем глубинные. В них преобладали типичные для пресноводных озер органотрофные бактерии *Chloroflexota*, *Acidobacteriota*, *Actinomycetota*, *Ca.* MBNT15, *Nitrospinota*, *Nitrospirota* и *Pseudomonadota* [Microbial … , 2025]. С глубиной осадка снижается представленность хемоорганогетеротрофных бактерий и возрастает доля *Atribacterota*, *Caldisericota*, *Bacteroidota* и *Desulfobacterota*. Также с глубиной осадка возрастает доля *Thermoproteota, Ca. Hadarchaeota*, *Nanobdellota, Thermoplasmatota* и снижается доля *Halobacterota.*

Проведенные исследования показали, более высокую скорость трансформации углеводородов нефти микробными сообществами донных осадков в термофильных условиях, чем в психрофильных. Как было показано ранее, в анаэробных психрофильных условиях конверсия *н*-алканов и ПАУ микробным сообществом донных осадков района нефтепроявления БЗ составила 35–65 % соответственно [Анаэробное … , 2024].

Благодарности. Работа выполнена в рамках гос. задания № 0279-2021-0006 (121032300223-1).

Список литературы

Анаэробное окисление нефти микробными сообществами донных осадков из района естественного нефтепроявления (Средний Байкал, Большая Зеленовская) / О. Н. Павлова, С. В. Букин, О. Н. Изосимова [и др.] // Микробиология. 2024. Т. 93, № 5. С. 548–561. DOI: 10.31857/S0026365624050044

Нефтегазоносность отложений оз. Байкал / А. Э. Конторович, В. А. Каширцев, В. И. Москвин [и др.] // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. С. 1346–1356.

Новый нефтегазовый сип озера Байкал / О. М. Хлыстов, О. Н. Изосимова, A. Hachikubo [и др.] // Нефтехимия. 2022. Т. 62, № 3 С. 328–335. DOI: 10.31857/S0028242122030029

Особенности строения осадочной толщи оз. Байкал по результатам многоканальной сейсмической съемки (1989 г.) / Д. Р. Хатчинсон, А. Я. Гольмшток, Л. П. Зоненшайн [и др.] // Геология и геофизика. 1993. Т. 34, № 10-11. С. 25–36.

Anaerobic oxidation of petroleum hydrocarbons in enrichment cultures from sediments of Gorevoy Utes natural oil seep under methanogenic and sulfate-reducing condition / O. N. Pavlova, O. N. Izosimova, S. M. Chernitsyna [et al.] // Microb Ecol. 2022. Vol. 83, N 4. P. 899–915. DOI: 10.1007/s00248-021-01802-y

Microbial communities in ferromanganese sediments from the Northern Basin of Lake Baikal (Russia) / A. Lomakina, S. Bukin, O. Shubenkova [et al.] // Microorganisms. 2023. Vol. 11. Art. 1865. DOI: 10.3390/microorganisms11071865

Microbial communities in the sediments if rift Lake Baikal and their role in diagenesis processes / T. I. Zemskaya, S. V. Bukin, S. M. Chernitsyna [et al.] // Urban Watershed Microbiology – Biodiversity Composition, Ecological Function, and Technological Advances / eds. S. M. Tiquia-Arashiro [et al.]. Chapter 4. 2025. P. 1–74.

УДК 556.551:556.114(6+7)

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ВОДЕ ОЗЕРА ГЛУБОКОГО (МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Д. И. Соколов *, М. А. Терешина, О. Н. Ерина

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Географический факультет (Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1)
**Автор для переписки: SokolovDI@my.msu.ru*

Аннотация. По данным мониторинга 2019–2025 гг. рассмотрен современный режим показателей содержания органических и биогенных веществ в воде оз. Глубокого, расположенного в природном заказнике Московской области. Продолжение регулярных исследований, начатых в 2017 г., позволило уточнить некоторые аспекты этого режима: поступление органических веществ с водосбора не вносит значимого вклада в режим окисляемости воды, влияя лишь на ее цветность; содержание фосфора в последние годы выше, чем в 2017–2018 гг.; содержание кремния в период летней стагнации увеличивается лишь у дна, в фотическом слое практически полностью ассимилируясь биотой.

Ключевые слова: оз. Глубокое, цветность, фосфор, азот, кремний

Введение. Озеро Глубокое и его водосбор расположены в Рузском районе Московской области на территории государственного природного заказника и испытывают низкое (особенно для Московского региона) антропогенное влияние. Площадь озера составляет около 60 га, максимальная глубина достигает 32 м. Озеро димиктическое, малопродуктивное, пресное, не имеет притоков, на 74 % питаясь атмосферными осадками [Щербаков, 1967].

С конца XIX в. чрезвычайно подробно изучен гидробиологический режим озера, но гидрохимический режим изучен несоизмеримо хуже. С весны 2017 г. (на регулярной основе – с весны 2018 г.) по настоящее время мы проводим комплексные исследования гидрохимического режима Глубокого озера, впервые столь подробные и регулярные. По результатам первых лет мониторинга были получены первые представления о современном режиме содержания органических (ОВ) и биогенных веществ [Современный … , 2018; Режим … , 2019]. Однако оставалась очевидной необходимость продолжения регулярных гидролого-гидрохимических наблюдений для более детального понимания его особенностей.

Материалы и методы. Настоящая работа основана на материалах мониторинга в период 2019–2025 гг. Ежемесячные полевые работы включали отбор проб с 3–6 характерных горизонтов. В отобранных пробах определяли величину ХПК титриметрически бихроматным окислением, перманганатную окисляемость (ПО) методом Кубеля в кислой среде, цветность воды – фотометрически. Содержание минерального и валового фосфора, в том числе их растворенных форм в пробах, пропущенных через мембранные фильтры, определяли методом Морфи-Райли, содержание общего азота и его растворенной формы – спектрофотометрически в УФ-диапазоне с персульфатом калия в щелочной среде, содержание азота нитратов, нитритов и аммонийного азота – методом ионной хроматографии, концентрацию кремния – фотометрически в виде желтой формы молибдокремниевой кислоты.

Результаты и их обсуждение. Цветность воды в оз. Глубоком изменялась в диапазоне 10–100 град, составляя 10–30 град во всей водной толще (с максимумами в периоды повышенного смыва окрашенных органических веществ с водосбора и снижением зимой и летом), в придонных горизонтах повышаясь от 15 до 50–100 град в течение периода летней аноксии (вероятно, за счет образования темноокрашенных соединений железа и марганца), что в целом согласуется с данными первых лет мониторинга [Современный … , 2018], хотя, как и для большинства остальных показателей, более продолжительный ряд наблюдений характеризуется более широким диапазоном изменчивости.

Величина ХПК составляла 12–25 мгО/л и более во всей водной толще, но в эпилимнионе значения выше 20 мгО/л отмечались в разгар лета за счет продукции лабильного ОВ, а у дна – к концу зимней стагнации (в обоих случаях с повышением доли взвешенного ОВ до

20–40 %). Величина ПО составляла 8–9 мгО/л, летом в верхних слоях повышаясь до 10–12 мгО/л, ассоциируясь таким образом не с аллохтонным, а с автохтонным ОВ. Таким образом, влияние смыва ОВ с водосбора на режим ХПК и ПО [Современный … , 2018] не подтверждается.

Минеральный фосфор в эпилимнионе находился в основном в растворенном виде, его содержание редко превышало 10 мкг/л, повышаясь к зиме и понижаясь до 1–3 мкг/л в периоды «цветения». Содержание общего фосфора в верхних слоях зимой достигало 30–50 мкг/л и более, летом снижаясь до 20 мкг/л и менее (за счет потребления фосфатов) с закономерным увеличением доли органического (преимущественно взвешенного) фосфора с 70–75 до 90–95 % и более. У дна отмечалось накопление общего и минерального фосфора в течение периода летней стратификации до концентраций 60–70 и 80–90 мкг/л соответственно (в отдельные годы 100–150 и до 180 мкг/л) с преобладанием взвешенных форм (до 60–70 % и более) и снижением доли органического фосфора (до 20–30 % и менее). В 2019–2025 гг. концентрации фосфора были в 1,5–2 раза выше по сравнению с первыми годами мониторинга [Режим … , 2019].

Содержание общего азота летом составляло 0,4–0,7 мг/л, зимой – 0,8–0,9 мг/л и более, но в придонных горизонтах было выше и к концу летней стагнации достигало 1,3–1,7 мг/л и более. Доля взвешенных форм была очень мала и редко превышала 20 % (в основном у дна), но достигала 30–40 % и более в верхних слоях в периоды «цветения». Значимые концентрации аммонийного азота (до 0,3–0,5 мг/л) и нитритов (до 30–50 мкг/л) отмечались лишь у дна, как правило зимой, снижаясь до 0 к концу летней стагнации, в то время как содержание нитратов повышалось от следовых количеств до 0,2-0,5 мг/л к концу как зимней, так и летней стагнации, что в целом согласуется с прежними данными [Режим … , 2019].

Концентрации кремния в фотическом слое составляли 0,4–1,4 мг/л, в афотической толще 0,7–2,0 мг/л. Ранее мы делали вывод о росте содержания кремния к концу летней стагнации во всей водной толще [Режим … , 2019], но по данным 2019–2025 гг. на фоне накопления кремния у дна отчетливо прослеживалось снижение его содержания в фотическом слое до годового минимума за счет ассимиляции биотой.

Выводы. Продолжение многолетних исследований оз. Глубокого позволило расширить и уточнить представления о его современном гидрохимическом режиме. Сопоставление полученных многолетних рядов с материалами первых лет наблюдений наглядно показывает, насколько для глубокого и корректного понимания закономерностей формирования гидроэкологического состояния водоема необходим длительный непрерывный мониторинг, охватывающий различные по гидрологическим условиям годы.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Программы развития МГУ, проект № 23-Ш07-67.

Список литературы

Режим биогенных и органических веществ в озере Глубоком / М. А. Терешина, О. Н. Ерина, Е. А. Вилимович, Д. И. Соколов // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов : тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Пермь, 30 мая – 2 июня 2019 г. Пермь : ПГНИУ, 2019. Т. 3. С. 222–226.

Современный гидроэкологический режим озера Глубокого / Д. И. Соколов, О. Н. Ерина, М. А. Терешина, Е. А. Вилимович // Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития : тр. II Всерос. конф. Санкт-Петербург, 19–20 дек. 2018 г. СПб. : Химиздат, 2018. С. 590–593.

Щербаков А. П. Озеро Глубокое. М. : Наука, 1967. 380 с.

УДК 550.8.052

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ОСАДКАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ (ПРОЕКТ CLASS@BAIKAL)

М. А. Соловьева[1,2]*, Г. Г. Ахманов[1], О. Н. Видищева[1], О. М. Хлыстов [2]

[1]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
(Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1)
[2]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: marina-sol@yandex.ru*

Аннотация. Представлены основные результаты геолого-геофизических работ проекта Class@Baikal в области изучения фокусированной флюидоразгрузки и гидратообразования оз. Байкал, которые расширяют и дополняют существующие знания о механизме формирования, области распространения и особенностях залегания газовых гидратов в осадочной толще. В ходе восьми экспедиций выполнены обширные сейсморазведочные работы, по результатам которых построена карта распространения границы BSR (bottom simulating reflector) на всю Центральную и северо-восточную часть Южной котловин озера. Этот рефлектор отражает положение нижней границы интервала распространения газовых гидратов в осадочном разрезе. Обнаруженные участки аномальной морфологии поверхности BSR соответствуют локальным увеличениям теплового потока вследствие активной вертикальной миграции флюидов в этих зонах. К этим же областям приурочено расположение структур, в которых образуются придонные газовые гидраты и происходит разгрузка флюидов в водную толщу.

Ключевые слова: Байкал, газовые гидраты, флюидоразгрузка, сейсморазведка, bottom simulating reflector

Озеро Байкал характеризуется интенсивным проявлением процессов флюидоразгрузки и гидратообразования. На его дне на данный момент известно более 60 структур, в которых были обнаружены приповерхностные газовые гидраты [The Position … , 2022], а их широкое распространение в глубинном интервале разреза прогнозируется по наличию границы BSR [Bottom … , 1991] и локально подтверждено бурением [Первая … , 1998]. Поиск новых мест придонного гидратообразования и изучение особенностей их формирования в осадочном разрезе базируется, в основном, на различных геофизических методах. В последние десятилетия различные организации вели сейсмоакустические исследования на оз. Байкал. Тем не менее анализ внутреннего строения выявленных гидратосодержащих структур и характеристик осадочного разреза оказался недостаточно детальным из-за малого количества сейсморазведочных данных, довольно низких разрешающей способности, глубинности исследований и качества обработки данных.

С 2014 г. МГУ им. М. В. Ломоносова при поддержке ЛИН СО РАН реализует проект Class@Baikal, в рамках которого на оз. Байкал было проведено 8 научных экспедиции [Хлыстов, Ахманов, 2025]. В ходе этих экспедиций применяется комплексный подход, включающий различные сейсмоакустические, геологические, геохимические, гидрогеологические и другие методы исследований. Полученные материалы позволили значительно расширить и углубить понимание масштабов гидратоносности оз. Байкал.

Присутствие газовых гидратов фиксируется как в приповерхностных слоях, так и на более значительных глубинах, вплоть до нижней границы стабильности, которая, как предполагается, формирует границу BSR. На сейсмоакустических разрезах, полученных в экспедициях Class@Baikal, данная граница отчётливо прослеживается в интервале глубин до 500 м ниже поверхности дна. Её картирование на всех имеющихся данных, включая ранее выполненные работы ЛИН СО РАН, позволило создать новую карту распространения границы BSR, более чем в 1,5 раза увеличив площадь вероятного распространения газогидратов по сравнению с предыдущими представлениями [Оценки … , 1997]. Также существенно уточнены особенности морфологии данного отражающего горизонта. В ходе исследований были выявлены уникальные области, где поверхность BSR не параллельна дну и испытывает поднятие. На этих же участках часто увеличивается амплитуда и ширина отражения, что,

вероятно, обосновывается скоплением свободного газа. Такие участки маркируют сокращение зоны стабильности газогидратов при возрастании теплового потока в областях активной вертикальной миграции флюидов по крупным тектоническим разломам. Пространственно они часто приурочены к известным структурам фокусированной флюидоразгрузки, что позволяет рассматривать их как перспективный поисковый признак новых структур.

Примером такого успешного поиска является открытие структуры, названной «МГУ» [Открытие ... , 2018]. Она представляет собой небольшое четырёхвершинное поднятие на уступе Гидратного разлома и характеризуется наличием акустически прозрачного канала, при приближении к которому граница BSR испытывает поднятие. Отличительной особенностью данной структуры является микрокристаллическая форма газовых гидратов, не видимая невооруженным глазом. Также в ходе экспедиции Class@Baikal в 2022 г. впервые была зафиксирована разгрузка газа в водную толщу (так называемый факел) в структуре «Голый» и подняты газовые гидраты, тем самым дополнив список гидратоносных структур.

Таким образом, комплексный геолого-геофизический подход проекта Class@Baikal к изучению геологического строения осадочного разреза озера и происходящих в нём процессов внёс существенный вклад, прежде всего, в понимание глубинного распределения газовых гидратов, что позволит в дальнейшем более детально оценить ресурсы гидратного метана и внести коррективы в расчетные модели геотермического поля.

Благодарности. Авторы благодарят весь коллектив проекта Class@Baikal, каждый член которого внёс неоценимый вклад в развитие проекта и получение представленных результатов. Также авторы выражают глубокую признательность команде НИС «Г. Ю. Верещагин» за их профессионализм и всестороннюю помощь во время экспедиций. Участие О. М. Хлыстова в экспедиции 2022 г. было обеспечено базовой темой ЛИН СО РАН FWSR-2021-0006.

Список литературы

Открытие новой гидратоносной структуры на дне оз. Байкал / Г. Г. Ахманов, О. М. Хлыстов, М. А. Соловьева [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 4, Геология. 2018. № 5. С. 111–116.

Оценки теплового потока на озере Байкал по сейсмическим данным о нижней границе слоя газогидратов / А. Я. Гольмшток, А. Д. Дучков, Д. Р. Хатчинсон [и др.] // Геология и геофизика. 1997. Т. 38, № 10. С. 1677–1691.

Первая находка газовых гидратов в осадочной толще озера Байкал / М. И. Кузьмин, Г. В. Калмычков, В. А. Гелетий [и др.] // Доклады РАН. 1998. Т. 362, № 4. С. 541–543.

Хлыстов О. М., Ахманов Г. Г. Роль Class@Baikal в изучении донных отложений озера Байкал: к 10-летнему юбилею проекта // Морские исследования и образование (MARESEDU-2024) : тр. XIII Междунар. науч.-практ. конф. 2025. Т. 1 (4). С. 749–754.

Bottom simulating reflector in Lake Baikal / D. R. Hutchinson, A. J. Golmshtok, C. A. Scholz [et al.] // EOS. 1991. Vol. 72. P. 307.

The Position of Gas Hydrates in the Sedimentary Strata and in the Geological Structure of Lake Baikal / O. M. Khlystov, M. De Batist, H. Minami [et al.] // World Atlas of Submarine Gas Hydrates in Continental Margins. 2022. P. 465–471.

УДК 574.5

НАХОЖДЕНИЕ МИКРОПЛАСТИКА В ГРУНТЕ ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ

А. А. Солодкова[1]*, К. К. Рубан[1], А. Т. Гулигуев[1], А. С. Слепченко[1], А. В. Башкирцев[1], Л. Б. Бухаева[1], С. А. Бирицкая[1], Д. Ю. Карнаухов[1,2]

[1]Иркутский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
[2]Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл., пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
**Автор для переписки: solodkovaanastasiya147@gmail.com*

Аннотация. Представлены данные о количестве и морфологии частиц микропластика в грунте литоральной зоны в трех котловинах оз. Байкал. Частицы микропластика были обнаружены во всех отобранных пробах. Преобладающим типом частиц микропластика (за исключением проб, собранных у пос. Листвянка) были волокна.

Ключевые слова: микропластик, искусственные полимеры, Байкал, литоральная зона, водные экосистемы.

Искусственные полимеры широко распространены в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и торговле. В прибрежных зонах они подвергаются механическому воздействию, что приводит к их разрушению до частиц, называемых микропластик. Под этим термином подразумевают частицы искусственных полимеров (фрагменты, волокна, гранулы и пленки) размером до 5 мм.

Загрязнению микропластиком подвержены места с высокой антропогенной нагрузкой, однако, и в более «диких» местах могут быть обнаружены частицы микропластика. На данный момент исследований о распределении и концентрациях частиц микропластика в грунте литоральной зоны оз. Байкал практически не проводилось. Целью нашей работы было изучить количество и морфологический тип частиц микропластика в грунте литорали озера Байкал в местах с разным уровнем антропогенной нагрузки. Для этого были отобраны пробы грунта в семи точках, расположенных в разных районах оз. Байкал: у пос. Листвянка, у б/о Загза, в бух. Песчаная, у с. Максимиха, у устья р. Черемшанка, у пос. Давша и у о. Огой. Пробы отбирались двух типов: сухой грунт береговой зоны и грунт в воде в литоральной зоне.

Согласно результатам анализа проб, были обнаружены два основных морфологических типа частиц: волокна и фрагменты. Волокна составили доминирующий по морфологии тип частиц практически во всех исследованных местах сбора проб. Количество микропластика на пляже почти везде было гораздо выше, чем в грунте литорали под водой, что может говорить о накоплении частиц микропластика на прибрежных участках в зоне заплеска.

Наибольшее общее количество частиц в грунте литорали наблюдалось у пос. Листвянка (Южный Байкал) – 135 част. /100 г грунта. Для данного населенного пункта характерен высокий уровень антропогенной нагрузки, и высокая концентрация частиц микропластика может объясняться данным обстоятельством. Встречаемость частиц микропластика в местах с меньшей антропогенной нагрузкой, вероятно, связана с постоянными течениями, волно-прибойной деятельностью, переносом с помощью ветра и другими способами. Проведенное исследование требует продолжения.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00371, https://rscf.ru/project/24-24-00371/.

УДК 574.24:581.198:57.042.2

ОЦЕНКА ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ГЕРБИЦИДОВ АТРАЗИНА И ГЛИФОСАТА НА ФИТОПЛАНКТОННОЕ СООБЩЕСТВО ЧЕРНОГО МОРЯ

Е. С. Соломонова*, Н. Ю. Шоман, А. И. Акимов

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН
(Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова, 2)
**Автор для переписки: solomonov83@mail.ru*

Аннотация. Размерная структура фитопланктонного сообщества является важным фактором, определяющим его чувствительность к воздействию гербицидов атразина и глифосата. Мелкие пикоэукариоты более чувствительны к влиянию гербицидов по сравнению с нано-микрофитопланктоном. Атразин более токсичен для фитопланктонного сообщества, чем глифосат. Токсическое действие глифоста проявляется при концентрациях 50 мкг/л и выше. Важно отметить, что полулетальные концентрации, полученные в данном исследовании, значительно ниже значений, о которых сообщалось ранее при работе с лабораторными культурами. Это свидетельствует о большей чувствительности природных сообществ фитопланктона по сравнению с модельными культурами микроводорослей. Кроме того, представители микрофитобентоса более устойчивы к гербицидам, чем планктонные виды аналогичного размера.

Ключевые слова: фитопланктон, проточная цитометрия, гербициды, ингибирование роста, фотосинтетический аппарат водорослей

Растущий с каждым годом спрос на гербициды, бесконтрольное их использование и как следствие рост концентраций в водной среде, а также физиологические и биохимические сходства между водорослями и наземными растениями создают потенциально опасные риски для фототрофных оксигенных микроорганизмов. Глифосат представляет собой гербицид широкого спектра действия, который действует как аналог глицина, ингибируя синтез ароматических аминокислот, действующих на 5-енол-пирувылшимат-3-фосфатную (EPSP) синтазу [Steinrucken, Amrhein, 1980]. Атразин (2-хлор-4-этиламино-6-изопропламино-с-триазин) также является одним из наиболее часто используемых сельскохозяйственных гербицидов и в достаточном количестве присутствует в поверхностных водах. Основное его действие направлено на вмешательство в процесс фотосинтеза растений. В связи с этим целью работы была оценка влияния ксенобиотиков глифосата и атразина на рост и состав сообщества фитопланктона Черного моря.

Пробы морской воды отбирали из поверхностного слоя (0–10 м) на станции, расположенной на севастопольском взморье между бухтами Карантинная и Севастопольская (Севастополь, Черное море 44°38′ с. ш., 33°33′ в. д.), в марте 2025 г. Затем сразу же доставляли в лабораторию, где фильтровали воду через нейлоновую сетку с размером ячеек 300 мкм для удаления мезозоопланктона. Токсикологический тест проводился путем создания искусственных модельных микрокосмов альгоценоза. В опытных колбах добавка глифосата составила 0, 10, 50, 250 мкг/л, а атразина 0, 10, 20, 25 и 100 мкг/л соответственно. Численность пико- (размер клеток – 0,2–2 мкм) и микро-нанофитопланктона (размер клеток – 2–20 мкм) определяли с помощью проточного цитометра MACS Quant Analyzer (Miltenyi Biotec, Germany, расположенного в ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Для определения доминирующих видов микроводорослей пробы фитопланктона сгущали с использованием фильтров Whatman (GF/C) с диаметром пор 1,2 мкм в воронке обратной фильтрации. Доминирующие виды определяли под микроскопом Микмед-6 (LOMO, Russia). Измерение флуоресценции пигментного комплекса водорослей проводили на флуориметре «Мега-25м» с импульсной модуляцией возбуждающего света на длине волны 455 нм (ООО «Генная и клеточная терапия», Россия) [The use … , 2009].

Выявлено, что для обеих исследуемых размерных групп водорослей более токсичным является атразин. Подавление темпов роста исследуемых популяций водорослей отмечено уже при концентрации гербицида 10 мкг/л. При увеличении концентрации поллютанта его токсическое действие на пико и микро-нанофитопланктон возрастало. Добавление глифосата в исследуемых концентрациях не приводило к статистически значимым различиям в росте микро-нанофитопланктона на начальном этапе эксперимента (Tukey's HSD test, $p < 0,05$). На 4 сут численность клеток в образцах с глифосатом снизилась на 20 % относительно контроля. Однако дальнейший рост водорослей в условиях загрязненности глифосатом в концентрации 10 мкг/л восстанавливался, указывая на адаптацию клеток к изменившимся условиям роста. При концентрациях глифосата 50 и 250 мкг/л данного эффекта не наблюдалось и замедление скорости роста водорослей при дальнейшем культивировании сопровождалось полной остановкой деления клеток. Пикофракция фитопланктона показала большую чувствительность к действию всех исследуемых поллютантов. Рост пикофитопланктона значительно ингибировался атразином дозозависимым образом по сравнению с таковым в контрольной группе. Добавление глифосата также приводило к резкому снижению численности пикофитопланктона на 3 сут эксперимента. Параметры флуоресценции хлорофилла были определены для всего фитопланктонного сообщества. В контрольной пробе (без добавления поллютантов) квантовая эффективность работы фотосистемы 2, характеризуемая величиной относительной переменной флуоресценции (Fv/Fm), и относительная скорость электронного транспорта (rETR) были выше 0,6 и 0,2 соответственно на протяжении всего эксперимента. Такие значения указывают на высокую фотосинтетическую активность водорослей. При добавлении атразина фотосинтетическая активность фитопланктонного сообщества заметно снижалась. При концентрации данного гербицида выше 10 мкг/л отмечено снижение Fv/Fm ниже 0,4 и rETR ниже 0,1. Такие значения описываемых параметров считаются пороговыми и свидетельствуют о неблагоприятном состоянии фотосинтетического аппарата водорослей [Functional … , 2021]. Добавление глифосата в концентрации 10–250 мкг/л не влияли на фотосинтетические параметры фитопланктона на начальном этапе культивирования. Достоверное снижение Fv/Fm и rETR отмечено после трех суток, однако значения параметра Fv/Fm находились в пределах 0,5, что свидетельствует об устойчивости фотосинтетического аппарата водорослей к действию глифосата. Также нами отмечено, что представители микрофитобентоса более устойчивы к исследуемым гербицидам, чем планктонные виды аналогичного размера.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Трансформация структуры и функций экосистем морской пелагиали в условиях антропогенного воздействия и изменения климата» (№ гос. регистрации 124030400057-4).

Список литературы

Steinrücken H., Amrhein N. The herbicide glyphosate is a potent inhibitor of 5-enolpyruvylshikimic acid-3-phosphate synthase // Biochemical and biophysical research communications. 1980. Vol. 94, N 4. P. 1207–1212.

Functional Activity of Phytoplankton and Optical Properties of Suspended Particulate Matter in Onega Bay of the White Sea / I. Konyukhov, A. Kotikova, T. Belevich [et al.] // Oceanology. 2021. Vol. 61. P. 233–243. DOI: 10.1134/S0001437021020077

The use of the fluorimeter “MEGA-25” to determine the amount of phytoplankton and assess the state of its photosynthetic apparatus / S. Pogosyan, S. Gal’chuk, Y. Kazimirko [et al.] // Water: Chemistry and Ecology. 2009. Vol. 6. P. 34–40.

УДК 582.232.5: 615.918

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ И ТОКСИГЕННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЦИАНОБАКТЕРИЙ РОДА *DOLICHOSPERMUM* В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Е. Г. Сороковикова*, Г. А. Федорова, А. В. Кузьмин, И. В. Тихонова, Я. А. Найданова, О. И. Белых

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: katrin@lin.irk.ru*

Аннотация. Целью исследования являлось получение чистых культур цианобактерий из оз. Байкал, определение их видовой принадлежности и токсигенного потенциала. С помощью микроскопии, молекулярных методов и масс-спектрометрического анализа был выявлен один штамм *Dolichospermum lemmermannii*, продуцирующий микроцистин-YR, и пять штаммов *D. lemmermannii,* являющихся потенциальными продуцентами сакситоксина. Кроме того, *sxt*A-гены впервые были обнаружены у видов *D. planctonicum*, *D. scheremetieviae* и *D. crassum*. Продукцию сакситоксина для данных штаммов подтвердить пока не удалось.

Ключевые слова: цианобактериальные цветения, фитопланктон, микроцистин, сакситоксин

Цианобактерии рода *Dolichospermum* вызывают токсичные цветения в водоемах по всему миру [Chorus, Welker, 2021]. В оз. Байкал неоднократно регистрировали массовое развитие *Dolichospermum* spp., при этом в воде обнаруживали два типа цианотоксинов – микроцистины, либо сакситоксины [*Dolichospermum* … , 2021; Toxic … , 2023]. Однако точная идентификация видов, продуцирующих данные токсины, невозможна без получения и анализа культур. Целью исследования было получение чистых культур цианобактерий путем изолирования и размножения отдельных нитей или колоний и определение их видовой принадлежности и токсигенного потенциала. Было получено 17 штаммов цианобактерий рода *Dolichospermum*, по морфологическим признакам отнесенных к видам *D. crassum*, *D. flos-aquae*, *D. planctonicum*, *D. scheremetieviae* и *D. lemmermannii* (табл.). ПЦР-анализ с праймерами к генам синтеза микроцистина (*mcy*E) и сакситоксина (*sxt*A) показал, что штамм *D. lemmermannii* 2/23М являлся единственным потенциальным продуцентом микроцистинов среди представителей своего рода [Identification … , 2024]. Анализ биомассы 2/23М с помощью масс-спектрометрии показал наличие микроцистина-YR. Пять из девяти штаммов *D. lemmermannii* содержали гены синтеза сакситоксина и только два были признаны нетоксичными (табл.). Кроме того, *sxt*A-гены были обнаружены у штаммов *D. planctonicum*, *D. scheremetieviae* и *D. crassum*. Однако продукцию токсина для данных штаммов подтвердить пока не удалось. Возможно, это связано с условиями культивирования штаммов.

Таким образом, вид *D. lemmermannii*, доминирующий в цианобактериальных цветениях в оз. Байкал, может являться продуцентом микроцистинов, потенциальным продуцентом сакситоксинов, либо быть нетоксичным. Виды, сопутствующие *D. lemmermannii* в летнем фитопланктоне Байкала (*D. planctonicum*, *D. scheremetieviae* и *D. crassum*), также могут являться потенциальными продуцентами сакситоксинов.

Таблица. Штаммы рода *Dolichospermum* из оз. Байкал и их характеристика

Вид и номер штамма	Место выделения	Данные о токсинах, МАЛДИ-ТОФ/ТОФ	Номер последовательности	
			*mcy*E	*sxt*A
Dolichospermum lemmermannii				
1/23Mu	пр-в М. Море, з-в Мухор	–	–	–
2/23М	пос. Маритуй	**микроцистин-YR**	PP971144	–
6/23М	пос. Маритуй	–	–	PV177925
7/23М	пос. Маритуй	–	–	PV177926
8/23М	пос. Маритуй	–	–	PV177927

Окончание табл.

Вид и номер штамма	Место выделения	Данные о токсинах, МАЛДИ-ТОФ/ТОФ	Номер последовательности	
15/24BBb	пр. Ольхонские ворота, б. Базарная	–	–	–
19/24BBG	пос. Б. Голоустное	не обнаружены	–	PV177928
20/24BBG	пос. Б. Голоустное	не обнаружены	–	PV177929
21/24BS	г. Северобайкальск	–	–	–
Dolichospermum flos-aquae				
14/24 BT	пос. Турка	–	–	–
Dolichospermum planctonicum				
13/24 BAs	Ангарский сор	не обнаружены	–	PV177928
16/24BMz	пр-в М. Море, з-в Мухор	не обнаружены	–	PV177929
18/24 BT	пос. Турка	–	–	–
Dolichospermum scheremetieviae				
17/24BMz	пр-в М. Море, з-в Мухор	не обнаружены	–	PV177931
Dolichospermum crassum				
10/24 BBz	Баргузинский з-в	–	–	PV177932
11/24 BT	пос. Турка	–	–	–
12/24 BPs	Посольский сор	–	–	–

Благодарности. Отбор проб проводился с борта НИС «Титов» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»). Работа проводилась на базе приборного центра коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикроанализ») в рамках гос. задания № 0279-2021-0015.

Список литературы

Dolichospermum lemmermannii (Nostocales) bloom in world's deepest Lake Baikal (East Siberia): abundance, toxicity and factors influencing growth / N. A. Bondarenko, I. V. Tomberg, A. A. Shirokaya [et al.] // Limnology and Freshwater Biology. 2021. Vol. 1. P. 1101–1110. DOI: 10.31951/2658-3518-2021-a-1-1101

Identification of microcystin producing cyanobacteria in the plankton of Lake Baikal and Irkutsk Reservoir / E. G. Sorokovikova, I. V. Tikhonova, Y. A. Naidanova [et al.] // Limnology and Freshwater Biology. 2024. Vol. 4. P. 1101–1108. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-1101

Toxic cyanobacteria blooms of Mukhor Bay (Lake Baikal, Russia) during a period of intensive anthropogenic pressure / I. Tikhonova, A. Kuzmin, G. Fedorova [et al.] // Aquatic Ecosystems Health and Managtment. 2023. Vol. 25, N 4. P. 85–97. DOI: 10.14321/aehm.025.04.85

Toxic Cyanobacteria in Water / Chorus I., Welker M. (eds.). 2nd ed. CRC Press, 2021.

УДК 556.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИТОКА РАСТВОРЕННОГО МЕТАНА ПО РАЗЛОМУ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ КОТЛОВИНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Я. В. Сорокоумова*, А. В. Расторгуев

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
Геологический факультет (Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1)
**Автор для переписки: sorokoumovayv@my.msu.ru*

Аннотация. Ввиду того что метан является парниковым газом, содержание которого заметно влияет на климат планеты, исследование источников его поступления представляется весьма актуальной задачей. Одним из уникальных объектов для изучения этого процесса является оз. Байкал. Для оценки разгрузки метана по региональной разломной зоне в центральной котловине оз. Байкал была сформулирована концептуальная модель миграции растворенного в подземных водах вещества, согласно представлению о конвективно-диффузионном переносе по трещине, заполненной проницаемым материалом, с диффузией во вмещающие донные отложения. Получено распределение концентрации растворенного метана по глубине разлома, проведена его верификация с материалами опробования донных отложений, а также выполнены расчеты разгрузки растворенного метана и их сопоставление с данными гидроакустических исследований пузырьковой разгрузки метана.

Ключевые слова: растворенный метан, аналитическое решение массопереноса, разлом Гидратный, Байкал

Интересной особенностью оз. Байкал является наличие естественных нефтегазовых проявлений, среди которых газопроявления – наиболее многочисленны [Лозовой, 2012]. Выходы углеводородов были отмечены местными жителями еще в древние времена, а позднее проводились масштабные исследования Г. Ю. Верещагиным, А. Э. Конторовичеи многими другими. Оценка притока метана представляется весьма актуальной задачей, ввиду значимой роли метана как парникового газа. В качестве объекта изучения была выбрана крупная структура в виде уступа в центральной котловине оз. Байкал, протягивающаяся от мыса Ухан до о. Ольхон – разлом Гидратный. В работе [The Gydratny … , 2020] отмечается, что зона разлома, согласно данным сейсмических исследований, подразделяется на ряд участков с различной мощностью перекрывающих отложений, однако, к зоне, выходящей к поверхности дна, где мощность перекрывающих донных осадков не более 10 м, относится большая часть структуры ~50 км. Значительный размер структуры позволяет сделать предположение о ее существенной роли в байкальском регионе, поэтому расчет расхода по ней позволит оценить важнейшую природную балансовую часть притока метана в акваторию озера. Большое количество фокусированных выходов углеводородов (структуры Санкт-Петербург, Ухан и др.) свидетельствует об их преимущественном питании из глубинных резервуаров [Clarke, Cleverly, 1991], что подтверждается изотопными исследованиями [Особенности … , 2021].

Согласно гипотезам, предложенным В. А. Успенским и Н. Б. Вассоевичем, представленным в работе [Жузе, 1986], главная зона газообразования в разрезе осадочных отложений находится глубже главной зоны нефтеобразования, соответственно, исходя из [Видищева, 2023], где выделяется «нефтяное окно» в районе разлома Гидратный до глубин порядка 5,5 км, можно предположить, что основное газообразование происходит на этих глубинах. В связи с высокими температурой и давлением на глубине основной газогенерации, обусловливающих высокую растворимость метана, преимущественная его миграция происходит в растворенном виде.

Массоперенос в зоне разлома представляет собой перемещение растворенных компонентов с потоком подземных вод, которое происходит совместно с процессом рассеивания за счет процессов гидродинамической дисперсии и диффузии, однако, длина пути миграции значительно больше ширины разлома; в поперечном разрезе концентрация одинакова; скорость массопереноса существенно выше в разломе, чем во вмещающих породах; проницае-

мость вмещающих пород настолько низкая, что перенос вещества в них обусловлен преимущественно диффузионным переносом, что позволяет привести модель к одномерному переносу вдоль разлома и перпендикулярному ему одномерному переносу во вмещающие породы. Концентрация растворенного компонента в разломе может быть получена на основании аналитического решения, предложенного в работе [Tang, Frind, Sudicky, 1981].

В ходе расчетов были получены комбинации параметров, позволяющие получить распределения концентрации растворенного метана по глубине разлома, близкие к значениям максимальной растворимости при ожидаемых на этих глубинах температурах. Сопоставление полученных результатов расчетов с данными опробования донных отложений [Особенности ... , 2021], показало достаточно близкую сходимость. Согласно полученным распределениям концентраций в верхней части разреза донных отложений, была рассчитана разгрузка растворенного метана по разлому Гидратный, в предпосылке постоянства средней ширины и остальных параметров по всей длине разлома, но без учета доли (около ¼ всей длины разлома) сегментов второй и третьей группы, выделенных в работе [The Gydratny … , 2020], с толщей перекрывающих осадков более 10 м. Для оценки адекватности расчетных значений разгрузки растворенного метана были использованы данные о пузырьковой разгрузке метана, полученные по результатам обработки гидроакустических исследований, приведенные в работе [Макаров, 2016]. Расчет потока растворенного метана для участка разлома, соответствующего площади структуры Санкт-Петербург, показал закономерно меньшие значения, однако, того же порядка.

Разработанная модель разгрузки растворенного метана по разлому Гидратный позволяет оценить приток растворенного метана через его сегменты, перекрытые донными отложениями минимальной мощности.

Список литературы

Видищева О. Н. Особенности генерации и миграции углеводородных флюидов в рифтовом бассейне озера Байкал : дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 1.6.11. М., 2023. 122 с.

Жузе Т. П. Миграция углеводородов в осадочных породах. М. : Недра, 1986. 188 с.

Лозовой Д. В. Влияние нефтяных углеводородов на байкальские организмы в естественных и лабораторных условиях // Георесурсы. 2012. № 1 (43). С. 53–58. DOI: 10.18599/grs.2012.1.53-58

Макаров М. М. Пузырьковые выходы метана из донных отложений озера Байкал : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.28. Иркутск, 2016. 116 с.

Особенности разгрузки углеводородных газов вдоль разлома Гидратный (озеро Байкал) / О. Н. Видищева, Г. Г. Ахманов, М. А. Соловьева [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 4, Геология. 2021. № 3. С. 3–16.

Clarke R. H., Cleverly R. Petroleum seepage and post-accumulation migration // Geological Society Special Publications. London, 1991. Vol. 59. P. 265–271.

Tang D. H., Frind E. O., Sudicky E. A. Contaminant transport in fractured porous media: Analytical solution for a single fracture //Water resources research. 1981. Vol. 17, Iss. 3. P. 555–564.

The Gydratny Fault zone of Lake Baikal / M. A. Solovyeva, G. G. Akhmanov, A. Mazzini [et al.] // Limnology and Freshwater Biology. 2020. Vol. 1. P. 368–373.

УДК 597.554.3(476)

ПЛОТВА (*RUTILUS RUTILUS* SENSU LATO) В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ БЕЛАРУСИ: УТОЧНЕНИЕ ВИДОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИПЛЕКС-ПЦР

А. В. Сосна*, Е. С. Гайдученко

Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам
(Беларусь, 220072, Минск, ул. Академическая, 27)
** Автор для переписки: anastasiasosna7@gmail.com*

Аннотация. С использованием мультиплексной ПЦР-методики на основе анализа митохондриального гена *COI* проведен генетический скрининг 158 образцов плотвы из 13 водных объектов Беларуси, относящихся к бассейнам Черного и Балтийского морей. Полученные результаты показывают о наличие в водных объектах Беларуси двух основных филогенетических линий плотвы – *R.rutilus* и *R. lacustris*, что согласуется с данными предыдущих молекулярно-генетических исследований вида в ареале.

Ключевые слова: плотва, *Rutilus rutilus*, *Rutilus lacustris*, генетический скрининг, мультиплекс-ПЦР, Беларусь

Плотва обыкновенная – один из самых распространенных нативных видов в водных объектах Беларуси, с разнообразием форм и выделением до 13 подвидов, хотя критерии их выделения нечеткие. П. И. Жуков в своей монографии «Рыбы Белоруссии» [1965] указывал на повсеместное распространение в водных объектах Беларуси двух форм плотвы: высокотелой (*morpha elata*) и низкотелой (*morpha elognatha*). Плотва встречается по всей Европе к востоку от Южной Англии и Пиренеев и к северу от Альп; в реках и озёрах Сибири, в бассейне моря. Беларусь, с уникальной гидрографической сетью и Черноморско-Балтийским водоразделом, является одним из ключевых регионов для изучения ихтиофауны Восточной Европы.

С начала XXI в. молекулярно-генетические методы стали важной частью исследований таксономического разнообразия рыб и их географического распространения Недавние исследования филогении рода *Rutilus* выявили три основные филогенетические клады: *R. frisii, R.rutilus* s. str. и группу из шести понто-каспийских таксонов: *R. caspicus, R. heckelii, R.rutilus aralensis, R.rutilus lacustris, R. schelkovnikovi* и *R. stoumboudae*. При этом результаты показывают, что эти таксоны могут представлять один вид (*R. lacustris* по приоритету описания) [Phylogeny … , 2017].

Для исследования распределения филогенетических линий плотвы был проведен генетический скрининг с использованием мультиплекс-ПЦР для идентификации видов *R.rutilus* и *R. Lacustris,* обитающих в водных объектах Беларуси. В исследовании использовались материалы 158 образцов плотвы собранные из 13 водных объектов, относящихся к бассейнам Черного и Балтийского морей.

Образцы тканей от каждой выловленной особи плотвы помещали в пробирки с 96%-ным этанолом, а ДНК выделяли с помощью набора Арт ДНК («АРТ Биотех», Беларусь). Для идентификации вида использовали мультиплексную ПЦР-систему с общим праймером *COI* D-Ru (5'-ATTCGGCAACTGACTCGTCC-3') и двумя видоспецифичными обратными праймерами: *COI* R-Rl (5'-GCGGGTATACTGTTCATCCT-3') для *R. lacustris* и *COI* R-Rr (5'-GTTAAATCTACTGATGCCCCG-3') для *R.rutilus*. Синтез фрагмента *COI* с первым обратным праймером (*COI* R-Rl) происходит только с мтДНК *R. lacustris*, и в паре с общим праймером (*COI* D-Ru) образуется ПЦР-продукт длиной 161 п. н. Система праймеров *COI* R-Rr и *COI* D Ru амплифицирует только мтДНК *R.rutilus*, образуя ПЦР-продукт длиной 207 п. н. Разница в длине амплифицируемых видоспецифичных фрагментов – 46 п. н., что

позволяет визуально идентифицировать виды при электрофорезе ПЦР-продуктов в агарозном геле [Genetic … , 2021].

Два видоспецифичных обратных праймера использовали вместе с общим для обоих видов плотвы в одной ПЦР-смеси. Концентрацию праймеров брали в равной пропорции, условия ПЦР составляли 94 °С – 30 с, 61 °С – 30 с, 72 °С – 30 с (30 циклов). Продукты амплификации фракционировали с помощью гель-электрофореза в 1,5%-ном агарозном геле, окрашенном бромистым этидием, в трис-ацетатной (ТАЕ) буферной системе, и визуализировали при помощи УФ-света (рис.).

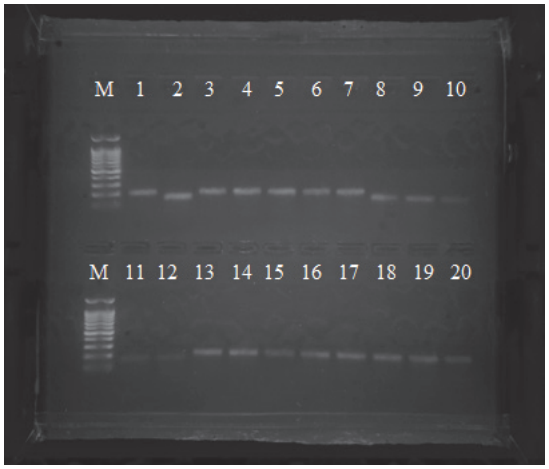


Рис. Электрофореграмма продуктов мультиплексной ПЦР с видоспецифичными праймерами для гена *COI* мтДНК при идентификации двух митохондриальных линий *Rutilus*: лунки *R. lacustris*: 2, 8–12, 18–20; *R. rutilus*: лунки 1, 3–7, 13–17, М – маркер молекулярных длин (100 п. н.)

Проведённый генетический скрининг с использованием мультиплексной ПЦР на основе анализа митохондриального гена *COI* подтвердил наличие в водных объектах Беларуси особей, относящихся к виду как *Rutilus rutilus,* так и *R. Lacustris,* что согласуется с исследованиями, проведенными раннее [Phylogeny … , 2017] и может указывать на присутствие более широкой зоны симпатрии двух видов. Полученные данные способствуют уточнению видовой идентификации и географического распределения плотвы в различных водных объектах Беларуси как составной части Восточно-Европейской равнины, имеющей сложную геологическую историю с многократными трансгрессиями и регрессиями крупных водных объектов что повлияло на историю формирования ихтиофауны. Исследования будут продолжены, что позволит существенно дополнить детальные таксономические и генетические исследования рода *Rutilus* на всем протяженном ареале.

Список литературы

Жуков П. И. Рыбы Белоруссии // Наука и техника. 1965. № 5. С. 157–170.

Genetic screening of distribution pattern of roaches *Rutilus rutilus* and *R. lacustris* (Cyprinidae) in broad range of secondary contact (Volga Basin) / O. N. Artaev, O. A. Ermakov, D. A. Vekhov [et al.] // Inland Water Biology. 2021. Vol. 14, N 2. P. 205–214. DOI: 10.1134/S1995082921020024

Phylogeny and phylogeography of the roaches, genus *Rutilus* (Cyprinidae), at the Eastern part of its range as inferred from mtDNA analysis / B. Levin, E. Simonov, O. A. Ermakov, M. A. Levina // Hydrobiologia. 2017. Vol. 788, N 1. P. 33–46. DOI: 10.1007/s10750-016-2984-3

УДК 595.38(282.253.1)

ВИДОВОЙ СОСТАВ РАКООБРАЗНЫХ РЕКИ ВАМ КО (ВЬЕТНАМ)

С. В. Статкевич [1,2]*, Э. Р. Аблязов[1, 2, 3], Ку Нгуен Динь[2]

[1]Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова, 2)
[2]Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр № 3 (Вьетнам, Хошимин, ул. 3/2, 10 квартал)
[3]Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33)
**Автор для переписки: statkevich03@ibss-ras.ru*

Аннотация. За 2023–2024 гг. в результате совместных экспедиционных исследований Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН и Российско-Вьетнамского Тропического центра накоплены первые данные по видовому составу представителей отрядов Decapoda (десятиногие ракообразные) и Stomatopoda (ротоногие или раки-богомолы) р. Вам Ко (Южный Вьетнам). В настоящее время отмечено 16 видов, из которых большинство (примерно 94 %) принадлежат к отряду десятиногих, 6 % – к ракам-богомолам. В верхнем и среднем течении р. Вам Ко доминировали креветки *Arachnochium mirabile* и *Macrobrachium rosenbergii*. В приустьевой зоне реки преобладали морские креветки семейств Penaeidae и Alpheidae, солоноватоводные креветки семейства Palaemonidae. Предварительные результате показали сходство фаун Decapoda и Stomatopoda рек Вам Ко и Меконг, главной реки юга страны.

Ключевые слова: р. Вам Ко, Вьетнам, видовой состав, Decapoda, Stomatopoda

Вам Ко – река на юге Вьетнама, образуется в результате слияния рек Донг Вам Ко и Тэй Вам Ко. Это один из крупнейших притоков р. Донгнай, которая обладает третьим по площади речным бассейном Вьетнама (после Меконга и Хонгха) и играет важную роль в экономике страны [Lê Công Lý, 2009].

На сегодняшний день, целенаправленных исследований, посвященных фауне ракообразных (Crustacea), в частности десятиногих ракообразных (Decapoda) и раков-богомолов (Stomatopoda), р. Вам Ко (Южный Вьетнам), не проводилось. За 2023–2024 гг. в результате совместных экспедиционных исследований Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН и Российско-вьетнамского тропического центра накоплены первые данные по видовому составу представителей отрядов Decapoda и Stomatopoda.

Все образцы ракообразных были собраны в ходе экспедиционных исследований, проводимых в рамах изучения биоразнообразия р. Вам Ко (Южный Вьетнам). Отбор проб производился при помощи промыслового бимтрала с рыбацкого моторного судна. Стандартный промысловый бимтрал с жесткой металлической рамой шириной 4 м, высотой 0,4 м и размером ячеи сетного полотна во всем трале 10 мм. Анализ уловов включал таксономическую идентификацию и биологический анализ.

В период исследований отряд Decapoda был представлен двумя группами: Dendrobranchiata (пенеидные креветки) и Pleocyemata (крабы, креветки и раки-отшельники). Из пенеидных креветок в уловах отмечены представители семейства Penaeidae: *Metapenaeus ensis* (De Haan, 1844), *M. tenuipes* Kubo, 1949, *Mierspenaeopsis sculptilis* (Heller, 1862). Подотряд Pleocyemata включал в себя 10 видов креветок из двух семейств Alpheidae (*Alpheus euphrosyne* De Man, 1897, *Al. lobidens* De Haan, 1849, *Al. mangalis* Anker, 2023) и Palaemonidae (*Arachnochium mirabile* (Kemp, 1917), *Leandrites indicus* Holthuis, 1950, *Leptocarpus potamiscus* (Kemp, 1917), *Macrobrachium equidens* (Dana, 1852), *M. rosenbergii* (De Man, 1879), *M. saigonense* Nguyên, 2006, *Palaemon vietnamicus* (Nguyên, 1992)), крабы были представлены 1 видом (*Limnopilos miromekong* Ng & Chhuoy, 2023) из семейства Hymenosomatinae и один вид рака-отшельника (*Diogenes alias* McLaughlin & Holthuis, 2001) семейства Diogenidae.

Из отряда Stomatopoda был зафиксирован только один представитель, массовый вид *Cloridopsis scorpio* (Latreille, 1828) из семейства Squillidae Latreille, 1802.

В верхнем и среднем течении р. Вам Ко доминировали креветки *Ar. mirabile* и *M. rosenbergii*. В приустьевой зоне реки преобладали морские креветки семейств Penaeidae и Alpheidae, солоноватоводные креветки семейства Palaemonidae (*L. indicus, Le. potamiscus, M. equidens, P. vietnamicus*) и рак-богомол *C. scorpio*.

Таким образом, впервые проведены исследования фауны десятиногих ракообразных и раков-богомолов р. Вам Ко. В настоящее время отмечено 16 видов, среди которых большинство (примерно 94 %) принадлежат к отряду Decapoda, 6 % – Stomatopoda. Собран сравнительный материал, который поможет охарактеризовать состав сообществ р. Вам Ко и сопоставить их с сообществами других рек на юге Вьетнама. Предварительные результате показали сходство фаун рек Вам Ко и Меконг.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках темы Эколан Э-3. 6 (Задача 1), государственного задания № 124022400148-4 для Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Российской академии наук.

Список литературы

Lê Công Lý. Studying the Currents of Vàm Cỏ River // The nation and personage. 2009. Vol. 2(73). P. 67–76.

УДК 595.384(282.247.344)

ФАУНА ДЕСЯТИНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ БАССЕЙНА РЕКИ ЧЕРНОЙ (КРЫМ)

С. В. Статкевич[1,2]*, И. И. Чеснокова[1,2], Э. Р. Аблязов[1,3]

[1] Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова, 2)
[2]Научно-исследовательский центр пресноводной и солоноватоводной гидробиологии – филиал ФИЦ ИнБЮМ (Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова, 2)
[3]Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН (Россия, 119071, Москва, Ленинский просп., 33)
** Автор для переписки: statkevich03@ibss-ras.ru*

Аннотация. Приводятся результаты гидробиологических исследований бассейна р. Черной. Список видов десятиногих ракообразных насчитывает 14 видов из 12 семейств, большинство из которых (примерно 86 %) зарегистрировано в эстуарной части реки. Аборигенная фауна десятиногих ракообразных в р. Черной представлена одним видом – длиннопалым речным раком *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823). Особенности современной структуры фауны десятиногих ракообразных речной системы определяются разнообразием и динамичностью факторов среды обитания и хозяйственной деятельности человека. Одной из причин увеличения видового разнообразия фауны является вселение чужеродных видов. К таким видам ракообразных в данном районе относятся мраморный рак *Procambarus fallax* (Hagen, 1870), эстуарная креветка *Palaemon longirostris* H. Milne Edwards, 1837, голландский краб *Rhithropanopeus harrisii* (Gould, 1841).

Ключевые слова: Десятиногие ракообразные, таксономический состав, чужеродные виды, р. Черная, Крым

Река Черная протекает на юго-западе Крымского полуострова, достигает в длину 35 км, площадь водосборного бассейна 427 км². Для нее характерны большие колебания уклонов русла по долине: и в верней, и средней части – это горная река, а в нижней – типичная равнинная с медленным, плавным течением. В отличие от большинства крымских рек Черная впадает в море в районе Севастопольской бухты. На участке впадения реки в бухту формируется уникальная для Крыма эстуарная зона, границы которой, при нагонных ветрах и маловодности реки перемещаются вверх по течению, а при паводках и сгонных ветрах – в верхнюю часть бухты. Благодаря этому участок характеризуется большими колебаниями солености от 0 до 17 ‰. Разнообразие условий обусловливает и неоднородность формирования фауны бассейна р. Черной. В настоящей работе оценивается видовое разнообразие десятиногих ракообразных данного водотока.

Материалом для работы послужили гидробиологические сборы, проведенные в течение 2018–2024 гг. на разных участках р. Черной. Отбор проб десятиногих ракообразных в эстуарной части реки выполняли с использованием буксируемого креветочного сака (входное отверстие полукруглой формы размером 1,6×0,8 м, площадью 1 м^2, сетная дель с размером ячеи 6,5 мм). На других участках отлов ракообразных проводили при помощи таких орудий лова, как сачки и ловушки с диаметром ячеи 3–5 мм.

Аборигенная фауна десятиногих ракообразных в р. Черной представлена только одним видом, а именно *Pontastacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) – длиннопалый речной рак. В литературе имеются сведения о нахождении на территории водоохранной зоны реки пресноводного краба *Potamon ibericum* (Bieberstein, 1809) [Макаров, 2004], тем не менее нахождение здесь этого вида довольно сомнительно и достоверные данные отсутствуют.

Летом 2024 г. в ходе экспедиционных работ, проводимых на водных объектах, относящихся к бассейну р. Черной, был обнаружен новый для российской фауны вид пресноводных раков – мраморный рак *Procambarus* cf. *fallax* (Hagen, 1870). Это новый партеногенетический пресноводный вид, который быстро распространился в водоемах Европы, Ближнего Востока (Израиль) и Мадагаскара [Ecological … , 2019; Carneiro, Galil, Lyko, 2023].

Более высокое видовое разнообразие десятиногих раков отмечено в верхней части Севастопольской бухты в пределах эстуарного экотона, образуемого р. Черной. В этой части реки зарегистрировано 12 видов представителей отряда Decapoda [Genetic … , 2017; Statkevich, 2019]: креветки *Crangon crangon* (Linnaeus, 1758), *Palaemon adspersus* Rathke, 1836, *P. elegans* Rathke, 1836, *P. longirostris* H. Milne Edwards, 1837; морской рак-крот *Upogebia pusilla* (Petagna, 1792); морской рак *Necallianassa truncata* (Giard & Bonnier, 1890); рак-отшельник *Diogenes pugilator* (Roux, 1829); крабы *Macropodia czernjawskii* (Brandt, 1880), *Liocarcinus vernalis* (Risso, 1827), *Carcinus aestuarii* Nardo, 1847, *Rhithropanopeus harrisii* (Gould, 1841), *Brachynotus sexdentatus* (Risso, 1827). Также известно, что с середины XIX и до начала XX в. в кутовой части Севастопольской бухты и устье р. Черной отмечали присутствие толстопалого рака *Pontastacus pachypus* (Rathke, 1836), однако в настоящий момент, по результатам недавно проведенных исследований, данный вид не обнаружен [Anosov, Timofeev, 2016].

Особенности современной структуры фауны десятиногих ракообразных р. Черной определяются разнообразием и динамичностью факторов среды обитания и хозяйственной деятельности человека. Одной из причин увеличения видового разнообразия фауны является вселение чужеродных видов. Так, из 14 видов десятиногих ракообразных, отмеченных в бассейне р. Черной, 21 % приходится на инвазивные виды: *Pr.* cf. *fallax*, *P. longirostris, Rh. harrisii*.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках государственного задания № 124022400148-4, № 123101900019-5 для Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Российской академии наук.

Список литературы

Макаров Ю. Н. Фауна Украины. Десятиногие ракообразные. Киев : Наукова думка, 2004. 430 с.

Anosov S. E., Timofeev V. A. Vanishing of an isolated population of thick-clawed crayfish *Astacus pachypus* (Crustacea: Decapoda: Astacidae) in the Sevastopol Bay (Crimean Peninsula, Black Sea) // Arthropoda Selecta. 2016. Vol. 25, N 1. P. 63–66. DOI: 10.15298/arthsel.25.1.05

Carneiro V. C., Galil B., Lyko F. A voyage into the Levant: the first record of a marbled crayfish *Procambarus virginalis* (Lyko, 2017) population in Israel // BioInvasions Records. 2023. Vol. 12, N 3. P. 829–836. DOI: 10.3391/bir.2023.12.3.18

Ecological plasticity and commercial impact of invasive marbled crayfish populations in Madagascar / R. Andriantsoa, S. Tönges, J. Panteleit [et al.] // BMC Ecology. 2019. Vol. 19. P. 8. DOI: 10.1186/s12898-019-0224-1

Genetic diversity of invasive populations of the florida crab (*Rhithropanopeus harrisii* (Gould, 1841): (Decapoda, Panopidae)) in the basin of the Black Sea on the data of the locus variability of cytochrome oxidase I mtDNA / Y. V. Slynko, E. N. Pakunova, S. V. Statkevich, E. E. Slynko // Russian Journal of Genetics. 2017. Vol. 53, N 5. P. 623–629. DOI: 10.1134/S1022795417050106

Statkevich S. *Palaemon longirostris* (Decapoda, Caridea) is an alien species in the Russian sector of the Black Sea // Russian Journal of Biological Invasions. 2019. Vol. 10, N 3. P. 263–265. DOI: 10.1134/S2075111719030123

УДК 556.555.5

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

П. М. Степанов*, Е. В. Гайдукова, А. А. Батмазова

Российский государственный гидрометеорологический университет
(Россия, 192007, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, 79)
**Автор для переписки: petrstepanov142@gmail.com*

Аннотация. Актуальность исследования состоит в необходимости разработки практических мер по сохранению экосистемы Онежского озера и предотвращению возможных последствий смены климата в близлежащем регионе. В работе рассматривается возможность прогнозирования ледовых явлений на Онежском озере с помощью данных дистанционного зонирования земли и известных эмпирических и физико-математических моделей. Исследован и проанализирован ледовый и термический режим Онежского озера за период 1950–2020 гг. Определенные статистическими методами тенденции изменчивости ледово-термического режима озера подкреплены космическими снимками спутников *Landsat* и *Sentinel*. Также определены пространственные вариации ледового покрова и предложен метод прогноза ледовых явлений на озере. Метод апробирован, получены удовлетворительные результаты.

Ключевые слова: Онежское озеро, ледовый покров, дистанционное зондирование, начало ледостава, эволюция льда

Изменения климата можно считать общемировой тенденцией, которая затрагивает различные аспекты природных процессов и явлений, в том числе и ледово-термический режим озер. Онежское озеро является одним из крупнейших озер и оказывает климатообразующее влияние на северо-западную часть России [Степанов, Головань, 2023].

Получение данных о ледово-термическом режим озера in situ представляется сложным или невозможным, поэтому имеет смысл осуществлять прогноз ледовых явлений с применением спутниковой информации. Цель данной работы заключается в получении практической методики прогноза ледовых явлений на акватории Онежского озера с использованием снимков, обработки их в геоинформационных системах и выявлением закономерностей появления и разрушения льда на озере.

Использование данных дистанционного зондирования, а также известных моделей прогноза начала ледообразования и толщины ледяного покрова позволит давать более точные прогнозы ледовых явлений, а также расширит возможности в изучении ледовой обстановки озер [Руководство … , 1989].

Исследование основано на информации о температуре воды, толщине ледового покрова и площади покрытия водного зеркала льдом. Для анализа использовались данные спутников *Ladsat*-5, *GOES* полученные через платформу *USGS Earth Explorer* [2025]. Производился отбор спутниковых снимков с минимальным перекрытием облачным покровом (не более 30 %, канал B5), период отбора снимков с 1980 г по 2010 г. Обработка данных производилась в ПО *ArcMap* методом попиксельного подсчета [Баклагин, 2015].

На рисунке иллюстрируется разница в состоянии ледового покрова Онежского озера на одну и ту же дату за два разных года. Можно увидеть, что в 2020 г. озеро свободно ото льда на 75–80 %. Лед сконцентрирован в северо-восточной части озера и вдоль восточного побережья, также заметно нарушение структуры ледяного покрова. На снимке 2011 г. представлена ситуация полного покрытия озера ледовым покровом. Согласно полученным данным, толщина льда в марте 2011 г. составляла от 50 до 75 см. Наибольшая наблюдалась на северном пункте, в Медвежьегорске, и составляла 76 см, наименьшая – в Кондопоге (58 см).

а *б*

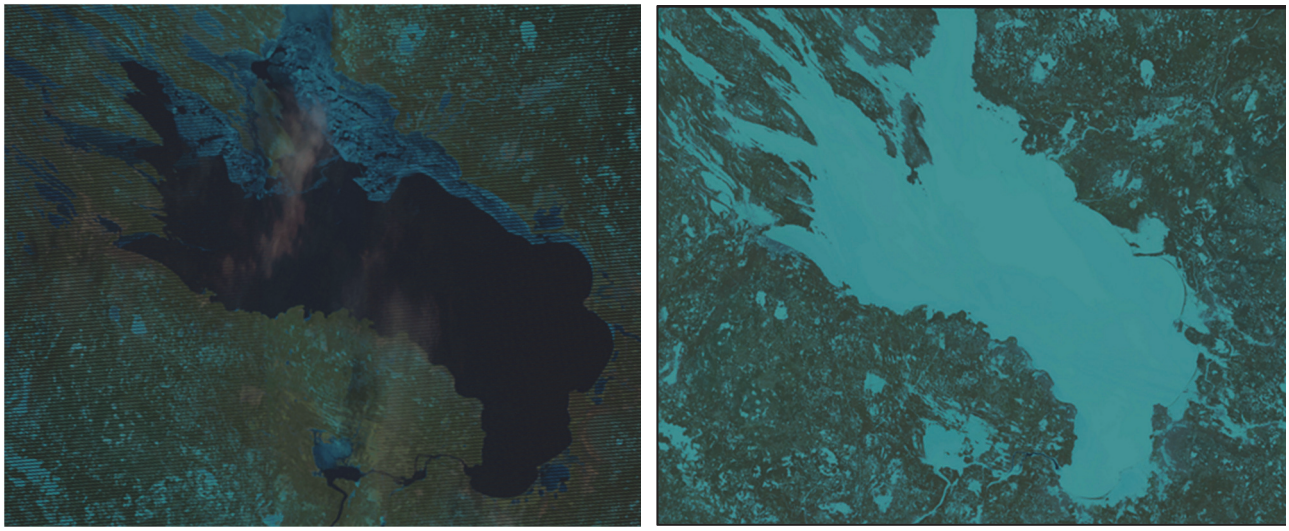


Рис. Снимки ледовой обстановки Онежского озера: *а*) 17. 03. 2020; *б*) 17. 03. 2011

Были высчитаны соотношения площади поверхности покрытой льдом и открытой. Данные полученные соотнесены с данными измеренными на озерных постах (г. Петрозаводск, г. Кондопога, г. Медвежьегорск, дер. Павликовская) за 1980–2010 гг. Полученные взаимосвязи позволили устанавливать параметры для дальнейшего моделирования и восстановления данных через дешифрирование космических снимков.

Конечным результатом исследования стало уравнение зависимости площади ледовой поверхности и суммы отрицательных температур для марта, апреля, октября и ноября. Зависимость имеет тесную связь с коэффициентом детерминации 0,80. Были выпущены поверочные прогнозы значения покрытия озера ледовым покровом на определенную дату. Средняя ошибка составила 6 %.

Таким образом, разработана и апробирована методика прогнозирования ледовых явлений на Онежском озере с помощью дистанционного зондирования акватории.

Список литературы

Баклагин В. Н. Совершенствование метода дешифрирования космических снимков больших озер на классы «вода»–«лед» // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. С. 120–128.

Руководство по гидрологическим прогнозам. Прогноз ледовых явлений на реках и водохранилищах. Вып. 3. Л. : Гидрометеоиздат, 1989. 168 с.

Степанов П. М., Головань Е. В. Исследование многолетнего ледово-термического режима Онежского озера // Гидрология и океанология. 2023. С. 136–139.

EarthExplorer. URL: https://earthexplorer.usgs.gov/ (дата обращения: 18.04.2025).

УДК 550.47:549.514.5

КРЕМНЕЗЁМ В САПРОПЕЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ МАЛЫХ ОЗЕР, РАСПОЛОЖЕННЫХ В РАЗНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ЗОНАХ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

В. Д. Страховенко*, Е. А. Овдина, Г. И. Малов, В. И. Малов, И. В. Даниленко

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН
(Россия. 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3)
** Автор для переписки: strahova@igm.nsc.ru*

Аннотация. С использованием ИК-спектроскопии в малых озёрах, расположенных в Барабинской низменности на юге Западной Сибири в разных ландшафтных зонах, имеющих существенно отличающиеся гидрохимических параметры вод и вещественный состав сапропеля, определено соотношение биогенного и силикатного (терригенного) кремнезёма. Установлено, что для сапропелевых залежей во всех ландшафтных зонах, в независимости от типа, класса, генетического вида сапропеля содержания $SiO_{2биo}$ составляют от 12 до 29 % от валового кремнезёма (кремниевый 12–29 %; кальциевый 13–25 %; смешенный 12–29 %).

Ключевые слова: биогенный и силикатный (терригенный) кремнезём, сапропелевые отложения, малые озёра, Западная Сибирь

Познание особенностей химического состава и механизма проявления свойств сапропелей в зависимости от особенностей взаимоотношений между органической и минеральной частями осадка, в том числе для SiO_2, актуально с целью решения отдельных вопросов палеолимнологии, рационального природопользования.

Изученные малые озёра, расположенные в Барабинской низменности на юге Западной Сибири в ландшафтах южной тайги, подтайги, лесостепи и степи, имеют существенную вариабельность гидрохимических параметров вод и вещественного состава сапропелей в зависимости от их происхождения даже в пределах одного ландшафта [Генезис … , 2019; Уровни … , 2023; Изучение … , 2018 и др.]. На основе биологического вклада в формирование сапропелей, содержания органического и минерального вещества, их геохимического состава, из 96 малых озер, расположенных в пределах Барабинской низменности определены модельные объекты (20 озёр), в которых проведена количественная оценка биогенного кремнезёма в сапропелевых залежах с использованием ИК-спектроскопии. ИК-спектры записывались на двухлучевом спектрофотометре Specord 75 IR в области 400–4000 см-1, с таблеткой чистого KBr в канале сравнения. Запись велась в пропускании. Для получения цифрового рисунка спектры записывались на спектрометре VERTEX 70 FT IR фирмы Брукер. На ИК-спектрах большинства изученных сапропелей наблюдается хорошо заметное плечо в области ~800 $см^{-1}$, примыкающее к более интенсивному пику кварцевого дублета. Это единственная полоса в спектре биогенного кремнезема ($SiO_{2биo}$), которая обычно используется в качестве аналитической и для количественной оценки $SiO_{2биo}$ мы воспользовались значительным отличием формы его полосы поглощения 800 $см^{-1}$ от форм мешающей полосы кварца. Последняя является узкой, с резко спадающим уже к 820 $см^{-1}$ высокочастотным крылом. Полоса $SiO_{2биo}$ имеет широкую куполообразную форму, и ее высокочастотное крыло спадает лишь к 860 $см^{-1}$, оставаясь свободным в интервале частот 820–860 $см^{-1}$. Форма полосы в области этого крыла в спектре чистого биогенного кремнезёма на участке 825–850 $см^{-1}$ (рис., *а*) допускает хорошую аппроксимацию прямой линией. Это позволяет, используя расчеты снятые с спектра чистого $SiO_{2биo}$, определять положение максимума этой полосы в спектрах анализируемых осадков, где она в явном виде не проявляется. Расчеты позволяют в спектре изучаемого образца определять точку, соответствующую максимуму неявной полосы $SiO_{2биo}$ и по калибровочному графику оценить его концентрацию (табл.).

Таблица. Географические координаты озер, классификация сапропелевых отложений в озере по типу, классу, генетическому виду и содержание (%) биогенного и валового SiO_2

Озеро	Координаты		Зольность	Тип	Класс	$SiO_{2биo}$	SiO_2 валовое
	Сев. широта	Вост. долгота					
Качкульня	55,24736	80,58445	17	органогенный макрофитный	кремниевый	2	7
Яково	56,75718	84,77	16	органогенный планктоный	кремниевый	5	26
Ярголь	55,60186	78,36239	35	органоминеральный макрофитный	смешанный	5	17
М. Мензе-линское	55,34390	83,16070	45	органоминеральный макрофитный	смешанный	4	16
Бол. Курган	55,57335	78,68706	44	органоминеральный планктоно-макрофитный	кремниевый	5	29
Барчин	55,71126	78,14488	40	органоминеральный планктоно-макрофитный	кальциевый	3	11
Песчаное	55,41133	78,34677	40	органоминеральный планктоно-макрофитный	кальциевый	2	15
Б,Кайлы	55,41619	78,30154	48	планктоно-макрофитный	смешанный	5	24
Цыбово	55,30673	77,58808	48	органоминеральный планктоно-макрофитный	кремниевый	5	30
Сарбалык	55,55642	78,71511	49	органоминеральный планктоно-макрофитный	кремниевый	4	32
Кайлы	55,6234	78,27348	55	минерально-органогенный планктоно-макрофитный	смешанный	3	25
Щучье К	56,53948	76,459901	51	минерально-органогенный планктоно-макрофитный	смешанный	2	11
Камбала	55,67543	78,20223	56	минерально-органогенный планктоно-макрофитный	кремниевый	6	34
Бергуль	55,60488	78,26114	65	минерально-органогенный планктоно-макрофитный	смешанный	5	30
Круглое	56,75	84,7057	59	минерально-органогенный планктоный	кремниевый	6	40
Суеток	55,53868	78,56039	59	минерально-органогенный планктоно-макрофитный	кремниевый	6	46
Мостовое	55,458317	78,204767	61	минерально-органогенный планктоно-макрофитный	смешанный	6	22
Бильгень	55,55698	78,62695	68	минерально-органогенный планктоно-макрофитный	кремниевый	5	40
Щучье Л	56,40868	76,6533	59	минерально-органогенный планктоно-макрофитный	кальциевый	2	8

Установлено, что для сапропелевых залежей во всех ландшафтных зонах, в независимости от типа, класса, генетического вида сапропеля содержания $SiO_{2биo}$ составляют от 12 до 29 % от валового кремнезёма (кремниевый 12–29 %; кальциевый 13–25 %; смешенный 12–29 %). Это определяется присутствием в значительных количествах диатомовых створок и/или псевдоморфоз SiO2 по мортмассе макрофитов, которые во всех озёрах добавляются к обломочному кварцу, полевым шпатам и слюдам.

Благодарности. Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400193-7).

Список литературы

Генезис органоминеральных отложений озер центральной части Барабинской низменности (юг Западной Сибири) / В. Д. Страховенко, Е. А. Овдина, Г. И. Малов [и др.]// Геология и геофизика. 2019. Т. 60, № 9. С. 1231–1243.

Изучение сапропелевых озерных систем Новосибирской Области. Взаимосвязь химического состава ОВ и генезиса сапропелей / О. П. Таран, В. В. Болтенков, Н. И. Ермолаева [и др.] // Геохимия. 2018. № 3. С. 269–279.

Уровни концентрации химических элементов, вариации минерального состава и современная скорость осадконакопления в сапропелевых залежах малых озер зоны тайги юга Сибири / В. Д. Страховенко, Е. А. Овдина, В. И. Малов, Г. И. Малов // Геология и геофизика. 2023. Т. 64, № 7. С. 991–1007.

УДК 579.68

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА КАЧЕСТВО РЕК РП. ЛИСТВЯНКА

М. Ю. Суслова*, Г. В. Кан, А. Э. Марченко, Н. А. Онищук, О. И. Белых

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: suslova@lin.irk.ru*

Аннотация. Представлены результаты микробиологических исследований качества вод четырех притоков Южного Байкала зал. Лиственничный. Ежемесячный мониторинг подтвердил более высокую численность микроорганизмов в приустьевом участке рек, чем в районе выше влияния рп. Листвянка. Таким образом, число обобщенных колиформных бактерий в среднем по рекам увеличивается в 38 раз, *E. coli* – в 177 и энтерококков – в 9 раз. По сравнению с предыдущими исследованиями численность *E. coli* в р. Б. Черемшанка увеличилась в 7 раз, а количество энтерококков в р. Каменушке в 3 раза.

Ключевые слова: притоки оз. Байкал, Листвянка, качество воды, санитарно-показательные микроорганизмы

Листвянка является популярным местом посещения оз. Байкал, близким к г. Иркутску и, как следствие, привлекает большое количество туристов. Только Байкальский музей расположенный на въезде в поселок посещают более 150 тыс. человек в год. Антропогенная нагрузка значительно возросла на территории рп. Листвянка, которую в последнее время активно застраивают турбазами. Централизованная система очистки сточных вод в поселке отсутствует, таким образом, большая часть сточных вод пассивно фильтруются через грунт и сливаются в притоки, попадая в прибрежную зону оз. Байкал. Ранее в работах сотрудников института было показано, что качество воды, отобранной в устьях рек, значительно хуже качества вод участков рек, протекающих выше поселка Сравнительный анализ данных, показал, что концентрация основных ионов в большинстве случаев имеет близкие значения, а содержание фосфатов и нитритов значительно возрастает в границах поселка в результате хозяйственно-бытовой деятельности. Основными источниками загрязнения водотоков рек являются стоки в рп. Листвянка. В 2011 г. детектировали превышения ТКБ до 320 КОЕ/100 мл в М. Черемшанке и Крестовке; в период 2014–2016 гг. в прибрежной воде оз. Байкал в устье р. Б. Черемшанка в июле 2015 г. ТКБ был превышен в 10 раз, максимальная численность *E. coli* составила 1020 КОЕ/100 см^3, а энтерококков – 154 КОЕ/100 см^3. В период с 2017 по 2021 гг. показано, что уровень фекального загрязнения в зал. Лиственничный не зависел от уровня и температуры воды, а менялся в зависимости от сезона и значимо различался на отдельных станциях отбора проб. В летне-осенний период наблюдали значимо более высокую численность санитарно-показательных микроорганизмов по сравнению с весенним, что можно связать с возрастающей по ходу сезона антропогенной нагрузкой.

Пробоотбор четырех притоков оз. Байкал: Каменушка, Крестовка, Б. и М. Черемшанки осуществляли выше и ниже рп. Листвянка ежемесячного с января 2024 г. по май 2025 г.

Цель работы: мониторинг численности санитарно-микробиологических показателей качества воды четырех рек рп. Листвянка и сравнить с ранее полученными данными.

Оценка качества речных вод по санитарно-микробиологическим показателям выполнена в соответствии с санитарными правилами СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Согласно нормативам в поверхностных водах, используемых для рекреации, индикаторный показатель «обобщенные колиформные бактерии» (ОКБ) не должен превышать 500 КОЕ/100 см^3, индексные показатели, отражающие степень фекального загрязнения *«E. coli»* и «энтерококки», 100 КОЕ/100 см^3 и 10 КОЕ/100 см^3 соответственно.

Исследования численности санитарно-бактериологических показателей представлены на рисунке.

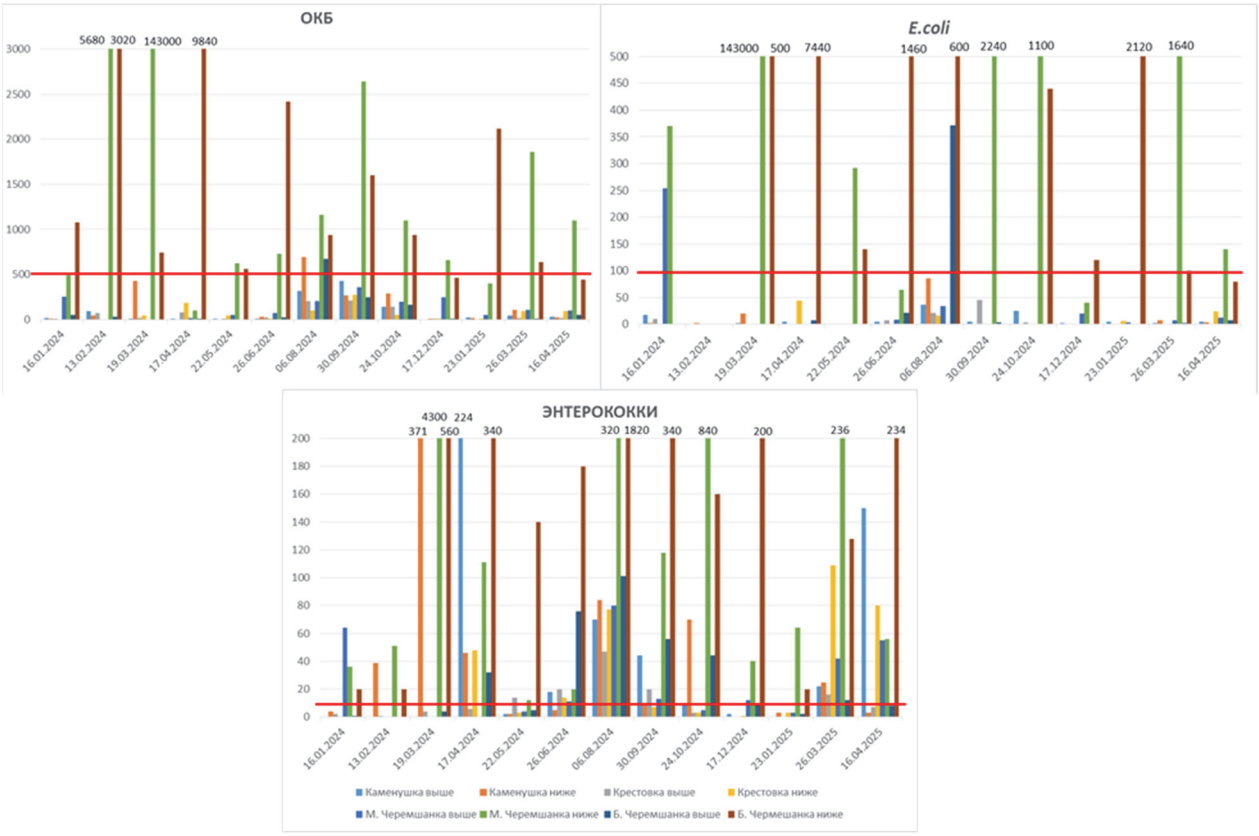


Рис. Численность санитарно-микробиологических групп в рр. Каменушка, Крестовка, М. и Б. Черемшанки выше и ниже рп. Листвянка, с января 2024 г. по апрель 2025 г.

Подтверждено, что численность основных показателей в водах исследуемых рек была намного выше в приустьевых участках по сравнению с зоной вне влияния поселка. Таким образом, число ОКБ в среднем по рекам увеличивается в 38 раз, *E. coli* – в 177 раз и энтерококков – в 9 раз. Такая тенденция в меньшей степени замечена на р. Крестовке, где отличия численность основных показателей не всегда сильно выражено, поскольку эта река более многоводна.

Максимальное количество пиков встречаемости основных показателей приходится на август, когда в реках прогревается вода и наибольший туристический поток.

Данный мониторинг показал, что по сравнению с данными полученными в 2014–2016 гг. численность *E. coli* в р. Б. Черемшанка увеличилась в 7 раз, а количество энтерококков в р. Каменушке в 3 раза.

Результаты настоящего исследования позволяют сделать вывод, что воды притоков рек Б. Черемшанка, М. Черемшанка и Каменушка оказывают негативное влияние на санитарно-бактериологическую обстановку прибрежных вод оз. Байкал в районе рп. Листвянка.

Таким образом, на данный момент в рп. Листвянка назрела необходимость строительства эффективных очистных сооружений сточных бытовых вод.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы гос. задания № 0279-2021-0015, 0279-2021-0014.

УДК 556.555.4:532.592

ТЕПЛОВЫЕ ВОЛНЫ НА УЧАСТКАХ АКВАТОРИИ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА В ПЕРИОД ЛЕТНЕГО ПРОГРЕВА

И. А. Суторихин[1]*, В. В. Кириллов[1], Г. А. Приймак[1], В. А. Соловьев[2]

[1]Институт водных и экологических проблем СО РАН
(Россия, 656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1)
[2]Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
(Россия, 656038, Барнаул, просп. Ленина,46)
** Автор для переписки: sia@iwep.ru*

Аннотация. Приведены данные экспедиционных исследований временной стратификации температуры по глубине на отдельных участках акватории Телецкого озера в августе 2024 г. в период максимального летнего прогрева. Зафиксированы внутренние тепловые волны продолжительностью от 15 до 35 мин на глубинах от 5 до 40 м. Внутренние тепловые волны являются характерной особенностью больших водоемов при наличии выраженной стратификации плотности по глубине. Однако механизмы генерации возмущений в пикноклине (термоклине) различаются для открытых и замкнутых водоемов.

Ключевые слова: Телецкое озеро, временная стратификации температуры по глубине, термоклин, цифровой измеритель температуры, статистическая обработка, внутренние тепловые волны

Телецкое озеро – крупнейший по глубине и объему воды водоем бассейна р. Оби. Оно расположено в северо-восточной части Горного Алтая на высоте 434 м над у. м. и входит в единую озерно-речную систему Восточного Алтая [Селегей, Селегей, 1978; Физико-географическая … , 2001]. По генетической классификации озерных котловин относится к тектонико-ледниковым [Китаев, 2007]. Средняя и максимальная ширина озера равны 2,9 и 5,2 км, соответственно, площадь зеркала – 227 км^2. Благодаря большой глубине (средняя глубина озера 181 м, максимальная 323 м) в нем содержится 41,1 км^3 пресной воды. Согласно феноменологической модели В. В. Селегея, период летнего прогрева озера заканчивается во второй декаде июля. Общей особенностью летних условий является то, что озеро термически устойчиво стратифицировано с температурой на поверхности выше 10 °С [Селегей, Селегей, 1978].

Телецкое озеро характеризуется своеобразным ветровым режимом в течение суток, с преобладанием двух типов ветров, вызываемых общей атмосферной циркуляцией, направление которых определяется в основном ориентацией долины. Это «верховки» –ветры восточной и южной четверти, и «низовки» – ветры западной и северной четверти [Селегей, Селегей, 1978].

Результаты последовательного полноструктурного применения прикладного системного анализа циркуляций и термического режима Телецкого озера приведены в [Пушистов, Викторов, 2016].

Первые результаты наличия тепловых волн на уровне термоклина в Телецком озере были зафиксированных в августе 2022 г и сравнение с данными математического и численного моделирования приведены в [Special … , 2023]. Экспедиционные исследования в этом направлении были продолжены соответственно в 2023 и 2024 гг. В качестве примера на рисунке показана зарегистрированная временная стратификация температуры в Камгинском заливе (03.08.2024). Время измерений местное с 11.26 до 14.20. Глубина залива в месте проведения измерений составляла 40 м. На приведенной термограмме можно выделить две характерных временных зоны с 11.26 до 13.40 со слабыми температурными изменениями и с 13.40 до 14.20 зона 1 с наиболее выраженными температурными флуктуациями, которые и были детально проанализированы.

В экспедиции использовался многодатчиковый цифровой измеритель температуры типа ДИТЦ-60-1 с длиной шлейфа 60 м и интервалом расположения цифровых датчиков 1 м. Марка датчиков – DS18-40ps, чувствительность – 0,1°С, диапазон измеряемых темпе-

ратур -40 +40 С, время считывания данных – 1 с, объем памяти – 64 Gb. Координаты станций фиксировались GPS навигатором. Длительность температурных измерений на каждой станции составляла от 60 до 80 мин с программно установленным временным интервалом считывания информации со всех датчиков – 1 с. Как следует из приведенного рисунка и после статистической обработки реализаций, максимальная амплитуда температурных волн для Камгинского залива в зоне 1 наблюдалась на глубинах от 5 до 12 м и составляет величину порядка 5 °С. Другие усредненные параметры: период порядка – 780 с, длина волны порядка – 110 м, скорость порядка – 0,15 м/с.

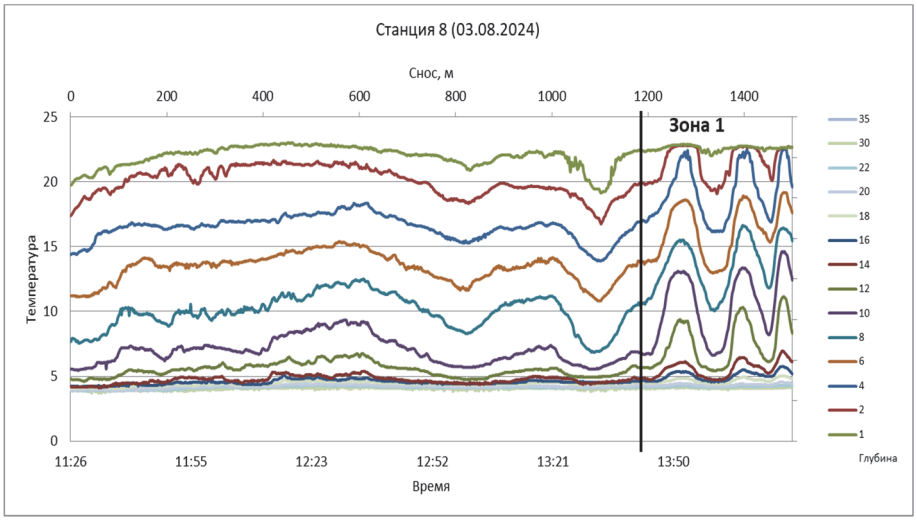


Рис. Временная стратификации температуры в Камгинском заливе с интервалом по глубине 1 м (от 03.08.2024)

Источник генерации этих волн в указанном интервале глубин Телецкого озера до конца не выяснен, но вероятнее всего они обусловлены атмосферными циркуляциями в виде так называемых «верховок» и «низовок».

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ФГБУН ИВЭП СО РАН № 0306-2021-0001. В экспедиционных работах использовалось научное оборудование ЦКП «Научно-исследовательские суда ИВЭП СО РАН».

Список литературы

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2007. 395 с.

Пушистов П. Ю., Викторов Е. В. Прикладной системный анализ циркуляций и термического режима Телецкого озера. Барнаул : Пять Плюс, 2016. 149 с.

Селегей В. В., Селегей Т. С. Телецкое озеро. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Л. : Гидрометеоиздат, 1978. 143 с.

Физико-географическая и геологическая характеристика Телецкого озера / ред. Селегей В., Дехандсхюттер Б., Клеркс Я., Высоцкий Е. Тервюрен, Бельгия, 2001. Т. 105. 322 с.

Special Aspects of Transformation of Non-Linear Internal Waves on the Shelf and in a Deep Lake / V. Kirillov, V. Liapidevskii, I. Sutorikhin, F. Khrapchenkov // Fluid Dynamics. 2023. Vol. 58, N 6. 1087–1097. DOI: 10.1134/S0015462823602073

УДК 528.88(282.256.341)

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ В СЕВЕРНОЙ КОТЛОВИНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ LANDSAT 8,9

Е. Н. Сутырина*, Ф. М. Андреев, А. О. Черкасова

Иркутский государственный университет
(Россия, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1)
**Автор для переписки: ensut78@gmail.com*

Аннотация. В работе для оценки параметров водной среды в пределах Северной котловины оз. Байкал использованы данные Landsat 8,9 за период открытой акватории с 2013 по 2024 г. Построены цветоситезированные изображения в естественных и ложных цветах. Составлены «индексные» изображения нормализованного разностного индекса мутности, нормализованный индекса водной растительности и модифицированного индекса мутности за период исследования. Полученные изображение позволили установить характер пространственно-временной изменчивости распределения взвесей разного генезиса в Северной котловине озера. На основе полученных результатов выполнено районирование акватории Северной котловины по указанным выше параметрам. Изучена зависимость распределения взвесей от температуры поверхности воды и рельефа дна.

Ключевые слова: Байкал, Северная котловина, Landsat 8,9, цветосинтезированные изображения, «индексные» изображения

Озера находятся под постоянным прессингом как из-за изменения климата, так и в связи с антропогенной нагрузкой на них, в том числе в результате рекреационной деятельности, что ведет к необходимости применения средств дистанционного контроля параметров водной среды. Объектом исследования является Северная котловина оз. Байкал. В качестве исходных данных для оценки экологически значимых показателей водной среды использовались малооблачные снимки Landsat 8,9 за период открытой акватории с 2013 по 2024 г.

В рамках работы для исследуемой акватории в целом и для ее отдельных лимнических районов средствами программы QGIS были составлены серии цветосинтезированные композиты как в естественных, так и ложных цветах. Композиты в естественных цветах используют комбинацию отражения в красных (B4), зеленых (B3) и синих (B2) полосах в качестве R(ed), G(reen) и B(lue) компонент при цветосинтезе. На этих изображениях после дополнительной цветокоррекции можно отчетливо наблюдать «цветение» акватории и перераспределение содержащих взвеси речных вод в Северной котловине. Также в работе использовался композит в ложных цветах, представляющий собой комбинацию зеленого (B3), ближнего инфракрасного (БИК) (B5) и коротковолнового инфракрасного (B7), который позволяет определять области с повышенной мутностью, принимающие при таком варианте цветосинтеза красный цвет.

Для количественной оценки параметров водной среды в данном исследовании авторы прибегали к созданию «индексных» изображений, которые строятся на основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта [Морозова, 2019; Villa, Mousivand, Bresciani, 2014]. В QGIS были построены разновременные картографические изображения распределения различных индексов характеризующих качество воды, в том числе нормализованного разностного индекса мутности (NDTI), основанного на разности отражения в красном (B4) и зеленом (B3) диапазонах спектра, нормированной на их сумму; нормализованного индекса водной растительности (NDAVI), рассчитываемого по разности отражения в БИК (B5) и синем (B2) каналах, аналогично нормированной на их сумму, и полезного для мониторинга водорослей; модифицированного индекса мутности ModTI, определяемого отношением отражения в синем канале (B2) к сумме отражений в синем, зеленом и красном диапазоне, данный индекс удобен тем, что демонстрирует увеличение мутности вне зависимости от того органические или неор-

ганические взвести стали причинами, вызывающих эти изменения. NDTI и NDAVI, наоборот, чувствительны к характеру примеси, следовательно комбинация этих трех индексов оказывается полезной, когда имеют место примеси и органического, и неорганического происхождения.

Полученные количественные данные при анализе пространственно-временного значения индексов NDTI, NDAVI и ModTI продемонстрировали хорошее соответствие цветосинтезированным изображениям в естественных и ложных цветах и позволили установить характер пространственной и временной изменчивости распределения взвесей разного генезиса в исследуемой акватории. Полученная информация позволила выполнить районирование акватории Северной котловины по указанным выше параметрам.

Также в работе были проанализированы поля температуры поверхности воды в пределах Северной котловины озера, восстановленные на основе продукта температуры поверхности Collection 2 Level-2 Landsat [Development … , 2014; An Operational … , 2018].

Дополнительно привлекались данные о топографии дна котловины, взятые из нескольких источников [A new … , 2002].

Привлечение информации о температуре поверхности воды и ее пространственно-временной изменчивости, а также данных о рельефе дна и местах впадения притоков в акваторию позволило проанализировать влияние этих и некоторых других факторов на распределение показателей параметров водной среды в исследуемой котловине.

Полученная информация позволила выполнить районирование акватории Северной котловины по указанным выше параметрам качества водной среды и главенствующим определяющим факторам.

В ходе исследования показано, что спутниковые наблюдения посредством Landsat 8,9 представляют собой мощный инструмент дистанционного зондирования, применимый для оценки показателей качества природных вод. Их применение обеспечивает оперативное получение достоверных данных о состоянии водоемов, необходимых для экологических исследований и устойчивого управления водными ресурсами.

Благодарности. Исследование проведено в рамках проекта «Развитие гидрологического образования в области прогнозирования и моделирования гидрологических явлений» – победителя конкурса «Профессиональное развитие» Благотворительного фонда Владимира Потанина.

Список литературы

Морозова В. А. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования // Современные проблемы территориального развития. 2019. № 2. ID 85. С. 1–11.

A new bathymetric map of Lake Baikal / M. De Batist, M. Canals, P. Sherstyankin, S. Alekseev & the INTAS Project 99-1669 Team, 2002. URL: http://www.lin.irk.ru/intas/index.htm

An Operational Land Surface Temperature Product for Landsat Thermal Data: Methodology and Validation / N. K. Malakar, G. C. Hulley, S. J. Hook [et al.] // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2018. Vol. 99. P. 1–19. DOI: 10.1109/TGRS.2018.2824828

Development of an operational calibration methodology for the Landsat thermal data archive and initial testing of the atmospheric compensation component of a Land Surface Temperature Product from the archive / M. Cook, J. R. Schott., J. Mande, N. Raquen // Remote Sensing. 2014. Vol. 6 (11). P. 11244–11266. DOI: 10.3390/rs61111244

Villa P., Mousivand A., Bresciani M. Aquatic vegetation indices assessment through radiative transfer modeling and linear mixture simulation // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2014. Vol. 30. P. 113–127. DOI: 10.1016/j.jag.2014.01.017

УДК 575.86+57.063.7

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ И ТАКСОНОМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ КАРАСЕЙ *CARASSIUS* SPP. БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ И МОНГОЛИИ

В. И. Тетерина[1], Д. Цэнд-Аюуш[2], Ч. Аюушсурен[2], Н. Тувшинжаргал[2], Л. В. Суханова[1], Б. Э. Богданов[1]*

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Институт биологии Монгольской академии наук
(Монголия, 13330, Улан-Батор, просп. Мира, 54-Б)
**Автор для переписки: bakhtiar.bogdanov@mail.ru*

Аннотация. Предметом настоящего исследования является генетическое и таксономическое разнообразие серебряного карася *Carassius* "*gibelio"* sensu lato, обитающего в водоёмах трансграничных бассейнов Монголии и России. Сопоставлены фенотипические особенности особей двух филогенетических линий серебряного карася, обитающих в регионе, с диагностическими признаками таксонов, описанных ранее в водоёмах Сибири и Северного Китая. Полученные результаты позволяют восстановить валидность видов, считавшихся ранее синонимами *C. gibelio*: амурского серебряного карася *C. coeruleus* и даурского карася *C. kolenty*.

Ключевые слова: *Carassius gibelio, Carassius coeruleus*, *Carassius kolenty*, ген цитохрома Б (*CytB)*, филогения, систематика, Байкальская Сибирь, Монголия

Для сохранения биоразнообразия и управления биоресурсами важно иметь адекватные представления о систематике (таксономии и номенклатуре) биологических объектов. Однако в настоящее время традиционные взгляды на систематику рыб, сложившиеся в первой половине XX в., стали входить в противоречия с молекулярными данными и современными таксономическими концепциями. Одним из таких проблемных таксонов является серебряный карась или Прусский карп *Carassius gibelio* (Bloch, 1782). К настоящему времени стало очевидным, что серебряный карась или Прусский карп *C. gibelio* представляет собой таксономический конструкт, и среди многочисленных его «экологических форм» скрываются потенциально валидные таксоны (виды или подвиды). Само же название *C. gibelio* не валидно для обозначения какого-либо вида из группы «серебряных» карасей, так как ранее было установлено, что оно является младшим синонимом *C. carassius* (Linnaeus 1758) [Kalous, Bohlen, Ráb, 2004].

Цель данного исследования внести ясность в систематику карасей, обитающих в водоёмах Байкальской Сибири и Монголии, в том числе изучить филогенетические отношения природных популяций и провести таксономическую ревизию.

Исследование выполнено на материале, собранном авторами в период с 2008 по 2024 г. на водоёмах Монголии и Байкальской Сибири: Братском вдхр., оз. Алят, р. Куде и связанных с ней искусственных водоёмах (бассейн р. Ангары); р. Левый Сурхебт, р. Улахан-Ботуобуя, Манзурских озёрах и оз. Очаул (бассейн р. Лены); р. Керулен и оз. Буир (бассейн оз. Далай-Нур, Восточная Монголия); р. Булган (бассейн оз. Бага-Нур, Западная Монголия); р. Онон (бассейн Амура) и водоёмах среднего течения рек Орхон и Селенги (бассейн Байкала).

Тотальная ДНК выделена из плавников, мышц или чешуи рыб стандартным методом экстракции фенолом и хлороформом [Sambrook, Fritsch, Maniatis, 1989]. В качестве филогенетического маркера использовали нуклеотидные последовательности митохондриального гена цитохрома Б (*Cytb*), полученные с помощью генетического анализатора «Нанофор-05» (Синтол, Россия) в ЦКП «Ультрамикроанализ» (ЛИН СО РАН, Иркутск). Реконструкция филогенетических взаимоотношений выполнена Байесовским методом в программе Кроме собственных данных в ходе анализа использовали данные Генбанка NCBI. Таксономическая ревизия проведена на основе анализа признаков, имеющих диагностическое значение и оригинальных описаний таксонов, группы "*gibelio"*.

Молекулярные данные, полученные в результате наших исследований, показали наличие в водоёмах региона двух филогенетических линий карасей, относимых ранее к *C. gibelio* (sensu lato), что согласуется с опубликованными ранее данными, из других локаций Сибири, Дальнего Востока и Центральной Азии [Collation … , 2008; Podlesnykh, Apalikova, Brykov, 2012; Phylogeny … , 2013 и др.]. Фенотипически представители этих линий диагностируются по окраске и рельефу чешуи, и соответствуют таксонам, описанным ранее в водоёмах севера Китая и юга Сибири. Первую кладу составили выборки из р. Керулен и оз. Буир, водоёмов бассейнов Селенги и Ангары. Вторую кладу образуют выборки из водоёмов бассейнов Лены и Булгана. Выборки из Онона (верхнеамурский бассейн) и оз. Алят (бассейн Ангары) оказались смешанными по составу. По диагностическим признакам особи, составляющие первую кладу, соответствуют «амурской форме» серебряного карася. Ранее эта форма была описана из водоёмов Северного Китая как отдельный вид *Carassius coeruleus* Basilewsky 1855. Вторая клада соответствует даурскому карасю, описанному из озёр Читинско-Ингодинской впадины Забайкалья, как разновидность обыкновенного карася *Carassius vulgaris* var. *kolenty* Dybowski 1877. Результаты настоящего исследования подтверждают видовой статус этих таксонов с соответствующими названиями, авторством и датами опубликования: *Carassius coeruleus* Basilewsky 1855, амурский серебряный карась и *Carassius kolenty* Dybowski 1877, даурский карась. Объективную трудность в диагностике данных видов *in situ* создаёт то обстоятельство, что безошибочно можно идентифицировать только особей с ярко выраженными видовыми признаками.

Благодарности. Исследование проведено в рамках бюджетной темы ЛИН СО РАН № 0279-2021-0005 (121032300224-8).

Список литературы

Collation of Data on the Ploidy Levels and Mitochondrial DNA Phylogenetic Lineages in the Silver Crucian Carp *Carassius auratus gibelio* from Far Eastern and Central Asian Populations / O. V. Apalikova, M. G. Eliseikin, M. Yu. Kovalev [et al.] // Russian Journal of Genetics. 2008. Vol. 44, N 7. P. 873–880.

Kalous L., Bohlen J., Ráb P. What fish is *Carassius gibelio*: taxonomic and nomenclatoric notes // Abstract volume: XI European Congress of Ichthyology. September 6–10, 2004. Tallinn, Estonia, 2004. P. 26–27.

MrBayes 3.2: efficient bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space / F. Ronquist, M. Teslenko, P. van der Mark [et al.] // Systematic Biology. 2012. Vol. 61. P. 539–542. DOI: 10.1093/sysbio/sys029

Phylogeny and biogeographic history of the cyprinid fish genus Carassius (Teleostei: Cyprinidae) with focus on natural and anthropogenic arrivals in Europe / K. Rylková, L. Kalous, J. Bohlen, M. Petrtýl // Aquaculture. 2013. Vol. 380–383. P. 13–20. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2012.11.027

Podlesnykh A. V., Apalikova O. V., Brykov Vl. A. Phylogenetic Relationships of Silver Crucian Carp in Carassius auratus Complex Based on mtDNA Analysis // Russian Journal of Genetics. 2012. Vol. 48, N 12. P. 1207–1217. DOI: 10.1134/S1022795412120113

Sambrook J., Fritsch E. P., Maniatis T. Molecular cloning: a laboratory manual. Nev York : Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1989. 253 p.

УДК 556.551

ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ЭВТРОФИРОВАНИЕ МАЛЫХ ОЗЕР В ПРЕДЕЛАХ Г. МОСКВЫ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

М. А. Терешина*, О. Н. Ерина, Д. И. Соколов, К. П. Хазанова

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
(Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1)
**Автор для переписки: martereshina@yandex.ru*

Аннотация. Представлены результаты мониторинговых исследований термического и химического режима и биологической продуктивности Косинских озер (г. Москва) за 2021–2025 гг. Описаны наблюдаемые изменения в ледовом режиме и режиме вертикальной циркуляции озер относительно первой половины XX в. Показано, что климатические изменения приводят к изменениям в температуре воды и режиме перемешивания, включая исчезновение фазы полной весенней циркуляции в димиктическом озере. Описано накопление биогенных элементов при развитии аноксии в придонных слоях озер и формирование максимумов концентрации хлорофилла в периоды полной вертикальной циркуляции озер в осенний период.

Ключевые слова: эвтрофирование, стратификация, хлорофилл, азот, фосфор, кислородный режим

Антропогенное эвтрофирование водоемов является одной из важнейших современных проблем водного хозяйства. При управлении процессами эвтрофирования наибольшее внимание уделяется биогенной нагрузке на водоемы, а другим абиотическим факторам уделяется гораздо меньшее внимание. При этом известно, что изменения климата косвенно влияют на процессы эвтрофирования через изменения в термическом и динамическом режиме, определяя интенсивность внутриводоемной трансформации веществ [Meteorological … , 2017]. Поэтому совместное изучение термического и гидрохимического режима водоемов играет большое значение для исследования процессов эвтрофирования озер в современных климатических условиях.

Косинские озёра – массив из трех малых естественных водоемов на востоке г. Москвы (оз. Белое – 0,29 км², оз. Черное – 0,20 км², оз. Святое – 0,09 км²). Озеро Белое имеет максимальную глубину около 17 м и является димиктическим, озёра Черное и Святое характеризуются глубинами до 3 м и полимиктическим режимом. С 1908 по 1940 г. на озёрах функционировала Косинская биологическая станция и велись комплексные лимнологические исследования [Россолимо, 1925; Кузнецов, 1934]. Уже в этот период озёра относились к эвтрофному классу, однако более поздние исследования указывают на дальнейшее ухудшение их экологического состояния [Шилькрот, Труфанов, 2014].

С 2021 г. на всех трех озёрах авторами ведутся ежемесячные наблюдения за вертикальным распределением температуры воды, содержания растворенного кислорода и других гидрохимических показателей (солевой состав, содержание различных форм азота и фосфора, концентрация хлорофилла-а).

В современный период Косинские озёра характеризуются заметным сокращением периода ледостава: так, оз. Белое в последние годы замерзало в среднем на 20 дней позже и вскрывалось на 17 дней раньше, чем в 1923–1929 гг. Зимний период во всех трех озёрах характеризуется крайне неблагоприятными кислородными условиями: в мелководных оз. Черном и Святом уже в течение первого месяца после установления ледостава зона с содержанием растворенного кислорода менее 2 мг/л распространяется на большую часть водной толщи, после чего в течение 2–3 мес. зона аноксии может распространяться вплоть до поверхностного слоя. В более глубоководном оз. Белом относительно высокое содержание кислорода сохраняется в течение зимы в верхнем слое толщиной 1–3 м. При этом отмечается сокращение продолжительности и интенсивности весенней циркуляции: в 2022–2025 гг. она полноценно охватывала только верхний слой воды мощностью до 5 м, а вся оставшаяся водная толща сохраняла гидрохимические и термические характеристики, ха-

рактерные для зимнего периода. В оз. Белом, таким образом, придонные слои воды в течение почти всего года (за исключением ноября) сохраняют температуру 3–4 °С и характеризуются почти полным отсутствием кислорода. В ноябре при полной гомотермии концентрация валового фосфора в придонном слое озера составляет 105–121 мкг/л, азота – 1,99–2,85 мг/л. К концу ледостава они повышаются до 442–4498 мкг/л и 5,03–44,42 мг/л соответственно. После этого наблюдается небольшое снижение концентраций в апреле-мае, по-видимому связанное с частичным перемешиванием придонных слоев. К октябрю следующего года концентрация общего фосфора в придонном слое снова возрастает до 718–829 мкг/л, общего азота – 4,67–13,27 мг/л.

В мелководном оз. Черном за счет большей продолжительности фаз перемешивания концентрации биогенных элементов в придонном слое оказываются более низкими. Повышенные концентрации фосфора и азота отмечаются чаще в конце ледостава (174–619 мкг/л и 1,83–6,64 мг/л), а в весенне-летний период за счет регулярного полного перемешивания их концентрации обычно ниже.

Периоды перемешивания, во время которых происходит перенос накопленных в гиполимнионе биогенных элементов в фотический слой, как в димиктическом, так и в полимиктическом озере являются периодами повышенной биологической продуктивности. В оз. Белом внутригодовые максимумы концентрации чистого хлорофилла-а в поверхностном слое (56–142 мкг/л) приурочены к ноябрю– единственному месяцу, когда происходит полная вертикальная циркуляция, а в летний период она находится в пределах 25 мкг/л. В полимиктическом оз. Черном повышенные концентрации хлорофилла отмечаются в позднелетний и осенний периоды, когда также учащаются случаи полного перемешивания озера: в августе – ноябре концентрация хлорофилла поднимается до 42–231 мкг/л, а в мае – июле она находится в пределах 45 мкг/л. При этом в течение почти всего летнего периода в озёрах отмечается перенасыщение верхних слоев воды растворенным кислородом, достигающее 150–200 %.

Таким образом, термический режим и его климатически обусловленные изменения влияют важную роль в круговороте биогенных элементов в Косинских озёрах. Наблюдаемые изменения в периодизации годового термического цикла (сокращение периода ледостава, изменение продолжительности фаз полной вертикальной циркуляции) оказывают негативное влияние на кислородный режим димиктического оз. Белого и способствуют повышению внутренней биогенной нагрузки, которая может являться важным фактором эвтрофирования даже при внедрении мер контроля за внешней биогенной нагрузкой на водоемы.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ (№ ЦИТИС 121051400038-1) и при поддержке Программы развития МГУ, проект № 23-Ш07-67.

Список литературы

Кузнецов С. И. Сравнительное изучение азотного, фосфорного и кислородного режима Глубокого и Белого озера // Труды лимнологической станции в Косине. 1934. Т. 17. С. 49–67.

Россолимо Л. Л. Термика Косинских озер // Труды Косинской биологической станции. 1930. № 10. С. 3–30.

Шилькрот Г. С., Труфанов Н. В. Экология малых озер в Косино (Москва) в условиях урбанизированной среды // Проблемы региональной экологии. 2014. № 1. С. 104–110.

Meteorological drivers of hypolimnetic anoxia in a eutrophic, north temperate lake / C. A. Snortheim, P. C. Hanson, K. D. McMahon [et al.] // Ecological Modelling. 2017. Vol. 343. P. 39–53. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2016.10.014

УДК 574.5:575.22:597.5

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ЧИСЛЕННОСТЬ ГОЛОМЯНОК (*COMEPHORUS*, COMEPHORIDAE) В ТОЛЩЕ ВОДЫ БАЙКАЛА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД НА ОСНОВЕ ЛОВОВ ГОЛОМЯНКОВЫМИ ЛОВУШКАМИ

В. И. Тетерина[1]*, М. С. Яхненко[2], А. А. Мамонтов[3], А. М. Мамонтов[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Иркутский авиационный завод (Россия, 664020, Иркутск, ул. Новаторов, 3)
[3]Институт геохимии СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1А)
Автор для переписки: veronika_t@inbox.ru

Аннотация. С помощью специальных ловушек была оценена численность и распределение в толще воды Байкала малой и большой голомянок. Было выявлено, что распределение голомянок по горизонтам изменчиво в связи с особенностями экосистемы Байкала. Также показано, что разные генетические формы большой голомянки распределены неоднородно в разных локациях Байкала.

Ключевые слова: Байкал, численность рыб, ловушки, голомянки *Comephorus*

Голомянки большая (*Comephorus baicalensis* Pallas, 1776) и малая (*C. dybowski* Korotneff, 1905) – это небольшие пелагические живородящие рыбы Байкала. Они заняли всю толщу воды в озере и лишь изредка встречаются в прибрежной зоне. По биомассе голомянки составляют более чем 60 % всех рыб водоема и являются основным потребителем зоопланктона, не исключая и свою молодь. В то же время голомянки составляют основу рациона нерпы, омуля, других рыб. В последнее время численность нерпы практически удвоилась.

На экосистему Байкала действуют разнообразные антропогенные факторы. Стоки от промышленных предприятий, фосфаты, спирогира, воздушный перенос, чрезмерный промысел приводят к нарушениям взаимодействий в экосистеме. В условиях промышленного загрязнения поллютанты проникли на все уровни трофической цепи. Однако голомянки не используются в промысле ввиду их разреженного распространения, а глубоководное обитание практически исключает проведение длительных наблюдений за состоянием их стада.

В настоящее время получение данных о численности становится возможным благодаря применению для лова специальных голомянковых ловушек, особенностью которых является использование распушенных капроновых волокон, имитирующих основной корм голомянок – макрогектопуса [Мамонтов, 2001]. Так как зона их обитания – пелагиаль и к тому же они вертикально мигрируют, то попадание в ловушки неизбежно. Удержание рыб в ловушке гарантировано из-за строения зубов – специального «эволюционного изобретения» для удержания жертв. Внешняя сторона нижней челюсти у них покрыта острыми многочисленными «зубами», незначительное прикосновение к которым приводит к захвату добычи. Благодаря этим ловушкам была оценена численность голомянок за последнее 25 лет (рис. 1, ст. 1 против м. Березовый), а также показано соотношение большой и малой голомянок на вертикалях в трех локациях у м. Березовый (ст. 1 и 2) и против м. Ухан (ст. 3 – восточный берег о. Ольхон) (рис. 2).

Проведенные нами молекулярно-генетические исследования показали, что существует две генетические формы большой голомянки: молодая и предковая [Teterina, Sukhanova, Kirilchik, 2010]. Время дивергенции этих форм составляет 60–152 тыс. лет, что соответствует межледниковому периоду на Байкале MIS 5. Целью настоящей работы также было изучить распределение этих форм в толще Байкала.

С 2019 по 2024 г. были выявлены изменения в числовых результатах промысла голомянок. Уловы стали падать и даже исчезать там, где в прошлые десятилетия они были по 1 кг на 100 кв м. сети [Коряков, 1959]. Мы выявили, что в целом за 20 лет на Южном Бай-

кале (район м. Березовый на глубинах до 1300–1400 м) соотношение двух генетических форм голомянок было близким 50 % : 50 % [Signs … , 2015], в то время как в районе от северных Ольхонских ворот до м. Солнечный соотношение сместилось в сторону молодой формы 62 % : 37 %. В одной из выборок на станции Онгурен все особи относились к молодой генетической форме (100 %).

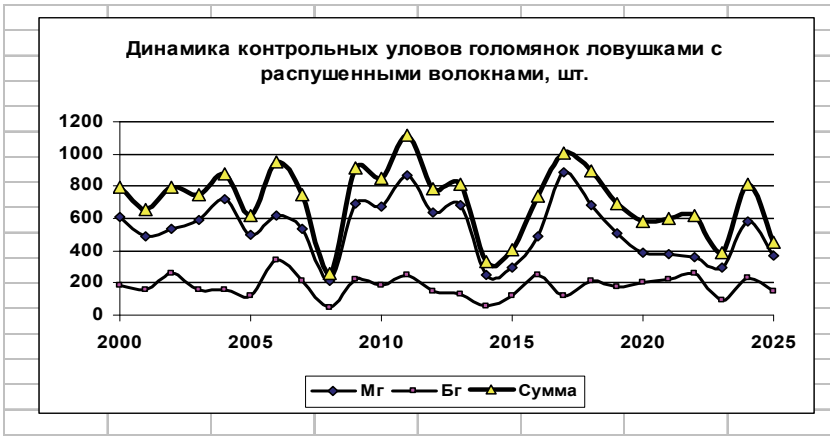


Рис. 1. Динамика уловов голомянковыми ловушками за последние 25 лет



Рис. 2. Распределение голомянок по глубинам. Станции:
1, 2 – Березовый, *3* – Ухан

Благодарности. Исследование проведено в рамках бюджетной темы ЛИН СО РАН № 0279-2021-0005.

Список литературы

Коряков Е. А. К вопросу о распределении некоторых обитателей пелагиали Байкала в северной части Малого Моря // Труды Байкальской лимнологической станции АН СССР. 1959. Т. 17. С. 313–314.

Мамонтов А. М. Патент на изобретение «Способ лова голомянок» № 2169466, 27 июня 2001 г.

Signs of Selection in Synonymous Sites of the Mitochondrial Cytochrome b Gene of Baikal Oilfish (Comephoridae) by mRNA Secondary Structure Alterations / V. I. Teterina, A. M. Mamontov, L. V. Sukhanova, S. V. Kirilchik // BioMed Research International. 2015. DOI: 10.1155/2015/387913(12916*)*

Teterina V. I., Sukhanova L. V., Kirilchik S. V. Molecular divergence and speciation of Baikal oilfish (Comephoridae): Facts and hypotheses // Molecular Phylogenetics and Evolution. 2010. Vol. 56. P. 336–342. DOI: 10.1016/j.ympev.2010.04.001

УДК 574.587+574.587

МАКРОЗООБЕНТОС В РАЙОНАХ ЗАХОРОНЕНИЯ ДОННОГО ГРУНТА В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

М. А. Тимофеева*, В. А. Жигульский, Т. С. Былина, А. А. Солодов

Эко-Экспресс-Сервис (Россия, 195112, Санкт-Петербург, Заневский просп., 32-3)
**Автор для переписки: timofeeva@ecoexp.ru*

Аннотация. представлены результаты исследований бентосных сообществ в районах захоронения донного грунта, извлеченного при производстве дноуглубительных работ в восточной части Финского залива, за период с 2016 по 2024 г. Результаты исследования характеризуют развитие структуры сообщества макрозообентоса в районах захоронения грунта и позволяют оценить экологическое состояние исследуемых акваторий. В рассматриваемых районах наблюдается смена доминирующих видов, главенствующую роль принимают полихеты, в частности, род *Marenzelleria*. Причиной смены доминирующих таксонов может являться как трансформация условий среды обитания, вызванная захоронением грунта, так и естественная межгодовая изменчивость. В целом полученные данные свидетельствуют о нестабильности бентосных сообществ под влиянием захоронения донного грунта.

Ключевые слова: Финский залив, макрозообентос, район захоронения донного грунта, дампинг

В данной статье авторами рассмотрен макрозообентос, представляющий собой совокупность многоклеточных организмов, обитающих на дне водоемов. Одним из основных факторов, оказывающих негативное влияние на макрозообентос, является захоронение грунтов, извлеченных при производстве дноуглубительных работ. В англоязычной литературе данный процесс получил название дампинга [Minimal … , 2007].

В восточной части Финского залива наиболее часто используются три района захоронения грунта, извлеченного при проведении дноуглубительных работ. Традиционно данные районы именуются по ближайшим топонимам и номерам районов навигационных препятствий «свалка грунта», указанным на навигационных картах: район банки Вальштейна (район № 308), район маяка Толбухин (район № 305) и район о. Грузный (район № 306).

Авторами произведен сбор и анализ данных, накопленных в ходе инженерно-экологических изысканий и локального экологического мониторинга, выполненных собственными силами компании с 2016 по 2024 г. Для отбора проб использовался дночерпатель Ван-Вина с площадью пробоотбора 0,05 м^2. На каждой станции отбирали по 3 пробы. Отмывка грунта производилась сразу после взятия проб с использованием сита № 23. Отмытые пробы фиксировали 4%-ным раствором формалина. Камеральную обработку проб осуществляли в лаборатории. В ходе наблюдений было собрано и обработано 135 количественных проб макрозообентоса с 45 станций.

В районе банки Вальштейна в период с 2016 по 2024 г. количество выявленных видов варьировало от 5 до 11 таксонов. Средняя численность макрозообентоса изменялась от 675 экз./м^2 в 2016 г. до 1790 экз./м^2 в 2022 г. Средняя биомасса колебалась в диапазоне от 10,44 г/м^2 (2020 г.) до 84,26 г/м^2 (2021 г.). В течение всего периода исследований наблюдалась постепенная смена доминирующих видов. До 2021 г. по биомассе преобладали двустворчатые моллюски *Macoma balthica,* доля которых колебалась от 42 % до 61 %. Однако с 2022 г. доминантами стали полихеты рода *Marenzelleria* (50–68 %).

В районе маяка Толбухин с 2016 по 2023 г. количество таксонов колебалось от 5 до 7. Средняя численность макрозообентоса варьировала от 176 экз./м^2 в 2023 г. у до 6616 экз./м^2 в 2016 г. Средняя биомасса изменялась от 1,20 г/м^2 в 2023 г. до 23,65 г/м^2 в 2016 г. На протяжении всех лет исследований преобладали полихеты рода *Marenzelleria,* которые составили от 33 % до 94 % от общей биомассы макрозообентоса. В 2020 г. помимо полихет доминировали бокоплавы *Corophium volutator*, которые составили 43 % от общей биомассы.

В районе о. Грузный за 2016 и 2022 гг. количество видов составляло 2 и 5 таксонов, соответственно. Средняя численность макрозообентоса находилась примерно на одном и

том же уровне: 256 экз./м² в 2016 г. и 287 экз./м² в 2022 г. Средняя биомасса увеличилась с 7,00 г/м^2 в 2016 г. до 15,03 г/м^2 в 2022 г. В 2016 г. в данном районе доминирующими видами по биомассе являлись полихеты *Marenzelleria neglecta*, вклад которых составил 55 %, и морские тараканы *Saduria entomon* (45 %). В 2022 г. доминировали морские тараканы *S. entomon*, которые составили 94 % от общей биомассы, доля полихет сократилась до 6 %.

Исследования бентосных сообществ, проведенные в районах банки Вальштейна, маяка Толбухин и о. Грузный, выявили изменения в составе и структуре макрозообентоса в период с 2016 по 2024 г.

В районе банки Вальштейна количественные показатели макрозообентоса находились примерно на одном и том же уровне, несмотря на незначительное снижение видового разнообразия. Рост объемов захоронения донных грунтов в районе банки Вальштейна привел к постепенной смене доминирующих видов – от двустворчатых моллюсков *M. balthica* к полихетам рода *Marenzelleria,* что может указывать на постепенную адаптацию сообществ к последствиям антропогенного воздействия.

В районе маяка Толбухин наблюдаются значительные колебания численности и биомассы макрозообентоса, что в целом характерное явление для бентосных сообществ [Погребов, Кийко, Филиппов, 2014]. Было выявлено преобладание полихет *Marenzelleria* spp. наряду с временным доминированием бокоплавов *C. volutator.* С 2016 по 2023 г. при сокращении объёмов захораниваемого грунта наблюдалось снижение численности и биомассы макрозообентоса с доминированием более подвижных форм (полихет и бокоплавов). Небольшое увеличение объемов захороненного грунта сопровождалось снижением количественных показателей, что может указывать на влияние антропогенного воздействия на стабильность донных сообществ.

В районе о. Грузный с 2016 по 2022 г. наблюдалось увеличение численности и биомассы макрозообентоса. Произошел переход от доминирования сообщества *M. neglecta* + *S. entomon* к морским тараканам *S. entomon*. Индексы видового разнообразия в этом районе характеризовались весьма низкими показателями, что может быть связано с увеличением содержания органического вещества в донных отложениях вследствие захоронения грунта и доминированием толерантных видов, предпочитающих участки, богатые органическим веществом.

Таким образом, заметно, что с течением времени на большей части исследуемых участках главенствующую роль в районах захоронения грунта, извлеченного при проведении дноуглубительных работ, принимают полихеты, в частности рода *Marenzelleria*. Причиной смены доминирующих таксонов может являться как трансформация условий среды обитания, вызванная захоронением грунта, так и естественные факторы (например, межгодовая изменчивость). Однако в целом полученные данные свидетельствуют о нестабильности сообществ под влиянием захоронения донного грунта.

Список литературы

Погребов В. Б., Кийко О. А., Филиппов А. А., Оценка воздействия на окружающую среду и мониторинг биологических последствий дреджинга в Финском заливе Балтийского моря // Ученые записки РГГМУ. 2014. № 35. С. 133–141.

Minimal sampling requirements for a precise assessment of soft-bottom macrobenthic communities, using AMBI / I. Muxika, L. Ibaibarriaga, I. S. José, Á. Borja // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2007. Vol. 349, N 2. P. 323–333. DOI: 10.1016/j.jembe.2007.05.026

УДК 574.52

МИКРОПЛАСТИК В ИХТИОФАУНЕ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

Д. А. Тихонова[1]*, К. М. Зарипова[2], В. Н. Коваленко[3]

[1]Институт озероведения РАН (Россия, 196105, Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9)
[2]Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН (Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова, 2)
[3]Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (Россия, 185030, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50)
**Автор для переписки: tdasha94@mail.ru*

Аннотация. Представлен анализ содержания микропластика в желудочно-кишечном тракте рыб с различными типами питания, обитающих в северной части Ладожского озера. Исследование охватило четыре вида, распространенных в Ладожском озере: плотву (*Rutilus rutilus*), леща (*Abramis brama*), корюшку (*Osmerus eperlanus*) и окуня (*Perca fluviatilis*). Пробы обрабатывались методом щелочного разложения, частицы микропластика идентифицированы на основе визуального анализа и теста с горячей иглой. Наибольшее среднее содержание микропластика выявлено в ЖКТ окуня (2,6 частиц/экз.), минимальное – в плотве и корюшке; в леще микропластик не обнаружен. Обнаруженные частицы были представлены волокнами, преимущественно чёрного и синего цвета. Результаты указывают на возможную связь между типом питания рыб и уровнем загрязнения микропластиком.

Ключевые слова: микропластик, ихтиофауна, Ладожское озеро, водные экосистемы, микропластик в ЖКТ рыб

Исследование микропластика в желудочно-кишечном тракте рыб позволяет оценить уровень загрязнения среды и понять, насколько интенсивно частицы передаются по пищевой цепи. Большинство работ, посвящённых микропластику в ихтиофауне, сосредоточено на морских экосистемах, тогда как пресноводные водоёмы изучены недостаточно [Microplastic … , 2021].

Целью работы было исследование микропластика в ЖКТ рыб Ладожского озера с разным типом питания. Вылов рыбы производился в северной части Ладожского озера, на территории Республики Карелия в июле 2024 г. Было отобрано от 4 до 11 рыб следующих видов: плотва *Rutilus rutilus*, лещ *Abramis brama*, корюшка европейская *Osmerus eperlanus L.,* окунь *Perca fluviatilis*. Рыбу транспортировали в лабораторию в фольге и хранили в морозильной камере. В лаборатории проводилось описание морфометрических характеристик образцов и последующее препарирование рыбы с извлечением желудочно-кишечного тракта. ЖКТ рыб растворяли с использованием 10 % раствора KOH при температуре 55 °C в сушильном шкафу, после чего промывали пропиловым спиртом для удаления излишних жиров на основе методик [Microplastics … , 2016; A high-performance … , 2017]. Нерастворенный остаток из ЖКТ анализировался под оптическим микроскопом, фиксировалось количество и морфологические характеристики (размер, форма, цвет) частиц, визуально идентифицируемых как микропластик по отсутствию клеточной структуры и цвету. В качестве дополнительного метода идентификации частиц микропластика использовался метод горячей иглы *(hot needle test*), основанный на термическом воздействии на частицы [Guide … , 2015]. Для учета внешнего загрязнения микропластиком в период препарирования рыбы на рабочем месте ставили 2 чистые чашки Петри с небольшим количеством дистиллированной воды. На всех последующих этапах анализа вместе с пробами обрабатывали 3 холостые пробы на партию рыб аналогичным методом.

После вычета внешнего загрязнения, наибольшее содержание микропластика было зафиксировано в окуне (2,6±2 частиц/экз.), что, вероятно, обусловлено его хищническим типом питания и передачей частиц по пищевой цепи. Концентрации микропластика в плотве и корюшке оказались ниже – 0,6±0,8 частиц/экз. и 0,8±2,2 частиц/экз., соответственно, что может быть связано с тем, что микропластик попадает в ЖКТ не по трофической цепи,

а при случайном заглатывании, когда рыбы ошибочно принимают его за еду. В леще, являющемся бентофагом, микропластик был не обнаружен, что требует дальнейшего изучения с увеличением выборки. Все обнаруженные частицы были волокнами, преимущественно черного и синего цвета. Преобладали частицы наименьшего исследуемого размерного диапазона – 100–1000 мкм.

Благодарности. Работа Д. А. Тихоновой выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН (тема FFZF-2024-0002 «Современные угрозы водным объектам и инновационные методы их сохранения, восстановления и рационального использования»). Работа К. М. Зариповой выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (2024–2026 гг.) (Регистрационный номер: 124030100127-7). Авторы благодарят С. Г. Каретникова, ст. науч. сотр. ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН, за помощь с отбором материала и Карельский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КарелНИРО») за предоставление разрешения на вылов рыбы.

Список литературы

A high-performance protocol for extraction of microplastics in fish / A. Karami, A. Golieskardi, C. K. Choo [et al] // Science of the Total Environment. 2017. Vol. 578. P. 485–494. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.213

Guide to Microplastic Identification. Marine & Environmental Research Institute, 2015. 13 p.

Microplastic pollution in perch (*Perca fluviatilis* Linnaeus 1758) from Italian south-alpine lakes / S. Galafassi, M Sighicelli., A. Pusceddu [et al.] // Environmental Pollution. 2021. Vol. 288. Art. 117782. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117782

Microplastics in seafood: benchmark protocol for their extraction and characterization / A. Dehaut, A. L. Cassone, L. Frère [et al.] // Environmental Pollution. 2016. Vol. 215. P. 223–233. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.05.018

УДК 561.232:502

ЦИАНОБАКТЕРИИ В ПЛАНКТОНЕ И ОСАДКАХ ОЗЕРА БАЙКАЛ

И. В. Тихонова[1]*, А. П. Федотов[1], А. Ю. Краснопеев[1], Е. Г. Сороковикова[1], С. А. Потапов[1], Г. В. Кан[1], Ю. Р. Небесных[1], М. Ю. Суслова[1], А. В. Ломакина [1], М. Р. Кабилов[2], С. Ли[3], О. И. Белых[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]ЦКП «Геномика» СО РАН (Россия, 630090, Новосибирск, просп. Ак. Лаврентьева, 8)
[3]Институт городской среды Китайской академии наук
(Китай, 361021, *Сямынь, Джимей-роуд, 1799)*
**Автор для переписки: iren@lin.irk.ru*

Аннотация. Озеро Байкал, несмотря на свою олиготрофность, давно сталкивается с появлением токсичных цианобактерий в планктоне и бентосе. Впервые выполнено исследование разнообразия токсин-продуцирующих цианобактерий в планктоне и осадках озера, которое демонстрирует не только настоящую картину цветения, но и позволяет оценить комплекс видов цианобактерий, развивающихся в прошлом. Изучены современные цветения планктона разных участков озера – прибрежной зоны пос. Турка, пос. Большие Коты, зал. Мухор и Посольский сор, поверхностных слоев пелагиали Листвянка – Танхой и осадки зал. Мухор. Видовой состав документирован с помощью цианоспецифичных праймеров и подтверждает ранние микроскопические и молекулярно-биологические исследования. Токсин-продуцирующие филы цианобактерий выявлены с помощью праймеров к участку гена микроцистинсинтетазы. Гены синтеза микроцистина содержали три таксономические группы: продуценты клады *Anabaena*/*Dolichospermum*; продуценты *Microcystis* spp. и группа неопределенных бентосных продуцентов микроцистина. Исследования палеоДНК залива демонстрируют летопись цветений микроцистин-продуцирующих цианобактерий родов *Dolichospermum* и *Microcystis* в течение нескольких столетий. Данные анализа рибосомных и функциональных генов не всегда совпадают, что может свидетельствовать о разной сохранности ДНК. Результаты демонстрируют потенциал для использования праймеров к генам микроцистинсинтетазы для ретроградного анализа экологических событий.

Ключевые слова: цианобактерии, цветения, микроцистин, палео-ДНК, высокопроизводительное секвенирование

Считается, что вредоносные цианобактериальные цветения воды тесно связаны с изменением климата [Griffith, Gobler, 2020]. Для оз. Байкал ранее приводились данные о массовом развитии вредоностных цианобактерий [Токсин-продуцирующие … , 2020]. Существенным фактором, влияющим на экосистему водоемов, кроме климатического, считается хозяйственная деятельность человека [Paerl, 2017]. Залив Мухор является хорошо известным местом цветения микроцистин-продуцирующих цианобактерий [Toxic … , 2023]. Поверхностный сток воды может приводить к повышению концентрации биогенов, стимулируя развитие цианобактерий. Для понимания того, как происходит смена цианобактериальных сообществ, очень полезен ретроградный анализ, поскольку процессы, происходящие в планктоне, тесно связаны с осадконакоплением. Донные отложения озер образуются из осевших минеральных и органических частиц и из микроорганизмов, участвующих в деструкции органики.

Целью работы является установление видового состава цианобактерий в планктоне и осадочных накоплениях залива Мухор с последующей хронологической датировкой возраста осадконакоплений. Отбор проб планктона озера и осадочного керна в заливе Мухор проведен в июле и августе 2019 г. с НИС «Папанин» и «Титов». Для выделения ДНК отбирали осадки от поверхностного слоя до 20 см, и древний слой 35–36 см (всего 12 образцов).

Ампликоны для высокопроизводительного секвенирования готовили с помощью ПЦР. Для амплификации 16S ДНК цианобактерий использовали праймеры CYA359F/CYA781R [Nubel, Garcia-Pichel, Muyzer, 1997], для фрагмента микроцистинсинтетазы – hepF/hepR [Jungbut, Neilan, 2006]. Секвенирование проводили в ЦКП «Геномика».

Все образцы продемонстрировали положительный ПЦР-сигнал на присутствие цианобактериальной ДНК. В комбинациии с праймерами к микроцистинсинтетазе показано, что в планктоне прибрежья пос. Б. Коты, Турка и в заливе Мухор в настоящее время развиваются потенциально токсичные цианобактерии. В прибрежной зоне поселков Б. Коты и Турка видовой состав сообщества цианобактерий отличался от залива Мухор отсутствием *Microcystis* (Большие Коты) и присутствием значительного количества бентосных цианобактерий, по-видимому, попавших в планктон перемешиванием (Турка). В Посольском соре не был выявлен маркерный ген синтеза гепатотоксинов, несмотря на цветение *Gloeotrichia echinulata*. В осадках залива Мухор микроцистин-продуцирующие *Dolichospermum* spp. представлены практически непрерывно до 16 см, а с 15 см и глубже ген синтеза микроцистина принадлежит *Microcystis* spp. Считается, что повышенная температура и высокое содержание азота и фосфора приводят к доминированию токсичных *Microcystis* spp., а более низкое содержание биогенов и температура около 17–20 °С благоприятсвует развитию видов рода *Dolichospermum* [Paerl, 2017]. Интересен факт, что несмотря на отсутствие специальных покоящихся форм, цианобактерии рода Microcystis хорошо сохранились в древних осадках озера.

Таким образом, ДНК цианобактерий сохраняется в осадках оз. Байкал, а праймеры к участку гена микроцистинсинтетазы могут быть успешно использованы для летописи цветения токсичных цианобактерий. Полученные данные позволяют предполагать, что периоды интенсивного цветения цианобактерий были в оз. Байкал и ранее и эти события не связаны с антропогенной нагрузкой.

Благодарности. Финансирование работы осуществлялось за счет бюджетного финансирования по проектам № 0279-2021-0015 и 0279-2021-0005.

Список литературы

Токсин-продуцирующие цианобактерии в озере Байкал и водоёмах Байкальского региона / О. И. Белых, И. В. Тихонова, А. В. Кузьмин [и др.] // Теоретические проблемы экологии. 2020. № 1. С. 21–27.

Griffith A. W., Gobler G. J. Harmful algal blooms: a climate change co-stressor in marine and freshwater ecosystems // Harmful Algae. 2020. Vol. 91. Art. 101590. DOI: 10.1016/j.hal.2019.03.008

Jungblut A. D., Neilan B. A. Molecular identification and evolution of the cyclic peptide hepatotoxins, microcystin and nodularin, synthetase genes in three orders of cyanobacteria // Archives of Microbiology. 2006. Vol. 185, N 2. P. 107–114. DOI: 10.1007/s00203-005-0073-5

Nübel U., Garcia-Pichel F., Muyzer G. PCR primers to amplify 16S rRNA genes from cyanobacteria // Applied and Environmental Microbiology. 1997. Vol. 63. P. 3327–3332.

Paerl H. W. Controlling cyanobacterial harmful blooms in freshwater ecosystems // Microb Biotechnol. 2017. Vol. 10. P. 1106–1110. DOI: 10.1111/1751-7915.12725

Toxic cyanobacteria bloom of Mukhor Bay (Lake Baikal, Russia) during a period of intensive anthropogenic pressure / I. Tikhonova, A. Kuzmin, G. Fedorova [et al.] // Aquatic Ecosystem Health & Management. 2023. Vol. 4 (25). P. 85–97. DOI: 10.14321/aehm.025.04.85

УДК 57.087.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКШН-КАМЕР ДЛЯ АНАЛИЗА ОБИЛИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗООПЛАНКТОНА

А. П. Толомеев[1,2], Е. С. Задереев[1,2], А. В. Дроботов[1], Д. Д. Яскеляйнен[2]*

[1]Институт биофизики СО РАН (Россия, 660036, Красноярск, ул. Академгородок, 50/50)
[2]Сибирский федеральный университет (Россия, 660041, Красноярск, пр-т Свободный, 79)
**Автор для переписки: dyaskelyaynen@sfu-kras.ru*

Аннотация. Целью работы являлось тестирование возможностей современных экшн-камер для автоматизированного анализа зоопланктона и разработка недорогого подводного устройства для проведения наблюдений *in situ*. Установлено, что камеры GoPro обеспечивают достаточное качество изображений для классификации зоопланктона на уровне крупных таксонов и регистрации флуоресцентного сигнала от микроводорослей в пищеварительном тракте организмов. На основе полученных данных разработано устройство ZooFluobox, позволяющее вести видеозапись внутри проточной камеры при контролируемом освещении. Устройство обеспечивает получение количественных и качественных характеристик зоопланктона в естественных и лабораторных условиях.

Ключевые слова: подводная съемка, флуоресценция, стереоскопическая система, зоопланктон

Классические гидробиологические методы изучения зоопланктона, включающие отбор проб с помощью планктонных сетей и батометров, остаются трудоёмкими, требуют высокой квалификации исследователей и значительных временных затрат. В последние десятилетия отмечается рост интереса к автоматизации данного процесса с применением как лабораторных установок, так и подводных аппаратов [Globally … , 2019]. Существенный прогресс в области цифровых технологий, фото- и видеосъёмки, а также развитие алгоритмов машинного обучения стимулировали создание новых инструментальных решений [Underwater … , 2024]. Несмотря на то что текущие автоматизированные системы пока не позволяют точно определять видовую принадлежность зоопланктеров, их классификация на уровне крупных таксонов (копеподы, кладоцеры, коловратки) уже является реализуемой задачей.

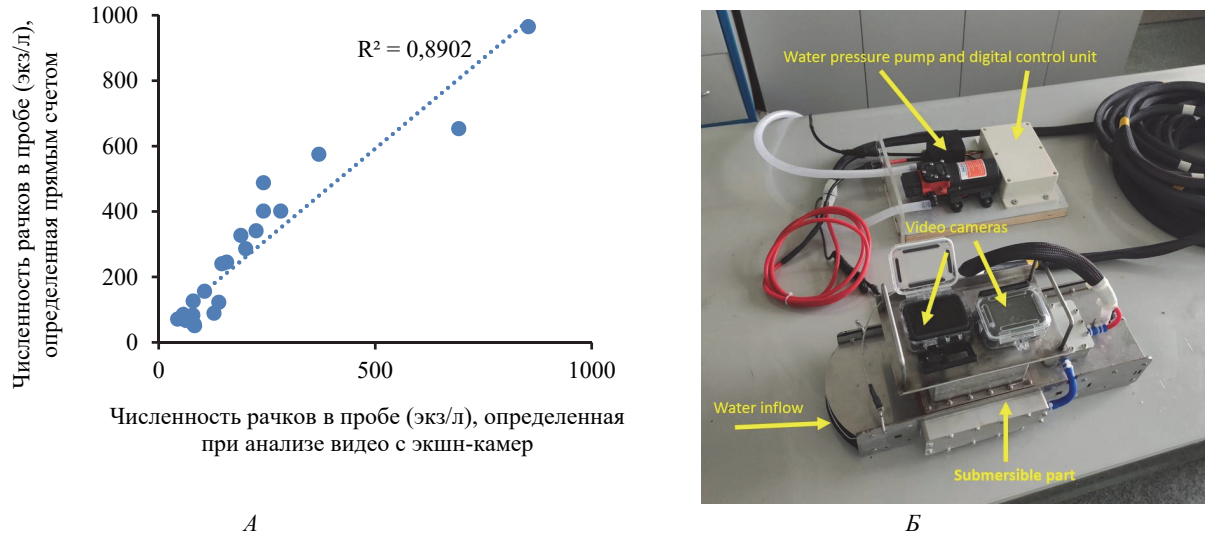
Важным ограничением широкого внедрения таких систем остаётся их высокая стоимость, однако наблюдается тенденция к разработке недорогих альтернативных решений [Lertvilai, 2020]. Мы оценили возможности современных экшн-камер (GoPro 9 и 11) для автоматизированного анализа зоопланктона. Тестирование показало, что при съёмке в режиме 4K 60 к/с с внешней макролинзой достигается разрешение 26 мкм/пиксель, что позволяет идентифицировать объекты размером около 1 мм, проводить их таксономическую классификацию и определять численность (рис., *А*). Объём водной пробы в фокусе камеры составляет ~300 мл.

Кроме того, камеры показали достаточную светочувствительность для регистрации флуоресцентного сигнала, возникающего за счёт присутствия микроводорослей в пищеварительном тракте зоопланктеров. Такой подход даёт возможность оценивать физиологическое состояние объектов, их трофические связи, а также определять жизнеспособность особей.

Для полноценного использования экшн-камер в подводных условиях нами разработано устройство ZooFluoBox (рис., *Б*) – компактная подводная установка с возможностью видеозаписи внутри проточной камеры. Устройство может оснащено одной или двумя камерами, светодиодной подсветкой и оптическими фильтрами для возбуждения и регистрации флуоресценции. ZooFluobox позволяет проводить профилирование численности и флуоресценции зоопланктона на глубинах до 60 м (ограничение определяется характеристиками подводных боксов).

В отличие от существующих коммерческих систем (UVP, ISIIS) и уникальных разработок (FIDO, VPR, ZOOVIS-SC), ZooFluobox обеспечивает контролируемые условия съёмки, снижая влияние турбулентности и нестабильного освещения. В сравнении с лаборатор-

ными системами (FlowCam, Zooscan), предлагаемый подход обеспечивает *in situ* анализ с возможностью регистрации физиологических параметров организма. Таким образом, ZooFluobox представляет собой перспективное направление для расширения доступности и функциональности автоматизированных средств изучения зоопланктона.



А *Б*

Рис. *А* – оценка точности определения численности зоопланктона с помощью проточной видеосистемы ZooFluoBox. Эксперимент выполнен с использованием ветвистоусого рачка *Moina macrocopa.* Из лабораторной накопительной культуры, развивающейся в благоприятных условиях (объем среды культивирования 10 литров, освещенность 16 свет: 8 ч темнота, температура 24 °С), после тщательного перемешивания отбирали 1 л воды. Весь объем воды пропускали через систему ZooFluoBox для записи видео и последующей оценки численности рачков. После записи рачки из пробы были отфильтрованы, зафиксированы и подсчитаны под бинокуляром. Синяя пунктирная линия – линейная регрессия ($t = 16{,}57$, $p < 0{,}001$). *Б* – общий вид погружной системы ZooFlouBox, использующей экшн-камеры для видеосъемки зоопланктона

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 23-24-00270).

Список литературы

Globally consistent quantitative observations of planktonic ecosystems / F. Lombard, E. Boss, A. M. Waite [et al.] // Frontiers in Marine Science. 2019. Vol. 6 (196). DOI: 10.3389/fmars.2019.00196

Lertvilai P. The In situ Plankton Assemblage eXplorer (IPAX): An inexpensive underwater imaging system for zooplankton study // Methods in Ecology and Evolution. 2020. Vol. 11, N 9. P. 1042–1048. DOI: 10.1111/2041-210X.13441

Underwater video imaging systems to study zooplankton abundance and diversity: challenges and opportunities / A. P. Tolomeev, E. S. Zadereev, A. V. Drobotov, D. D. Yaskelyaynen // J. Sib. Fed. Univ. Biol. 2024. Vol. 17, N 4. P. 420–437.

УДК 556.551:556.322.2

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИНТЕРСТИЦИАЛЬНЫХ ВОД ЗАПЛЕСКОВОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ

И. В. Томберг*, Е. В. Елецкая

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: kaktus@lin.irk.ru*

Аннотация. Представлены данные многолетних (2011–2024 гг.) исследований химического состава интерстициальных вод зоны заплеска оз. Байкал. Отмечено, что в июне концентрации основных ионов и соединений азота и фосфора в основном выше, чем в сентябре. Выделены районы озера, где наблюдаются стабильно высокие концентрации исследованных компонентов в интерстициальной воде и в июне, и в сентябре. Все эти районы находятся в границах населенных пунктов, максимальные концентрации регистрировали в поселках Листвянке, Култуке, Большом Голоустном, Максимихе и городах Слюдянке и Северобайкальске.

Ключевые слова: Байкал, заплесковая зона, интерстициальные воды, ионный состав, биогенные элементы

Термин «заплесковая зона» широко используется в литературе по морскому зонированию побережья и обозначает часть литорали, подверженной влиянию волн и брызг [Литоральная … , 1975]. Эта зона является наиболее индикаторной, «быстро и чутко» реагирующей на антропогенные изменения экосистемы водоема. Изучение этой части экосистемы Байкала, как важной составляющей прибрежной зоны озера, весьма актуально и представляет, как научный, так и практический интерес. На побережье озера расположены многочисленные поселки, гостиницы и турбазы, именно здесь наблюдаются максимальные скопления бытового мусора. Грунты прибрежной и заплесковой зоны являются своеобразным буфером, фильтром, защищающим озеро от поступления загрязняющих компонентов, однако, их фильтрационная способность ограничена.

Регулярные исследования зоны заплеска на Байкале начаты в 2010 г. одновременно с изучением причин кризисных явлений в литеральной зоне озера, таких как массовое развитие чужеродных нитчатых водорослей, гибель губок, процветание цианобактерий и др. [First … , 2016; Rapid … , 2016; Baikal … , 2021]. Предполагается, что основная причина экологических изменений – увеличение поступления биогенных элементов (в первую очередь, азота и фосфора) с берега в связи с массовым развитием на озере туристической инфраструктуры при полном отсутствии возможностей по переработке и очистке хозяйственно-бытовых стоков. Исследования проводились два раза в год (июнь, сентябрь) на постоянных станциях, расположенных по всему периметру озера как в чистых (заповедных) районах, так и в населенных пунктах и туристических центрах (рис.). Воду на химический анализ отбирали из лунок, выкопанных на пляжах, примерно в 1 м выше уреза воды. Измерения (основные ионы, соединения азота и фосфора) выполняли в фильтрованной через мембранный фильтр ($d_{пор}$ = 0,45 мкм) воде общепринятыми в гидрохимии пресных вод методами [Аналитические … , 2017].

Анализ полученных данных показал, что **суммарное содержание ионов** в интерстициальных водах байкальских пляжей изменялось в широких пределах, от 75 до 1200 мг/л (рис.). Максимальные величины наблюдались на южном побережье озера в районе г. Слюдянка и пос. Култук, на западном побережье от пос. Большого Голоустного до о. Ольхон (станции 9, 10, 11) и в районе г. Северобайкальска (станции 16, 17). В июне при низком уровне воды в озере концентрации ионов в воде лунок, в основном, выше, что связано с поступлением в зону заплеска грунтовых вод.

Содержание **фосфатного фосфора** в интерстициальной воде в период исследований изменялось от нулевых значений до 170 мкг/л. В основном, повышенные значения $P_{мин}$ в

воде лунок наблюдались в июне и являлись результатом разложения переотложенного на берегу дейтрита. Высокие концентрации фосфатов, отмеченные в сентябре для пляжей в поселках Култуке, Листвянке, Большом Голоустном и г. Северобайкальске, указывают на антропогенное загрязнение побережья этих районов (рис.).

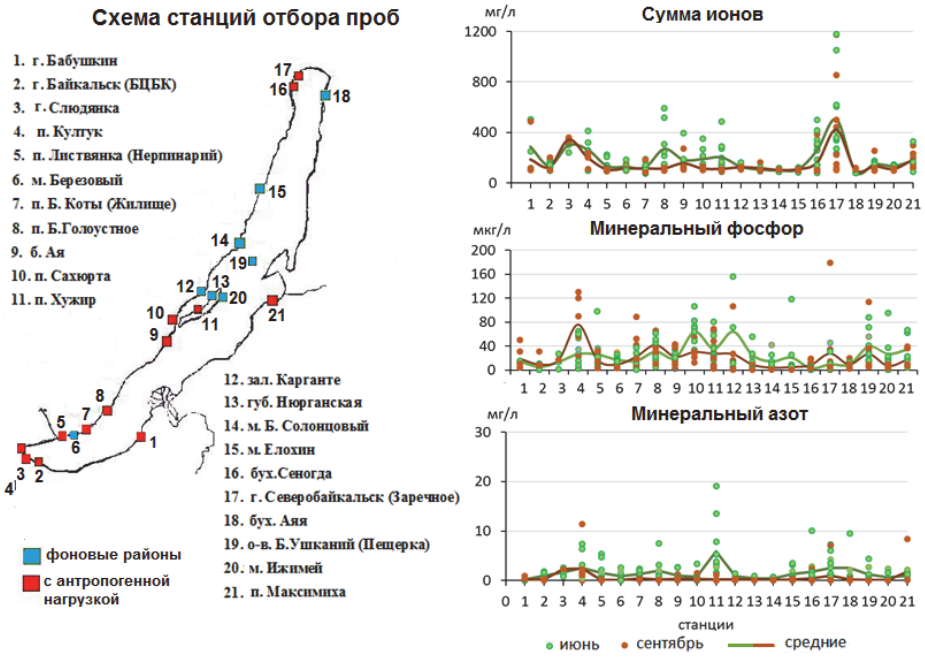


Рис. Схема отбора проб и содержание химических компонентов в интерстициальной воде в июне и сентябре 2011–2024 гг.

Суммарное содержание **минеральных форм азота** (аммонийной, нитратной и нитритной) в интерстициальной воде варьировало от 0,02 до 19 мг/л в июне и от 0,01 до 11 мг/л в сентябре (см. рис.). В июне на 25–30 % пляжей в интерстициальной воде доминировал азот в аммонийной форме в достаточно высоких концентрациях (до 12 мг/л). В воде лунок на остальных пляжах в июне и практически на всех в сентябре в воде преобладал нитратный азот. Исключение составляют пляжи в районе г. Северобайкальска (станции 16, 17), где круглогодично в интерстициальной воде преобладает аммонийный азот, что обусловлено разложением органики в анаэробных условиях, под постоянно присутствующими на побережье скоплениями разлагающегося детрита. Кроме Северобайкальска высокие значения минерального азота в интерстициальных водах регистрировали на пляжах в районах Култука, Листвянки, Хужира и Максимихи (см. рис.).

Благодарности. Авторы благодарят команду НИС «Академик В. А. Коптюг» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала») за помощь в отборе образцов. Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 121032300180-7.

Список литературы:

Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / под ред. П. А. Лозвика, Н. А. Ефременко. СПб. : Нестор-История, 2017. 272 с.

Литоральная зона Онежского озера / под ред. И. М. Распопова. Л. : Наука, 1975. 244 с.

Baikal endemic sponge disease and anthropogenic factor / O. Maikova, N. Bukshuk, L. Kravtsova [et al.] // IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 937: 022071. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022071

First detection of benthic cyanobacteria in Lake Baikal producing paralytic shellfish toxins / O. I. Belykh, I. V. Tikhonova, A. V. Kuzmin [et al.] // Toxicon. 2016. Vol. 121. P. 36–40. DOI: 10.1016/j.toxicon.2016.08.015

Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? / O. A. Timoshkin, D. P. Samsonov, M. Yamamuro [et al.] // J. Great Lakes Res. 2016. Vol. 42. P. 487–497. DOI: 10.1016/j.jglr.2016.02.011

УДК 502.3:504.37:504.453

СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ И ВОДЕ ПРИТОКОВ НА ТЕРРИТОРИИ БАЙКАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

И. В. Томберг*, О. Г. Нецветаева

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: kaktus@lin.irk.ru*

Аннотация. Оценено влияние закисленных атмосферных выпадений на химический состав низкоминерализованных вод рек Переемная и Мишиха, протекающих по территории Байкальского биосферного заповедника. Установлены различия в ионном составе снежного покрова в верховьях и на устьевых участках исследуемых рек. Получено, что благодаря наличию карбонатных пород на водосборе вода р. Мишихи устойчива к влиянию кислых атмосферных выпадений. Показано, что вода р. Переемной с крайне низкой минерализацией подвержена воздействию кислотных выпадений, что проявляется в постепенном снижении ее кислотнейтрализующей способности. За последние 30 лет концентрации сульфатов в снежном покрове на территории заповедника снизились, нитратов – возросли.

Ключевые слова: снежный покров, речные воды, ионный состав, pH, закисление

Чувствительность снежного покрова к изменению уровня антропогенной нагрузки позволяет оценить с его помощью влияние атмосферных выпадений на химический состав почв и поверхностных вод. После закрытия в 2013 г. Байкальского целлюлозно-бумажного комбината основными источниками загрязнения снежного покрова в бассейне Южного Байкала являются котельные населенных пунктов, железная дорога, федеральная автотрасса, а также выбросы Иркутско-Ангарского промышленного комплекса, поступающие по долине р. Ангары.

Цель работы: на основе многолетних наблюдений (2018–2024 гг.) оценить влияние атмосферных выпадений на формирование химического состава вод рек Переемной и Мишихи, бассейны которых расположены на территории Байкальского заповедника.

Снежный покров отбирали в конце зимнего периода (март) по всей глубине его залегания в верхнем и нижем течениях рек. Пробы речной воды собирали на устьевых участках 4 раза в год в разные гидрологические сезоны. Химико-аналитические исследования выполнены по методикам и руководящим документам, общепринятым в гидрохимии пресных вод суши и используемых при проведении мониторинга снежного покрова.

Исследования химического состава ***снежного покрова*** на территории Байкальского заповедника выявили низкое суммарное содержание основных ионов – до 6 мг/л. Минимальные значения (1,8–3,0 мг/л) определены в верхнем течении р. Переемной. В верховьях исследуемых рек закономерности в распределении относительных концентраций ионов в составе снежного покрова подобны, главные ионы – NO_3^- и Ca^{2+}. На устьевых участках рек обработка пересекающей их автодороги антигололедным раствором приводит к заражению снежного покрова NaCl на значительной площади. Так, в составе проб снега, отобранного в устье Переемной на расстоянии более 300 м от дороги, ежегодно эти ионы присутствуют в значительном количестве – NO_3^-(21,3 %), **Cl^-(15,1 %), Na^+(16,7 %)** и Ca^{2+}(16,0 %). В устье Мишихи сумма ионов в среднем составляет 4,0±0,3 мг/л, что в 1,5 р ниже, чем в устье Переемной. Ионы, определяющие минерализацию здесь – NO_3^-(27,1 %), SO_4^{2-}(17,0 %), H^+(17,4 %) и Ca^{2+}(17,2 %). Снежный покров на устьевых участках рек в сравнении с высокогорьем различается преимущественно большими в 2 раза концентрациями нитратов (до 2,29±0,45 мг/л), отношение эквивалентных концентраций SO_4^{2-}/NO_3^- варьирует в диапазоне 0,55–0,63, указывая на ведущую роль нитратов в кислотности снеговых вод.

В снежном покрове р. Мишихи определены минимальные величины отношения эквивалентных концентраций основных катионов и анионов, участвующих в подкислении и нейтрализации кислотности основных анионов (К/А=0,7±0,2) и pH=4,70±0,15. Потенциальная кислотность выше в снежном покрове на устьевых участках обеих рек с максимумом в бассейне р. Переемной (pAi=4,25±0,08). Сравнение наших материалов с данными 1987–1993 гг. [Убрановичене, Убранавичюс, Ходжер, 1998] показало, что за 30 лет в снежном покрове заповедника концентрации сульфатов на водосборе Переемной уменьшились на 30 %, Мишихи – на 56 %. Содержание нитратов, наоборот, возросло – в бассейне Переемной в 2,3 раза, Мишихи – в 1,3 раза.

В таблице представлена сезонная динамика содержания некоторых компонентов в ***воде исследованных рек***. Так как их питание в основном атмосферное, то содержание ионов в воде и общая минерализация крайне низкие. В период наблюдения сумма ионов в воде р. Переемная не превышала 34 мг/л, а в воде р. Мишихи, площадь водосборной территории которой в 2 раза больше, эта величина в два раза выше (табл.). Минимальные значения регистрировали весной в период снеготаянья и летом при дождевых паводках. В это же время наблюдали минимальные значения pH речной воды.

Таблица. Сезонная динамика содержания химических компонентов в воде рек, 2017–2024 гг.

		Переемная				Мишиха			
		зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
pH	ед. pH	6,4–6,8	6,0–6,5	6,3–7,1	6,4–7,1	7,5–7,6	7,0–7,3	7,1–7,6	7,1–7,4
Сумма ионов	мг/л	28,2–33,8	19,0–26,1	21,2–32,9	25,9–32,2	59,0–61,9	47,5–48,0	52,6–57,3	52,7–36,8
SO_4^{2-}		11,8–14,4	7,0–8,1	10,3–15,7	11,6–15,4	6,7–8,3	5,9–6,1	6,4–8,1	7,1–7,6
HCO_3^-		7,4–10,1	5,7–11,1	4,8–8,7	6,1–9,4	35,9–36,6	24,3–26,1	31,3–34,8	30,9–34,1
NO_3^-		0,72–1,05	0,7–1,6	0,37–0,57	0,40–0,61	0,69–0,82	0,57–0,93	0,29–0,35	0,44–0,53
Ca^{2+}		5,1–6,9	3,7–5,0	3,9–5,7	4,4–5,9	12,5–13,4	8,7–9,0	9,6–10,5	10,2–10,6
Mg^{2+}		0,62–1,10	0,39–0,72	0,64–1,30	0,80–1,11	1,10–1,23	0,97–1,00	1,00–1,30	1,00–1,18

Несмотря на близкие климатические условия и состав атмосферных осадков по относительному содержанию ионов воды рек существенно различаются. Воды Переемной – сульфатно-кальциевые, а в составе воды Мишихи доминируют гидрокарбонат и кальций. Концентрации сульфатов в воде Переемной в 2 раза выше, а гидрокарбонатов – в 3–4 раза ниже, чем в воде Мишихи (табл.). Причина такой разницы – наличие в бассейне Мишихи щелочных карбонатных пород [Аксенов, Сарелайнен, 2013], растворение которых нейтрализует влияние кислых атмосферных осадков, увеличивая минерализацию речных вод. Содержание нитратов в воде Переемной выше, чем в Мишихе. Максимальные концентрации этого компонента в воде рек наблюдали весной. В воде р. Переемной концентрации нитратов в мае поднимались до 1,6 мг/л, в р. Мишихе – до 0,93 мг/л (табл.).

Накопление в воде р. Переемной кислотообразующих компонентов (SO_4^{2-} и NO_3^-), поступающих в русло реки с атмосферными осадками, привело к снижению устойчивости ее вод к закислению. По сравнению с 1960 гг. кислото-нейтролизующая способность вод реки в среднем снизилась в 2 раза (с 220 до 120 мкг-экв/л), достигая критических значений (до 39 мкг-экв/л) весной [Snow … , 2021]. Для вод р. Мишихи эта величина в настоящий период варьирует от 508 до 689 мкг-экв/л, что характеризует ее как устойчивый к закислению водоем.

Благодарности. Авторы благодарны сотрудникам Байкальского заповедника за помощь в отборе снега. Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0279-2021-0014.

Список литературы

Аксенов В. Н., Сарелайнен Б. В. Структура участка Горелый (Хамар-Дабан) и его рудоносность // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН. 2013. № 1(42) С. 57–62.

Убранавичене И. Н., Убранавичюс Г. П., Ходжер Т. В. Мониторинг загрязнения атмосферных осадков в Байкальском биосферном заповеднике // Проблемы экологического мониторинга. Байкальск : Ин- экол. токсикологии, 1998. С. 181–187.

Snow cover as a factor of impact on the chemical composition of the Pereemnaya River water (South- Eastern coast of Baikal) / L. M. Sorokovikova, O. G. Netsvetaeva, I. V. Tomberg, Y. V. Molozhnikova // Proceedings of SPIE. 2021. 11916. P. 1–8.

УДК 504.453:771.712:579.63:574.24

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕКИ ВЕРХНЕЙ АНГАРЫ И ЕЕ ПРИТОКОВ

И. В. Томберг*, О. Г. Степанова, М. Ю. Суслова, С. С. Воробьева

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: kaktus@lin.irk.ru*

Аннотация. Представлены результаты гидрохимических и гидробиологических исследований проводимых в бассейне р. Верхней Ангары и на притоках Северного Байкала. Отмечено 4-кратное увеличение минерализации воды В. Ангары от истоков к устью в результате поступления вод притоков с высокой минерализацией. По сравнению с предыдущими исследованиями зарегистрировано обогащение вод исследованных водотоков микроэлементами. При этом в воде отдельных рек зафиксировано превышение нормативов по меди, молибдену, железу и марганцу. Определение санитарных групп микроорганизмов показало тренд на улучшение качества речных вод.

Ключевые слова: Верхняя Ангара и притоки, ионный состав, биогенные элементы, микрокомпоненты, фитопланктон, санитарно-показательные микроорганизмы

Река Верхняя Ангара – второй по водности приток оз. Байкал. Основными источниками загрязнения водотоков в бассейне реки являются железнодорожная ветка Байкало-Амурской магистрали (БАМ) и дублирующая ее автодорога. С 2021 г. в регионе проводятся работы по строительству второй железнодорожной ветки, что предусматривает добычу камня и песчано-гравийной смеси для отсыпки полотна, строительство мостов через водотоки. Кроме карьеров по добыче стройматериалов в верховьях некоторых притоков ведутся работы по извлечению золота. Еще один источник, оказывающий влияние не только на динамику водного стока северных рек, но и на содержание химических компонентов в воде притоков это вытаивание льда в деградирующих многолетнемерзлых породах. При этом в русло рек поступает большое количество обогащённого органикой терригенного материала. Исследования, проводимые в 2012 г., показали превышение ПДК по меди, марганцу и молибдену в воде р. В. Ангары и ее притоков. Кроме того, регистрировали неудовлетворительное качество воды рек по санитарно-микробиологическим показателям, что обусловлено поступлением в русло рек хозяйственно-бытовых стоков поселков, расположенных в их бассейнах.

В июле 2024 г. были отобраны пробы воды р. В. Ангары на трех участках по длине реки: В.А.1 – верховья реки (350 км от устья); В.А.2 – средний участок реки в районе пгт. Новый Уоян (130 км от устья); В.А.3 – устьевой участок в районе пос. Большая Заимка (18 км от устья). Для исследования также были взяты пробы воды притоков В. Ангары (реки Ангаракан, Янчукан, Янчуй, Гонкули и Котера) и проведен отбор образцов на устьевых участках притоков Байкала – реках Кичера, Холодная, Тыя и Рель.

Цель работы – дать современную гидрохимическую и гидробиологическую характеристику вод р. В. Ангары и ее притоков и сравнить с данными, полученными для этих водотоков ранее.

Исследования на реках проходили в меженных условиях, однако высокие температуры воздуха в июне-июле 2024 г. стали причиной более высоких, чем в 2012 г. значений температуры речной воды (до 24,4 °С). При этом насыщение речных вод кислородом остовалось высоким –95–145 %. Воды р. В. Ангары и исследованных притоков имели схожий относительный ионный состав и относились к гидрокарбонатно-кальциевым. Минерализация воды р. В. Ангары возрастала от верховий к устью от 17,6 до 72,5 мг/л, в результате впадения более минерализованных притоков. По сравнению с июлем 2012 г. отмечено значительное увеличение содержания основных ионов (более чем в 2 раза) в воде некоторых притоков (Янчуй, Котера) и в среднем течении В. Ангары. По содержанию со-

единений азота и фосфора в июле 2024 г качество воды исследованных притоков, в основном, характеризуется как «предельно чистые» и «чистые» [Комплексная … , 1993]. Воды р. Тыи в нижнем течении по содержанию $P_{общ.}$ относились к классу «умеренной чистоты».

По сравнению с июлем 2012 г. для большинства исследованных рек отмечено обогащение некоторыми микроэлементами (Li, Be, B, Al, Ti, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Sr, Mo, Cd, Sb, W, Pb, Th, U). При этом превышение рыбохозяйственных нормативов зафиксировано по марганцу, железу, меди и молибдену (табл. 1). В июле 2012 г. превышение ПДК по меди регистрировали в воде р. Котеры, по молибдену – в устье В. Ангары, Кичеры и Рели, по марганцу – в воде р. Гонкули.

Таблица 1. Содержание микрокомпонентов (мкг/л) в водах р. В. Ангары и ее притоков, июль 2024 г.

	Ангаракан	В.А.1	Янчукан	Янчуй	Гонкули	В.А.2	Котера	В.А.3	ПДК*
Cu	0,50	0,75	0,31	2,10	0,82	0,20	0,58	1,01	1,0
Mo	1,01	1,23	2,20	1,5	0,74	1,36	0,96	1,65	1,0
Fe	23	76	69	124	127	106	37	104	100
Mn	5,5	5,5	4,0	11,1	11,1	9,6	1,9	0,8	10,0

Примечание: * [Приказ … , 2016]

В июле 2024 г. биомасса и численность фитопланктона в верховьях В. Ангары, и в ее притоках были достаточно низкими. Минимальные значения наблюдали в р. Котере, где биомасса водорослей не превышала 4,8 мг/м^3, а численность 2,8 тыс. кл/л. По длине р. В. Ангары от верховий к устью регистрировали увеличение количественных показателей водорослей: минимальные показатели численности и биомассы фитопланктона отмечались в верховьях реки (В.А.1) – 12,3 тыс. кл/л и 9,8 мг/м^3, соответственно; максимальные значения – на устьевом участке (В.А.3), где численность фитопланктона превышала 4,4 млн кл/л, а биомасса 1 г/м^3.

Исследования в 2024 г. показали, что общее микробное число (ОМЧ) в водах исследуемых притоков снизилась на порядок по сравнению с 2012 г. Определение санитарных групп микроорганизмов также показало тренд на улучшение качества речных вод (табл. 2). Отсутствуют превышения допустимых нормативами показателей в воде рек по *E. coli*, а бактерии рода *Enterococcus* хоть и превышали допустимые значения в ряде рек, однако в основном были ниже, чем в июле 2012 г.

Таблица 2. Численность микроорганизмов в воде В. Ангары и ее притоков

Водоток	ОКБ, КОЕ/100 мл	Органотрофы, КОЕ/ мл		ОМЧ, КОЕ/ мл		*E. coli*, КОЕ/100 мл		Энтерококки, КОЕ/100 мл	
	2024 г.	2012 г.	2024 г.	2012 г.	2024 г.	2012 г.	2024 г.	2012 г.	2024 г.
р. Ангаракан	208	-	260	-	26	-	0	-	**15**
В. А. 1	476	650	365	420	42	28	0	**30**	**16**
р. Янчукан	172	-	224	-	26	-	0	**-**	**31**
р. Янчуй	416	860	473	600	20	22	0	**120**	**17**
р. Гонкули	**900**	472	682	234	44	**243**	72	**18**	**43**
В. А. 2	434	960	260	288	22	18	10	**30**	9
р. Котера	**744**	591	395	372	22	15	0	**40**	9
В. А. 3	**1640**	338	1209	136	40	11	60	0	**42**
Норматив*	**500**					**100**		**10**	

Примечание: * СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности…» для поверхностных вод, ОКБ – обобщенные колиформные бактерии.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0279-2021-0005.

Список литературы

Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / О. П. Оксиюк, В. Н. Жукинский, Л. П. Брагинский [и др.] // Гидробиологический журнал. 1993. № 4. С. 62–76.

Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 дек. 2016 г. № 552 (с изм. на 13 июня 2024 г.)

УДК 603.43:504.45.058

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ (НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА БОЛЬШОЙ УШКАНИЙ)

И. В. Томберг[1]*, Н. А. Бондаренко[1], А. В. Непокрытых[1], А. А. Широкая[1], М. И. Гула[1], В. В. Мальник[1], Р. С. Кривороткин[1], Т. М. Алексеева[1], Е. М. Тимошкина[1], Е. П. Зайцева[2], Е. В. Елецкая[1], О. А. Тимошкин[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2] Байкальский музей СО РАН
(Россия, 664520, Иркутская обл, пос. Листвянка, ул. Академическая, 1)
**Автор для переписки: kaktus@lin.irk.ru*

Аннотация. Представлен механизм постпирогенного эвтрофирования удаленного от других возможных источников антропогенного загрязнения района оз. Байкал. Показано, что поступление после лесного пожара 2015 г. в прибрежную зону о. Большой Ушканий соединений азота, фосфора, калия спровоцировало всплеск развития на мелководье донных макроводорослей и цианопрокариот. Отмирающие и выбрасываемые осенними штормами на берег тонны макроводорослей стали дополнительным источником органического вещества и биогенных элементов, что привело к вторичному загрязнению побережья острова. Через 3–4 года после пожара отмечены изменения в составе прибрежного фитопланктона в сторону доминирования видов типичных для мезо- и эвтрофных водоемов с высоким содержанием органики.

Ключевые слова: лесной пожар, биогенные элементы, бентосные водоросли, фитопланктон, вторичное загрязнение

Пирогенный фактор в последние годы повсеместно становится острой проблемой. Многие исследователи рассматривают пожары как губительный для биоты фактор, приводящий к безвозвратной утере части видов и групп живых организмов, и считают, что, если после действия пожаров восстановление и возможно, для этого требуется продолжительный период времени [Белан, Рыбалова, 2012]. Известно, что последствия крупных лесных пожаров долгое время негативно воздействуют на все компоненты природных экосистем: вызывают загрязнение атмосферного воздуха, почв, поверхностных и подземных вод; меняют облик биогеоценозов и целых ландшафтов [Белан, Рыбалова, 2012]. В течение нескольких лет после пожара регистрируются изменения режима химического стока с пострадавшей территории, усиливаются эрозионные процессы, вследствие разрушения остатков сгоревшей растительной массы в атмосферу выносятся дисперсионные аэрозоли [Украинцев, Плюснин, Чернявский, 2019; Variability … , 2022].

Первичная продукция планктона и бентоса была в центре внимания исследований, проводившихся в прибрежной зоне о. Большой Ушканий с 2016 по 2023 г. после крупного лесного пожара в 2015 г., который затронул примерно 70 % лесных насаждений острова. В 2016 г., всего через год после пожара, на берегах острова были зарегистрированы значительные экологические изменения: повышенные концентрации основных биогенных элементов, в частности фосфора, в поверхностных водах (до 0,050 мг/л $P\text{-}PO_4$), цветение аборигенных донных цианопрокариот и их огромные выбросы, в которых преобладал *Tolypothrix distorta*. В бухте Северная их объем достиг 0,2 т свежей фитомассы, а по периметру береговой линии острова – почти 7 т. Последствия пожара, а именно высокие концентрации биогенных веществ в поверхностных водах, очень низкая, фактически нулевая, прозрачность воды у кромки воды наблюдались и через 3 года после пожара.

Чрезмерный рост водорослей и большие скопления детрита были замечены в некоторых бухтах острова еще летом-осенью 2023 г. Между тем в осенних выбросах в разные годы и в разных заливах преобладали различные группы водорослей: *Nostoc* в 2017–2019 гг., *Cladophora* в 2014 и 2016 гг., нитчатые цианопрокариоты в 2016 г., *Draparnaldioides* в

2023 г. И у *Tolypothrix*, и у *Nostoc* есть гетероцисты, способные усваивать атмосферный азот. Таким образом, интенсивное развитие цианопрокариот, скорее всего, стало результатом избыточного поступления фосфора на прибрежную территорию, а затем и в воду озера. Примечательно, что на расстоянии 1–5 м от береговой линии гидрохимические показатели были в норме.

Через 3–4 года после пожара были отмечены изменения структуры фитопланктона, основу которого в 2018–2019 гг. составляли жгутиковые родов *Chrysochromulina*, *Chrysococcus*, *Glenodinium*, *Chlamydomonas, Monomastix*, представители которых обычны в мелких мезо-эвтрофных водоемах и являются показателями органического загрязнения воды. Перестройка фитопланктона и фитобентоса была вызвана эвтрофикацией после пожара и вторичным загрязнением (деградация береговых скоплений детрита). В 2019–2020 гг. перенос биогенных элементов с берегов начал постепенно снижаться, что позволяет прогнозировать возможное улучшение ситуации. В отличие от изменений, произошедших после пожаров в пресноводных экосистемах Северной Америки [Do lakes … , 2019], последствия пожаров, например, гиперпродукция водорослей, на Байкале наблюдались гораздо дольше, вплоть до 2023 г.

Полученные данные можно рассматривать как модель для изучения воздействия лесных пожаров на прибрежную экологию олиготрофных озер и мониторинга этих процессов.

Благодарности. Авторы благодарят команду НИС «Академик Коптюг» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала») за помощь в отборе образцов. Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 121032300180-7.

Список литературы

Белан С. В., Рыбалова О. В. Анализ влияния лесных пожаров на экологическое состояние водных объектов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы : сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж : Воронеж. ин-т ГПС МЧС России, 2012. Ч. 2. С. 17–19.

Украинцев А. В., Плюснин А. М., Чернявский М. К. Воздействие лесных пожаров на состояние рек Заиграевского района Республики Бурятия // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. С. 14–23.

Do lakes feel the burn? Ecological consequences of increasing exposure of lakes to fire in the continental United States / I. M. McCullough, K. S. Cheruvelil, J.-F. Lapierre [et al.] // Global Change Biology. 2019. Vol. 25, N 5. P. 2841–2854. DOI: 10.1111/gcb.14732

Variability of the Chemical Composition of the Atmospheric Aerosol in the Coastal Zone of the Southern Basin of Lake Baikal (East Siberia, Russia) / L. P. Golobokova, T. V. Khodzher, G. S. Zhamsueva [et al.] // Atmosphere. 2022. Vol. 13, N 7. P. 1–18. DOI: 10.3390/atmos13071090

УДК 556.5(282.256.341)

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА В БАЙКАЛЕ

Е. С. Троицкая*, М. Н. Шимараев, И. А. Асламов

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
** Автор для переписки: elena.troitskaya@lin.irk.ru*

Аннотация. Показано, что в условиях изменения климата интенсивность вертикального турбулентного обмена характеризуется пространственной и временной неоднородностью, обусловленной различиями климатических и метеорологических условий, а также особенностями интенсивности обменных процессов в отдельных котловинах озера. В целом вертикальный профиль коэффициентов вертикального обмена сохраняется. Они понижены в эпилимнионе и придонной области и в несколько раз выше в глубинной зоне. Как и прежде, сохраняется широтное изменение интенсивности вертикального обмена. В Северном Байкале она ниже, чем в Южном и Среднем Байкале. Выявлено, что в глубинной зоне интенсивность вертикального турбулентного обмена стала выше.

Ключевые слова: Байкал, температурная стратификация, турбулентный обмен

Показано, что в условиях изменения климата в отдельных котловинах Байкала наблюдается изменение и интенсивности вертикального водообмена. Так, выявлены значимые увеличения количества и мощности интрузий холодных вод в придонную область Южного Байкала и сокращение запасов тепла в его глубинной и придонной областях в последние 20–30 лет. Усиление прогрева поверхностного слоя воды во всех котловинах, наблюдаемое с 1970 г., смещение сроков периода ледостава и гидрологических сезонов должны оказывать влияние и на интенсивность вертикального турбулентного обмена в период прямой стратификации. В связи с этим целью работы стала оценка интенсивности вертикального обмена в отдельных котловинах Байкала в период прямой стратификации.

Для расчета были использованы данные о температуре воды в июле – ноябре 1996–2022 гг., полученные с глубоководных станций (центральные станции разрезов м. Кадильный – р. Мишиха в Южном Байкале, м. Ухан – м. Тонкий в Среднем и м. Елохин – р. Давше в Северном Байкале). Интенсивность вертикального турбулентного обмена оценивалась по коэффициентам температуропроводности K_z (см^2/с), рассчитанных методом «теплового потока» для периодов июль – август, август – сентябрь, сентябрь – октябрь и октябрь – ноябрь.

Общим для всех котловин и периодов является небольшая величина K_z (до 10–15 см^2/с) в слое эпилимниона с последующим возрастанием в гиполимнионе до 20–70 см^2/с, где наблюдается близкая к нейтральной устойчивость стратификации вод Байкала в течение всего года. В придонной области, в основном, происходит заметное снижение величин K_z до 1–10 см^2/с. Такое вертикальное распределение величин K_z согласуется с результатами определения коэффициентов вертикальной диффузии методами Осборна – Кокса и диссипации энергии за отдельные годы конца XX в. [Deep … , 2000].

Резкие увеличения K_z в глубинной и придонной зонах связаны с повышенной интенсивностью вертикальных процессов в отдельные годы, которые проявили себя и при усреднении величин K_z. В некоторых случаях можно говорить о преобладании того или иного процесса. Так, высокие значения K_z в июле-августе в Северном Байкале на горизонте 400 м и у дна, по-видимому, являются следствием глубинной конвекции и развития интрузий, влияние которых может прослеживаться в придонной области в этой части озера до сентября-октября. Значительные вариации K_z с глубиной в Южном Байкале и увеличение интенсивности вертикального турбулентного обмена в слое 300–1000 м в Среднем Байкале могут быть связаны со сложной динамикой вод в этих частях озера. Полученное вертикальное

распределение K_z в этих котловинах качественно подтверждается результатами исследования распределения концентрации трития в водной толще Байкала [Сойфер, 1970], а также изучения течений в разных районах Байкала [Течения … , 1977].

Анализ величин K_z на границе деятельной и глубинной зон озера (горизонт 250 м), а также в придонной области показывает, что интенсивность вертикального обмена в период прямой стратификации повышена в Южном и Среднем Байкале и понижена в Северном Байкале. Это согласуется с результатами, полученными ранее [Шимараев, Троицкая, Домышева, 2003]. Величины K_z в целом во всех котловинах нарастают от июля к октябрю на границе верхней и глубинной зон и в придонной области.

Полученные нами результаты согласуются с оцененными ранее [Шимараев, Гранин, 1991; Шимараев, Троицкая, Домышева, 2003] для периода открытой воды (июнь – декабрь). Характерные значения K_z по этим данным составили 1–10 $см^2/с$ от поверхности до глубины 25 м, 0,1–1 $см^2/с$ в слое термоклина (25–150 м) и 10–50 $см^2/с$ в слое 200–800 м. Рассчитанные нами величины K_z для глубинной зоны (глубже 200 м) выше, чем полученные ранее по многолетним данным о температуре воды до 800 м [Шимараев, 1977; Шимараев, Гранин, 1991; Physical … , 1994] и ее оценкам по микроструктурным флуктуациям температуры в 1996–1997 гг. [Small-scale … , 2000].

Таким образом, показано сохранение вертикального распределения величин K_z в период прямой стратификации. Они понижены в эпилимнионе (до 10–15 $см^2/с$), возрастают до 20–70 $см^2/с$ в гиполимнионе и снова понижаются в придонной области до 1–10 $см^2/с$. Пространственная неоднородность интенсивности вертикального турбулентного обмена сохраняется и в Северном Байкале она ниже, чем в Южном и Среднем Байкале. Выявлено, что в последние 30 лет величины K_z в глубинной зоне выше, чем в конце XX в.

Благодарности. Авторы благодарят сотрудников лаборатории гидрологии и гидрофизики ЛИН СО РАН за полученные в экспедициях материалы наблюдений. Исследование выполнено в рамках гос. темы ЛИН СО РАН 0279-2021-0004.

Список литературы

Сойфер В. Н. Применение изотопного метода при изучении процессов водообмена на озере Байкал // Тр. ЛИН СО АН СССР. 1970. Т. 14 (34). С. 146–153.

Течения в Байкале. Новосибирск : Наука, 1977. 160 с.

Шимараев М. Н. Элементы теплового режима озера Байкал. Новосибирск : Наука, 1977. 150 с.

Шимараев М. Н., Гранин Н. Г. К вопросу о стратификации и механизме конвекции в Байкале // ДАН СССР. 1991. Т. 321, № 2. С. 381–385.

Шимараев М. Н., Троицкая Е. С., Домышева В. М. Интенсивность вертикального водообмена в отдельных котловинах Байкала // География и природные ресурсы. 2003. № 3. С. 68–73.

Deep water renewal in Lake Baikal – matching turbulent kinetic energy and interval cycling / A. Wüest, N. Granin, O. Kocsis [et al.] // Terra Nostra. 2000. Vol. 9. P. 60–75.

Physical Limnology of Lake Baikal: A Review / M. N. Shimaraev, V. I. Verbolov, N. G. Granin, P. P. Sherstyankin. Irkutsk ; Okayama : Baikal International Center for Ecological Research, 1994. 81 p.

Small-scale turbulence and vertical mixing in Lake Baikal / Th. M. Ravens, O. Kocsis, A. Wüest, N. Granin // Limnology and Oceanography. 2000. Vol. 45, N 1. P. 159–173.

УДК 504.456

СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСТВОРЕННЫХ ФОРМ УГЛЕРОДА В ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ КОНТИНУУМЕ ТОРФЯНЫХ БОЛОТ В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Н. С. Трудова*, А. А. Чупакова, А. В. Чупаков, Л. С. Широкова

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова УрО РАН (Россия, 163020, Архангельск, просп. Никольский, 20)
**Автор для переписки: miss.trudova.2303@yandex.ru*

Аннотация. В контексте изучения трансформации углерода и его вклада в глобальный биогеохимический цикл рассматривается гидрологический континуум, расположенный в зоне мёрзлых торфяников Большеземельской тундры. В работе представлены данные по содержанию растворённых форм и спектральным характеристикам углерода в поверхностных водах торфяника в различные сезоны в период с 2022 по 2024 гг. Полученные результаты позволили определить характер сезонной изменчивости пула углерода, его основные источники и пути перемещения в гидрологическом континууме.

Ключевые слова: органический углерод, неорганический углерод, удельное УФ-поглощение, торфяники, вечная мерзлота, Большеземельская тундра

Торфяные болота занимают обширные территории на СЗ России. В многолетней мерзлоте находятся огромные запасы углерода, накопленные за продолжительный период. Однако в условиях постепенного уменьшения площадей многолетней мерзлоты происходит его высвобождение и включение в общий биогеохимический цикл, что может привести к изменениям климата и большему сокращению площадей. Изучение трансформации углерода вдоль гидрологического континуума в условиях мёрзлого торфяника поможет приблизиться к пониманию биогеохимических процессов в поверхностных водах в условиях многолетней мерзлоты, а также его влияния на климат [Кирпотин, 2021; Carbon … , 2021].

Гидрологический континуум торфяных болот расположен в зоне прерывистой многолетней мерзлоты, представлен озерами, ручьями, просадками и рекой Пятумбой с притоками. Район исследования находится в Ненецком автономном округе Архангельской области в западной части Большеземельской тундры в 25 км к востоку от г. Нарьян-Мар [Максимова, Оспенников, 2012; Осадчая, Шполянская, 2021].

Отбор поверхностных вод для определения растворенного органического (РОУ) и неорганического углерода (РНУ) и удельного УФ-поглощения ($SUVA_{254}$) проводился 2022–2024 гг. в разные сезоны. Помимо этого *in-situ* определялись температура воды, pH и удельная электропроводность (УЭП) при помощи зондов WTW. Определение РОУ и РНУ осуществлялось на анализаторе общего углерода. Спектры поглощения снимались в видимом УФ-диапазоне на спектрофотометре [Аллохтонное … , 2007; Растворенный … , 2023].

В течение периода наблюдений среднее значение показателя pH для р. Пятумбой и ее притоков составил от 6 до 7, для озер и ручьев менее 6, для просадок около 4. Однако в осенью значение этого показателя снижались на всех объектах на 1–2 пункта. УЭП для р. Пятумбой и ее притоков в среднем составил 60–70 мкС/см, а зимой и летом наблюдались повышения до 100 мкС/см и более. Для других объектов показатель изменялся по сезонам не однозначно, но не превышал 60 мкС/см, за исключением ручьев в летний период (до 100 мкС/см).

Наиболее высокие средние значения концентрации РОУ и РНУ были характерны для весеннего и осеннего периодов. В первом случае это связано с таянием снега и льда, в результате чего в водоемы попадает много взвешенного вещества. Во втором, происходит усиления поверхностного и почвенного стока органического вещества со всей площади водосборного бассейна из-за увеличения доли выпавших атмосферных осадков. Однако развитие растительности и фитопланктона в летний период также значительно повлияло на накопление пула органики особенно в водоемах с минимальным стоком (озера и просадки).

Увеличение РНУ может быть связано с постепенной минерализацией органики. Влияние грунтовых для данной территории незначительно из-за наличия многолетнемерзлых пород. В целом отмечалось уменьшение содержания РОУ вдоль континуума с некоторыми колебаниями концентраций, что объясняется влиянием притоков, ручьёв и термокарстовых озер. В целом наблюдалось преобладание РОУ над РНУ. Для показателя $SUVA_{254}$ наблюдалось постепенное повышение показателя вдоль водотока, что говорит о снижении в поверхностных водах содержания высокомолекулярной органики, источником которой являются гуминовые вещества в торфе, до более устойчивой низкомолекулярной.

Также стоит отметить, что максимальные выбросы концентрации РОУ и РНУ наблюдались в зимний период в озёрах и верховьях притока р. Пятумбой. Это связано с влиянием термокарстовых озер, которые являются источниками углерода. Низкие температуры могут значительно снижать скорость минерализации органического углерода гетеротрофным бактериопланктоном. Однако прямой зависимости концентрации РОУ от температуры обнаружено не было. Большинство водных объектов промерзли, что затруднило отбор проб на некоторых участках континуума. Это также уменьшило трансформацию углерода по континууму, а снижение уровня вод повлияло на повышение концентрации.

Таким образом, основными источниками углерода в исследуемом гидрологическом континууме являются термокарстовые озера, а также поверхностный и почвенный сток органического вещества с водосборного бассейна. Полученные результаты помогают лучше изучить, как углерод перемещается в гидрологическом континууме торфяников, и какие факторы влияют на его распределение. Это исследование важно для понимания биогеохимических процессов в условиях многолетней мерзлоты, а также для оценки возможного влияния торфяников на климат, поскольку углерод играет важную роль в изменении климата на планете.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках темы «Биогеохимический цикл углерода и сопряженных элементов в водных экосистемах таежных и тундровых ландшафтов в условиях меняющейся среды» государственного задания № 125021902574-6.

Список литературы

Аллохтонное и автохтонное органическое вещество в поверхностных водах Карелии / П. А. Лозовик, А. К. Морозов, М. Б. Зобков, Т. А. Духовичева, Л. А. Осипова // Водные ресурсы. 2007. Т. 34, № 2. С. 225–237.

Кирпотин С. Н. Болотный «кондиционер» планеты // Наука из первых рук. 2021. № 3-4. С. 92.

Максимова Л. Н., Оспенников Е. Н. Эволюция болотных экосистем и мерзлотных условий Большеземельской тундры в голоцене // Криосфера Земли. 2012.Т. 16, № 3. С. 53–61.

Осадчая Г. Г., Шполянская Н. А. Географические особенности изменчивости геокриологических характеристик Большеземельской тундры // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 2-1 (104). С. 124–131.

Растворенный органический и неорганический углерод в разнотипных озёрах бореальной зоны / А. А. Чупакова, А. В. Чупаков, Н. В. Неверова [и др.] // Проблемы региональной экологии. 2023. № 6. С. 49–55.

Carbon emission from thermokarst lakes in NE European tundra / S. A. Zabelina, L. S. Shirokova, S. I. Klimov [et al.] // Limnology and Oceanography. 2021. Vol. 66. P. S216-S230. DOI: 10.1002/lno.11560

УДК 548.562

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИКИ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ НА ФИЛЬТРАЦИЮ И МИГРАЦИЮ КОЛЛОИДОВ

М. С. Турбаков*, Е. В. Кожевников, Е. П. Рябоконь, М. А. Гузев, З. Г. Иванов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
(Россия, 614990, Пермь, Комсомольский просп., 29)
**Автор для переписки: msturbakov@pstu.ru*

Аннотация. Снижение пластового давления приводит к снижению проницаемости в коллекторах, что существенно влияет на производительность скважин и сроки разработки месторождений. В то время как лабораторные эмпирические уравнения описывают общие тенденции проницаемости при снижении давления, существуют существенные расхождения между лабораторными и полевыми данными, особенно в пористых коллекторах. В этом исследовании сравниваются полевые данные с нефтяных месторождений на севере Пермского края с лабораторными испытаниями проницаемости керна. Результаты показывают, что образцы с высокой проницаемостью демонстрируют минимальное снижение проницаемости при упругой деформации, но при этом высокую чувствительность к пластическим деформациям и миграции коллоидов. А также пласты с большей толщиной более подвержены повреждениям.

Ключевые слова: проницаемость, миграция коллоидов, деформационные полосы

Во время добычи углеводородов снижение пластового давления приводит к ухудшению проницаемости продуктивных пластов, что существенно влияет на производительность скважин и время разработки. Это ухудшение возникает из-за снижения противодавления по отношению к весу вышележащих пород, что приводит к деформации пласта. Хотя последствия снижения проницаемости под давлением хорошо известны, прогнозирование этого явления остается сложной задачей из-за его сложной природы и отсутствия надежных прогностических моделей.

Несмотря на важность понимания изменений проницаемости при снижении давления, большинство существующих методов основаны на эмпирических уравнениях, полученных в результате лабораторных экспериментов. Хотя эти уравнения отражают общие тенденции, существуют значительные расхождения между лабораторными результатами и реальными полевыми условиями, особенно в пористых коллекторах. Полевые наблюдения показывают, что пористые пласты проявляют более высокую чувствительность к изменениям давления по сравнению с лабораторными исследованиями.

В исследовании используется сравнительный подход, анализирующий полевые данные с нефтяных месторождений на севере Пермского края и лабораторные данные исследований проницаемости керна. Анализ лабораторных данных показал, что высокопроницаемые образцы, независимо от литологии, испытывают наименее значительное снижение проницаемости при упругих деформациях. Уравнения степенного закона точно описывают поведение проницаемости образцов как известняка, так и песчаника при чисто упругих деформациях. Сравнивая рассчитанные коэффициенты из полевых и лабораторных исследований, исследование подчеркивает расхождения, наблюдаемые в скорости ухудшения проницаемости. Анализ предполагает, что механизм ухудшения проницаемости включает как упругие, так и пластические деформации в пористых коллекторах. Высокопроницаемые пласты более подвержены пластическим деформациям и образованию полос деформации. Более того, вероятность снижения проницаемости при падении давления увеличивается в более толстых слоях из-за образования поперечных полос деформации.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-19-00699, https://rscf.ru/project/23-19-00699/

УДК 574.55

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭКСПРЕСС МОНИТОРИНГА ФИТОПЛАНКТОНА С ПРЯМЫМ ПОДСЧЕТОМ КЛЕТОК В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ И НА ЧИСТЫХ КУЛЬТУРАХ

И. Н. Тюрнев[1]*, Г. Ц. Цыбекмитова[2], Л. А. Титова[1], Ю. Р. Захарова[1], И. В. Тихонова[1], И. А. Асламов[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (Россия, 672014, Чита, ул. Недорезова, 16а)
**Автор для переписки: tyurnev@lin.irk.ru*

Аннотация. В работе описано применение флуориметра PhycoProbe на оз. Байкал. Прибор позволяет в полевых условиях оперативно получать вертикальные профили распределения основных групп фитопланктона. В ходе работы с помощью PhycoProbe на разрезе «Маритуй-Солзан» в Южной котловине оз. Байкал были получены профили на 11 станциях, результаты сопоставлены с данными зонда Rinko AAQ-177 и ручным подсчётом отобранных проб под микроскопом. Кроме того, были проведены эксперименты на чистых культурах. Была показана высокая корреляция измерений PhycoProbe с данными Rinko AAQ-117 и ручным подсчетом клеток, а также получены спектры флуоресценции байкальского фитопланктона, необходимые для повышения точности измерений на оз. Байкал.

Ключевые слова: флуориметрия, PhycoProbe, Rinko AAQ-117, фитопланктон, флуоресценция, хлорофилл, Байкал

Фитопланктон, являясь основным первичным продуцентом в водных экосистемах, играет центральную роль в биологических и биогеохимических процессах водоёмов различного типа. Его состояние напрямую отражает уровень продуктивности и экологические процессы, происходящие в водной среде [Евстафьев, Бондаренко, Мельник, 2010]. Важной особенностью фитопланктона является его высокая чувствительность к изменениям физико-химических параметров воды. В связи с этим совершенствование методов экспресс мониторинга является актуальной проблемой. На текущий момент в мире приобретают популярность погружные спектрофлуориметры с возможностью измерения флуоресценции хлорофилла. Одним из главных преимуществ флуориметрических методов является возможность проведения экспресс-анализов как *in situ*, так и *ex situ*. Портативные флуориметры позволяют получать данные прямо на месте отбора проб, без необходимости длительной транспортировки образцов в лабораторию. Это особенно важно при проведении масштабных мониторинговых исследований, в условиях быстро меняющейся среды или в труднодоступных районах [Горизонтальные … , 2023]. Кроме того, флуориметры обеспечивают высокую чувствительность даже при низкой концентрации клеток, что делает их незаменимыми при исследовании олиготрофных водных систем. Современные устройства также позволяют регистрировать флуоресценцию не только хлорофилла *a*, но и других пигментов, что открывает возможности для предварительной оценки видового состава фитопланктона и выявления доминирования определённых таксонов, таких как цианобактерии или диатомовые водоросли [A fluorometric. … , 2002].

Один из таких приборов был протестирован на Байкале в рамках экспедиции на НИС «Г. Ю. Верещагин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала») в сентябре 2024 г. Для этого были проведены подробные измерения в верхнем 100-метровом слое глубин на разрезе «Маритуй-Солзан» в южной котловине озера. Разрез, общей протяженностью 30 км, был разбит на 11 станций. В данной работе использовался многоканальный погружной спектрофлуориметр PhycoProbe (bbe Moldaenke GmbH, Германия) с функцией разделения микроводорослей на группы согласно спектрам их флюоресценции. Максимальная глубина погружения прибора составляет 100 м. Общая концентрация хлорофилла *a* и эквивалентные его концентрации для основных представителей каждой группы фитопланктона

(цианобактерии, диатомовые, криптофитовые и зеленые водоросли) учитывались с поправкой на «желтое вещество» и рассчитывались с помощью программного обеспечения PhycoProbe.

Для сравнения полученных данных о концентрации хлорофилла использовался зонд качества воды Rinko AAQ-177 (JFE Advantech, Япония), используемый в исследовательских работах по экологическому мониторингу в ЛИН СО РАН [Makarov, Aslamov, Gnatovsky, 2021]. Параллельно на станциях производился отбор проб фитопланктона для дальнейшего сопоставления численности и биомассы клеток, подсчитанных при помощи световой микроскопии, с показаниями зонда PhycoProbe. Сравнение измерений флуоресценции хлорофилла при помощи приборов PhycoProbe и Rinko AAQ-117, показало высокое значение корреляции ($R^2 = 0{,}97$). Также показания приборов были сопоставлены с данными подсчёта численности и биомассы фитопланктона ($R^2 = 0{,}88$ и $R^2 = 0{,}61$ соответственно).

Кроме полевых испытаний тестирование прибора проводилось в лабораторных условиях, на чистых культурах. Измерение флуоресценции чистых культур проводили при высоких и низких концентрациях клеток. Использовались следующие культуры фито- и пикопланктона: *Achnanthidium sibirica 256, Chlorella sp., Cyanobium sp. WP18, Encyonema silesiacum, Microcystis aerunosa 972, Nitzschia graciliformis, Ulnaria acus.* В ходе лабораторных экспериментов были измерены спектры флуоресценции чистых культур фитопланктона свойственного оз. Байкал, которые затем были сопоставлены с предустановленными в флуориметре шаблонными спектрами. Основываясь на полученных данных, математическим путём был выведен оптимальный спектр флуоресценции диатомовых байкальского региона.

Таким образом, сравнение результатов работы прибора PhycoProbe с прямым подсчётом клеток показало высокую корреляцию измеряемых характеристик, что позволяет использовать прибор для экспресс-мониторинга биомассы основных групп фитопланктона. Полученные шаблоны спектров флуоресценции для зеленых водорослей и цианобактерий помогут в дальнейшем увеличить точность измерений прибора на оз. Байкал.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0004. Ручной подсчёт клеток выполнен в Приборном центре коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикроанализ»).

Список литературы

Евстафьев В. К., Бондаренко Н. А., Мельник Н. Г. Анализ многолетней динамики основных звеньев трофической сети в пелагиали озера Байкал // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2010. Т. 3, № 1. С. 3–11.

Горизонтальные неоднородности функционирования фито- и зоопланктона в озере с ветровыми течениями / А. П. Толомеев, О. П. Дубовская, Е. С. Кравчук [и др.] // Биология внутренних вод. 2023. № 2. С. 196–209.

A fluorometric method for the differentiation of algal populations in vivo and in situ / M. Beutler, K. H. Wiltshire, B. Meyer [et al.] // Photosynthesis Research. 2002. Vol. 72, N 1. P. 39–53. DOI: 10.1023/a:1016026607048

Makarov M., Aslamov I., Gnatovsky R. Environmental Monitoring of the Littoral Zone of Lake Baikal Using a Network of Automatic Hydro-Meteorological Stations: Development and Trial Run // Sensors 21. 2021.

УДК 504.054(282.256.341)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАБЕНОВ В ВОДЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОМАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Г. А. Федорова[1,2]*, Е. С. Корнева[1], О. В. Кустова[1], А. В. Кузьмин[1], Е. С. Троицкая[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Восточно-Сибирский филиал Российского государственного университета правосудия имени В. М. Лебедева (Россия, 664074, Иркутск, ул. И. Франко, 23А)
**Автор для переписки: fedorova@lin.irk.ru*

Аннотация. Получены данные о встречаемости и концентрации четырех парабенов (метил- (MeP), этил- (EtP), пропил- (PrP) и бутилпарабен (BuP)) в образцах поверхностной воды прибрежной зоны оз. Байкал (n = 18). Все образцы были проанализированы с помощью газовой хроматомасс-спектрометрии с пределом количественного определения 1 нг/л для метил- и 2 нг/л для этил-, пропил- и бутилпарабенов. Частота обнаружения этих соединений в природных образцах составила 100 % для метил-, этил-, пропилпарабенов и 50 % для бутилпарабена. Их суммарная концентрация в исследованных образцах варьировалась от 50 нг/л (мыс Елохин) до 295 нг/л (г. Байкальск). Выполнена оценка потенциального экологического риска парабенов для трех трофических уровней (зеленые водоросли, моллюски и рыба).

Ключевые слова: парабены, вода, твердофазная экстрация, ГХ-МС, Байкал

Парабены – сложные эфиры пара-гидроксибензойной кислоты, широко применяемые в качестве консервантов. Они непрерывно попадают в окружающую среду с недостаточно очищенными сточными водами предприятий пищевой, фармацевтической, химической, косметической промышленности, с коммунальными, бытовыми стоками и в результате атмосферного переноса. К сегодняшнему дню парабены обнаружены в воде, воздухе, почве, донных отложениях, в гидробионтах, в тканях человека: парабены, их метаболиты и продукты деструкции включаются в трофические цепи экосистем. Парабены являются эндокринными деструкторами, поэтому воздействие этих соединений на окружающую среду нельзя игнорировать. В связи с этим цель работы – оценить концентрацию парабенов в воде прибрежной зоны оз. Байкал и величину экологического риска для экосистемы озера.

Впервые выполнено определение содержания парабенов в образцах воды прибрежной зоны оз. Байкал. Пробы воды отбирали с горизонта 0–0,5 м в сентябре 2023 г. в северной (5 станций), центральной (4 станции) и южной котловинах (9 станций). Образцы замораживали, транспортировали в лабораторию и хранили до анализа при температуре –20 °С. Концентрирование парабенов из воды выполняли методом твердофазной экстракции (Discovery DSC-18, 500 мг, 51 мкм, Supelco, США). Концентрат анализировали методом газовой хроматомасс-спектрометрии (GC-MS Triple Quad 7000 C, Agilent Technoloqies, США) с капиллярной колонкой Rxi®-XLB (Restek, США, 30 м×0,25 мм×0,25 мкм). Для каждого образца выполняли два параллельных определения.

Суммарная концентрация парабенов в воде Северной котловины изменялась от 50 до 170 нг/л, Центральной – от 85 до 186 нг/л, Южной – от 39 до 238 нг/л (рис.). Максимальные концентрации отмечены для метил- (190 мкг/л) и пропилпарабенов (51 мкг/л), минимальная – для этил- и бутилпарабенов. Для всех точек отбора отмечается высокое процентное содержание метил- и пропилпарабенов (рис. 1), связанное с более частым использованием MeP в продуктах питания и комбинации MeP/PrP в косметической продукции.

Более высокая концентрация парабенов в воде прибрежной зоны озера отмечается для зон повышенной урбанизации (станции 1, 6, 11, 14, 15), так как существующие очистные сооружения неспособны полностью удалить и/или разрушить парабены, содержащиеся в бытовых стоках. Их высокая концентрация в пелагиали (станция 13) может быть напрямую связана с выносом прибрежных вод течениями в открытые районы озера.

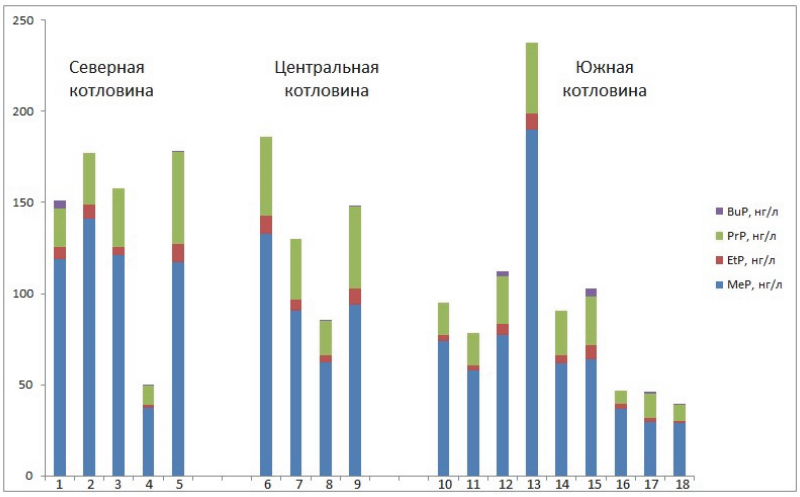


Рис. Суммарная концентрация парабенов (нг/л) в воде прибрежной зоны озера: г. Северобайкальск (*1*), р. Тыя (*2*), пос. Заречный (*3*), мыс Елохин (*4*), р. Томпуда (*5*), пос. Хужир (*6*), б/о Зуун-Хагун (*7*), пос. Сахюрта (*8*), зал. Чивыркуйский (*9*), бух. Песчаная (*10*), пос. Листвянка – пос. Танхой (*11*), пос. Листвянка (12), пос. Маритуй – р. Солзан (*13*), г. Слюдянка (*14*), г. Байкальск (*15*), Байкальск, БЦБК (*16*), пос. Танхой (*17*), р. Селенга (*18*)

Концентрация парабенов в поверхностных водах водных объектов зависит от большого числа факторов: географического положения, количества осадков, близости промышленных предприятий, уровня очистных сооружений и т. д. Самые высокие концентрации парабенов зарегистрированы в водах рек Нигерии (> 100 000 нг/л), Бразилии и Индии (1000–5000 нг/л), низкие отмечены для рек Швейцарии (< 50 нг/л) [Pereira, Simões, Gomes, 2023]. Концентрация парабенов в европейских странах находится в интервале 100–500 нг/л [Pereira, Simões, Gomes, 2023].

Концентрация парабенов в воде озера сравнима с уровнем загрязнения поверхностных вод европейских стран. Результаты оценки экологического риска показали низкий риск (RQ < 0,01) для метил-, этил- и пропилпарабенов для трех трофических уровней. В некоторых точках бутилпарабен представляет средний риск (0,01 < RQ < 0,1) для водорослей и низкий для безпозвоночных и рыб.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы госзадания № 0279-2021-0005 на базе Приборного центра коллективного пользования физико-химического ультрамикроанализа ЛИН СО РАН (ЦКП «Ультрамикроанализ»).

Список литературы

Pereira A. R, Simões M., Gomes I. B. Parabens as environmental contaminants of aquatic systems affecting water quality and microbial dynamics // Science of The Total Environment. 2023. Vol. 905. Art. 167332. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167332

УДК 595.34:575(282.256.3)

РЕЗУЛЬТАТЫ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ HARPACTICOIDA (COPEPODA, CRUSTACEA) ОЗЕРА БАЙКАЛ

Е. Б. Фефилова[1]*, М. А. Голубев[1,2], А. С. Бакашкина[1,2], А. А. Новиков[3], Т. М. Алексеева[4]

[1]Институт биологии Коми УрО РАН
(Россия, 167982, Сыктывкар, ГСП 2, ул. Коммунистическая, 28)
[2]Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина
(Россия, 167001, Сыктывкар, Октябрьский просп., 55)
[3]Казанский федеральный университет (Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18)
[4] Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: fefilova@ib.komisc.ru*

Аннотация. Байкальская фауна веслоногих ракообразных Harpacticoida характеризуется высоким разнообразием и преобладанием эндемичных видов. Для их идентификации и делимитации выполнен анализ молекулярно-генетический структуры и изменчивости маркеров COI, ITS1 у особей, относящихся к шести родам и двум семействам собранных на литорали и абиссали Байкала. В результате получено расхождение между морфологическими и генетическими оценками видового разнообразия, уровень которого различен для разных семейств и родов.

Ключевые слова: байкальские гарпактикоиды, COI, ITS1, делимитация видов, Canthocamptidae, *Harpacticella inopinata*

На настоящее время известно более 70 байкальских видов гарпактикоид из восьми родов семейства Canthocamptidae и одного рода семейства Harpacticidae [Окунева, Евстигнеева, 2001]. Более 80 % байкальских Harpacticoida – эндемики озера.

Байкальские представители родов кантокамптид: *Canthocamptus*, *Pesceus*, *Bryocamptus*, *Attheyella*, *Moraria*, и *Harpacticella inopinata* Sars (Harpacticidae) были собраны в 2017, 2022, 2023 гг. из литорали и абиссали озера. С целью идентификации и делимитации видов проведен анализ последовательностей митохондриальной и ядерной ДНК: COI и ITS1.

В результате анализа Canthocamptidae было выявлено 23 монофилетических единицы видового статуса, что составило около двух третей от числа соответствующих морфологических видов (33). Основной причиной расхождения стала неравнозначная морфологическая и молекулярная неоднородность некоторых видов родов *Canthocamptus* и *Moraria*. Молекулярное расстояние (по COI) между подгруппами *H. inopinata* составляло от 21 до 25 % для популяций только Южного Байкала.

Благодарности. Благодарим Т. Я. Ситникову, И. О. Велегжанинова, Е. И. Попову за предоставленный материал. Работа выполнена в рамках темы госзадания Института биологии Коми НЦ УрО РАН (рег. номер 125013101229-9) и при частичном финансировании гранта РНФ 22-24-00030.

Список литературы

Окунева Г. Л., Евстигнеева Т. Д. Гарпактициды (Harpacticoida) // Аннотированный список фауны оз. Байкал и его водосборного бассейна. Т. 1. Озеро Байкал. Кн. 1. Новосибирск : Наука, 2001. С. 468–490.

УДК 574.5

В. В. МЕНШУТКИН – ОСНОВОПОЛОЖНИК ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ЛИМНОЛОГИИ

Н. Н. Филатов[1]*, Т. Р. Минина[2]

[1]Институт водных проблем Севера, Карельский научный центр РАН
(Россия, 185030, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50)
[2]Институт проблем региональной экономики РАН
(Россия, 190013, Санкт-Петербург, ул. Серпуховская, 38)
**Автор для переписки: nfilatov@rambler.ru*

Аннотация. Доклад посвящен вкладу в исследования водных объектов и процессов в них методами математического моделирования выдающегося ученого, доктора биологических наук, профессора Владимира Васильевича Меншуткина – классика математического моделирования биологических систем, также в физиологии, лимнологии, океанологии, демографии, экономике, экологии и рациональном природопользовании. Список научных работ В. В. Меншуткина содержит более 300 работ, многие из которых относятся к лимнологии, начиная с «Применение математического моделирования в исследованиях по динамике численности популяции окуня» (1963) и «Гидрология подледного слоя воды в Байкале» (1964), к математическим моделям экологической системы озер: Дривяты (1970) и крупнейших: Ладожского и Онежского, моделированию популяций.

Ключевые слова: лимнология, математическое моделирование, экологические системы, моделирование популяций

Сын участников Байкальской экспедиции Академии наук ССС 1925 г., коренных петербуржцев, доктор биологических наук, профессор, лауреат госпремии СССР и премии им. А. П. Карпинского, Меншуткин Владимир Васильевич родился 20.06.1930 в Иркутске. В годы войны, эвакуированный из Ленинграда, он с мамой-лимнологом Тамарой Борисовной Форш-Меншуткиной (кандидат наук) оказался на Байкале и подростком участвовал в экспедициях по Байкалу вместе директором Байкальской лимнологической станции Академии наук СССР Г. Ю. Верещагиным. Эти экспедиции были не просто началом трудовой деятельности, но и, благодаря тесному общению с Г. Ю. Верещагиным, приобретением опыта проведения научных исследований. Владимир Васильевич о Глебе Юрьевиче: «При одном упоминании имени этого человека, что-то светлое, хорошее просыпается в моём сердце... Большой неизгладимый след оставил он в моей памяти. И, возможно, проживи он немного больше, и моя жизнь сложилась бы совсем иначе...».

Получив высшее техническое образование в Ленинградском кораблестроительном институте (1955 г.), в 1958 г. Владимир Васильевич поступил в аспирантуру Лимнологического института СО АН СССР по специальности «гидрофизика» и… вернулся на Байкал, изучение которого заняло особое место в жизни.

Так, с экспериментальных работ по гидрофизике оз. Байкал и первых математических моделей популяции окуня маленького оз. Херя-Ярви (Карельский перешеек) и сообщества рыб в оз. Дальнем (Камчатка) начался 65-летний период научной деятельности В. В. Меншуткина – работ по математическому моделированию в биологии, физиологии, лимнологии, океанологии, демографии, экономики, экологии и рационального природопользования.

В докладе приведен обзор работ по моделированию в лимнологии и океанологии профессора В. В. Меншуткина. К работам В. В. Меншуткина по исследованию водных объектов и процессов в них относятся моделирование динамики популяций рыб и водных беспозвоночных, антарктического криля. За время океанских экспедиций Академии наук созданы экологические системы Японского моря и района Перуанского апвеллинга. Основная часть работ по моделированию водных систем относится к изучению Ладожского и Онежского озер и их экосистем.

Начало научной деятельности В. В. Меншуткина совпало с появлением первых ЭВМ в институтах Академии наук. Это и определило научное направление специалиста, получившего хорошее математическое образование – математическое моделирование. Математический аппарат, используемый В. В. Меншуткиным очень широк: от систем дифференциальных уравнений до конечных автоматов, нейронных сетей, нечеткой логики и когнитивного моделирования. Знание математики, методов оптимизации, умение выбрать метод лучше всего соответствующий исследуемому процессу – одна из сторон успешного решения задач, но самое главное – он обладал уникальным даром глубоко вникать в сущность изучаемого процесса (или явления), которые предстоит моделировать.

Неоценимое влияние на становление В. В. Меншуткина как ученого оказали доктора биологических наук Ф. В. Крогиус, Е. М. Крохин, которые пригласили его (1963) заняться моделированием процессов в оз. Дальнем (Камчатка), предоставив уникальные данные об озере, собранные ими за 30 лет непрерывных ежедневных наблюдений. Модель популяции промысловой рыбы для определения максимально допустимого вылова при сохранении устойчивой численности облавливаемой популяции, созданная на данных об оз. Дальнем (нерестово-нагульный водоем тихоокеанского лосося нерки, Камчатка) стала первой в СССР компьютерной моделью и имела большое практическое значение, так как сыграла важную роль в защите интересов страны в области океанского рыболовства при заключении выгодного для СССР соглашения с Японией о квотах вылова нерки, гарантирующих сохранение ее популяции.

Важное для Ленинграда (Санкт-Петербурга) решение о строительстве дамбы было принято на основании выводов о целесообразности продолжения работ по строительству защитных сооружений, полученных с помощью компьютерной модели «Невская губа», созданной коллективом исследователей под руководством В. В. Меншуткина для анализа состояния Невской губы в зависимости от решения по продолжению строительства дамбы.

При создании моделей он стремился, по-возможности, лично участвовать в экспедициях, чтобы изучать исследуемые процессы вместе со специалистами в конкретной области. Для разрабатываемых В. В. Меншуткиным моделей характерно широкое применение разнообразного математического аппарата и доведение модели до работающих программных продуктов на основе глубокого знания процессов и явлений в озёрах.

УДК 574.58

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА СТОМАТОЦИСТ ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В ИРКУТСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ И МАЛЫХ РЕКАХ, ВПАДАЮЩИХ В Р. АНГАРУ (2023–2024 ГГ.)

А. Д. Фирсова*

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: adfir71@yandex.ru*

Аннотация. Целью работы было изучение изменения состава стоматоцист золотистых водорослей Иркутского водохранилища, р. Ангары и её крупных притоков – рек Иркут, Куды, Китой, Белой, Иды. В результате исследований обнаружено 63 морфотипа стоматоцист, большинство из которых относятся к широкораспространённым, 22 морфотипа являются новыми для России. Наибольшее количество морфотипов стоматоцист отмечено в русле Ангары и заливах Иркутского водохранилища. Выявлено как сходство, так и различие состава морфотипов. Наиболее распространенными морфотипами были орнаментированные стоматоцисты. Выявленные морфотипы имеют различную сезонную динамику. Наиболее высокое разнообразие морфотипов в Иркутском водохранилище отмечено в летом и осенью.

Ключевые слова: стоматоцисты золотистых водорослей, Иркутское водохранилище, Ангара, притоки

Особенностью золотистых водорослей, играющих важную роль в фитопланктоне, является образование кремнистых стоматоцист. Стоматоцисты образуются эндогенно в конце вегетации, при возникновении неблагоприятных условий и половом развитии. Имея уникальную видоспецифичную орнаментацию, хорошо сохраняясь в отложениях, они используются в палеолимнологии.

Отбор проб поводился в Иркутском водохранилище, весной, летом и осенью 2023–2024 гг. и в р. Ангаре и притоках (Иркут, Куда, Китой, елая, Ида) с 18 по 19 мая 2024 г. Для идентификации стоматоцист использовали нефиксированные пробы воды, объемом от 2 до 50 мл, в зависимости от плотности исследуемого материала, которые осаждали на мембранные фильтры диаметром 10 мм с использованием специальной насадки. Фильтры затем помещали на специальные столики для сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), высушивали при комнатной температуре, напыляли и затем анализировали с помощью СЭМ FEI Company Quanta 200.

Всего в исследованных районах с помощью СЭМ обнаружено 63 морфотипа, большинство из которых являются широкораспространенными. Новыми для России являются 22 морфотипа. Десять имеют известную видовую принадлежность и относятся к видам родов *Paraphysomonas* De Saedeleer и *Chromulina* Cienkowsky, а также к видам *Dinobryon cylindricum* O. E. Imhof, *Synura petersenii* Korshikov *Chrysosphaerella longispina* Lauterborn, *Spiniferomonas trioralis* E. Takahashi, *Chrysococcus furcatus* K. H. Nicholls, *Uroglena notabilis* (B. Mack) Pusztai et Škaloud, *U. lindiae* (Bourrelly) Pusztai et Škaloud, *U. soniaca* (Conrad) Pusztai et Škaloud), *Spiniferomonas septispina* Nicholls, *Chrysosphaerella baikalensis* Popovskaya [Duff, Zeeb, Smol, 1995; Bessudova, Firsova, Likhoshway, 2024a, 2024b].

В Иркутском водохранилище за все три сезона обнаружено 50 морфотипов стоматоцист, большинство из которых встречались в заливах. Весной наблюдалось невысокое разнообразие стоматоцист, найдено 13 морфотипов. Однако летом и осенью отмечено увеличение разнообразия морфотипов. Бóльшая часть обнаруженных весной стоматоцист были орнаментированы, что свойственно байкальским стомтоцистам [Сезонная … , 2008]. Однако отмечены и различия в составе морфотипов как с байкальским комплексом стоматоцист, так и между Иркутским водохранилищем и р. Ангарой. В Ангаре в июне (гидрологическая весна) выявлено 37 морфотипов. Из них общими с Иркутским водохранилищем оказались лишь 5 (рис.). Из 25 морфотипов, обнаруженных в притоках, встретился лишь 1 морфотип (см. рис.), общий с Иркутским водохранилищем.



Рис. Диаграмма Венна, показывающая количество общих морфотипов стоматоцист из оз. Байкал, р. Ангары и её притоков (Иркут, Куда, Китой, Белая и Ида)

Все это указывает на влияние разницы гидрологических режимов Ангары в весенний период, что влияет на вегетацию золотистых водорослей. Возможно более холодные воды Ангары способствуют окончанию вегетации и образованию стоматоцист.

Полученные данные могут служить дополнительным критерием оценки таксономического разнообразия золотистых водорослей и их сезонного распределения.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность за отбор проб Д. П. Петровой, И. С. Михайлову, М. Налимовой, В. Бузевич. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14-00028, https://rscf.ru/project/23-14-00028/.

Список литературы

Сезонная динамика формирования стоматоцист хризофитовых водорослей в планктоне Южного Байкала / А. Д. Фирсова, А. Е. Кузьмина, И. В. Томберг [и др.] // Известия РАН. Серия биологическая. 2008. Т. 5. С. 589–596.

Bessudova A. Y., Firsova A. D., Likhoshway Y. V. Redescription of *Chrysosphaerella baikalensis* (Chrysophyceae, Chromulinales) with new data on the ultrastructure of its stomatocysts // Phytotaxa. 2024a. Vol. 669, N 1. C. 67–74. DOI: 10.11646/phytotaxa.669.1.7

Bessudova A., Firsova A. D., Likhoshway Y. V. New data on the stomatocysts of Spiniferomonas septispina Nicholls (Chrysophyceae, Chromulinales) // Phytotaxa. 2024b. Vol. 670, N 1. P. 72–76. DOI: 10.11646/phytotaxa.670.1.7

Duff K. E., Zeeb B. A., Smol J. P. Altas of Chrysophycean Cysts. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. 189 p. DOI: 10.1007/978-94-017-0809-8

УДК 574.58

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕСЕННЕГО ФИТОПЛАНКТОНА БРАТСКОГО И УСТЬ-ИЛИМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ АНГАРСКОГО КАСКАДА

А. Д. Фирсова*, А. Ю. Бессудова, Ю. П. Галачьянц, В. В. Бузевич, В. К. Ширшова, А. М. Марченков, Е. В. Лихошвай

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки*: *adfir71@yandex.ru*

Аннотация. Целью работы была оценка состояния весеннего фитопланктона в Братском и Усть-Илимском водохранилищах Ангарского каскада. В результате исследований обнаружено 62 таксона водорослей из которых по численности и видовому богатству преобладали диатомовые водоросли. В доминирующий комплекс в разной степени входили *Aulacoseira islandica*, *Nitzschia graciliformis*, *Asterionella formosa, Fragilaria radians.* Также постоянным компонентом был мелкоклеточный *Stephanodiscus minutulus.* В Усть-Илимском водохранилище наблюдалось заметное снижение количественных показателей по сравнению с Братским водохранилищем, что, вероятно, обусловлено более высокой температурой воды в Братском водохранилище. Общая численность изменялась от 366 до 1119 тыс. кл. /л, что не превышает показателей предыдущих исследований.

Ключевые слова: фитопланктон, водохранилища, численность, биомасса

Фитопланктон как первичный продуцент, является одним из важнейших факторов, отражающих состояние экосистем. Зарегулирование рек приводит к ряду гидрофизических и гидрохимических изменений, которые, в свою очередь, влияют на состояние гидробионтов. В результате строительства на р. Ангаре ряда гидроэлектростанций были созданы четыре водохранилища. Заполнение Братского водохранилища, второго по счету от Байкала и одного из крупнейших по объему в мире, закончено 1967 г. Заполнение третьего из каскада водохранилищ, Усть-Илимского, достигло проектной отметки в 1977 г. Ранее проведенные исследования показали преобладание по биомассе диатомовых водорослей. Также характерной чертой водохранилищ ангарского каскада было два пика сезонного развития – весенний и летний [Воробьёва, 1995].

Отбор проб проводился в 1–14 июня 2024 г. на 18 станциях Братского и Усть-Илимского водохранилищ. Анализ образцов осуществлялся с помощью с световой и электронной микроскопии по ранее опубликованной методике [Environmental … , 2023].

Исследования показали, что весенний фитопланктон Братского и Усть-Илимского водохранилищ имел как черты сходства, так и различия и был представлен отделами Bacillariophyta (10 таксонов), Chlorophyta (8), Cyanobacteria (5), Chrysophyta (4), Dinophyta (4) и Cryptophyta (1). Внутри водохранилищ наблюдались различия видового состава для различных участков.

Температура воды в Братском водохранилище была немного выше, чем в Усть-Илимском и изменялась от 4,36 до 10,4 °С, pH 7,64–8,47, прозрачность была ниже, чем в Усть-Илимском и составляла от 2,5 до 4,6 м. Общая численность изменялась от 366 до 1119 тыс. кл/л, а биомасса от 69 до 579 мг/м^3 (рис.). Состав доминирующих видов был неоднородным и изменялся от станции к станции. На большинстве станций доминировали диатомовые *Nitzschia graciliformis* Lange-Bertalot & Simonsen. В другой части Братского водохранилища, на ст. Артума, доминирующий состав сменился на боле крупноклеточные виды *Aulacoseira islandica* (O. Müller) Simonsen*, Asterionella formosa* (O. Müller) Simonsen и *Fragilaria radians* (Kützing) D. M. Williams & Round*.* На всех станциях в той или иной степени встречался *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve & Möller. Субдоминантами выступали зеленые *Monoraphidium contortum* и *Koliella longiseta.*

Температура воды в Усть-Илимском водохранилище составляла 4,8–9,4 °С, pH 7,31–8,01, прозрачность 5,5–7 м. Фитопланктон водохранилища был не богат. Численность и биомасса изменялась от 104–577 тыс. кл. /л и 41–274 мг/м^3 соответственно (см. рис.). На большинстве станций преобладали мелкие центрические диатомеи – *Stephanodiscus minutulus* (Kützing) Cleve & Möller, за исключением ст. У_Эдучанский и У_Ершово, где из всех встреченных видов преобладали, *Aulacoseira islandica,* занимая 65–72 % от общей численности. Субдоминантами выступали *Monoraphidium contortum* и *Glenodinium* sp. *Asterionella formosa, Fragilaria radians.*

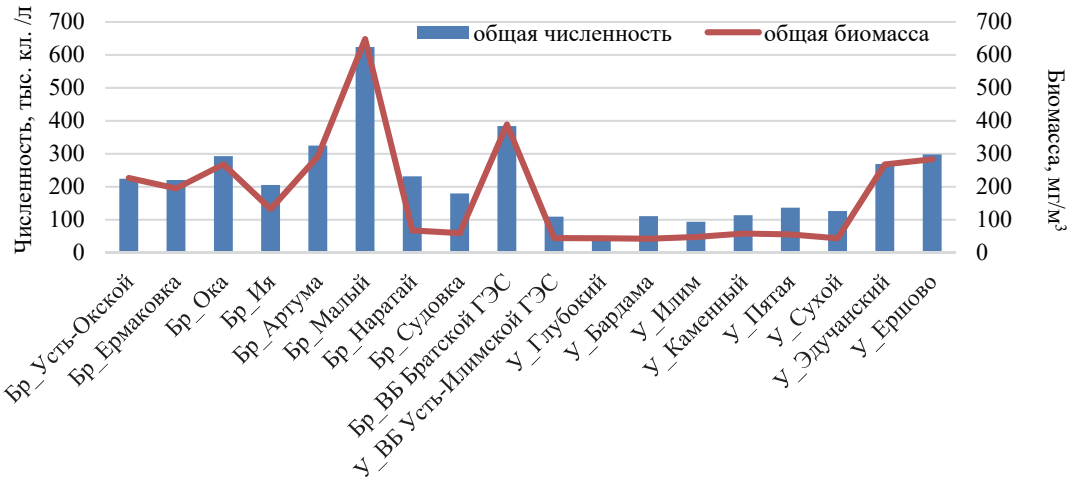


Рис. Распределение общей численности и биомассы в Братском и Усть-Илимском водохранилищах 1–14 июня 2024 г.

В водохранилищах, как и в предыдущие годы [Воробьева, 1995], доминировали диатомовые водоросли, занимая от 68 до 94 % от общей численности фитопланктона, такие как *Aulacoseira islandica, Asterionella formosa* Hassall, *Fragilaria radians* и *Nitzschia graciliformis* – эти виды в той или иной степени присутствовали на всех исследуемых станциях. Для всех изученных участков было характерным развитие мелких центрических диатомей *Stephanodiscus minutulus*. Проведенные исследования показали, что как в предыдущие годы, весенний фитопланктон характеризуется доминированием диатомовых водорослей, количественные данные не высоки и укладываются в размах межгодовых колебаний.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-14- 00028, https://rscf.ru/project/23-14-00028/.

Список литературы

Воробьева С. С. Фитопланктон водоемов Ангары. Новосибирск : Сиб. Издат. фирма РАН, 1995. 126 с.

Environmental Factors Affecting Distribution and Diversity of Phytoplankton in the Irkutsk Reservoir Ecosystem in June 2023 / A. Firsova, Y. Galachyants, A Bessudova. [et al.] // Diversity. 2023. Vol. 15, N 10. P. 1–20. DOI: 10.3390/d15101070

УДК 574.583(282.247.211.6)

СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА СЯМОЗЕРА

Ю. Ю. Фомина*

Карельский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (Россия, 185035, Петрозаводск, ул. Анохина, 29А/6-Н)
**Автор для переписки: rambler7780@rambler.ru*

Аннотация. В исследованиях 2024 г. в составе зоопланктонного сообщества водоема отмечено 39 таксонов. Впервые обнаружен инвазивный вид – *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908). Показатели уровня трофии оз. Сямозеро по зоопланктону изменялись от ультраолиготрофного (Эйсольская губа) до олиготрофного (губа Сяргилахта).

Ключевые слова: зоопланктон, южная Карелия, вселенец, *Kellicottia bostoniensis*

Первые сведения о зоопланктоне оз. Сямозеро получены в 1932–1937 гг. и содержали данные о видовом составе сообщества [Смирнов, 1939; Герд, 1946]. В 1952–1956 гг. сезонные исследования зоопланктона проводились по всему водоему [Филимонова, 1961, 1962]. В 1973–1974 гг. в связи со значительным снижением уловов рыбы в оз. Сямозеро были организованы комплексные работы, включающие исследование состояния зоопланктона как кормовой базы для молоди и рыб-планктофагов [Лазарева, 1975]. В 1977–1979 гг. исследование влияние антропогенного эвтрофирования на зоопланктон оз. Сямозеро [Бушман, 1981]. В 1989–1992 гг. был детально изучен видовой состав коловраток и расширен перечень организмов планктонной фауны [Куликова, 2004]. В 2012–2015 гг. была проведена оценка состояния экосистемы Сямозера и анализ многолетних изменений зоопланктона [Кучко, Ильмаст, Кучко, 2018].

Цель работы: оценка современного состояния зоопланктонного сообщества оз. Сямозера.

Сямозеро – одно из крупных озер южной Карелии. Пробы зоопланктона были отобраны в 16 августа 2023 г. в губе Сяргилахта, 2–3 июля 2024 г. и 5–8 августа 2024 г. в губах Сяргилахта, Сямозерская, Курмольская, Эссойльская, Ругагуба, Чуйнавольская, Лахта, губа Инжунаволок и центральной части оз. Сямозеро.

Отбор зоопланктона производили с помощью сети Джеди (диаметр 18,5 см; диаметр пор 100 мкм). Применялась стандартная методика для сетного отбора и камеральной обработки проб [Методы … , 2024]. Идентификация зоопланктона осуществлялась по «Определителю зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1» [2010]. Учет копепод производился по размерно-возрастным группам: младшие копеподиты (1–3 стадии), старшие копеподиты (4–5 стадии), самцы, самки, самки с яйцами. Науплиусы каляноид и циклопоид не идентифицированные до вида, объединялись в две группы и делились по размерам (мелкие, средние и крупные). Ветвистоусых рачков подразделяли на самцов, самок, самок с яйцами и эмбрионами, молодых самок. Подсчет коловраток производился с учетом самок с яйцами. Крупные коловратки из рода *Asplanchna* не определялись до вида и делились на три размерные группы: крупные, средние и мелкие. Расчет биомассы выполняли по формулам связи массы с длиной тела гидробионтов [Балушкина, Винберг, 1979].

За нижнюю границу доминирования принимали обилие выше 10 % (субдоминанты – от 5 до 10 %) от общей численности и биомассы.

В исследованиях 2024 г. в составе зоопланктонного сообщества водоема отмечено 39 таксонов (Calanoida – 2, Cyclopoida – 4, Cladocera – 20, Rotifera – 13). В состав доминантного комплекса входили *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863), *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863), *Daphnia cristata* Sars, 1862, *Diaphanosoma brachyurum* Lievin, 1848, *Bosmina (E.)* cf. *gibbera* Schoedler, 1863, *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850, виды родов

Polyarthra, *Trichocerca*, *Conochilus*. Отсутствовали *Limnocalanus macrurus* Sars, 1863 и *Eurytemora lacustris* (Poppe, 1887).

Сравнение полученных данных с литературными сведениями показало, что в целом за последние 70 лет видовой состав и доминантные виды зоопланктона водоема не изменились [Филимонова, 1961, 1962; Лазарева, 1975; Куликова, 2004]. Однако обнаружен инвазивный вид – *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908).

В настоящее время в Карелии американская коловратка *Kellicottia bostoniensis* отмечена только в Онежском озере и в Выгозерском водохранилище [Сярки, 2015, 2019]. Впервые вид был обнаружен нами в августе 2023 г., коловратка была встречена в юго-западной части водоема (губа Сяргилахта) и её численность достигала 8,5 тыс. экз./м^3. В 2024 г. *Kellicottia bostoniensis* отмечена в губах Эссойльская (численность 60 экз./м^3), Чуйнавольская (численность в среднем 560 экз/м^3), Сяргилахта (численность в среднем 720 экз./м^3).

Количественные показатели летом сильно варьировали, так численность изменялась от 2,4 тыс. экз./м^3 в Эйсольской губе до 154,9 тыс. экз./м^3 в губе Сяргилахта, биомасса – от 0,04 г/м^3 в Эйсольской губе до 1,98 г/м^3 в губе Сяргилахта. Показатели уровня трофии оз. Сямозеро по зоопланктону изменялись от ультраолиготрофного (Эйсольская губа) до олиготрофного (губа Сяргилахта) [Китаев, 2007].

Список литературы

Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л. : ЗИН АН СССР, 1979. С. 58–72.

Бушман Л. Г. Зоопланктон Сямозера и его использование в питании рыб // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера, 23–25 янв. 1980, Петрозаводск : материалы семинара. Петрозаводск, 1981. С. 30–33.

Герд С. В. Обзор гидробиологических исследований озер Карелии // Труды Карело-Финского отделения Всесоюзного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства. Л. ; Петрозаводск, 1946. Т. 2. С. 27–139.

Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН 2007, 395 с.

Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов бассейна реки Шуя. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2004. 124 с.

Кучко Я. А., Ильмаст Н. В., Кучко Т. Ю. Характеристика зоопланктона Сямозера (южная Карелия) по результатам многолетнего мониторинга // Известия РАН. Серия биологическая. 2018. № 5. С. 557–564.

Лазарева Н. Б. Состояние кормовой базы (зоопланктон) Сямозера по материалам 1973 г. // Отчетная сессия Ученого совета СевНИОРХ по итогам работ 1973–1974 г., 18–20 марта 1975 г. Петрозаводск, 1975. С. 96–98.

Методы гидробиологических исследований внутренних вод / под ред. А. В. Крылова. Борок, Ярославская обл. : ИБВВ РАН ; Ярославль : Филигрань. 2024. 592 с.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М. : Тов-во науч. изд. КМК. 2010. 495 с.

Смирнов А. Ф. Рыболовство на Сямозере // Труды Карельского государственного педагогического института. Петрозаводск. Т. 1. Серия биологическая. 1939. С. 127–170.

Сярки М. Т. Зоопланктон // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН. 2015. С. 121–127.

Сярки М. Т. Вселение американской коловратки *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в Выгозерское водохранилище (Республика Карелия) // Российский журнал биологических инвазий. 2019. № 3. С. 111–116.

Филимонова З. И. Зоопланктон озера Сямозера // Труды Сямозерской комплексной экспедиции. Петрозаводск, 1961. Т. 2. С. 56–81.

Филимонова З. И. Зоопланктон Сямозера, его динамика и кормовое значение для рыб // Гидробиологические исследования. Тарту, 1962. Ч. 3. С. 106–116.

УДК 550.83:556.5

ГАЗОВЫЕ ГИДРАТЫ МЕЛКОВОДНОГО СИПА «МЕЛКИЙ», ОЗЕРО БАЙКАЛ

О. М. Хлыстов[1]*, М. М. Макаров[1], И. А. Асламов[1], В. Г. Иванов[1], А. Хачикубо[2], Х. Минами[2] , А. Ю. Манаков[3]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Kitami Institute of Technology (Japan, 090-0015, Hokkaido, Kitami, 165 Koencho)
[3]Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН (Россия, 630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 3)
**Автор для переписки: oleg@lin.irk.ru*

Аннотация. В результате пятилетнего геологического и гидрофизического мониторинга самого мелководного гидратоносного сипа оз. Байкал «Мелкий», получен подробный батиметрический профиль дна, выполнено картирование глубины залегания газовых гидратов и температурного режима донных осадков и придонной воды. Установлена устойчивость гидратной системы сипа к современным сезонным и межгодовым вариациям условий окружающей среды.

Ключевые слова: газовые гидраты, метановый сип, Байкал

В ходе прямых геологических и гидрофизических исследований выполнено картирование глубины залегания газовых гидратов и температурного режима сипа «Мелкий», расположенного в диапазоне глубин воды от 374 до 388 м. Это самый «мелководный» из известных гидратоносных сипов оз. Байкал [The position … , 2022]. Гидраты имеют кубическую структуру 1, гидратный газ представлен метаном (99,54 %), этаном (0,45 %) и пропаном (0,01 %) [Characteristics … , 2023]. Расчеты по программе CSMHYD 2. 0 показали, что глубины сипа «Мелкий» и придонные температуры (3,4–3,6 °С) соответствуют верхней границе стабильности обнаруженных газовых гидратов, поэтому в этом районе был выполнен 5-летний цикл наблюдений и изучения газовых гидратов. Мониторинг велся с момента их открытия в 2019 г. после маловодных 2015–2018 гг., характеризовавшихся пониженным на ~0,5 м уровнем озера. Измерения проводились со льда и с борта судна несколько раз в год. Геологическими и гидрофизическими методами изучалась глубина дна, поддонная глубина залегания газовых гидратов, температурный режим придонной и поддонной области над ними и в близлежащих фоновых районах. Измерения глубины проводилось тремя независимыми методами (по длине троса, по гидростатическому давлению и эхолокацией). Сходимость результатов позволила получить оценочную картину рельефа дна в районе гидратоносного сипа, где идет постоянная разгрузка газа. Газогидраты обнаружены в районе подводной разгрузки газа, на периферии небольшого возвышения гряды в этом районе. Глубины дна не имеют резких перепадов. Геологическое изучение кернов показало, что верхняя часть разреза (диатомовым слой) не имеет резких сокращений мощности или визуальных следов размывов и нарушений строения.

В настоящее время скопления газовых гидратов представлено в виде тонких прожилок и разноориентированных слойков, которые имеют минимальную глубину залегания порядка двух метров ниже дна, включая район разгрузки газа. Скопления гидратов не обнаружены в вершинной части гряды, а наблюдались, с учетом глубины воды и поддонного залегания гидратов, на глубинах более 377 м. Их глубина залегания и площадь не менялись за 5-летний период мониторинга. Температурное поле в донных отложениях оставалось практически постоянным.

Все вышеперечисленное, в совокупности с отсутствием изменений в условиях осадконакоплений доказывает, что скопления газовых гидратов стабильны и недавние максимальные и, тем более, сезонные понижения уровня озера не повлияли на гидратную систему этого района. Наблюдаемые придонные колебания температур воды связаны с сезонными гидрологическими циклами, а также с интрузиями вод р. Селенги. Гидратная система

могла быть нестабильна во время более существенных понижений уровня (> 10 м) в периоды глобальных похолоданий и оледенений. Изучение этого вопроса требует дополнительных исследований с применением визуального контроля и отбора проб.

Таким образом, проведенные исследования показали, что гидратная система сипа «Мелкий» устойчива к современным вариациям условий окружающей среды. Данный сип можно рассматривать в качестве полигона для будущих исследований байкальских газовых гидратов в зоне верхней границы их стабильности и гидрофизических процессов над действующим сипом.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке госзаданий ЛИН СО РАН FWSR-2021-0006 и FWSR-2021-0004.

Список литературы

Characteristics and varieties of gases enclathrated in natural gas hydrates retrieved at Lake Baikal / A. Hachikubo, H. Minami, H. Sakagami [et al.] // Scientific Reports 2023. Vol. 13 (4440). P. 1–10. DOI: 10.1038/s41598-023-31669-7

The position of gas hydrates in the sedimentary strata and in the geological structure of Lake Baikal / O. M. Khlystov, M. Batist, H. Minami [et al.] // World Atlas of Submarine Gas Hydrates in Continental Margins / eds. Jürgen Mienert [et al.]. Switzerland : Springer Nature Switzerland AG, 2022. 515 p. DOI: 10.1007/978-3-030-81186-0

УДК 502.3

К ОЦЕНКЕ СОВРЕМЕННОГО ХИЧЕСКОГО БАЛАНСА КОМПОНЕНТОВ ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Т. В. Ходжер*, В. М. Домышева, Л. П. Голобокова, О. Г. Нецветаева, М. В. Сакирко, Н. А. Онищук, Л. М. Сороковикова, И. В. Томберг, В. Н. Синюкович

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: khodzher@lin.irk.ru*

Аннотация. Цель работы: современная оценка главных компонентов трофического статуса экосистемы оз. Байкал – баланса биогенных элементов, органического углерода. Данные десятилетнего периода наблюдений (2010–2020 гг.) по химическому составу воды Байкала, его притоков, атмосферных осадков и аэрозолей позволили оценить поступление анализируемых веществ в озеро, содержание в водной толще, сток через р. Ангару. Расчеты указывают на основное их поступление в озеро с речным стоком, хотя осаждение из атмосферы минерального азота и фосфора за последние годы возросло до 49 %, и 42 %, соответственно, от общего годового потока по сравнению с концом прошлого столетия. Полученные результаты показали, что в современный период, как и ранее, большая часть веществ остается в озере.

Ключевые слова: водный, химический баланс Байкала, биогенные элементы, органический углерод

Качество природных вод и экологическое состояние водных объектов в значительной степени зависит от содержания биогенных элементов и органических веществ, способствующих эвтрофикации водоемов. В основе химического баланса массы лежит баланс воды и баланс химических веществ, поступающих в озеро и их сток. Первый водный баланс Байкала был составлен Г. Ю. Верещагиным за 1928–1929 гг., в дальнейшем исследования продолжены в работах Б. С. Цейтлина, А. Н. Афанасьева и др. [Синюкович, 2011]. Первый химический баланс основных элементов оценен по данным 1949–1957 гг. [Вотинцев, Глазунов, Толмачева, 1965], результаты которого были фоновыми, состав осадков и речных вод в тот период определялся природными факторами.

В основу расчета современного баланса биогенных элементов, органического углерода легли многолетние данные, полученные в 2010–2020 гг., проводимые в режиме мониторинга на реках, в озере и атмосфере над Байкалом и его побережьем. Материалом для влажного и сухого осаждения из атмосферы стали атмосферные осадки и аэрозоль, данные снегосъемок на льду и в бассейне озера. Анализ водных масс озера включал более 1000 проб воды, отобранных на глубоководных станциях от поверхности до дна на 12–15 горизонтах в каждой котловине в мае-июне, августе-сентябре. В Южном Байкале пробы дополнительно отбирались в марте со льда. Вода из рек анализировалась в 22 притоках. Исследования 2010–2020 гг. осуществлялись в маловодный период (2011–2017 гг.) и во время повышения водного стока до уровня среднемноголетних значений (2018–2020 гг.), что позволило выявить особенности поступления компонентов с речным стоком в озеро в разные уровни водности. В истоке р. Ангары отбор проб осуществлялся ежемесячно с 2014 по 2020 г. Методы отбора и химический анализ проб опубликованы в работе [Current … , 2017]. В современном водном балансе озера преобладает приток воды с реками (84 %), атмосферными осадками (16 %). Сток из озера с р. Ангарой составляет (80 %), испарение (20 %).

Антропогенные воздействия на экосистему оз. Байкал в последние годы возрастают в связи с изменением климата, увеличением промышленности в Байкальском регионе и расширением инфраструктуры туристско-рекреационных территорий прибрежной зоны, что уже сказалось на биоте его литоральной области [Nearshore … , 2014]. Приходная составляющая баланса биогенных элементов и органического углерода Байкала определяется, главным образом, поступлением элементов с реками, бóльшая часть которых поступает с водами трех основных притоков: Селенги, Верхней Ангары, Баргузин. Снижение водного

стока, повышение температуры воды, уменьшение скорости потока за последние 20 лет способствовали массовому развитию в реках планктонных водорослей. Потребление планктоном обусловило снижение в речных водах концентраций минеральных форм фосфора и увеличение органических. Наблюдаются изменения в видовом составе фитопланктона прибрежной зоны озера, где зарегистрированы виды водорослей, в питании которых преобладают органические формы фосфора, чего ранее не наблюдалось [Current … , 2020]. Одним из важных каналов влияния на состояние экосистемы озера является атмосфера. Вблизи южной части озера в 70–100 км к северо-западу и юго-востоку от него, расположены крупные индустриальные центры региона с развитой промышленностью, использующие мощные угольные ТЭЦ в качестве энергетических источников, в которых оксиды азота являются одними из основных выбросов.

Многолетние результаты позволили дать ориентировочные оценки поступления в озеро, вынос из него и количество находящихся в Байкале анализируемых веществ в современный период. Большая часть из них остается в озере (табл.). Так, в 1950-е годы 78 % от поступившего кремния оставалось в озере, по современным оценкам задерживается 87 %, большая часть органического углерода также оставалась и остается в Байкале сегодня – 76 и 77 %, соответственно. В настоящее время в общем годовом объеме увеличилось поступление из атмосферы в озеро минерального азота с 36 % до 46 %, минерального фосфора с 40 % до 54 %, по сравнению с данными 1993–1997гг.

Таблица. Поступление биогенных элементов и органического углерода в оз. Байкал и их сток с водами р. Ангары, тыс. т/год, 2010–2020 гг.

	Si	$N\text{-}NO_3$	$\sum N_{мин}$	$N_{общ}$	$P_{мин}$	$P_{общ}$	$C_{орг}$
Приход							
Речной сток:	199	6,2	7,1	29,9	0,30	2,37	232
Поступление из атмосферы	1,3	5,3	6,8	9,8	0,35	0,57	39
Итого:	200	11,5	13,9	39,7	0,65	2,94	271
Расход							
Сток с р. Ангарой	23	3,3	3,6	9,3	0,27	0,53	61
Остается в Байкале							
	176	7,9	10,4	29,1	0,25	2,21	210

Таким образом, анализ многолетних результатов позволил рассчитать и выявить особенности поступления в оз. Байкал элементов трофического статуса за последнее десятилетие. В современный период длительное маловодье, повышение антропогенной нагрузки на водосборы рек и атмосферу привели к увеличению загрязняющих веществ, включая биогенные элементы и органический углерод в реках и атмосферных осадках. В речных водах и прибрежной зоне озера произошел рост концентраций органических соединений фосфора, что сказалось на видовом составе фитопланктона.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта государственного задания: № 0279-2021-0014.

Список литературы

Синюкович В. Н. Водный баланс озера Байкал в условиях зарегулированного режима // Водное хозяйство России. 2011. № 1. С. 12–22.

Вотинцев К. К., Глазунов И. В., Толмачева А. П. Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. М. : Наука, 1965. 495 с.

Current chemical composition of Lake Baikal water / T. V. Khodzher, V. M. Domysheva, L. M. Sorokovikova [et al.] // Inland Waters. 2017. Vol. 7, N 3. P. 250–258. DOI: 10.1080/20442041.2017.1329982

Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal / L. S. Kravtsova, L. A. Izhboldina, G. V. Pomazkina [et al.] // Great Lakes Research. 2014. Vol. 40. P. 441–448.

Current state of phytoplankton in the littoral area of Lake Baikal, spring 2017 / N. A. Bondarenko, S. S. Vorobyova, N. A. Zhuchenko, L. P. Golobokova // Journal of Great Lakes Research. 2020. Vol. 46, N 1. P. 17–28. DOI: 10.1016/j.jglr.2019.10.001

УДК 597.553.2.575.17

ГЕНЕТИЧЕСКОЕ СВОЕОБРАЗИЕ КРАЕВЫХ ПОПУЛЯЦИЙ НЕРКИ (*ONCORHYNCHUS NERKA*) АЗИИ

А. М. Хрусталева*

Институт биологии гена РАН (Россия, 119334, Москва, ул. Вавилова, 34/5)
**Автор для переписки: mailfed@mail.ru*

Аннотация. Проведено исследование популяционно-генетической структуры нерки *Oncorhynchus nerka* на всей азиатской части ее ареала, особое внимание уделено периферическим озерным популяциям, в том числе островным, оценке их потенциала и жизнеспособности на фоне глобальных изменений климата Северной Пацифики и возрастающей антропогенной нагрузки. Проанализированы как собственные, так и ранее опубликованные данные по изменчивости 45 локусов SNP нерки, полученные методом TaqMan-ПЦР в 37 выборках из 18 ключевых водоемов воспроизводства данного вида в Азии. Выявлены тенденции к снижению генетического разнообразия и высокие уровни дивергенции краевых популяций нерки по сравнению с популяциями центральной части ареала.

Ключевые слова: нерка *Oncorhynchus nerka*, популяционная структура, краевые популяции, однонуклеотидный полиморфизм, SNP

Нерка (*Oncorhynchus nerka*) – ценный промысловый вид тихоокеанских лососей, воспроизводится в реках и озёрах, впадающих в Тихий океан от о. Хоккайдо на юге до арктического побережья Чукотки на севере азиатского побережья и от Аляски до Калифорнии на побережье Северной Америки [Burgner, 1991; Forrester, 1987]. Гипотеза «обильного центра-периферии» постулирует, что менее многочисленные и более изолированные популяции, приуроченные к краю ареала, испытывают большее влияние факторов, ограничивающих их воспроизводство [Eckert, Samis, Lougheed, 2008; Vucetich, Waite, 2003]. В центральных популяциях отмечаются наиболее высокие эффективная численность (N_e) и поток генов (m), что сказывается в высоких значениях внутрипопуляционной изменчивости и низкой межпопуляционной дифференциации. Между тем к краю ареала, генетическое разнообразие уменьшается, а степень дивергенции популяций увеличивается. Кроме того условия окружающей среды являются оптимальными вблизи центра ареала и более суровыми на периферии, поэтому индивидуальная приспособленность и показатели демографии снижаются от центра к окраинам ареала. Основной задачей данной работы была оценка состояния периферийных озерных популяций нерки на азиатской части ареала с целью разработки подходов к организации рационального промысла, охраны, управления и восстановления краевых озерных популяций, имеющих уникальную демографическую историю.

Обобщены как ранее опубликованные данные по изменчивости 45 локусов SNP нерки материкового побережья Охотского моря, Чукотки и Камчатки [Хрусталева, Кловач, Сиб, 2017], так и проанализированы новые данные, полученные методом TaqMan-ПЦР [SNP genotyping … , 2009] в 5 выборках из водоемов Курильских островов и о. Беринга (выборки из озер Токотан, о. Уруп (n = 35), Глухое, о. Парамушир (n = 48), Красивое, о. Итуруп (n = 50), Саранное, о. Беринга (n = 58), оз.-р. сист. Беттобу, о. Шумшу (n = 50)), суммарно для 1329 особей (23 выборки) из 16 озерно-речных систем азиатского побережья Тихого океана. Кроме того привлечены данные д-ра Хабичта с соавторами [Summer–Fall … , 2010] по частотам аллелей тех же локусов для 15 выборок нерки из водоемов Камчатки. Статистическая обработка данных включала как определение стандартных генетических индексов, характеризующих популяционное разнообразие (аллельное разнообразие и гетерозиготность) и межпопуляционную дифференциацию (коэффициенты инбридинга, тесты на генную и генотипическую гетерогенность и пр.), так и различные методы классификации и кластеризации данных: PCA, DAPC (дискриминантный анализ главных компонент), а также анализ генетического смешения и байесовскую пространственную кластеризацию.

Популяции, приуроченные к субпериферии ареала из водоемов северо-охотоморского побережья (р. Палана и р. Охота), и периферические островные популяции (за исключением выборки из оз.-р. системы Беттобу, о. Шумшу) существенно отличались от популяционных комплексов центра ареала. Возможные причины высокой дивергенции популяции р. Палана могут быть связаны как с локальными адаптациями к экстремальным условиям ската и откочевки молоди в океан (гиперприливный эстуарий, протяженный маршрут морской миграции), условиям размножения, эмбрионального развития и раннего пресноводного нагула в оз. Паланском, так и, что более вероятно, нейтральными демографическими процессами, в частности дрейфом генов в условиях продолжительной изоляции популяции на субпериферии ареала. В р. Охота наблюдается несколько иная картина: существенное снижение генетического разнообразия здесь скорее свидетельствует о недавнем сокращении эффективной численности популяции, что подтверждается соответствующими тестами и литературными данными. Наибольшая степень дивергенции по результатам всех тестов и различных методов кластеризации была отмечена между островными и материковыми популяциями, причем не менее существенные отличия выявлены между островными популяциями при сравнении их друг с другом. Значительная утрата нейтрального генетического разнообразия в островных формах нерки по сравнению с континентальными и смещение аллельных частот в популяциях, сказавшееся на оценках их дифференциации, наиболее вероятно, обусловлены дрейфом генов в условиях длительной изоляции островной фауны. Сделаны выводы о необходимости сохранения островных популяций нерки для поддержания биоразнообразия уникальных островных экосистем.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00307, https://rscf.ru/project/23-24-00307/

Список литературы

Хрусталева А. М., Кловач Н. В., Сиб Д. Е. Генетическое разнообразие и популяционная структура нерки азиатского побережья Тихого океана // Генетика. 2017. Т. 53, № 10. С. 1196–1207. DOI: 10.7868/s0016675817100058

Burgner R. L. Life history of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // Pacific Salmon Life Histories / eds.: Groot C., Margolis L. Vancouver, Canada : UBC Press, 1991. P. 3–117.

Eckert C. G., Samis K. E., Lougheed S. C. Genetic variation across species' geographical ranges: The central-marginal hypothesis and beyond // Mol. Ecol. 2008. Vol. 17. P. 1170–1188.

Forrester C. R. Distribution and abudance of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) // Sockeye salmon (Oncorhynchus nerka) population biology and future management / eds.: Smith H. D., Margolis L., Wood C. Nanaimo, British Columbia Can. : Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 1987. P. 486.

SNP genotyping by the 5'-nuclease reaction: advances in high throughput genotyping with non-model organisms / J. E. Seeb, C. E. Pascal, R. Ramakrishnan, L. W. Seeb // Methods Mol. Biol. 2009. Vol. 578. P. 277–292. DOI: 10.1007/978-1-60327-411-1_18

Summer–Fall Distribution of Stocks of Immature Sockeye Salmon in the Bering Sea as Revealed by Single-Nucleotide Polymorphisms / C. Habicht, L. W. Seeb, K. W. Myers [et al.] // Trans Am Fish Soc. 2010. Vol. 139, N 4. P. 1171–1191. DOI: 10.1577/t09-149.1

Vucetich J. A., Waite T. A. Spatial patterns of demography and genetic processes across the species' range: Null hypotheses for landscape conservation genetics // Conserv. Genet. 2003. Vol. 4 (5). P. 639–645. DOI: 10.1023/A:1025671831349

УДК 597.553.2.-575.86

ФИЛОГЕОГРАФИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПОСЛЕЛЕДНИКОВОГО РАССЕЛЕНИЯ НЕРКИ (*ONCORHYNCHUS NERKA*) В АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ АРЕАЛА

А. М. Хрусталева*

Институт биологии гена РАН (Россия, 119334, Москва, ул. Вавилова, 34/5)
**Автор для переписки: mailfed@mail.ru*

Аннотация. Исследован полиморфизм контрольного региона мтДНК нерки на азиатской части ареала. Варианты последовательностей D-петли распределились между двумя гаплогруппами, географическое распространение которых на азиатском побережье Тихого океана обусловлено историко-демографическими событиями, связанными с особенностями становления ареала азиатской нерки в среднем-позднем плейстоцене: его фрагментацией с последующими вторичными контактами между ранее дивергировавшими популяциями. Неоднократная экспансия северо-американскими популяциями азиатской части ареала происходила в течение плейстоценовых оптимумов из северного рефугиума – Берингии, основным центром радиации популяций нерки на азиатском побережье в Голоцене был крупный рефугиум в бассейне р. Камчатка. Выдвинута гипотеза о существовании криптического рефугиума в районе о. Хоккайдо.

Ключевые слова: нерка, *Oncorhynchus nerka*, филогеография, D-петля, мтДНК

Нерка – наиболее ценный в промысловом отношении вид тихоокеанских лососей р. *Oncorhynchus*, в отличие от других представителей рода она характеризуется длительным пресноводным периодом жизни и, как правило, воспроизводится в бассейнах рек, где есть глубокие озера, к которым и приурочена большая часть ее нерестилищ (Foerster, 1968). Устойчивая связь ее жизненного цикла с озерными биотопами сформировалась в условиях конкуренции с другими видами анадромных тихоокеанских лососей еще в среднем Плейстоцене на территории богатой озерами Британской Колумбии, где располагался южный рефугиум – Каскадия [Глубоковский, Глубоковская, 1981]. Большинство же популяций азиатской нерки по историческим меркам относительно молодые, и их возраст не превышает 10–12 тыс. лет, т. к. ее современный ареал в значительной степени совпадает с предполагаемой областью последнего Висконсинского (Вьюрмского, по схеме межрегиональной корреляции), оледенения в Северной Пацифике [Влияние … , 2005]. При этом эволюционная история вида на азиатско-тихоокеанском побережье остается до конца не исследованной, в связи с чем целью данной работы было рассмотрение возможных сценариев микроэволюции нерки на азиатской части ареала под влиянием четвертичных ледниковых циклов.

Проанализирован полиморфизм последовательностей D-петли в 28 выборках нерки из 19 озерно-речных систем Чукотки, Камчатки, Курильских и Командорских островов, материкового побережья Охотского моря (суммарно для 280 рыб). Секвенирование нуклеотидной последовательности методом Сенгера проводили с использованием стандартных праймеров HN20 и Tpro2 [Holarctic … , 2001] в анализаторе ABI PRISM 3500 (Applied Biosystems, США). После множественного выравнивания нуклеотидных последовательностей фрагмента D-петли, были определены частоты гаплотипов в каждой из выборок, изучены распределения гаплотипов в популяциях нерки практически на всей азиатской части ареала, рассчитаны оценки гаплотипического и нуклеотидного разнообразия, выполнены тесты на равновесие мутаций и дрейфа генов, построена генеалогическая сеть гаплотипов, проведена ML и байесовская филогенетическая реконструкция их эволюции, выполнена молекулярная датировка узлов байесовского дерева, проведены анализ исторической демографии вида в Азии и тестирование биогеографических сценариев происхождения популяций Курильских островов с помощью ABC-анализа.

Наши результаты полностью согласуются и существенно дополняют имеющиеся в литературе сведения об изменчивости мтДНК нерки Камчатки, Чукотки и северо-охотоморского побережья, а также некоторых североамериканских популяций [Брыков,

2005; Генетическое … , 2015]. Полученные нами данные позволяют рассматривать в качестве основного сценарий формирования современного разнообразия гаплотипов мтДНК нерки на западном побережье Тихого океана, подразумевающий неоднократное проникновение данного вида в Азию в течение плейстоценовых оптимумов из водоемов североамериканского континента. В период Голоценовой трансгрессии центрами радиации популяций нерки на азиатском побережье были рефугиумы в бассейне р. Камчатка и, возможно, южный криптический рефугиум в районе Хоккайдо, следов которого практически не сохранилось вследствие фрагментации исходной популяции при отступлении ледника. По результатам анализа биогеографических сценариев колонизации водоемов Курильских островов подтверждены ранее сделанные выводы о том, что популяции анадромной нерки, населяющие озёра Курильских островов южной группы, наряду с популяциями кокани оз. Сопочное (о. Итуруп) и о. Хоккайдо, могут быть отнесены к ледниковым реликтам, пережившим последний ледниковый максимум в южном рефугиуме. В этой связи сохранение уникальных генофондов нативных островных популяций в условиях климатических изменений и возрастающего антропогенного воздействия требует разработки специализированных мер защиты, включая генетический мониторинг и гибкое регулирование промысла.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-24-00307, https://rscf.ru/project/23-24-00307/

Список литературы

Влияние биотопов размножения на генетическую дифференциацию популяций нерки (Oncorhynchus nerka) / Вл. А. Брыков, Н. Е. Полякова, А. В. Подлесных [и др.] // Генетика. 2005. Т. 41, № 5. С. 635–645.

Генетическое разнообразие нерки (*Oncorhynchus nerka*) из некоторых рек восточной Камчатки и материкового побережья Охотского моря по данным полиморфизма гена цитохрома b митохондриальной ДНК / Л. Т. Бачевская, В. В. Переверзева, Г. Д. Иванова [и др.] // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2015. № 38. С. 49–56.

Глубоковский М. К., Глубоковская Е. В. Пути эволюции тихоокеанских лососей рода Oncorhynchus Suckley // Рыбы в экосистемах лососевых рек Дальнего Востока. Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1981. С. 5–66.

Foerster R. E. The sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* // Bull Fish Res Board Canada. 1968. № 162. 422 p.

Holarctic phylogeography of arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) inferred from mitochondrial DNA sequences / P. C. Brunner, M. R., Douglas, A. Osinov [et al.] // Evolution. 2001. Vol. 55, N 3. P. 573–586. DOI: 10.1111/j.0014-3820.2001.tb00790.x

УДК 582.26:577.345

ОТ ФОТОННЫХ СТРУКТУР ДО МИКРОМЕХАНИКИ: ЧТО МОЖЕТ РАССКАЗАТЬ КРЕМНЕЗЕМ ДИАТОМЕЙ

Ю. Цветинович*, Д. А. Горин

Центр фотоники и фотонных технологий, Сколковский институт науки и технологий (Россия, 121205, Москва, Большой бульвар, 30/1)
**Автор для переписки: julijana. cvjetinovic@skoltech.ru*

Аннотация. Кремнеземный панцирь диатомей представляет собой иерархически организованную наноструктуру с уникальными механическими и оптическими свойствами. Оптическое моделирование показало перераспределение света внутри клетки за счёт эффекта Тальбота, совпадающее с положением хлоропластов. Таким образом, обеспечивается локальное усиление освещённости для фотосинтеза. С помощью атомно-силовой микроскопии и наноиндентирования в колонне сканирующего электронного микроскопа установлено, что жёсткость и вязкоупругие характеристики диатомей зависят от пористости, ориентации, степени увлажнённости и наличия органических компонентов. Экспериментально зафиксированы собственные частоты колебаний панцирей в диапазоне 2–8 МГц. Панцирь диатомей функционирует как природный фотонно-механический резонатор, демонстрируя потенциал для разработки биомиметических микросистем, фотонных устройств и элементов светосборных технологий.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, микромеханика, наноиндентирование, фотонные структуры, интерференция

Панцирь диатомей представляет собой уникальный природный материал, образованный иерархически организованным кремнеземом с характерной системой пор. Благодаря своей сложной морфологии, он сочетает в себе свойства фотонных кристаллов и механически жёстких оболочек, обеспечивая клетке одновременно светосборную эффективность и структурную защиту. Целью работы является обзор оптических и механических свойств кремнеземных панцирей диатомей *Coscinodiscus oculus-iridis* как природных фотонно-механических резонаторов для перспективных биомиметических применений, выполненный на основе ранее опубликованных авторским коллективом экспериментальных и численных данных.

Оптические свойства панцирей исследовались с помощью Фурье-модального метода [The Talbot … , 2025]. Моделирование показало перераспределение солнечного излучения внутри клетки за счёт эффекта Тальбота. Максимумы световой энергии совпадают с расположением хлоропластов, что указывает на фотонную оптимизацию фотосинтеза у диатомей. Помимо этого, были проанализированы коэффициенты пропускания и отражения для периодических структур панциря в зависимости от длины волны и угла падения света. Численное моделирование показало, что пространственное распределение энергии солнечного излучения внутри панциря зависит от глубины, длины волны и направления света.

Статический и динамический режимы атомно-силовой микроскопии (АСМ), а также наноиндентирование в колонне сканирующего электронного микроскопа позволили выявить особенности механического отклика панциря диатомей с раздельным вкладом наномасштабных свойств материала и деформации всей оболочки [Revealing … , 2023]. Установлены значительные различия в наномеханических характеристиках отдельных слоёв панциря. Модуль Юнга живых клеток диатомей оказался существенно выше ($E = 25 \pm 5$ ГПа) по сравнению с очищенными панцирями: $E = 15 \pm 2$ ГПа для внутренней поверхности и $E = 10 \pm 4$ ГПа для внешней, благодарю наличию внутреннего органического содержимого. Динамическое наноиндентирование выявило податливость 0,019 м/Н, что сопоставимо с параметрами высокочувствительных МЭМС-структур.

Связь механики с резонансными свойствами изучалась с помощью моделирования в COMSOL Multiphysics и подтверждена экспериментально с помощью АСМ через спектры тепловых колебаний и внешнего возбуждения с регистрацией lock-in усилителем [Probing … , 2023]. Впервые показаны собственные частоты панцирей в диапазоне 2–

8 МГц. Рассчитанные добротности (Q = 21–90) указывают на перспективность таких структур для вибрационных сенсоров.

Полученные результаты позволяют глубже понять фундаментальные механизмы взаимосвязи оптических и механических свойств природных структур и подчёркивают потенциал кремнеземных панцирей диатомей как природных микроразмерных резонаторов, пригодных для применения в фотонике, сенсорике и энергоэффективных технологиях.

Благодарности. Работа была выполнена в рамках РНФ гранта 22-14-00209.

Список литературы

Probing vibrational eigenmodes in diatom frustules via combined in silico computational study and atomic force microscopy experimentation / J. Cvjetinovic, S. Y. Luchkin, E. S. Statnik [et al.] // Appl Phys Lett. 2023. Vol. 123. Art. 184101. DOI: 10.1063/5.0171503

Revealing the static and dynamic nanomechanical properties of diatom frustules – Nature's glass lace / J. Cvjetinovic, S. Luchkin, E. Statnik [et al.] // Sci Rep. 2023. Vol. 13. 5518. DOI: 10.1038/s41598-023-31487-x

The Talbot effect in nanostructured diatom frustules / S. Dyakov, J. Cvjetinovic, E. Maksimov [et al.] // Optica. 2025. Vol. 12, Iss. 7. P. 10003–1013. DOI: 10.1364/OPTICA.561663

УДК 519.6:556

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

Е. А. Цветова*, В. В. Пененко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
(Россия, 630090, Новосибирск, просп. Лаврентьева, 6)
** Автор для переписки: e.tsvetova@ommgp.sscc.ru*

Аннотация. Для моделирования распространения примесей в оз. Байкал в ИВМиМГ СО РАН разработаны две версии моделей: в Эйлеровой и Лагранжевой формулировках. Они используются для решения прямых и обратных задач в зависимости от целей исследований. Основную роль в этих моделях играют компоненты модели гидротермодинамики (скорости течений и температура воды), которые являются параметрами модели распространения примесей. Модели гидротермодинамики и распространения примесей могут работать как отдельно, так и вместе, в случаях значимого влияния примесей на гидродинамику. Для учета различных типов неопределенностей, присущих математическому моделированию природных процессов, предусмотрено использование сценарного подхода. Математическая абстракция позволяет применять разрабатываемые модели для исследования широкого спектра проблем, включая геохимические и биологические.

Ключевые слова: численное моделирование, распространение примесей, гидротермодинамика, сценарный подход

Основная цель, стоящая перед обществом по отношению к объекту Мирового наследия ЮНЕСКО – оз. Байкал, состоит в сохранении его главного качества – резервуара пресной чистой воды. Наблюдения последних лет ярко демонстрируют проявления признаков эвтрофикации озера [Influence … , 2020; Lake-wide … , 2021]. Очевидными причинами этого состояния видятся климатические изменения и антропогенные воздействия. Насколько динамично развиваются процессы эвтрофирования, каковы их действительные причины и велики ли угрозы для качества воды: это основные вопросы, требующие тщательного исследования ученых.

Математическое моделирование процессов, протекающих в озере, наряду с физическим мониторингом водной толщи, призвано по мере возможности ответить на подобные вопросы. В частности, в настоящем докладе уделяется внимание одной из составляющих комплекса моделей оз. Байкал, разрабатываемых авторами [Tsvetova, 2020a,b]. Математическая модель распространения примесей формулируется относительно концентрации веществ, составляющих примесь, имеет вид уравнения (или системы уравнений), описывающих процессы адвекции-диффузии-реакции компонент. Математическая формулировка позволяет воспроизводить поведение различных примесей, как естественного, так и антропогенного происхождения. Основными проблемами здесь являются задание источников поступления примесей и выбор параметризаций, отвечающих за взаимодействие компонент и окружающей среды.

По результатам мониторинга [Influence … , 2020] и нашим расчетам [Tsvetova, 2020a], гидродинамические процессы имеют ключевое значение для решения задач распространения примесей. Для моделирования гидротермодинамики озера мы используем трехмерные модели в негидростатическом приближении, включающие 3 уравнения движения для компонентов вектора скорости, уравнение для температуры, уравнение состояния и уравнение неразрывности. В модели учтены процессы переноса и диффузии для скоростей, учитывается влияние силы Кориолиса. Большую роль в формировании течений играют береговые очертания и рельеф дна, который существенно меняется в области моделирования. Практически озеро состоит трех глубоких котловин, соединенных между собой сравнительно мелководными перемычками. В краевых условиях на поверхности учитывается связь с атмосферой: баланс тепла и влаги, напряжение трения ветра. На боковых границах задаются гидротермические взаимодействия с реками.

Для модели распространения примесей мы рассматриваем две версии: в Эйлеровом и Лагранжевом приближениях. В транспортной модели в Лагранжевой формулировке речь идет о конкретных частицах, которые передвигаются вместе с окружающей средой. Для каждой частицы в сеточной области рассчитывается ее местоположение и перемещение в новое место на основе интерполированной скорости и временного шага модели переноса частиц. Как правило, поля скоростей течений для этой цели рассчитываются заранее, в отличие от модели в Эйлеровой формулировке, где можно одновременно считать и поля скоростей и поля концентраций примесей на одном и том же временном интервале.

В наших исследованиях при наличии большого количества неопределенностей, свойственных задачам моделирования реальных природных объектов, мы предпочитаем использовать сценарный подход с целью абстрагирования от конкретных ситуаций в пользу некоторых обобщенных случаев в виде «климатических» сценариев атмосферных воздействий [Tsvetova, 2020a, 2020b] для гидродинамики и сценариев с различными параметрами моделей процессов.

В продолжение исследований по тематике моделирования распространения микропластика в Байкале [Tsvetova, 2022, 2023], в настоящем докладе рассматриваются гипотетические сценарии, учитывающие влияние биологических процессов, так называемого биообрастания, на загрязнение вод озера. С этой целью используются трехмерная негидростатическая модель гидротермодинамики озера и модели распространения примесей в двух вариантах, Эйлеровом и Лагранжевом. В последних участвуют агрегаты из микропластика и некоторых живых организмов, входящих в состав экосистемы озера, которые, продолжая жизнедеятельность, прикрепляются к микропластику. Вследствие этого общая плавучесть агрегата изменяется, и он либо тонет, либо всплывает в зависимости от соотношений с физическим состоянием окружающей водной среды. В условиях имеющейся неопределенности при задании источников воздействий, параметров математической модели и параметризаций биологических процессов, для воспроизведения физических процессов в озере и получения оценок загрязнения также используется сценарный подход, позволяющий построить варианты развития ситуаций. Другие примеры применения разработанного комплекса моделей заинтересованный читатель найдет в опубликованных работах авторов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках бюджетного проекта ИВМиМГ СО РАН (FWNM-2025-0003).

Список литературы

Influence of water motion on the spatial distribution of Spirogyra in Lake Baikal / L. S. Kravtsova, I. B. Mizandrontsev, S. S. Vorobyova [et al.] // Journal of Great Lakes Research. 2020. Vol. 46. P. 29–40. DOI: 101016/j.jglr.2019.09.004

Lake-wide assessment of microplastics in the surface waters of Lake Baikal, Siberia / M. V. Moore, M. Yamamuro, O. A. Timoshkin [et al.] // Limnology. 2021. DOI: 10.1007/s10201-021-00677-9

Tsvetova E. A. Scenario modeling of hydrodynamics and impurity propagation in Lake Baikal //Limnology and Freshwater Biology. 2020a. Vol. 4. P. 950–951. DOI: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-950

Tsvetova E. A. Transporting Spirogyra algae in waters of Lake Baikal: results of mathematical modeling // Proc. SPIE. 2020b. 11560: 115607H. DOI: 10.1117/12.2575644

Tsvetova E. A. Transport model: microplastic in Lake Baikal // Proc. SPIE. 2022. 12341: 1234165. DOI: 10.1117/12.2644796

Tsvetova E. A. Hypothetical scenarios of microplastic propagation in Lake Baikal // Proc. SPIE. 2023.12780: 127805E. DOI: 10.1117/12.2690316

УДК 556.013

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОБЛАЧНОСТИ НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ПЛАНКТОНА В ОЗ. ДОЛГОЕ (БЕЛАРУСЬ) РАННЕЙ ВЕСНОЙ

Б. О. Цыденов[1]*, Н. Ю. Суховило[2], Д. В. Деги, А. А. Барт[1], Н. С. Трунов[1], А. В. Луценко[1], Д. Б. Власова[2], А. Ю. Карпаева[2]

[1]Томский государственный университет
(Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 36)
[2]Белорусский государственный университет
(Беларусь, 220030, Минск, просп. Независимости, 4)
**Автор для переписки: tsydenov@math.tsu.ru*

Аннотация. Методами математического моделирования исследовано влияние облачности на динамику планктона в оз. Долгое (Беларусь) в период развития весеннего термобара. Выполнены 3 вычислительных эксперимента с различными значениями облачности, в которых остальные параметры атмосферы заданы на основе сведений метеостанции, расположенной в городском поселке Шарковщина, за март 2024 г. Результаты расчетов показали, что степень покрытия неба облаками имеет неодинаковый эффект в распределении фито- и зоопланктона в оз. Долгое ранней весной.

Ключевые слова: численное моделирование, фитопланктон, зоопланктон, термобар, оз. Долгое

Вопросы взаимодействия облаков и биомассы планктона вызывают особый интерес в период развития явления термобара, представляющего собой узкую зону погружения вод при температуре максимальной плотности. Целью настоящей работы является численное исследование влияния облачности на динамику планктона во время развития весеннего термобара в оз. Долгое (Беларусь).

Воспроизведение термогидродинамических и гидробиологических процессов в оз. Долгое проводилось на основе численной модели [Tsydenov, 2022] в период с 20.03.2024 по 31.03.2024 с использованием метеорологических данных метеостанции, расположенной в городском поселке Шарковщина, за март 2024 г. [Расписание … , 2024]. Вычислительные эксперименты выполнены при значениях облачности 0, 50 и 100 %.

Полученные результаты показали, что высокая облачность замедляет прогрев водоема по всей толще. Повышение температуры воды происходило сначала в придонной области, а затем в верхнем слое. При высокой облачности наблюдалось снижение концентрации фитопланктона, которая уменьшалась по всей глубине водоема. Распределение зоопланктона имело иную тенденцию: на разноудаленных от берега пространственных разрезах обнаружены неоднородные закономерности. Однако при любых значениях облачности содержание зоопланктона монотонно росло с глубиной.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РНФ (№ 24-47-10001, https://rscf.ru/project/24-47-10001/) и БРФФИ (проект № Х23РНФМ-001).

Список литературы

Расписание погоды. URL: https://rp5.ru/. (дата обращения: 06.06.2024).

Tsydenov B. O. Modeling biogeochemical processes in a freshwater lake during the spring thermal bar // Ecological Modelling. 2022. Vol. 465: 109877. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2022.109877

УДК 504.3.054

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИЙ МАЛЫХ ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ НА ОПОРНОЙ СТАНЦИИ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ «БОЯРСКИЙ» В 2024 Г.

В. В. Цыдыпов*, Г. С. Жамсуева, А. С. Заяханов, А. Л. Дементьева, Т. С. Бальжанов, А. В. Стариков

Институт физического материаловедения СО РАН
(Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)
**Автор для переписки : tsydypov@inbox.ru*

Аннотация. Приведены результаты измерений концентраций приземного озона, оксида и диоксида азота, диоксида серы в атмосфере юго-восточного побережья оз. Байкал на научном стационаре «Боярский» ИФМ СО РАН. Выявлены особенности суточного хода малых газовых примесей в разные сезоны года. Отмечена важная роль в суточных вариациях озона и других малых газовых примесей смены воздушных потоков в условиях бризовых циркуляций, которые в значительной степени влияют на перенос и рассеяние атмосферных примесей в регионе.

Ключевые слова: малые газовые примеси, приземный озон, Байкал, атмосфера

Для измерения концентрации озона, окислов азота, диоксида серы использовались хемилюминесцентные газоанализаторы 3.02 П-А, Р-310А, С-310А (ЗАО «ОПТЭК»).

По результатам экспериментальных исследований концентраций газовых компонент (O_3, SO_2, NO_x) установлено, что в весенний период (май) средние концентрации газовых примесей составили для O_3 – 115,4 мкг/м^3; SO_2 – 30,1 мкг/м^3, NO_2 – 8,7 мкг/м^3, NO – 2,2 мкг/м^3. В летний период (июнь-август) средние концентрации озона, диоксида серы, окислов азота были ниже, чем весной и в среднем составили для O_3 – 100,6 мкг/м^3; SO_2 – 16,6 мкг/м^3, NO_2 – 6,9 мкг/м^3, NO – 1,9 мкг/м^3. Средние концентрации газовых примесей осенью (сентябрь-октябрь) составили для O_3 – 58,7 мкг/м^3; SO_2 – 6,3 мкг/м^3, NO_2 – 5,4 мкг/м^3, NO – 2,5 мкг/м^3.

На основе результатов измерений проанализированы данные о суточной изменчивости газовых примесей. Суточный ход концентрации озона во все сезоны имеет максимум в дневные часы, минимум – ночью и утром. Суточный ход концентраций оксида и диоксида азота во все сезоны слабо выражен. Суточный ход концентрации SO_2 в мае, июне и июле повторяет суточный ход озона. Коэффициент корреляции составил 0,82. Выявлено, что в отличие от результатов измерений в 2023 г., когда максимальные концентрации озона наблюдались весной, в 2024 г. основные максимумы зафиксированы в летние месяцы (июль, август).

Одной из особенностью влияния метеорологических процессов вблизи береговой зоны оз. Байкал являются бризовые циркуляции. Проведен сравнительный анализ влияния бризовых явлений на временную изменчивость малых газовых примесей.

Полученные данные измерений будут способствовать решить задачу идентификации источников выбросов в Байкальском регионе.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения проекта научной темы по Госзаданию 124041500027-2.

УДК 504.3.054:504.37

СОВРЕМЕННАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ САЖИ И ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ НА ЛЬДУ ЮЖНОГО БАЙКАЛА

Н. С. Чебунина*, О. Г. Нецветаева

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: nchebun@lin.irk.ru*

Аннотация. Представлены результаты исследования снежного покрова, отобранного на льду Южного Байкала в 2024 г. Целью работы являлось определение в снеговой воде содержания сажи и взвешенных веществ для оценки их аккумуляции в снежном покрове и поступления на акваторию Южного Байкала. Получены большие величины концентраций исследуемых веществ в снежном покрове юго-западной части акватории, накопления – в юго-восточной, более заснеженной части. Содержание сажи на акватории Южного Байкала на порядок ниже, чем в промышленных городах Южного Прибайкалья. В сравнении с данными прошлых лет содержание взвешенного вещества в снежном покрове возросло.

Ключевые слова: Южный Байкал, снежный покров, сажа, взвешенное вещество, содержание, накопление

Снежный покров аккумулирует различные загрязняющие вещества из атмосферного воздуха. Взвешенные вещества (пыль) являются нерастворимой частью твердого осадка снега и представляют собой мелкие частицы органического или минерального происхождения. Их количество характеризует запыленность территории. Одним из наиболее распространенных и опасных для здоровья компонентов мелкодисперсного загрязнения воздуха (PM2. 5) является сажа. Сажа и взвешенные вещества поступают в окружающую среду из различных природных и антропогенных источников и относятся к 3 классу опасности. Поскольку взвешенные вещества входят в список веществ, определяющих высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха в крупных городах Иркутской области на протяжении многих лет, мониторинговые исследования влажных выпадений взвешенных веществ (в том числе сажи) на Байкальской природной территории имеют особую значимость. Данная работа посвящена изучению содержания и накопления взвешенных веществ и сажи в снежном покрове на акватории Южного Байкала в зимний период 2024 г.

13-15 февраля 2024 г. проведены снегомерные съемки на территории Южного Байкала. На льду озера отобрана 41 проба снежного покрова для определения основного химического состава, в том числе сажи и взвеси. Колонки снега отобраны по основным гидрологическим разрезам. Измерение концентраций сажи и взвеси осуществлялось по адаптированным для снеговых вод методикам (РД 52.04.831-2015, РД 52.04.186-89).

Содержание сажи в снежном покрове на льду Южного Байкала изменялось в диапазоне 0,13–1,34 мг/л, составляя в среднем 0,32 мг/л, при наиболее часто встречающихся значениях (в 96 % случаев) до 0,5 мг/л. Средняя величина содержания сажи в снежном покрове на льду озера на порядок ниже, чем в г. Шелехове [Содержание … , 2022]. Максимальные концентрации, в 3-4 раза превышающее среднее по озеру значение, определены на юге озера, в 2 км от побережий г. Слюдянка и пос. Култук. Это обусловлено, вероятно, влиянием загрязненного воздуха этих населенных пунктов в результате сжигания топлива в котельных и домовых печах. Минимальная концентрация сажи обнаружена на середине разреза пос. Листвянка - Танхой, в 20 км от юго-западного побережья. Подобная тенденция, уменьшения содержания при удалении от береговой линии, сохраняется и для других разрезов. Концентрация сажи в центральных точках этих разрезов в 1,5–3 раза меньше, чем на расстоянии в 2–3 км от берега. В целом же сравнение содержания сажи в снежном покрове разных участков озера выявило большие (в среднем 1,5 раза) величины в западной части Южного Байкала.

Содержание взвешенного вещества в снежном покрове на акватории Южного Байкала в 2024 г. изменялось в пределах 3,8–78 мг/л (среднее значение – 15 мг/л). В 83 % проб содержание взвеси не превышало 20 мг/л. Максимум содержания взвеси, в 5 раз превышающий среднее значение, определен в той же точке, что и максимум сажи, в 2 км от побережья Слюдянки. Однако эта величина от 4 до 13 раз ниже, чем содержание данного компонента в снежном покрове в самом городе. Минимальные значения зарегистрированы вдоль восточного побережья, на участке между реками Снежной и Мишихой и в центре разреза Листвянка – Танхой. Анализ данных, полученных по горизонтальным разрезам, показал минимумы концентраций либо в середине разреза, либо в его восточной части. В среднем концентрации взвешенного вещества вдоль восточного берега в 3 раза ниже, чем вдоль западного. Высокая степень корреляции концентраций сажи и взвеси ($r = 0,88$) указывает на общий источник их поступления в атмосферу. Сравнение полученных в 2024 г. результатов с данными 2010 и 2013 гг. по акватории Южного Байкала показало большие в среднем (в 1,8 раза) концентрации взвеси в современный период, что, вероятно, обусловлено увеличением выбросов золы твердого топлива предприятиями теплоэнергетики Иркутской области [Государственный … , 2024].

Величина аккумуляция сажи в снежном покрове на льду Южного Байкала изменялась в пределах 0,5–13,5 мг/м^2, составляя в среднем 4,2 мг/м^2. Максимум аккумуляции зарегистрирован в 2 км от пос. Култук, минимум – на льду озера в пос. Листвянка вблизи устья руч. Большая Черемшанка при очень низком влагозапасе в снеге. Накопление взвеси в снежном покрове составило 30–640 мг/м^2 (в среднем – 170 мг/м^2). Максимальные значения (370–640 мг/м^2) характерны для территорий, наиболее подверженных влиянию локального загрязнения воздуха (районы вблизи побережья Култука, Слюдянки и станции Маритуй). Анализ данных выявил возрастание накопления сажи и взвеси в снежном покрове в 2,3 и 1,2 раза соответственно в направлении от западного к восточному берегу, что обусловлено большим (в 4 раза) влагозапасом в снеге вдоль восточного побережья.

По данным снегомерной съемки 2024 г. оценено поступление изучаемых компонентов на акваторию Южного Байкала. Получено, что за 1 мес. (с момента замерзания озера в середине января и до отбора проб снежного покрова) на акваторию Южного Байкала поступило в среднем 0,03 тыс. т сажи и 1,3 тыс. т взвешенных веществ. Относительное содержание сажи во взвеси составило в среднем 2,5 %.

Оценка содержания сажи и взвешенных веществ в снежном покрове на акватории Южного Байкала в 2024 г. выявила большие в 1,5 и 3 раза соответственно величины концентраций в его западной части, а накопления (в 2,3 и 1,2 раза соответственно) – вдоль восточного более заснеженного побережья. Содержание сажи в снежном покрове на акватории озера на порядок ниже, чем в промышленном центре Приангарья, г. Шелехов. Концентрации взвеси в снежном покрове на льду озера в современный период почти в 2 раза выше, чем полученные в 2010 и 2013 гг.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ЛИН СО РАН по теме 0279-2021-0014.

Список литературы

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2023 году». 2024. Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области. Иркутск.

Содержание сажи в снежном покрове Прибайкалья / Н. А. Онищук, О. Г. Нецветаева, Е. В. Моложниковаи [и др.] // Аэрозоли Сибири : материалы XXIX Всерос. науч. конф. Томск, 22–25 нояб. 2022 г. Томск, 2022. С. 61.

УДК 582.263-152:577

КЛЕТОЧНЫЕ РЕАКЦИИ ЗЕЛЕНОЙ ПАРАЗИТИЧЕСКОЙ МИКРОВОДОРОСЛИ *COCCOMYXA PARASITICA* R. N. STEVENSON & G. R. SOUTH, 1974 В УСЛОВИЯХ ОСМОТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Э. С. Челебиева*, Д. С. Лавриченко, Е. А. Богачева, Е. С. Кладченко

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН
(Россия, 299011, Севастополь, просп. Нахимова, 2)
**Автор для переписки: e.chelebieva@ibss-ras.ru*

Аннотация. В условиях глобальных климатических изменений особую актуальность приобретает изучение адаптационных механизмов патогенных микроорганизмов. В работе оценивали рост, морфометрические характеристики клеток, интенсивность флуоресценции хлорофилла, уровень активных форм кислорода (АФК) и мембранный потенциал митохондрий (МПМ) в клетках паразитической микроводоросли *C. parasitica* при различных уровнях солёности среды (13–35 psu) при помощи проточной цитометрии и световой микроскопии. При солёности 13–18 psu (характерных для Азовского и Чёрного морей) наблюдалось увеличение численности клеток в 1,5–1,7 раза с сохранением роста до 4 сут. В условиях гипоосмотической нагрузки изменения морфологии клеток (переход от эллипсоидной к сфероидальной форме) сопровождались увеличением уровня АФК.

Ключевые слова: микроводоросли, *Coccomyxa parasitica*, солёность, клеточные реакции, стресс-физиология

В контексте глобальных климатических изменений и усиления антропогенной нагрузки на морские экосистемы особую актуальность приобретает изучение адаптационных возможностей патогенных микроорганизмов. Зелёная паразитическая микроводоросль *Coccomyxa parasitica* R. N. Stevenson & G. R. South, впервые описанная в 1974 г. при исследовании поражений морского гребешка *Placopecten magellanicus* (Gmelin, 1791) у побережья Ньюфаундленда, представляет серьёзную угрозу для двустворчатых моллюсков во многих регионах Мирового океана [Stevenson, South, 1974; Phylogenetic … , 2008; Reproduction-related … , 2013]. Особую опасность представляет их способность инфицировать до 100 % популяции моллюсков-хозяев, вызывая деструктивные изменения в мантии и аддукторе, что приводит к нарушению процессов кальцификации раковины, снижению фильтрационной активности и, в конечном итоге, к гибели поражённых особей [First … , 2014; Permanent … , 2016].

В данном исследовании была изучена краткосрочная реакция *C. parasitica* на различные уровни солёности среды (13, 18, 25 и 35 psu), моделирующие условия Азовского, Чёрного, Белого и Японского морей соответственно. Альгологически чистые культуры микроводоросли, выделенные из поражённых мидий *Modiolus kurilensis* F. R. Bernard, 1983 в заливе Петра Великого, культивировались в течение 7 сут на питательной среде F/2 при строго контролируемых условиях (температура 15°C, освещённость 85 мкмоль фотонов/м²/с, фотопериод 12:12).

Снижение солёности с 35 psu до 25 psu или 18 psu не оказало существенного влияния на морфологические и морфометрические характеристики клеток паразитической микроводоросли. Численность клеток оставалась стабильной на уровне инокулюма при солёности 35 psu в течение всего периода эксперимента. При солёности 18 psu и 13 psu, характерных для Чёрного моря и Азовского морей, соответственно, отмечено интенсивное деление клеток. Это привело к увеличению плотности популяции в 1,5–1,7 раза после первых суток и сохранению ее численности до 4 сут. Однако дальнейший рост отмечен только при солёности 13 psu. Клетки при этом сохраняли преимущественно эллипсоидальную форму с характерным соотношением длины к диаметру (L/D = 1,3±0,02) и средние размеры: длина – 4,9±0,04 мкм, ширина – 3,7±0,03 мкм. Однако на вторые сутки экспозиции при 13 psu

наблюдалось статистически значимое изменение линейных параметров клетки. Форма клеток менялась с эллипсовидной на сфероидальную, что отражалось в снижении соотношения L/D с 1,3±0,02 до 0,98±0,001. Интенсивность флуоресценции хлорофилла a возрастала во всех экспериментальных группах, достигая максимальных значений при 25 psu. При этом уровень АФК увеличивался в условиях пониженной солёности (13–18 psu). Мембранный потенциал митохондрий демонстрировал сложную двухфазную динамику с выраженным пиком на вторые сутки эксперимента, особенно заметным при 18 psu и последующей стабилизацией до конца периода наблюдений.

Полученные данные позволяют предположить достаточную экологическую пластичность *C. parasitica*, способной сохранять жизнеспособность в широком диапазоне солёности (13–35 psu), что указывает на потенциальную опасность распространения этого патогена в акватории Азовского и Чёрного морей. Способность клеток активировать антиоксидантную систему и поддерживать энергетический метаболизм в условиях осмотического стресса объясняет их высокую выживаемость при изменении солёности среды.

Эти результаты имеют важное практическое значение для прогнозирования распространения патогена в условиях изменения климата и разработки мер безопасности в аквакультуре моллюсков.

Благодарности. Авторы выражают благодарность ЦКП «Приморский океанариум», ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток). Авторы благодарят канд. биол. наук Марину Александровну Ващенко, канд. биол. наук Марию Александровну Шульгину и канд. биол. наук Анну Андреевну Пономареву за всестороннюю помощь и поддержку в выделении штамма *C. parasitica*. Настоящее исследование финансировалось грантом РНФ № 24-26-20096 «Распространение паразитической микроводоросли *Coccomyxa parasitica* в Черном море – оценка адаптационного потенциала и угроз для региональной марикультуры».

Список литературы

First record of the green microalgae Coccomyxa sp. in blue mussel Mytilus edulis (L.) from the Lower St. Lawrence Estuary (Québec, Canada) / M. Zuykov, C. Belzile, N. Lemaire [et al.] // Journal of invertebrate pathology. 2014. Vol. 120. P. 23–32. DOI: 10.1016/j.jip.2014.05.001

Permanent culture and parasitic impact of the microalga Coccomyxa parasitica, isolated from horse mussel Modiolus kurilensis / Y. Sokolnikova, T. Magarlamov, A Stenkova., V. Kumeiko // Journal of invertebrate pathology. 2016. Vol. 140. P. 25–34. DOI: 10.1016/j.jip.2016.07.012

Phylogenetic and morphological characterisation of the green algae infesting blue mussel *Mytilus edulis* in the North and South Atlantic oceans / F. Rodríguez, S. W. Feist, L. Guillou [et al.] // Diseases of Aquatic Organisms. 2008. Vol. 81, N 3. P. 231–240. DOI: 10.3354/dao01956

Reproduction-related effects of green alga Coccomyxa sp. infestation in the horse mussel Modiolus modiolus / M. A. Vaschenko, A. L. Kovaleva, I. G. Syasina, A. D Kukhlevsky // Journal of invertebrate pathology. 2013. Vol. 113, N 1. P. 86–95. DOI: 10.1016/j.jip. 2013.02.003

Stevenson R. N., South G. R. Coccomyxa parasitica sp. nov. (Coccomyxaceae, Chlorococcales), a parasite of giant scallops in Newfoundland // British Phycological Journal. 1974. Vol. 9, N 3. P. 319–329. DOI: 10.1080/00071617400650391

УДК 575

IN VITRO АНАЛИЗ ДНК-ТРАНСПОЗОНОВ DTSSA4 У БАЙКАЛЬСКИХ СИГОВЫХ РЫБ

В. М. Черезова*, Т. Ю. Майор, Т. В. Сидорова, Ю. П. Сапожникова, А. Г. Королева, Л. В. Суханова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: lcherezova12@yandex.ru*

Аннотация. Работа заключается в анализе транскрипционной активности ДНК-транспозонов DTSsa4 у байкальского озерного сига с использованием метода RACE и нанопорового секвенирования. Подтверждено присутствие транспозонов DTSsa4 в составе мРНК генов хозяина.

Ключевые слова: транспозоны, Tc1/*mariner*, RACE, нанопоровое секвенирование, сиговые рыбы

Геномы лососевых рыб содержат большое количество транскрибируемых мобильных элементов (МЭ). Стрессы, такие как температурный шок, токсины и болезни, по-видимому, стимулируют активность некоторых МЭ, но лежащие в их основе механизмы остаются гипотетическими. Предполагается, что Tc1-подобные ДНК-транспозоны могут транскрибироваться как с собственных промоторов, так и в составе мРНК генов хозяина.

Подавляющая часть информации о Tc1-подобных ДНК-транспозонах получена в результате поиска сходных последовательностей в базах данных. Однако в данном исследовании мы предлагаем методику *in vitro* «извлечения» фрагментов транспозонных последовательностей непосредственно из транскриптома вместе с соседствующим фрагментом мРНК методом RACE (Rapid Amplification of cDNA Ends).

Объектом для работы являлся байкальский озерный сиг *Coregonus baicalensis* Dybowski, выращенный в контролируемых условиях ПАК ЛИН СО РАН. Данный подход протестирован на семействе DTSsa4 ДНК-транспозонов Tc1/*mariner*, впервые обнаруженном у атлантического лосося *Salmo salar* и показавшем дифференциальную активность при сравнении транскриптомов мозга байкальских озерного сига и омуля. Геноспецифичные праймеры были подбраны на консервативный DDE-домен транспозазы и направлены в сторону 3’ концов транскриптов. При амплификации применялась техника «внешнего праймирования» универсальными смесями адаптерных праймеров одновременно с «заглублением» геноспецифических праймеров. Метод позволяет получить данные о структуре транскрипта, основываясь на минимальной информации о его последовательности. Затем целевые транскрипты были проанализированы методом нанопорового секвенирования (NGS, Oxford Nanopore Technologies), получено 602 225 первичных данных. Отбраны последовательности длиной более и равные 700 п. н., проведена чистка транскриптов по критериям: содержат праймеры, метки, фрагмент транспозона и фрагмент мРНК хозяина. После очистки количество данных уменьшилось до 25 381 последовательностей, что составляет 4,2 % от полученных данных, с длиной от 700 до 3644 п. н.

В настоящее время проводится функциональная аннотация полученных транскриптов и анализ уровня экспрессии найденных мРНК с использованием данных RNAseq (Illumina) байкальского озерного сига, подвергнутого температурным воздействиям на ранних этапах онтогенеза.

Благодарности. Исследование поддержано проектом РНФ № 23-24-00644.

УДК 579.266

ГЕНОМ БЕСЦВЕТНОЙ СЕРНОЙ БАКТЕРИИ *THIOPLOCA* SP., ОБИТАЮЩЕЙ В ОЗЕРЕ БАЙКАЛ

С. М. Черницына*, С. В. Букин, Т. И. Земская

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: sveta@lin.irk.ru*

Аннотация. Использован метагеномный подход для изучения генома бесцветной серной бактерии рода *Thioploca*, обитающей в различных районах оз. Байкал. Согласно геномному анализу ближайшим филогенетическим родственником байкальской бактерии является пресноводная *T. ingrica*. В ее геноме выявлены характерные для *T. ingrica* наборы генов, обеспечивающие процессы денитрификации, окисления серы и фиксации неорганического углерода, ассимиляции ацетата и цикла ТСА. В бактериальных матах на основе *Thioploca* sp. развивается богатое микробное сообщество с различными метаболическими возможностями.

Ключевые слова: *Thioploca* sp., Байкал, серные бактерии, геном

В 1991 г. при погружениях обитаемых подводных аппаратов в районе глубоководной гидротермальной разгрузки в северной котловине озера ученые обнаружили покрытую микробными матами поверхность осадков. Здесь были зафиксированы высокие скорости сульфатредукции и метаногенеза, что свидетельствовало о развитии сообщества, основанного на бактериальном хемосинтезе; матообразующей бактерией оказалась серная бактерия рода *Thioploca* [Новое … , 1991]. Позднее нити *Thioploca* sp. были обнаружены при исследовании осадков в районах приповерхностного залегания газогидратов и нефтепроявлений, а ее наибольшая численность отмечена в устьях рек Селенги и Баргузин [Бесцветные … , 2009].

Ввиду сложности культивирования чистые культуры большинства серных бактерий до настоящего момента не получены. Для идентификации и изучения их метаболизма в настоящее время широко применяется геномное секвенирование. Для рода *Thioploca* в базе данных GDTB на июнь 2025 г. имеется 13 геномных записей разной степени сборки (6 scaffolds, 6 contigs), 6 из них аннотированы, полностью собран только один геном – *Thioploca ingrica* из пресноводного оз. Окотанпе (Япония) [Ecophysiology … , 2015].

Нами реконструирован геном, собранный из метагенома байкальской *Thioploca* sp., обитающей в донных осадках дельты р. Селенги. В результате геномного секвенирования получено 143 млн чтений, 123 млн было картированы, из них 75 млн (59 %) принадлежали *Thioploca* sp. При извлечении из общего массива последовательностей, отнесенных к порядку *Beggiatoales* и всем его дочерним таксонам, получен один контиг, отнесенный к *Thioploca* sp. Показатель полноты сборки составил 76,3 % с контаминационным показателем 1,1 %. Согласно NCBI RefSeq для данного генома ближайшим является геном *Thioploca ingrica* из оз. Окотанпе (согласно CheckM2 100 % и 1 % контаминации; [Ecophysiology … , 2015]). Значения ANI и dDDH байкальского генома с *T. ingrica* составляет 94,43 и 58,70 % соответственно, что ниже пороговых значений для видовой идентификации. При построении филогеномного дерева на основе 120 конкатенированных генов байкальская *Thioploca* образует отдельную ветвь с *T. ingrica* из японского озера. Вместе с ними группируется *Thioploca* sp. из перифитоновых строматолитов (Южная Африка).

Геном байкальской *Thioploca sp.,* как и *T. ingrica,* содержит наборы генов, необходимые для денитрификации, окисления сероводорода до сульфата, фиксации неорганического углерода (цикл Кальвина), ассимиляции ацетата и цикла ТСА. В отличие от японской бактерии, в геноме байкальского представителя *Thioploca* sp. присутствовали гены, кодирующие ферменты серотрансферазу (EC 2.8.1.1), сероредуктазу (1.97.1.3), фруктозо-1,6-бифосфатазу (EC 3.1.3.11), формиатдегидрогеназу (EC 1.17.1.9) и др., что может свидетельствовать о наличии подвида *Thioploca* sp.

Из микробного сообщества, ассоциированного с *Thioploca* sp., были собраны геномы микроорганизмов, принадлежащие филумам *Desulfobacterota, Chloroflexota, Verrucomicrobiota, Bacteroidota, Myxococcota, Pseudomonadota.* Большая часть геномов содержала наборы генов, ответственных за цикл Кребса, диссимиляторную нитратредукцию, денитрификацию (до нитрита и оксидов азота). Около половины геномов имели гены автотрофной фиксации оксида углерода (IV) и синтеза полигидроксиалканоатов для запасания углерода. Цикл серы в микробном сообществе, сопутствующем *Thioploca sp*., представлен значительно меньше. Некоторые геномы содержат гены, обеспечивающие диссимиляторную сульфатредукцию (*sat, aprAB, dsr*) и образование полисульфида (серных глобул, *sqr)*.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (НИОКТР 121032300223-1 [0279-2021-0006]) и гранта РНФ 22-14-00084. Геномное секвенирование проводили на платформе GenoLab M (Sesana, Москва).

Список литературы

Бесцветные серные бактерии рода Thioploca из различных районов озера Байкал / Т. И. Земская, С. М. Черницына, Н. М. Дульцева, В. Н. Сергеева [и др.] // Микробиология. 2009. Т. 78, № 1. С. 134–143.

Новое в природе Байкала. Сообщество, основанное на бактериальном хемосинтезе / А. П. Кузнецов, В. П. Стрижов, В. С. Кузин [и др.] // Известия АН СССР. Серия биологическая. 1991. № 5. С. 766–772.

Ecophysiology of Thioploca ingrica as revealed by the complete genome sequence supplemented with proteomic evidence H. Kojima, Y. Ogura, N. Yamamoto [et al.] // The ISME Journal. 2014. Vol. 9, N 5. P. 1166–1176. DOI: 10.1038/ismej.2014.209

УДК 577.47:170.49

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРБИКУЛ *CORBICULA JAPONICA* ИЗ УСТЬЕВЫХ УЧАСТКОВ РЕК БАССЕЙНА ЯПОНСКОГО МОРЯ (ПРИМОРСКИЙ КРАЙ) В МОНИТОРИНГЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Е. Н. Чернова[1]*, Л. А. Прозорова[2], В. В. Богатов[2]

[1]Тихоокеанский институт географии ДВО РАН
(Россия,690041 Владивосток, ул. Радио, 7)
[2]Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии
(Россия, 690029, Владивосток, просп. 100 лет Владивостоку, 159г)
**Автор для переписки: elena@tigdvo.ru*

Аннотация. Цель – изучить содержание металлов в *Corbicula japonica* устьевых участков рек Приморского края. Пороговой концентрацией металлов фонового диапазона (Спорог) в моллюсках считали величину «медиана + 2МАО (медиана абсолютных отклонений от медианы»). Концентрации Cd и Pb в моллюсках не превышали ПДК для пищевых объектов. Превышение Спорог в корбикулах наблюдалось для Ni (40 % случаев), Cu и Zn (30 %). Превышение концентрации Cd до 5 Спорог наблюдается в моллюсках из р. Гладкой, Ni до 2 Спорог – из рек Артемовки и Шкотовки, Cu до 1,4 Спорог – из рек Гладкой и Шкотовки. В моллюсках и донных осадках концентрации Cu и Ni чаще всего превышают фоновые недействующие значения.

Ключевые слова: *Corbicula japonica*, биомониторинг, тяжелые металлы, реки бассейна Японского моря (Приморский край, Россия)

Цель работы – изучить содержание металлов в корбикулах *Corbicula japonica* (Prime, 1864) устьевых зон рек западной части Японского моря для оценки состояния водной среды и как пищевого объекта.

Исследованные устьевые участки рек принадлежат бассейну Японского моря (Приморский край). Река Киевка впадает в открытую часть Японского моря, реки Гладкая, Раздольная, Артемовка, Шкотовка, Кневичанка – в зал. Петра Великого.

Моллюски и донные осадки были собраны на глубине 1,5–2 м в октябре – ноябре 2019–2021 гг. Пробоподготовка описана в работе В. В. Богатова с соавт. [Особенности … , 2018]. Определение металлов Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Cd, Pb проводили методом атомной абсорбции на приборе Shimadzu AA-6800 в пламенном и беспламенном (Pb) вариантах в Центре ландшафтно-экологической диагностики и ГИС-технологии ТИГ ДВО РАН. Концентрации выражали в мкг/г сух. массы. В качестве показателя упитанности моллюсков рассчитывали индекс мягких тканей (CI) – отношение сухой массы мягких тканей (мг) к условному объему раковины в см^3, равному произведению ее высоты, длины и выпуклости.

С помощью метода, разработанного для определения пороговых концентраций в компонентах среды [Лукашев, 2007], были рассчитаны пороговые значения (Спорог) фоновых концентраций металлов в корбикулах как «медиана + 2МАО (двойная медиана абсолютных отклонений от медианы)».

При длине корбикул 2,2–3,8 см, средний CI варьировал от 4,8 до 19,5 мг/см^3. Концентрации металлов в мягких тканях составляли в среднем (в мкг/г сух. массы): 214–1455 – Fe, 108–231 – Zn, 6–51 – Mn, 14–29 – Cu, 0,5–2,4 – Ni, 0,3–5,0 – Cd, 0,01–0,34 – Pb. Рассчитанные пороговые концентрации металлов фонового диапазона в корбикулах составили в мкг/г: Fe – 498, Zn – 191, Mn – 22,7, Cu – 21,8, Ni и Cd – 1,1, Pb – 0,11.

Донные осадки в местах отбора проб представляли собой плотный ил с содержанием частиц ≤0,1 мм – от 84 до 95 %. Кислоторастворимые формы металлов в них составляли 2,1–3,8 % Fe, 157–330 мкг/г Mn, 46–112 Zn, 14–23 Ni, 10–25 Pb, 7,7–22,1 Cu, 0,02–0,10 мкг/г Cd.

Корбикулы – съедобные моллюски, добываемые для использования в пищу и медицинских целей, они также используются в мониторинге загрязнения среды металлами.

Для пищевых продуктов разработаны предельные нормативы содержания вредных веществ, в частности ПДК четырех наиболее токсичных элементов (Cd, Pb, Hg, As). Для оценки качества среды они непригодны, так как существует видоспецифичность в аккумуляции металлов разными организмами и геохимические различия водных объектов.

Устьевые районы рек (Раздольная, Артемовка, Кневичанка) не попадают под определение «фоновых». Они загрязнены органическими веществами, биогенными элементами, металлами – Fe, Mn, Cu [Качество … , 2021]. Однако в этих условиях корбикулы рек Приморья пригодны для использования в пищу, концентрации Cd и Pb в тканях моллюсков не превышали санитарные нормативы. Концентрации металлов в корбикулах сопоставимы с таковыми из незагрязненных водных объектов Приморского края и антропогенно-освоенных рек Вьетнама [Богатов, Прозорова, Никулина, 2018], и значительно ниже, чем в корбикулах китайских рек [Distribution … , 2018].

Относительно $С_{порог}$, в корбикулах из р. Киевка содержались повышенные концентрации Fe и Ni. В корбикулах из р. Гладкой – Cd, Cu и Fe. Они сопровождались низкой величиной индекса упитанности (CI = 5,6–4,8), что свидетельствует о возможном нересте моллюсков, или неблагоприятных условиях. В р. Раздольной наблюдались повышенные концентрации Zn и Cd в корбикулах при высоком CI – 13,3 мг/см³.

Повышенные концентрации металлов, относительно Спорог, в части особей из выборки наблюдались в 2021 г., отличающегося маловодностью [Богатов, Прозорова, Никулина, 2023]. Вероятно, маловодность способствовала концентрированию ряда элементов в источниках поступления и в компонентах экосистемы реки в целом.

Таким образом, в отношении загрязнения металлами корбикул из устьевых антропогенно-нагруженных зон рек, впадающих в зал. Петра Великого, можно сказать, что превышение фоновых значений чаще всего наблюдается для Ni (в 40 % случаев), для Cu и Zn (30 %), реже – для остальных металлов (Fe, Mn, Cd, Pb – в 20 % случаев). Самое высокое 5-кратное превышение над Спорог наблюдается для Cd в корбикулах из р. Гладкой, 3-кратное для Fe из р. Киевки, 2-кратное для Ni из рек Артемовки и Шкотовки. И в моллюсках и в донных осадках выделяются одни и те же элементы – Cu и Ni, наиболее часто превышающие фоновые недействующие значения концентраций. Степень загрязнения данными металлами устьевых районов невелика, но превышает фон.

Благодарности. Результаты исследований получены в рамках госзадания Минобрнауки РФ (FWMW-2025-0001, № 125021302113-3).

Список литературы

Богатов В. В., Прозорова Л. А., Никулина Т. В. Замор крупных двустворчатых моллюсков в реках южного приморья в летне-осенний сезон 2021 г. // Экология. 2023. № 1. С. 35–45.

Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник 2021 / гл. ред. М. М. Трофимчук. Ростов-на-Дону : Гидрохим. ин-т, 2022. URL: https://gidrohim.com/sites/default/files/Ежегодник %202021_1 (дата обращения: 17.10.2024).

Лукашев Д. В. Метод расчета фоновых концентраций тяжелых металлов в мягких тканях двустворчатых моллюсков для оценки загрязнения р. Днепр // Биология внутренних вод. 2007. № 4. С. 97–106.

Особенности биоаккумуляции тяжелых металлов у двустворчатых моллюсков (Bivalvia) / В. В. Богатов, Л. А. Прозорова, Е. Н. Чернова, Е. В. Лысенко // Вестник ДВО РАН. 2018. Т. 4. С. 79–87.

Distribution, contamination and accumulation of heavy metals in water, sediments, and freshwater shellfish from Liuyang River, Southern China / Y. Jia, L. Wang, Zh. Qu, Zh. Yang // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25. P. 7012–7020.

УДК 591.421:611.21

АНАТОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХРЯЩЕЙ НОСА У БАЙКАЛЬСКОЙ НЕРПЫ (*PUSA SIBIRICA* GMELIN, 1788) В ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ

У. Р. Шарипова*, Н. И. Рядинская

Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежевского
(Россия, 664038, Иркутская обл., пос. Молодежный, 1/1)
**Автор для переписки: uno4ka03@mail.ru*

Аннотация. Исследование посвящено изучению анатомических особенностей носовых хрящей байкальской нерпы в связи с их адаптационной функцией при глубоководных погружениях. Методами анатомического препарирования и морфометрии выявлены специфические особенности строения парных и непарных хрящевых структур носа. Установлено, что с возрастом происходит утолщение и уплотнение хрящевой ткани, а также изменение ее пигментации. Полученные данные позволяют лучше понять механизмы адаптации дыхательной системы этого уникального пресноводного тюленя к условиям глубоководного ныряния.

Ключевые слова: байкальская нерпа, хрящи носа, анатомическое строение

Байкальская нерпа – единственный вид пресноводных тюленей эндемичный для оз. Байкал. Особое значение в приспособленности нерпы к погружению на большие глубины играет строение дыхательных путей, в частности носовых хрящей, обеспечивающих эффективное закрытие ноздрей при нырянии.

Несмотря на значительный интерес к биологии [Петров, 2009] и поведению [Веселова, Искусных, 2019; Значение … , 2021] байкальской нерпы, анатомия и постнатальное развитие ее хрящевых структур дыхательного аппарата остаются малоизученными. Между тем возрастные изменения хрящей носа могут иметь важное значение для понимания механизмов адаптации к водной среде, особенно в ранние периоды жизни, когда формируются ключевые функциональные особенности.

Материалом для исследования послужили головы нерп разных возрастов ($n = 6$). Применялись классические анатомические методы: препарирование, морфометрия, описание, фотографирование.

Хрящи носа у байкальской нерпы имеют темный, практически черный цвет. Они представлены парными дорсальными, латеральными и вентральными боковыми хрящами и непарным хрящом носовой перегородки с поперечно расположенным добавочным хрящом (рис.).

Сращенные дорсальные хрящи формируют дорсолатеральную стенку носовой полости. Каудально они прикрепляются к вентральной поверхности носовых костей и медиальной поверхности резцовых костей черепа.

Латеральные боковые хрящи имеют форму пера и частично формируют боковые стенки ноздрей. Они подвижны и служат местом крепления мышц, расширяющих ноздри. Каудально латеральные боковые хрящи прикрепляются к медиальной поверхности резцовых костей и частично срастаются с дорсальными хрящами.

Вентральные боковые хрящи представлены гребнем, направляющимся с резцовых костей медиально к добавочному хрящу.

Непарный хрящ носовой перегородки разделяет носовую полость на две симметричные половины. Он начинается в преддверии носовой полости и оканчивается у переднего края орбиты, переходя в сагиттальную пластинку решетчатой кости. Кроме того, хрящ носовой перегородки в преддверии носовой полости вентрально срастается с самым малым из изучаемых хрящей – поперечно стоящим добавочным хрящом.

С возрастом хрящи носа у байкальской нерпы приобретают более темный цвет, утолщаются и уплотняются, что связано с необходимостью адаптироваться к погружению на значительные глубины озера.

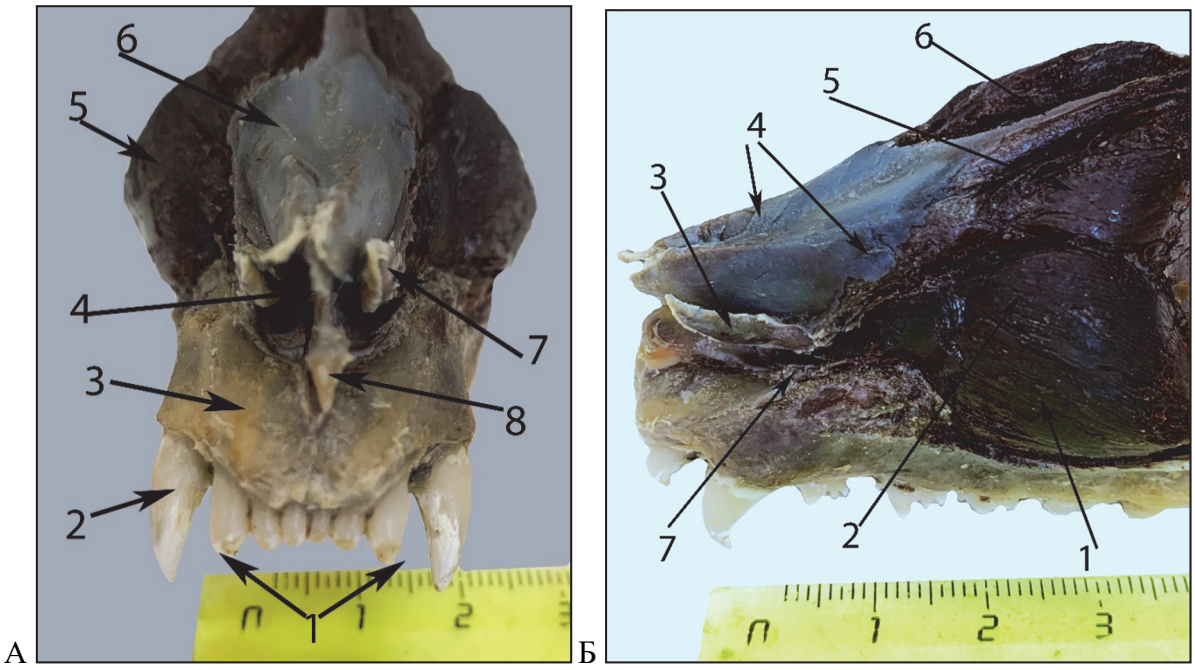


Рис. Хрящевой остов носовой полости байкальской нерпы в возрасте 2 лет.
А – фронтальная проекция: *1* – резцы; *2* – клыки; *3* – резцовая кость; *4* – хрящ носовой перегородки; *5* – носовые раковины (после удаления верхнечелюстной кости); *6* – дорсальный хрящ; *7* – латеральный хрящ; *8* – добавочный хрящ. *Б* – боковая проекция: *1* – вентральная носовая раковина; *2* – средняя носовая раковина; *3* – латеральный боковой хрящ; *4* – дорсальный хрящ; *5, 6* – дорсальные носовые раковины; *7* – вентральный боковой хрящ

Список литературы

Веселова Н. А., Искусных Е. А. Поведение байкальских нерп Pusa sibirica (Gmelin, 1788) в условиях океанариума // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию А. В. Леонтовича. Москва, 3–6 июня 2019 г.: сб. ст. М. : Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2019. С. 26–29.

Значение береговых лежбищ в жизни байкальской нерпы (*Pusa sibirica* Gmelin 1788, pinnipedia). 2. Поведение на лежбищах / Е. А. Петров, А. Б. Купчинский, В. А. Фиалков, А. А. Бадардинов // Зоологический журнал. 2021. Т. 100, № 6. С. 671–685.

Петров Е. А. Байкальская нерпа. Изд. испр., доп. Улан-Удэ : ЭКОС, 2009. 176 с.

УДК 504.455:556.114.6

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ТРАНСФОРМАЦИЮ ВЕЩЕСТВ В НЕБОЛЬШОМ РАВНИННОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Е. А. Шашуловская*, С. А. Мосияш

Саратовский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии
(Россия, 410002, Саратов, ул. Чернышевского, 152)
**Автор для переписки: shash.elena2010@yandex.ru*

Аннотация. Рассмотрена роль Пензенского (Сурского) водохранилища в трансформации содержания в воде органического вещества и биогенных элементов, поступивших в него с притоками и стоке из него, в 2020–2023 гг. Показано влияние объема водного притока, количества атмосферных осадков и температурных условий на эти процессы.

Ключевые слова: Пензенское водохранилище, водный приток, органическое вещество, биогенные элементы

Гидрохимической основой биологической продуктивности водных экосистем являются органическое вещество и биогенные элементы. Их поступление в водоемы определяется в том числе и природными процессами – погодными и гидрологическими условиями. В небольших водохранилищах с замедленным водообменом влияние этих факторов на экосистемные характеристики проявляется быстрее, поэтому их можно использовать в качестве модели для изучения этих процессов в течение относительно короткого периода времени. Таким модельным водоемом может служить Пензенское (Сурское) водохранилище, расположенное в Пензенской области на слиянии рек Суры и Узы и имеющее вследствие этого сложную конфигурацию. Объем искусственного водоема – 0,56 км^3, площадь водного зеркала при НПУ – 110 км^2, коэффициент водообмена ~2,5 раза/год. Цель работы – выявить роль водохранилища в трансформации веществ, поступающих в него с притоками, в зависимости от погодных и гидрологических факторов.

Отбор гидрохимических проб проводили в 2020–2023 гг. на реках Сура (Сура I) и Уза выше водохранилища, в самом водохранилище и в р. Сура ниже плотины (Сура II) в сезонном аспекте. Исследовали содержание органического вещества (ОВ) и биогенных элементов по общепринятым в гидрохимической практике методикам. Объемы притока и стока, значения температуры воздуха и суммы атмосферных осадков заимствованы из материалов открытого доступа (https://gidrouzel-pnz.ru, http://www.meteo.ru).

Годы наблюдения различались по температурному режиму и водности. 2020 г. отличался теплой зимой и, как следствие, более коротким периодом ледостава. В апреле-мае 2020 г. выпало наибольшее за исследуемый период количество осадков. Подъем воды в половодье наблюдался, как правило, в апреле, за исключением 2023 г., когда максимальный приток был зарегистрирован в марте. Наибольший объем годового притока отмечен в 2023 г. Самые низкие весенние температуры воды и максимальный объем половодья фиксировали в 2022 г. Наиболее теплым был июль 2021 г., наиболее холодным – июль 2023 г. Климатические и гидрологические особенности исследуемого периода повлияли на гидрохимический режим водохранилища, характеризующийся, как и в предыдущий период наблюдений [Динамика … , 2020], большой гетерогенностью концентраций ингредиентов.

Аномально теплая зима 2020 г., короткий период ледостава и обильные осадки в апреле, вероятно, повлияли на увеличение концентрации легкоокисляемого ОВ в течение всего вегетационного периода. Высокие величины $БПК_5$ отмечены в апреле на всех станциях и не снижались в течение сезона. Другой особенностью этого года являлись экстремальные концентрации нитритов повсеместно в весенний период (до 0,30–0,35 мгN/дм^3), что на по-

рядок выше средних концентраций за предыдущие годы [Динамика … , 2020]. Весной между величиной цветности, содержанием азота аммония и нитритов наблюдалась высокая корреляционная связь (r = 0,83–0,91 при p = 0,00), свидетельствующая очевидно о поступлении этих соединений с водосбора. В пространственном распределении величин этих показателей весной наблюдался достоверный отрицательный тренд к низовью водохранилища. Ниже плотины (Сура II) содержание ингредиентов снижалось в 1,5–2 раза. В летний период вследствие образования ОВ при биопродукционных процессах в водохранилище величины перманганатной и бихроматной окисляемости (ХПК), $БПК_5$ на станции Сура II были более высокими.

Весной 2021 г. содержание исследуемых ингредиентов не превышало среднемноголетних значений [Динамика … , 2020]. На станции Сура II их содержание снижалось 1,4–1,8 раз. Летний период 2021 г. характеризовался повышенными температурами воды, в связи с чем интенсифицировались биопродукционные процессы. Содержание ОВ по перманганатной окисляемости, ХПК, $БПК_5$ в водохранилище и, соответственно, ниже плотины (Сура II) увеличилось вследствие образования автохтонной органики, а содержание биогенных элементов уменьшилось из-за их утилизации автотрофами.

Весна 2022 г. характеризовалась максимальным объемом притока в апреле. Между величиной цветности, содержанием азота нитритов и нитратов в этот период наблюдалась высокая статистическая связь (r = 0,68 – 0,97 при p = 0,01), как и в 2020 г., свидетельствующая о поступлении этих соединений с водосбора. Содержание ОВ, соединений азота и фосфора на станции Сура II было в 1,4–5 раз ниже, чем в притоках водохранилища. Концентрации нитратов весной были максимальными за период наблюдений. В пространственном распределении этих соединений летом и осенью наблюдалась гомогенность концентраций.

В 2023 г. отмечали аномальное распределение притока: максимальный объем зарегистрирован в марте. Лето отличалось низкими температурами и большим количеством осадков. Особенностью гидрохимического режима этого года можно считать относительно низкие значения цветности в весенний период и гомогенность концентраций исследуемых ингредиентов по акватории в течение вегетационного сезона, за исключением содержания легкоокисляемого ОВ, сезонная динамика которого была аномальна. Максимальные величины показателя $БПК_5$ (9,3 $мгO_2/дм^3$) отмечены в апреле в притоках водохранилища. На станции Сура II его концентрация несколько снижалась, оставаясь высокой. В летний и осенний периоды отмечены самые низкие величины $БПК_5$ за период наблюдений.

Проведенные исследования Пензенского водохранилища позволили дать предварительную оценку факторам, влияющим на трансформацию ОВ и биогенных элементов, как в самом водоеме, так и стоке из него. С увеличением объема половодья в апреле повышается концентрация всех форм ОВ и биогенных элементов, находящихся в корреляционной связи с количеством гуминовых соединений. На содержание легкоокисляемой фракции ОВ влияют погодные условия, при которых формируется сток талых вод, а также температурный режим, стимулирующий или тормозящий образование автохтонной органики. При поступлении аллохтонного ОВ и связанных с ним биогенных элементов водохранилище выступает как своеобразный отстойник. Ниже плотины концентрации исследуемых соединений существенно уменьшались. При условиях, стимулирующих биопродукционные процессы, величины ОВ на выходе из водохранилища повышалась. Динамика соединений азота и фосфора более сложная и требует отдельного рассмотрения.

Список литературы

Динамика трофических показателей малого равнинного водохранилища в разные периоды его существования (на примере Пензенского водохранилища на р. Сура) / Е. А. Шашуловская, С. А. Мосияш, И. Н. Далечина [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2020. Т. 13, № 4. С. 368–386. DOI: 10.17516/1997-1389-0334

УДК 574.58:597

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ ДЕЛЬТЫ Р. СЕЛЕНГИ

В. Г. Ширеторова*, С. В. Базарсадуева, Е. П. Никитина, Н. Б. Нимбуева, В. В. Тараскин

Байкальский институт природопользования СО РАН
(Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)
**Автор для переписки: vgshiretorova@mail.ru*

Аннотация. Исследованы уровни тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd) в органах и тканях (чешуя, жабры, мышечная ткань, печень, почки, икра, молоки, селезенка) промысловых видов рыб из дельты р. Селенги: плотвы (*Rutilus rutilus*), окуня (*Perca fluviatilis*) и щуки (*Esox lucius*), также была дана характеристика среды обитания, включая воду и донные отложения. Проведены расчеты коэффициента биоаккумуляции и фактора биомагнификации тяжелых металлов в пищевой цепи. Значения индекса загрязнения металлами органов и тканей рыб показали отсутствие загрязнения, либо очень низкое загрязнение. Оценка потенциальных рисков для здоровья человека, связанных с потреблением рыбы, показала отсутствие риска неканцерогенных последствий для здоровья человека.

Ключевые слова: промысловые рыбы, дельта Селенги, тяжелые металлы, индекс загрязнения металлами, индекс опасности

Продолжающееся загрязнение рек, озер и водохранилищ тяжелыми металлами (ТМ) через выбросы в атмосферу, сбросы сточных вод и твердые отходы приводит к их накоплению в экосистемах, тканях и органах рыб, что вызывает серьезную обеспокоенность. В водных экосистемах живые организмы являются участниками геохимической миграции элементов и выступают в качестве биологического барьера. Химические элементы через систему трофических взаимосвязей избирательно накапливаются в организмах.

В данной работе исследованы уровни тяжелых металлов (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Cd) в органах и тканях (чешуя, жабры, мышечная ткань, печень, почки, икра, молоки, селезенка) промысловых видов рыб из дельты р. Селенги: плотвы (*Rutilus rutilus*), окуня (*Perca fluviatilis*) и щуки (*Esox lucius*), также была дана характеристика среды обитания, включая воду и донные отложения. Распределение тяжелых металлов по органам и тканям рыб определялось как их физиологическими функциями, так и путями поступления. Для плотвы была характерна повышенная биоаккумуляция в тканях печени цинка, а для окуня и щуки – меди. Результаты расчета фактора биомагнификации ТМ в пищевой цепи «плотва»-«окунь»-«щука» показали, что происходит «передача» марганца, цинка, меди и никеля (фактор биомагнификации > 1). Значения индекса загрязнения металлами органов и тканей рыб показали отсутствие загрязнения, либо очень низкое загрязнение. Оценка потенциальных рисков для здоровья человека, связанных с потреблением рыбы, проведенная с использованием целевых коэффициентов опасности и индекса опасности показала, что потребление исследованных видов рыб не представляет чрезмерного риска неканцерогенных последствий для здоровья человека.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания Байкальского института природопользования СО РАН (АААА-А21-121011890027-0) с использованием оборудования центра коллективного пользования БИП СО РАН.

УДК 543.31

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗ. КОТОКЕЛЬ (ВОСТОЧНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

В. Г. Ширеторова*, Е. П. Никитина, С. В. Базарсадуева, Н. Б. Нимбуева, В. В. Тараскин, Е. Ж. Гармаев

Байкальский институт природопользования СО РАН
(Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)
**Автор для переписки: vgshiretorova@mail.ru*

Аннотация. Озеро Котокель – крупный промысловый водоем Бурятии, расположенный на восточном побережье оз. Байкал, имеющий большое туристско-рекреационное значение. В 2008–2009 гг. на озере была зарегистрирована вспышка Гаффской болезни. Цель работы – определение содержаний тяжелых металлов в воде и донных отложениях оз. Котокель. В ходе сезонных исследований, проведенных в 2024 г. методом атомно-абсорбционной спектрометрии было определено содержание Fe, Mn, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb и Cd в образцах поверхностной и придонной воды, а также в донных отложениях. Результаты показали высокую пространственную, а также временную неоднородность содержания тяжелых металлов в воде и донных отложениях оз. Котокель, которая, вероятно, обусловлена влиянием разгрузки трещинно-жильных вод.

Ключевые слова: Котокель, тяжелые металлы, вода, донные отложения, атомно-абсорбционная спектрометрия

Озеро Котокель (в литературе Котокельское, реже Катакель) – крупный промысловый водоем Бурятии, расположенный на восточном побережье оз. Байкал. Площадь поверхности озера 68,9 км², длина 15 км, наибольшая ширина 6 км, средняя (максимальная) глубина – 4 (14) м. Резко возросшая в 80–90-х гг. XX в. рекреационная нагрузка на водоем в сочетании с неблагоприятными природными факторами привели к потере озером рыбохозяйственного значения, а затем и к экологической катастрофе. Вспышка Гаффской болезни на оз. Котокель, начавшаяся в 2008–2009 гг. оказалась самой продолжительной на территории России – озеро оставалось неблагополучным в течение 7 лет. Несмотря на столетнюю историю Гаффской болезни и распространение по всему миру, её причины и механизм развития до настоящего времени не раскрыты в полной мере [Ретроспективный … , 2024]. В числе вероятных факторов, влияющих на токсинообразование, помимо цветения водоемов со значительным количеством сине-зеленых водорослей в составе флоры [Выявление … , 2010], отмечались и отклонения в показателях химического состава – повышенные уровни железа, марганца и химического потребления кислорода по всей акватории [Особенности … , 2023].

Цель работы – определение содержаний тяжелых металлов (ТМ) в воде и донных отложениях (ДО) оз. Котокель. Отбор проб в акватории оз. Котокель проводился в 2024 г. в ходе четырех сезонных экспедиций. Всего было отобрано 93 пробы поверхностной и придонной воды и 70 проб донных отложений. Для определения растворенных форм элементов пробу озерной воды фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм, а затем фиксировали концентрированной азотной кислотой. Отбор проб донных осадков проводили с помощью дночерпателя Петерсона, подготовку к анализу выполняли в микроволновой системе пробоподготовки MARS 6. Определение содержаний металлов проводилось с использованием атомно-абсорбционного спектрометра Solaar M6.

Анализ полученных результатов показал, что в течение 2024 г. содержания Fe, Mn, Zn и Cr в воде оз. Котокель изменялись в пределах (мг/л) 0,012–0,224; 0,001–0,019; 0,001–0,011 и 0,001–0,003 соответственно. Для сезонной динамики было характерно повышение концентраций указанных элементов в подледный период, а также весной при поступлении загрязненных талых вод с прилегающих территорий. Зимой рост содержаний ТМ может быть обусловлен поступлением с подземными водами, из донных отложений и высвобож-

дением вследствие минерализации растительных остатков и органического вещества, накопившихся за вегетационный период. В подледный период в образцах придонной воды, отобранных вблизи разломов (места предполагаемого расположения разломов приведены в работе [Гидрогеохимические … , 2021]), были зафиксированы экстремально высокие содержания железа (до 3,75 мг/л) и марганца (до 0,59 мг/л), на 1–2 порядка превышающие таковые в поверхностной воде по всей акватории и придонных слоях на других участках озера. Содержание цинка в озерной воде зимой также характеризовалось неравномерностью пространственного распределения. В период открытой воды вследствие интенсивного ветрового перемешивания распределение ТМ по акватории и глубине озера было более равномерным. Никель определялся в единичных пробах, при этом концентрация могла достигать 0,024 мг/л. Медь обнаруживалась почти во всех пробах, ее содержание изменялось незначительно и не превышало 0,004 мг/л. Свинец и кадмий обнаруживались в единичных пробах в следовых количествах. Превышения норм ПДК для рыбохозяйственных водоемов наблюдались наиболее часто для железа (в 24,3 % проб) и марганца (в 16 % проб), реже для меди (9,7 % проб) и цинка (7,6 % проб), в единичных случаях для никеля (1,7 % проб). Содержания хрома, свинца и кадмия в течение всего периода исследования были значительно ниже нормативов.

Анализ содержания ТМ в донных отложениях оз. Котокель в 2024 г. показал высокую неоднородность их распределения внутри акватории. Концентрации Fe, Mn, Zn, Cr, Cu и Ni изменялись в пределах (мг/кг): 9541–85578; 138–1860; 12,9–101; 3,69–314; 0,52–30,6 и 0,001–70,3 соответственно. Pb был обнаружен в единичных пробах илов и илистых песков в количестве 0,19–3,39 мг/кг. Содержание Cd было ниже предела обнаружения во всех образцах ДО. В целом средние содержания ТМ в илистых отложениях были выше, чем в песчаных грунтах и илистых песках. В то же время песчаные грунты оз. Котокель характеризуются наибольшим разбросом концентраций ТМ. Наибольшие содержания ТМ наблюдались вблизи населенных пунктов и турбаз, а также в пределах разрывных нарушений северо-восточного простирания. Для илистых отложений с высоким содержанием органического вещества в центральной и южной частях озера характерно повышенное накопление меди.

Таким образом, результаты исследования показали высокую пространственную и временную неоднородность содержания ТМ в воде и ДО оз. Котокель, которая, вероятно, обусловлена их поступлением в результате разгрузки трещинно-жильных вод [Гидрогеохимические … , 2021].

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 24-17-00333, https://rscf.ru/project/24-17-00333.

Список литературы

Выявление токсичных Microcystis в озере Котокельское (Бурятия) / О. И. Белых, И. В. Тихонова, Е. Г. Сороковикова [и др.] // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 330. С. 172–175.

Гидрогеохимические особенности озера Котокель / Н. А. Ангахаева, А. М. Плюснин, А. В. Украинцев [и др.] // Науки о Земле и недропользование. 2021. № 44(2). С. 106–115. DOI: 10.21285/2686-9993-2021-44-2-106-115

Особенности течения и исходов Гаффской болезни на территории Тюменской области / Д. И. Лебедева, А. Н. Марченко, Г. В. Шарухо [и др.] // Здравоохранение Российской Федерации. 2023. № 67(2). С. 149–155. DOI: 10.47470/0044-197X-2023-67-2-149-155

Ретроспективный анализ случаев вспышек «Гаффской» болезни (обзор литературы) / А. А. Гальцева, А. А. Савченко, Л. А. Глазунова, Ю. И. Распопова // АПК: инновационные технологии. 2024. № 3. С. 6–22. DOI: 10.35524/2687-0436_2024_03_06

УДК 543.31:504.454

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННЫХ ФОРМ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ

В. Г. Ширеторова*, Е. П. Никитина, Н. Б. Нимбуева, В. В. Тараскин

Байкальский институт природопользования СО РАН
(Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)
**Автор для переписки: vgshiretorova@mail.ru*

Аннотация. Цель работы – анализ содержания и пространственно-временного распределения растворенных форм тяжелых металлов в дельте р. Селенги в многоводный период, оценка индексов загрязненности и экологического риска. Приведены результаты исследования по сезонам 2020–2024 гг., результаты анализа содержания железа, марганца, цинка, хрома, меди, никеля, свинца и кадмия воде р. Селенги и устьевых участков проток дельты, показана их сезонная и межгодовая динамика, особенности пространственного распределения. С использованием индексов, применяемых в мировой практике, выполнена оценка и показана пространственно-временная динамика уровня загрязнения и воздействия на водные организмы растворенных форм тяжелых металлов в дельте Селенги.

Ключевые слова: тяжелые металлы, Селенга, дельта, индекс загрязнения, экологический риск

Река Селенга – самый крупный приток оз. Байкал – поставляет в озеро в среднем около 30 км^3 воды в год, что составляет половину всего притока и более половины стока химических веществ. Бассейн р. Селенги выделяется наибольшей плотностью населения и промышленным развитием как на территории Монголии, так и России (Бурятия). Отмечается, что на фоне глобального потепления наблюдаются значительные циклические колебания количества осадков на территории и объема стока р. Селенги [Многолетние … , 2017]. Наиболее продолжительный маловодный период в бассейне Селенги наблюдался с 1996 по 2018 г. [Impact … , 2022]. В периоды циклического увеличения количества осадков неоднократно происходили масштабные наводнения, вызванные дождевыми паводками. В условиях наводнения загрязняющие вещества, в том числе тяжелые металлы (ТМ), аккумулированные в руслах рек и поймах, могут быть вновь мобилизованы и становятся вторичными источниками диффузного загрязнения. В настоящее время в связи с наступлением многоводного периода становится высокой вероятность масштабных наводнений в бассейне р. Селенги [Impact … , 2022]. Это приведет к поступлению загрязняющих веществ, накопившихся за длительный период маловодья на водосборной территории, в том числе ТМ, в речные воды и их выносу в оз. Байкал. Ранее было показано, что в нижнем течении р. Селенги, ближе к оз. Байкал происходит увеличение доли растворенных форм ТМ и снижение взвешенных вследствие осаждения последних по мере снижения скоростей течения и удерживания водной растительностью дельты [River Water … , 2020]. Растворенные формы ТМ обладают большей подвижностью, имеют более высокую биодоступность и, как следствие, экотоксичность для водных организмов.

Цель работы – анализ содержания и пространственно-временного распределения растворенных форм ТМ в дельте р. Селенги в многоводный период, оценка индексов загрязненности и экологического риска. Отбор проб в р. Селенге и протоках дельты проводился в каждый сезон в период 2020–2023 гг. Для определения растворенных форм элементов пробу речной воды фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм, а затем фиксировали концентрированной азотной кислотой. Определение содержаний Fe, Mn, Zn, Cr, Cu, Ni, Pb и Cd проводилось с использованием атомно-абсорбционного спектрометра Solaar M6.

В работе приведено описание гидроклиматических условий в период исследования, показано, что годовой сток р. Селенги в замыкающем створе (с. Кабанск) в 2021 г. был значительно выше среднемноголетних значений, что также привело к существенному росту

стока в подледный период зимой 2021/2022 г. Для сезонной динамики ТМ был характерен рост содержаний Fe, Cu и Ni в весеннее половодье и при прохождении дождевых паводков, в то время как содержания Mn, Zn и Cr были наибольшими в подледный период. Для малых проток (протока Средняя) с высокой степенью заболоченности сезонная динамика несколько отличалась – здесь в подледный период наблюдались экстремально высокие содержания железа и марганца, повышенные – хрома, что обусловлено низким водообменом вследствие промерзания протоки с увеличением доли в питании подземных вод и мобилизацией элементов из илистых отложений. Зимой 2021/2022 гг. при высоком зимнем стоке водообмен в протоке Средняя значительно вырос и физико-химические показатели, как и содержание ТМ были близкими с таковыми в остальных протоках дельты. Превышение ПДК для рыбохозяйственных водоемов в период исследования наблюдались: по содержанию железа (в 1,1–2,3 раза, в протоке Средняя – до 52,5 раз) в 20,3 % проб, в том числе в периоды паводков осенью 2020 г. 62,5 % проб, а весной и летом 2021 г. 100 % проб; марганца – в 1,5–10 раз в 64 % проб, в том числе в подледный период 100 % проб превышали ПДК (в протоке Средняя превышение достигало 285–345 раз); меди – в 1,1–3,8 раз в 52,3 % проб; цинка – в 1,5–2,1 раза в 5,5 % проб; по остальным ТМ превышений ПДК не наблюдалось. Свинец и кадмий обнаруживались в единичных пробах воды, и преимущественно в 2020 г. За период 2020–2023 гг. содержания Zn, Cr, Cu, Ni, Pb и Cd были наибольшими в 2020 г. Сравнение с данными, полученными исследователями в маловодный период (2001–2017 гг.) [River Water … , 2020], показало снижение концентраций данных ТМ с повышением водности реки.

Уровень загрязнения ТМ воды в дельте Селенги и воздействие на водные организмы оценивались с использованием индексов Heavy metal evaluation index (HEI), Degree of contamination (DC), Nemerow pollution index (NPI), Hazard quotient (HQi) и Ecological risk assessment (ERI). Значения индексов загрязненности воды варьировали от «незагрязненная», «слабозагрязненная» и «среднее загрязнение» до «экстремально загрязненная» (зимой в протоке Средняя); по сезонам значения индексов убывали в ряду: зима > весна > лето > осень; в межгодовом аспекте наибольшие значения отмечены в 2020 г., наименьшие в 2023 г. Результаты ERI, рассчитанные по годам показали, что «средний» и «значительный» экологический риск отмечен только для 2020 г. (2,07–22,10), в остальные года ERI не превышал 1, т. е. риск для водных организмов отсутствовал.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госзадания Байкальского института природопользования СО РАН (АААА-А21-121011890027-0) с использованием оборудования центра коллективного пользования БИП СО РАН.

Список литературы

Многолетние колебания стока рек в бассейне Селенги / Н. Л. Фролова, П. А. Белякова, В. Ю. Григорьев, [и др.] // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 3. С. 243–255.

Impact of the global climate change on the transboundary Selenga River water runoff and general principles of its water resources use / E. Z. Garmaev, A. V. Khristoforov, B. Z. Tsydypov, A. A. Ayurzhanaev [et al.] // Water Sect. Russ. Probl. Technol. Manag. 2022. Vol. 2. P. 80–94. DOI: 10.35567/19994508_2022_2_7

River Water Quality of the Selenga-Baikal Basin: Part I–Spatio-Temporal Patterns of Dissolved and Suspended Metals / N. Kasimov, G. Shinkareva, M. Lychagin [et al.] // Water. 2020. Vol. 12. Art. 2137. DOI: 10.3390/w12082137

УДК 594.381(282.256.341)

ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД В ИЗУЧЕНИИ РАЗНООБРАЗИЯ АКРОЛОКСИД (MOLLUSCA: GASTROPODA) БАЙКАЛА

А. А. Широкая[1]*, Е. В. Солдатенко[2], А. А. Петров[2], Б. А. Анохин[2]

[1]Лимнологический институт СО РАН (Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Зоологический институт РАН (Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 1)
**Автор для переписки: shirokaya@bk.ru*

Аннотация. Обсуждается целесообразность интегративного подхода в изучении группы пресноводных чашечек, характеризующейся быстрой адаптивной радиацией молодых видов в сочетании с неполной сортировкой генеалогических линий, наличием криптических видов и потенциальных межвидовых гибридов.

Ключевые слова: моллюски, Acroloxidae, байкальский «букет» видов, ультратонкая морфология, экология, молекулярная филогения

Глубочайшее пресное озеро мира Байкал – колоссальное хранилище гидроэнергии, самый большой резервуар питьевой воды, богатейшая сокровищница растительного и животного мира (~2000 видов, из которых 3/4 эндемичны) [Тимошкин, 2001]. Это своеобразный естественный музей, лаборатория природы. Вместе с тем, в настоящий момент Байкал находится в состоянии повышенной антропогенной нагрузки. Основные тенденции, выявленные в структуре и функционировании планктонных и бентосных сообществ прибрежной зоны озера за последние 15 лет [Timoshkin, 2018], свидетельствуют о ее эвтрофировании. Именно для (суб)литорали характерно наибольшее видовое разнообразие, которое в настоящее время находится под угрозой: некоторые палеарктические и общесибирские виды успешно интродуцируются в эндемичные байкальские сообщества, коренным образом их перестраивая [Morphological … , 2022]. В этой связи сведения о разнообразии и биологии эндемичных видов приобретают особую ценность.

Гастроподы – одна из доминирующих групп байкальского макрозообентоса. В каменистой литорали они составляют 0,25–0,5 всей биомассы, населяющей дно, уступая лишь рыбам [Кожов, 1936]. Среди них особый интерес представляет семейство легочных моллюсков Acroloxidae (или чашечковые), ареал которого ограничен Северным полушарием [Старобогатов, 1970]. Корни семейства уходят в верхнемеловой период [Clarke, 1970]; байкальский «букет» видов сформировался в плейстоцене (~2,27–0,18 млн л. н.) [Conquest … , 2015]. Байкал является крупнейшим очагом видообразования пресноводных чашечек и вмещает 1/2 мировой фауны семейства.

Из 28 известных видов 93 % – эндемики и субэндемики (последние отмечены в верхнем течении р. Ангары), преимущественно литофилы: 25 видов населяют зону (суб)литорали и лишь 1 отмечен на глубинах 100–1000 м в районах активной дегазации байкальского дна [Sitnikova, Shirokaya, 2013]. Два вида рода *Acroloxus*, распространенные в азиатской части России, населяют кутовые части крупных заливов озера и его малые притоки; являются компонентами так называемых элодейных сообществ [Fauna … , 2011].

Бóльшая часть эндемичных видов акролоксид описана на основе компараторного метода [Старобогатов, 1989], позволяющего с помощью микроскопа и рисовального аппарата сопоставлять контуры раковин путем наложения их рисунков. Метод ценен для определения видов, крайне бедных диагностическими признаками (например, мелкие двустворчатые моллюски-сферииды) [Слугина, Старобогатов, 1999], однако неудобен при работе с количественными пробами чашечек, демонстрирующими целый ряд переходных форм между известными морфовидами.

Еще М. М. Кожовым [1936] отмечено формирование особых «разновидностей», «форм и морф» эндемичных видов гастропод, а также потенциальных гибридов между аловидами в крупных, но относительно мелководных заливах Байкала (Чивыркуйский, Про-

вал, Мухор, пролив Ольхонские ворота). В этом отношении акролоксиды – не исключение: в 2021–2024 гг. в Чивыркуйском заливе нами обнаружены представители подрода *Gerstfeldtiancylus* s. str. с комбинацией конхологических и анатомических признаков, характерных для двух хорошо различимых общебайкальских видов – массового *G. kotyensis* и довольно редкого *G. roepstorfi*.

Штелбринком с соавт. [Conquest … , 2015] предпринята попытка объективной оценки видового разнообразия байкальских акролоксид и выявления их родственных связей методами мультилокусного секвенирования. Установлено, что чашечки представляют собой монофилетическую группу, дивергировавшую внутри одной замкнутой экосистемы и имеющую тесное родство с группой амуро-приморских видов рода *Acroloxus* и североамериканским *A. coloradensis*. Однако порядок ветвления внутри некоторых клад достоверно не разрешен, что свидетельствует об очень быстром («взрывном») происхождении этих видов от общего предка.

В фаунистических и экологических исследованиях идентификация акролоксид осложняется наличием криптических видов. По мнению Н. Д. Круглова и Я. И. Старобогатова [1991], одним из наиболее значимых признаков для разграничения близких видов чашечек являются пропорции копулятивного аппарата. Однако мягкие ткани у фиксированных экземпляров, как правило, деформируются (степень сжатия зависит от типа и концентрации фиксатора). Кроме того, исследование тотальных препаратов с использованием различных красителей на водной или спиртовой основе не всегда позволяет выявить все детали строения. Применение ультратонких методов исследования (конфокальная лазерная и сканирующая электронная микроскопия) показало, что набор признаков, которые могут быть потенциально полезными в диагностике акролоксид, значительно шире. Например, велюм (мышечная структура на внутренней стенке препуциума), ранее известный лишь у видов подрода *Parancylastrum* и одного вида *Gerstfeldtiancylus* s. str., обнаружен нами у представителей трех эндемичных родов; выявлены различия в форме образующих его складок на видовом уровне (Soldatenko et al., in press). Другой значимый для систематики Hygrophila признак – строение челюсти [Старобогатов, 1967]. На светооптическом уровне челюсть акролоксид имеет вид однообразных ланцетовидных пластинок со скошенными концами [Shirokaya, Röpstorf, 2004]; при исследовании методом СЭМ на их «рабочем» крае выявляются мелкие асимметричные зубчики (Shirokaya et al., in prep.). Ранее нами были опубликованы данные об ультратонкой морфологии протоконха и радулы, а также о топографии пищеварительных органов и аддукторов раковины чашечек, на основании которых составлены политомические ключи, облегчающие идентификацию некоторых видов и видовых групп. Для близких видов *Pseudancylastrum* и *Gerstfeldtiancylus* результаты морфолого-анатомического анализа были дополнены сведениями об аутэкологии чашечек, полученными *in situ* (микробиотопическое распределение) [Широкая, Максимова, Ситникова, 2008] и в экспериментальных условиях (сроки овипозиции, длительность эмбриогенеза и др.) [Shirokaya, Röpstorf, 2003]. Для выделения синапоморфий, характеризующих более крупные таксоны, начаты исследования ультраструктуры репродуктивных клеток акролоксид с помощью трансмиссионной электронной микроскопии [Sperm ... , 2022].

По мнению И. С. Ворошиловой [2016], для выявления различий между филогенетическими линиями, алловидами и криптическими видами наиболее целесообразен интегративный подход, подразумевающий синтез детального морфологического анализа дробных видов с таковым всех стадий их генетической дивергенции – оценкой не только различий между последовательностями, но и обособленности таксонов методами филогеографии (изучение распределения частот гаплотипов по ареалу вида). Реализация второй части данного алгоритма станет следующим этапом исследования байкальской группы семейства Acroloxidae.

Благодарности. Работа выполнена в рамках госбюджетных проектов ЛИН СО РАН (№ 121032300180-7) и ЗИН РАН (№ 125012800918-9; № 125012800894-6).

Список литературы

Ворошилова И. С. Проблемы и перспективы применения молекулярно-генетических методов для таксономической ревизии пресноводных моллюсков // Труды ИБВВ РАН. 2016. Вып. 73 (76). С. 12–24.

Кожов М. М. Моллюски озера Байкал // Труды БЛС АН СССР. 1936. Т. 8. С. 1–385.

Круглов Н. Д., Старобогатов Я. И. Копулятивный аппарат байкальских эндемичных акролоксид (Gastropoda, Pulmonata, Acroloxidae) // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 1991. Т. 96, Вып. 6. С. 82–88.

Слугина З. В., Старобогатов Я. И. Атлас и определитель двустворчатых моллюсков озера Байкал. Новосибирск : ОИГГМ СО РАН, 1999. 144 с.

Старобогатов Я. И. К построению системы пресноводных легочных моллюсков / Моллюски и их роль в биоценозах и формировании фаун // Труды ЗИН АН СССР. 1967. Т. 42. С. 280–304.

Старобогатов Я. И. Фауна моллюсков и зоогеографическое районирование континентальных водоемов. Ленинград: Наука, 1970. 371 с.

Старобогатов Я. И. Моллюски семейства Acroloxidae Байкала // Черви, моллюски, членистоногие. Новосибирск : Наука, 1989. С. 45–75.

Тимошкин О. А. Озеро Байкал: разнообразие фауны, проблемы ее несмешиваемости и происхождения, экология и «экзотические» сообщества // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. Т. 1. Кн. 1. Новосибирск : Наука, 2001. С. 16–73.

Широкая А. А., Максимова Н. В., Ситникова Т. Я. Распределение моллюсков семейства Acroloxidae (Gastropoda, Pulmonata) в озере Байкал // Зоологический журнал. 2008. Т. 87, № 5. С. 532–546.

Clarke A. H. On *Acroloxus coloradensis* (Henderson) (Gastropoda, Basommatophora) in Eastern Canada // Publications in Zoology. 1970. Iss. 2. P. 1–13.

Conquest of the deep, old and cold: an exceptional limpet radiation in Lake Baikal / B. Stelbrink, A. A. Shirokaya, C. Clewing, T. Y. Sitnikova, L. A. Prozorova // Biology Letters. 2015. Vol. 11. 20150321.

Fauna and shell morphology of limpets of the genus *Acroloxus* Beck (Gastropoda: Pulmonata: Acroloxidae), living in Lake Baikal (with notes on Transbaikalia limpets) / A. A. Shirokaya, L. A. Prozorova, T. Y. Sitnikova [et al.] // Ruthenica. 2011. Vol. 21, N 1. P. 73–80.

Morphological and genetic variability in *Radix auricularia* (Mollusca: Gastropoda: Lymnaeidae) of Lake Baikal, Siberia: The story of an unfinished invasion into the ancient deepest lake / K. Schniebs, T. Y. Sitnikova, M. V. Vinarski [et al.] // Diversity. 2022. Vol. 14. P. 1–28.

Shirokaya A. A., Röpstorf P. Morphology of syncapsules and the duration of embryogeny of Baikalian endemic limpets (Gastropoda, Pulmonata, Acroloxidae) // Berliner Paläobiologische Abhandlungen. 2003. Bd. 4. S. 183–192.

Shirokaya A., Röpstorf P. Morphology of the alimentary system and shell adductor muscles in some species of endemic Baikalian Acroloxidae (Pulmonata, Basommatophora) // Ruthenica. 2004. Vol. 14, N 1. P. 57–70.

Sitnikova T. Y., Shirokaya A. A. New data on deep water Baikal limpets found in hydrothermal vents and oil-seeps // Archiv für Molluskenkunde. 2013. Bd. 142, H. 1. S. 257–278.

Sperm ultrastructure in *Acroloxus lacustris* (Linnaeus, 1758) (Gastropoda: Panpulmonata) / E. V. Soldatenko, A. B. Shatrov, A. A. Petrov, A. A. Shirokaya // Acta Zoologica. 2022. Vol. 103, N 2. P. 192–205.

Timoshkin O. A. Coastal zone of the world's great lakes as a target field for interdisciplinary research and ecosystem monitoring: Lake Baikal (East Siberia) // Limnology and Freshwater Biology. 2018. N 1. P. 81–97.

УДК 502.3:551.55

ВЗАИМОСВЯЗЬ ДИНАМИКИ СОДЕРЖАНИЯ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В АТМОСФЕРЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

М. Ю. Шиховцев*, В. А. Оболкин, И. Н. Тюрнев, О. И. Бердашкинова, Е. В. Моложникова

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: max97irk@yandex.ru*

Аннотация. Представлены результаты исследования сезонной и пространственной изменчивости концентраций твердых частиц (PM) в приземном слое атмосферы оз. Байкал. Данные автоматического мониторинга, собранные на пяти станциях с мая 2024 по май 2025 г., позволили выявить ключевые закономерности распределения PM и их связи с метеорологическими условиями. В результате проведенных исследований в пунктах наблюдения Листвянка и Патроны в годовом ходе были зафиксированы два пика концентраций аэрозольных частиц: зимний, вызванный выбросами теплоэнергетики и неблагоприятными метеоусловиями, и летний, связанный с лесными пожарами и экстремальной погодой 2025 г. Пункт Давша показал минимальные уровни значений PM в регионе и отражает фоновые условия.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, твердые частицы, аэрозольные примеси, Байкальская природная территория

Твердые частицы (PM) – важная составляющая атмосферы, непосредственно влияющая на качество жизни населения и климат региона. Физико-химические свойства PM определяются источниками (природными и антропогенными), взаимодействием их между собой и с атмосферными газами. В разные сезоны года вклад и интенсивность этих процессов различны. В исследуемом районе наблюдается сложное взаимодействие природных и антропогенных факторов, влияющих на состав и концентрацию PM [Study ... , 2023; Variability … , 2023]. Природные источники, такие как лесные пожары, почвенная пыль и пыльца растений, могут существенно влиять на аэрозольный фон региона в летний период [Industrial … , 2021]. В зимний период возрастает интенсивность региональных и локальных антропогенных источников загрязнения атмосферы, что приводит к выносу аэрозолей из городов-источников в воздушный бассейн озера [Application … , 2025].

Цель данной работы состоит в исследовании факторов, регулирующих содержание PM в приземном слое атмосферы оз. Байкал. В настоящей работе мы приводим результаты измерений приземных концентраций $PM_{2,5}$ на пяти постах наблюдения: Патроны (52.1621, 104.468), Листвянка (51.8467, 104.8925), Танхой (51.5640, 105.1352), Бугульдейка (52.5429, 106.0686), Давша (54. 3537, 109. 5027). Экспериментальные данные в Патронах, Листвянке и Танхое охватывают период с мая 2024 по май 2025 гг. В Бугульдейке и Давше ряд наблюдений ограничен с осени 2024 по май 2025 г.

На рисунке продемонстрирована динамика концентраций $PM_{2,5}$. Как видно из графика в Листвянке и Патронах сезонный ход $PM_{2,5}$ характеризуется двумя пиками, что согласуется с результатами исследований [Variability … , 2023; Application … , 2025]. Зимний максимум связан с увеличением объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, сильным ослаблением вымывания в холодный период, в условиях континентального климата, и влиянием частых приземных инверсий. Второй максимум – с июля по сентябрь, связан с активизацией лесных пожаров, почвенным выветриванием и аномально жаркой погодой. Характерной особенностью лета 2024 г. стали мощные волны тепла, обусловленные юго-западным переносом тёплого воздуха с территории Казахстана и юга Западной Сибири. По данным ФГБУ «Иркутское УГМС» в г. Иркутске за летний период 2024 г. отмечено 64 жарких дня (с температурой более или равно +25 °C) и 20 очень жарких дней (с температурой более +30 °C), при этом температурные аномалии летом 2024 г. составили +2, +3

(https://www.irmeteo.ru/index.php?id=856). Также летом 2024 г. было зафиксировано 29 гроз, что является максимум за 90-летний период наблюдений, что способствовало образованию новых аэрозольных частиц и окислению газообразных загрязнителей, способствуя формированию вторичных частиц.

На станции Давша, расположенной на северо-восточном берегу Байкала, значения $PM_{2.5}$ остаются минимальными на протяжении периода наблюдений (в среднем 1,9 мкг/м^3). Это связано с отсутствием крупных источников загрязнения вблизи и с тем, что перенос воздушных масс из индустриальных районов оставляет около 0–2 % в год [Variability … , 2023].

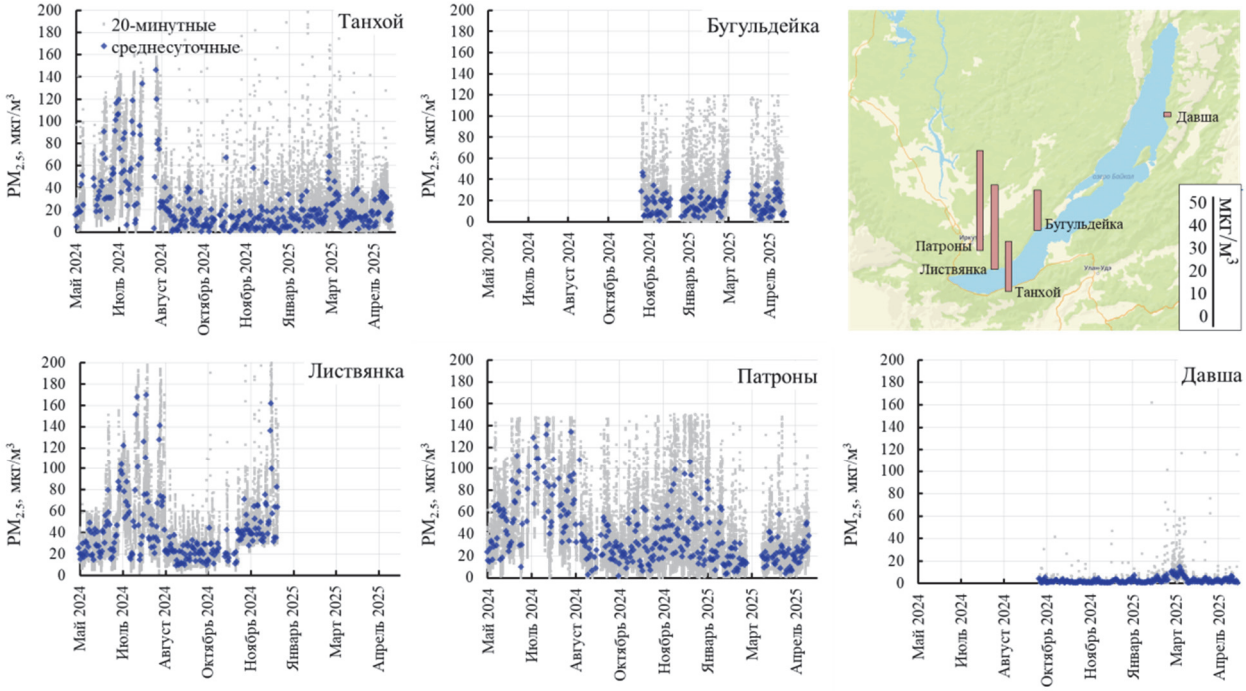


Рис. Карта расположения станций и измерения $PM_{2,5}$ на станциях Танхой, Листвянка, Бугульдейка, Патроны, Давша. Серыми точками обозначены 20-минутные концентрации $PM_{2,5}$, синими – среднесуточные, красными – медианные концентрации

Благодарности. Работа выполнена по теме государственного задания ЛИН СО РАН № 0279-2021-0014.

Список литературы

Application of Modern Low-Cost Sensors for Monitoring of Particle Matter in Temperate Latitudes: An Example from the Southern Baikal Region / M. Y. Shikhovtsev, M. M. Makarov, I. A. Aslamov [et al.] // Sustainability. 2025. Vol. 17, N 8. P. 3585–3602. DOI: 10.3390/su17083585

Industrial and wildfire aerosol pollution over world heritage Lake Baikal / O. Popovicheva, E. Molozhnikova, S. Nasonov[et al.] // Journal of environmental sciences. 2021. Vol. 107. P. 49–64. DOI: 10.1016/j.jes.2021.01.011

Study of atmospheric aerosol in the Baikal mountain basin with shipborne and ground-based lidars / S. Nasonov, Y. Balin, M. Klemasheva [et al.] // Remote sensing. 2023. Vol. 15 (15). P. 3816–3834. DOI: 10.3390/rs15153816

Variability of the ground concentration of particulate matter PM_1–PM_{10} in the air basin of the Southern Baikal Region / M. Y. Shikhovtsev, V. A. Obolkin, T. V. Khodzher, Y. V. Molozhnikova // Atmospheric and Oceanic Optics. 2023. Vol. 36, N 6. P. 655–662. DOI: 10.1134/S1024856023060192

УДК 543.42:504.064.36

ГИДРОГЕЛЕВЫЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОДЫ И ВНУТРЕННИХ СРЕД ГИДРОБИОНТОВ

Е. П. Щапова*, Я. А. Ржечицкий, М. А. Тимофеев, А. Н. Гурков

Иркутский государственный университет, НИИ биологии
(Россия, 664025, Иркутск, ул. Ленина, 3)
**Автор для переписки: shchapova.katerina@gmail.com*

Аннотация. Представлены методологические подходы к созданию и применению гидрогелевых флуоресцентных сенсоров для мониторинга пресноводных экосистем. Описаны сенсоры на основе полиакриламидного гидрогеля с красителями Rhod-5N и FITC-D для обнаружения ионов тяжёлых металлов в пресной воде, а также сенсоры со SNARF-1 для измерения pH в организме гидробионтов. Проведены испытания устройств соответственно на байкальской воде и эндемичных амфиподах. Полученные результаты подтверждают высокую чувствительность и универсальность сенсоров для экспресс-анализа химических параметров воды и физиологического состояния гидробионтов.

Ключевые слова: сенсор, гидрогель, гидробионты, экспресс-анализ, амфиподы

Современные технологии мониторинга озёр приобретают всё большее значение для объективной и высокопроизводительной оценки состояния водных ресурсов и охраны экосистем. В последние годы активно развиваются инновационные методы, базирующиеся на автоматизации и оптических сенсорах [Tapered … , 2023].

Беспроводные флуоресцентные сенсоры представляют собой перспективный инструмент для экспресс-анализа водной среды, так как позволяют проводить измерения без необходимости использования оптоволокна или внутренних микроэлектронных компонентов. Такие сенсоры эффективны для детекции растворённых веществ как в воде, так и непосредственно в тканях животных, а в качестве матрицы для флуоресцентных красителей применяются прозрачные гидрогели. Для регистрации сигнала используется флуоресцентный микроскоп с камерой или спектрометром [Remote ... , 2016]. Использование различных красителей позволяет адаптировать сенсоры под конкретные задачи и условия.

В данной работе представлены два типа гидрогелевых сенсоров: сенсор для обнаружения ионов тяжёлых металлов в пресной воде и сенсор для измерения pH в организме животных.

Загрязнение водных экосистем тяжёлыми металлами (ртуть, кадмий, свинец, хром) остаётся актуальной экологической и медицинской проблемой [Тихомирова, Смирнова, 2022]. Для их мониторинга необходимы простые и быстрые методы, обеспечивающие надёжный контроль. Разработанный сенсор на основе полиакриламидного гидрогеля с красителем Rhod-5N позволяет выявлять катионы тяжёлых металлов в воде за счёт усиления флуоресценции Rhod-5N при связывании с двух- и трёхвалентными катионами. Для нормализации сигнала использован эталонный краситель, ковалентно связанный с декстраном, изотиоцианат флуоресцеина (FITC-D). Сенсор готовится смешиванием растворов акриламида, Rhod-5N, FITC-D, тетраметилэтилендиамина и персульфата аммония, после чего смесь помещается в стеклянный капилляр.

Для тестирования чувствительности сенсора использовали байкальскую воду с добавлением различных концентраций хлорида кадмия. Сенсоры помещали в воду и фотографировали с помощью флуоресцентного микроскопа. В программе ImageJ анализировали соотношение яркости зелёного и красного каналов, что позволяло полуколичественно оценивать концентрацию ионов. Метод позволяет оперативно выявлять тяжёлые металлы даже в низких концентрациях.

Второй тип – имплантируемый гидрогелевый сенсор для измерения pH в организме гидробионтов. Использование подобных сенсоров существенно расширяет возможности анализа физиологического состояния организмов в реальном времени, что важно для эко-

токсикологии и мониторинга. Сенсор содержит краситель SNARF-1, сшитый с декстраном, смешанный с акриламидом и другими компонентами, и вводится в организм амфипод с помощью медицинской иглы.

Объектами исследования были два вида байкальских амфипод: литоральный *Eulimnogammarus verrucosus* и глубоководный *Acanthogammarus lappaceus longispinus*. Сигнал с сенсора снимали с помощью микроскопа и спектрометра. Экзоскелет *E. verrucosus* снижал интенсивность флуоресценции примерно в три раза по сравнению со свободными гелями, у *A. lappaceus longispinus* – в десять раз, однако сигнал оставался детектируемым.

Чувствительность сенсоров к изменениям pH проверяли в гиперкапнических условиях (повышенное содержание CO_2). После экспозиции наблюдалось снижение медианного значения pH внутри гидрогеля с 8,1 до 6,9 у амфипод *E. verrucosus*.

Таким образом, разработанные гидрогелевые сенсоры эффективны для мониторинга качества воды и физиологического состояния гидробионтов. Применение таких инструментов в перспективе позволит повысить скорость и чувствительность экологического мониторинга, что будет способствовать более эффективному управлению водными ресурсами и охране окружающей среды.

Благодарности. Работа проведена про поддержке Российского научного фонда (24-74-00095; https://rscf.ru/project/24-74-00095/).

Список литературы

Тихомирова В. В., Смирнова П. С. Загрязнение поверхностных и сточных вод Российской Федерации тяжелыми металлами// Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия. 2022. Т. 10. С. 1–5.

Remote in vivo stress assessment of aquatic animals with microencapsulated biomarkers for environmental monitoring / A. Gurkov, E. Shchapova, D. Bedulina [et al.] // Scientific reports. 2016. Vol. 6, N 1. Art. 36427. DOI: 10.1038/srep36427

Tapered Optical Fiber Sensor Coated with Single-Walled Carbon Nanotubes for Dye Sensing Application / A. Polokhin, Y. Shaman., P. Itrin [et al.] // Micromachines. 2023. Vol. 14, N 3. P. 579. DOI: 10.3390/mi14030579

УДК 519.237.8:574.587

БАТИМЕТРИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ АМФИПОД ОЗЕРА БАЙКАЛ

А. В. Юдинцева*, Е. В. Романова, Ю. С. Букин

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: udinceva.a@yandex.ru*

Аннотация. Проведен кластерный анализ данных глубин обитания байкальских амфипод (Crustacea). Выявлена проблема несбалансированного распределения, вероятно, обусловленная неравномерным распределением амфипод по глубинам, так как большая часть видов сосредоточена в литоральной зоне Байкала. Анализ выполнялся методом рекурсивной иерархической кластеризации в четыре этапа. На первом – третьем уровнях выделено по три кластера, на четвертом – четыре. Полученные кластеры частично согласуются с батиметрической классификацией амфипод А. Я. Базикаловой.

Ключевые слова: амфиподы, вертикальное распределение, кластерный анализ, Байкал

Озеро Байкал одно из самых глубоких (1642 м) и древних озер в мире. Байкальские амфиподы (Crustacea) – наиболее таксономически разнообразная группа животных (свыше 350 морфологических видов и подвидов) озера [Камалтынов, 2001]. В процессе эволюции они приобрели широкий спектр морфологических и физиологических адаптаций к обитанию на различных глубинах Байкала. Основная часть видового разнообразия амфипод сосредоточена в литоральной и сублиторальной зонах, однако существуют исключительно глубоководные виды, обитающие на глубинах от 500 м и более [Базикалова, 1945]. При изучении байкальских амфипод было разработано несколько классификаций по их вертикальному распределению. Наибольшее распространение получили подходы В. К. Совинского [1915], В. Ч. Дорогостайского [1923], М. М. Кожова [1930], А. Я. Базикаловой [1945] и В. В. Тахтеева [2000]. Эти классификации формировались авторами преимущественно на основе исследовательского опыта без применения вычислительных методов анализа. Существующие системы классификации существенно различаются, особенно в отношении выделения мелководных видов. В современных исследованиях для классификации организмов по экологическим характеристикам активно применяется кластерный анализ, который позволяет приблизиться к более строгому разделению сообществ на основе их структуры.

Цель работы – провести кластерный анализ данных глубин обитания видов байкальских амфипод.

Данные о глубинах обитания были получены из литературных источников, преимущественно из работ Базикаловой [1945], Тахтеева [2000] и Камалтынова [2001]. В анализ вошли данные о наиболее частой глубине обитания, а также о максимальной и минимальной глубинах обитания (единичные находки не учитывались) для 362 видов и подвидов. Все данные были нормализованы. Кластеризацию проводили методом k-средних. Оптимальное количество кластеров определяли на основе совокупности параметров: значения WSS (Weighted Sum of Squares), индекса локтя и индекса силуэта. Анализ выполняли с использованием пакета cluster [Maechler, 2019] в среде программирования R. Проблема несбалансированного распределения объектов по кластерам решалась методом рекурсивной иерархической кластеризации – доминирующий кластер подвергался повторной кластеризации для выявления внутренней подструктуры.

Оптимальная структура данных была получена при четырехуровневой кластеризации. На каждом уровне доминирующим оказывался кластер наиболее мелководных видов.

На первом уровне выделено три кластера. В первый кластер вошли виды, обитающие на глубинах от 0 до 594 м, с максимумом распределения до 838 м. Во второй кластер включены виды, встречающиеся на глубинах от 0 до 1641 м. В третий кластер вошли виды, оби-

тающие на глубинах от 503 до 1641 м. На данном уровне байкальские амфиподы могут быть условно разделены на три группы: мелководные и промежуточные виды (первый кластер), эврибатные (второй кластер) и глубоководные (третий кластер).

На втором уровне кластеризации также было выделено три кластера. Первый объединил виды, обитающие на глубинах от 0 до 202 м с максимумом распределения до 371 м. Во второй кластер вошли виды, обитающие на глубинах от 1,5 до 594 м, реже встречающиеся на глубинах от 0,5 до 838 м. В третий кластер вошли виды, обитающие на глубинах от 100 до 400 м.

На третьем уровне выделено три кластера. Первый содержал виды, обитающие на глубинах от 0 до 78 м, редко достигающие глубины 178 м. Второй кластер включал виды, встречающиеся на глубинах от 30 до 160 м. Третий состоял из видов, распространенных от 0 до 202 м с максимумом распределения до 371 м.

На четвертом уровне кластеризации выделено четыре кластера. Первый объединил виды от 0 до 34 м с максимумом распределения до 53 м. Второй – виды от 0 до 50 м, с максимумом распределения до 178 м. Третий кластер составили виды от 9 до 50 м. Четвертый включил виды, обитающие от 0,5 до 78 м.

Полученные результаты частично согласуются с классификацией байкальских амфипод по глубине А. Я. Базикаловой (1945). Автор выделила шесть групп: 1) литоральные (0–5 м); 2) сублиторальные (5–100/150 м); 3) промежуточные – «оторванные от литорали, но живущие в сублиторальной зоне, и заходящие в абиссальную зону» (30/40 – 400/600); 4) виды, которые широко распространены в профундали и абиссали, но выходящие в сублитораль и в редких случаях в литораль (100/200 до максимальных глубин); 5) глубоководные стенобатные (500 м и более); 6) эврибатные [Базикалова, 1945]. Границы некоторых полученных в работе кластеров также совпадают с классификацией водных масс Байкала по Г. Ю. Верещагину [1949]. Можно предположить, что свойства водных масс могут оказывать влияние на вертикальное распределение амфипод, наряду с другими факторами среды. Проблема батиметрической классификации байкальских амфипод осложняется перекрывающимися ареалами видов и недостатком данных об их экологии – для некоторых видов сведения о глубинах распространения не обновлялись со времен первых исследователей. Тем не менее, с помощью кластерного анализа удалось выявить общую структуру распределения видов.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке темы бюджетного финансирования № 0279-2021-0010 ЛИН СО РАН.

Список литературы

Базикалова А. Я. Амфиподы озера Байкал. М. : Изд-во Акад. наук СССР, 1945. (Труды Байкальской лимнологической станции ; вып. 11).

Верещагин Г. Ю. Байкал : научно-популярный очерк. М. : Географгиз, 1949.

Дорогостайский В. Ч. Вертикальное и горизонтальное распределение фауны оз. Байкала // Сборник трудов профессоров и преподавателей гос. Иркут. ун-та. Иркутск, 1923. С. 103–131.

Камалтынов Р. М. Амфиподы (Amphipoda: Gammaroidea) // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. 2001. № 1(1). С. 573.

Кожов М. М. К. Познанию фауны Байкала, ее распределения и условий обитания. Иркутск, 1930. (Известия Биолого-географического научно-исследовательского института при Государственном Иркутском университете ; т. 5, вып. 1).

Совинский В. К. Amphipoda оз. Байкал. Киев, 1915. 381 с. (Зоологические исследования Байкала ; вып. 1).

Тахтеев В. В. Очерки о бокоплавах озера Байкал: систематика, сравнительная экология, эволюция. Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 2000. 355 с.

Maechler M. Finding groups in data: Cluster analysis extended Rousseeuw et al. // R package version. 2019. Vol. 2. P. 242–248.

УДК 577.217.333.3

МЕЖПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТОЧЕЧНЫХ МУТАЦИЙ В АНТИКОДОНАХ тРНК У БАЙКАЛЬСКИХ ЭНДЕМИЧНЫХ АМФИПОД

А. В. Юдинцева*, Е. В. Романова, Ж. В. Петунина, Ю. С. Букин

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: udinceva.a@yandex.ru*

Аннотация. Предыдущие работы, посвященные исследованию генетики байкальских амфипод (Crustacea), показали, что их митохондриальные (мт) геномы различаются по размеру, порядку и составу генов, а также у некоторых видов обнаружен (*in silico*) ремолдинг тРНК генов. В мт геноме вида *Eulimnogammarus vittatus* (Dybowsky, 1874), собранном из чтений тотальной ДНК, обнаружен ремолдинг тРНК (L1) → тРНК (P), при этом в мт геноме другого экземпляра этого вида, собранном из транскриптомных чтений, обнаружена дупликация гена тРНК (L1), но без мутации в антикодоновой последовательности. В данной работе исследуется встречаемость ремолдинга тРНК генов у двух видов эндемичных байкальских амфипод *E. vittatus* и *Acanthogammarus (Ancyracanthus) victorii* (Dybowsky, 1874) на популяционном уровне.

Ключевые слова: ремолдинг, митохондриальный геном, антикодон, тРНК, амфиподы

Амфиподы (Crustacea) являются одним из самых древних и таксономически разнообразных отрядов животных в оз. Байкал. При изучении митохондриальных (мт) геномов некоторых видов байкальских амфипод были показаны следующие особенности: различия в размере генома, изменение порядка генов, дупликации тРНК и ремолдинг тРНК генов [Hidden … , 2020]. Под ремолдингом понимают изменение идентичности тРНК вследствие точечных мутаций в антикодоновой последовательности [Duplication … , 1987]. К числу байкальских амфипод, в мт геноме которых показаны случаи ремолдинга тРНК генов, относятся *Eulimnogammarus vittatus* (Dybowsky, 1874) (один случай: тРНК (L1) → тРНК (P)) и *Acanthogammarus (Ancyracanthus) victorii* (Dybowsky, 1874) (три случая: тРНК (H) → тРНК (D), тРНК (I) → тРНК (A), тРНК (D) → тРНК (Y)). *E. vittatus* является широко распространенным литоральным видом, преимущественно встречающимся на глубинах 0–2 м, в то время как *A. victorii* распространен в южной котловине озера и встречается на больших глубинах – от 3 до 90 м [Базикалова, 1945]. В недавней работе при помощи анализа *in silico* показано, что переназначение кодонов, возможное вследствие ремолдинга тРНК генов у указанных видов, может приводить к изменению физико-химических свойств и пространственной структуры мт субъединицы белка CYTB [Влияние … , 2025].

В мт геноме вида *E. vittatus*, собранном из геномных чтений (KM287572), было обнаружено явление ремолдинга тРНК (L1) → тРНК (P) [Hidden ... , 2020], при этом в мт геноме, собранном из транскриптомных данных (опубликованных Науменко с соавторами [Transcriptome … , 2017]), была выявлена дупликация гена тРНК (L1) без изменения антикодоновой последовательности.

Цель данной работы состояла в изучении встречаемости случаев ремолдинга тРНК генов в мт геномах двух видов байкальских эндемичных амфипод *E. vittatus* и *A. victorii* на популяционном уровне.

В ходе экспедиций 2024 г. собраны образцы видов *E. vittatus* из 13 точек по всему периметру Байкала, а также *A. victorii* из трех локаций в южной котловине озера. Кроме того, в анализ вошли образцы вида *A. victorii*, отобранные в ходе ранних экспедиций в двух локациях южной котловины Байкала. Видовая принадлежность устанавливалась при помощи определителя А. Я. Базикаловой [1945]. Для амплификации фрагментов мт генома, содержащих исследуемые гены тРНК, были разработаны видоспецифичные праймеры (две пары для вида *A. victorii* и одна для *E. vittatus*). Проведена полимеразная цепная реакция (ПЦР) с последующей визуализацией продуктов амплификации методом агарозного гель-

электрофореза. Секвенирование целевых фрагментов выполнялось методом Сенгера компанией «Синтол». Для вида *E. vittatus* было получено 46 последовательностей из 10 точек, для вида *A. victorii* 36 последовательностей первого фрагмента с тРНК (Y) и 38 последовательностей второго фрагмента с тРНК (D) из 4 точек.

Сравнительный анализ полученных последовательностей показал, что у вида *A. victorii* ремолдинг двух тРНК генов встречается у всех особей независимо от места сбора. В то время как у вида *E. vittatus* ремолдинг тРНК был обнаружен только у особей, собранных у берега г. Байкальска.

Полученные результаты свидетельствуют о неоднородном распределении ремолдинга тРНК внутри вида *E. vittatus*. Наличие данного явления только у особей из одной географической локации указывает на возможность их избирательного закрепления. Важно отметить, что в ранних исследованиях было показано, что вид *A. victorii* представлен в Байкале одной популяцией [Daneliya, Kamaltynov, Väinölä 2011], в то время как вид *E. vittatus* представлен по меньшей мере двумя популяциями [Indication … , 2019]. Хотя связь ремолдинга тРНК с экологическими факторами требует уточнения, известно, что такие мутации могут служить механизмом адаптации трансляционного аппарата [tRNA genes … , 2013]. Для лучшего понимания процессов, приводящих к мутациям в антикодоновой последовательности мт тРНК у байкальских амфипод, требуются дальнейшие популяционно-генетические и молекулярные исследования.

Работа выполнена при поддержке темы бюджетного финансирования № 0279-2021-0010 ЛИН СО РАН. Отбор образцов видов *E. vittatus* и *A. victorii* проводился с использованием НИС «Титов» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»).

Список литературы

Базикалова А. Я. Амфиподы озера Байкал. М. : Изд-во Акад. наук СССР, 1945. (Труды Байкальской лимнологической станции ; вып. 11).

Влияние переназначения кодонов на свойства и структуру митохондриальных белков байкальских амфипод / А. В. Юдинцева, Е. В. Романова, Д. Ю. Щербаков, Ю. С. Букин // Математическая биология и биоинформатика. 2025. Т. 20, № 1. С. 54–70. DOI: 10.17537/2025.20.54

Daneliya M. E., Kamaltynov R. M., Väinölä R. Phylogeography and systematics of *Acanthogammarus* s. str., giant amphipod crustaceans from Lake Baikal // Zoologica Scripta. 2011. Vol. 40, N 6. P. 623–637. DOI: 10.1111/j.1463-6409.2011.00490.x

Duplication and remoulding of tRNA genes during the evolutionary rearrangement of mitochondrial genomes / P. Cantatore, M. N Gadaleta., M. Roberti [et al.] // Nature. 1987. Vol. 329(6142). P. 853–855. DOI: 10.1038/329853a0

Hidden cases of tRNA gene duplication and remolding in mitochondrial genomes of amphipods / E. V. Romanova, Y. S. Bukin, K. V. Mikhailov [et al.]// Molecular phylogenetics and evolution. 2020. Vol. 144. Art. 106710. DOI: 10.1016/j.ympev.2019.106710

Indication of ongoing amphipod speciation in Lake Baikal by genetic structures within endemic species / A. Gurkov, L. Rivarola-Duarte, D. Bedulina [et al.] // BMC Evolutionary Biology. 2019. Vol. 19. P. 1–16. DOI: 10.1186/s12862-019-1470-8

Transcriptome based phylogeny of endemic Lake Baikal amphipod species flock: fast speciation accompanied by frequent episodes of positive selection / S. A. Naumenko, M. D. Logacheva, N. V. Popova [et al.] // Molecular ecology. 2017. Vol. 26, N 2. P. 536–553. DOI: 10.1111/mec.13927

tRNA genes rapidly change in evolution to meet novel translational demands / A. H. Yona, Z. Bloom-Ackermann, I. Frumkin [et al.] // Elife. 2013. Vol. 2. Art. e01339. DOI: 10.7554/eLife.01339

УДК 574.24

ВЛИЯНИЕ МИКРОПЛАСТИКА НА ПАРАМЕТРЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВЕТВИСТОУСЫХ РАКООБРАЗНЫХ

Д. Д. Яскеляйнен[1]*, Е. С. Задереев[2]

[1]Сибирский федеральный университет (Россия, 660041, Красноярск, просп. Свободный, 79)
[2]Институт биофизики, Красноярский научный центр СО РАН
(Россия, 660036, Красноярск, Академгородок 50/50)
**Автор для переписки: dyaskelyaynen@sfu-kras*

Аннотация. Микропластик – устойчивый загрязнитель водных экосистем, образующийся в результате деструкции пластиковых отходов и представляющий собой частицы диаметром менее 5 мм. Благодаря своим физическим характеристикам микропластик биодоступен для зоопланктона и способен накапливаться в организмах, мигрируя по трофическим цепям. Современные исследования демонстрируют множественные негативные эффекты, возникающие при потреблении микропластика, приводящие к снижению интенсивности питания, нарушению роста, репродукции и повышению смертности. Несмотря на активное изучение последствий микропластика для морских экосистем, влияние микропластика на пресноводный зоопланктон остаётся существенно менее изученным.

Ключевые слова: микропластик, зоопланктон, жизненный цикл, питание, репродукция, популяционные эффекты

Попадание микропластика (МП) в пресноводные экосистемы создаёт потенциальные риски для устойчивости пищевых цепей. Зоопланктон, являясь важным звеном между первичными продуцентами и потребителями более высокого уровня, особенно уязвим к воздействию МП. Нарушения в его физиологии и численности могут привести к каскадным изменениям в экосистемах.

Исследования показали, что зоопланктон активно захватывает МП, ошибочно принимая его за натуральный корм, прежде всего за фитопланктон. Это обусловлено сходством МП-частиц с пищевыми объектами по размеру, форме и даже по оптическим свойствам. Одним из первых значимых экспериментальных исследований в этой области стала работа Cole et al. [Microplastic ingestion … , 2013], в которой было показано, что морские копеподы (*Centropages typicus)* захватывают полистирольные микросферы диаметром 20 мкм. Поглощённые частицы МП не переваривались и выводились с фекалиями, при этом сами фекальные гранулы были насыщены МП и отличались по плотности и скорости оседания. Особенно важно, что у особей, подвергшихся воздействию МП, наблюдалось снижение темпов потребления пищи по сравнению с контролем – вероятно, из-за блокирования просвета пищеварительного тракта и создания ложного чувства насыщения.

Эти наблюдения были подтверждены и обобщены в обзоре Botterell et al. [Bioavailability … , 2019], где систематически анализировались лабораторные и полевые эксперименты на разных группах зоопланктона. Авторы отмечают, что МП может не только механически препятствовать нормальному прохождению пищи, но и снижать общую энергетическую ценность диеты за счёт замещения трофических объектов непитательными синтетическими частицами. Особенно чувствительными к этим эффектам оказались мелкие планктонные организмы с фильтрационным способом питания, например, копеподы и дафнии.

Согласно исследованию, Amariei et al. [Negative … , 2022], покрытие МП биоплёнками, состоящими из бактерий, диатомей и других микроорганизмов, значительно повышает его «привлекательность» для потребителей. В опытах с *Daphnia magna* было показано, что обросшие частицы МП поедались гораздо активнее, чем «стерильные». Это особенно важно, так как в природе большинство частиц МП подвержены биообрастанию. Усиленное потребление обросших частиц может усиливать токсические и механические эффекты МП, а также способствовать накоплению вторичных загрязнителей, сорбированных на поверхности (например, тяжелых металлов и органических соединений), что повышает общий уро-

вень воздействия на организм. Таким образом, МП оказывает комплексное воздействие на зоопланктон, начиная от затруднённого пищеварения до нехватки питательных веществ и влияния токсичных соединений, оседающих на МП.

Наряду с нарушениями питания, МП оказывает значительное влияние на рост, жизнеспособность и размножение зоопланктона. Результаты экспериментов показывают, что при воздействии на *D. dentifera* и *Arctodiaptomus dorsalis* наблюдается снижение потребления микроводорослей и, как следствие, уменьшение биомассы в системе [Microplastics … , 2023].

Мезокосменные исследования [Microplastics … , 2024] демонстрируют, что даже при экологически реалистичных концентрациях (~1,5 частиц/л) МП способен вызывать снижение численности зоопланктона в озёрных сообществах. Однако эффект может варьировать в зависимости от характеристик частиц. В исследовании Klasios et al. [2024] подчёркивается, что волокнистые полиэфирные частицы в ряде случаев не вызывают значимых изменений, что свидетельствует о необходимости учёта формы, состава и размера МП при оценке токсичности.

Несмотря на большое количество лабораторных исследований влияния МП на зоопланктон, существует значительный дефицит данных по пресноводным экосистемам. Кроме того, нередко используются концентрации, существенно превышающие реальные экологические значения, что ограничивает применимость результатов. Также важным остаётся вопрос взаимодействия МП с другими загрязнителями, такими как тяжелые металлы, пестициды или органические соединения – комплексный эффект которых на зоопланктон до сих пор малоизучен.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 25-24-00163).

Список литературы

Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review / Z. L. R. Botterell, N. Beaumont, T. Dorrington [et al.] // Environmental Pollution. 2019. Vol. 245. P. 98–110. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.10.065

Klasios N., Kim J. O., Tseng M. No effect of realistic concentrations of polyester microplastic fibers on freshwater zooplankton communities // Environmental Toxicology and Chemistry. 2024. Vol. 43, N 2. P. 418–428. DOI: 10.1002/etc.5797

Microplastic ingestion by zooplankton / M. Cole, P. Lindeque, C. Halsband, T. S. Galloway // Environmental Science & Technology. 2013. 47(12). P. 6646–6655. DOI: 10.1021/es400663f

Microplastics at environmentally relevant concentrations in a large in lake mesocosm: Assessing zooplankton responses / D. Langenfeld, K. Bucci, C. Veneruzzo [et al.] // Environmental Science & Technology. 2024.Vol. 58, N 6. P. 3210–3221. DOI: 10.1021/acs.est.4c05327

Microplastics impact simple aquatic food web dynamics through reduced zooplankton feeding and potentially releasing algae from consumer control / C. R. Malinowski, C. L. Searle, J. Schaber, T. O. Höök // Science of the Total Environment. 2023. Vol. 874. Art. 166691. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.66691

Negative food dilution and positive biofilm carrier effects of microplastic ingestion by *Daphnia magna* cause tipping points at the population level / G. Amariei, R. Rosal, F. Fernández-Piñas, A. Koelmans // Environmental Pollution. 2021. Vol. 291. Art. 118622. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.118622

УДК 575

ИЗУЧЕНИЕ ПОПУЛЯЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ БАЙКАЛЬСКИХ ЭНДЕМИЧНЫХ ГУБОК *L. BAIKALENSIS*

А. С. Яхненко[1]*, Ю. С. Букин[1], И. В. Ханаев[1], Е. И. Бондарь[2], В. Б. Ицкович[1]

[1]Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
[2]Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского
(Россия, 690041, Владивосток, ул. Пальчевского, 17)
**Автор для переписки: yakhnenkoas@gmail.com*

Аннотация. Экосистема оз. Байкал испытывает усиленное антропогенное давление и воздействие глобального изменения климата, проявляющиеся с 2011 г. в массовых цветениях цианобактерий, распространении нитчатых водорослей, массового заболевания и гибели эндемичных губок. Для оценки состояния эндемичных губок, помимо мониторинга, необходимо изучение их популяционно-генетической структуры. Впервые для эндемичного вида губок *L. baikalensis* разработан набор микросателлитных маркеров на основе геномов. Анализ 251 образца из 8 районов озера показал четкую генетическую подразделенность на три кластера, соответствующих котловинам озера. Популяции находятся в равновесии Харди – Вайнберга. Реконструкция демографической истории показала резкий рост численности около 24 тыс. лет назад и последующую стабилизацию численности. Признаков влияния недавней массовой гибели губок на генетическую структуру не обнаружено. Полученные данные служат основой для будущего генетического мониторинга.

Ключевые слова: Байкал, популяционная структура, микросателлитные маркеры, эндемичные губки, Lubomirskiidae

В последние годы экосистема оз. Байкал находится под повышенным антропогенным воздействием и реагирует на глобальное изменение климата. С 2011 г. наблюдаются массовые цветения цианобактерий, повсеместное развитие нитчатых водорослей, массовое заболевание и гибель эндемичных губок. В связи с этим помимо регулярного мониторинга необходимо изучение популяционно-генетических структур байкальских гидробионтов, подверженных значительным колебаниям численности. Исследование генетического разнообразия эндемичных байкальских губок является фундаментально важным для оценки их состояния, особенно в условиях массовой гибели, наблюдаемой в оз. Байкал. Для лучшего понимания демографической истории байкальских губок, а также их внутри- и межвидовых взаимоотношений, перспективным является использование молекулярно-генетических маркеров, как было показано на морских и пресноводных космополитных видах губок. Для анализа популяционной структуры сидячих организмов, и в частности губок, наиболее эффективными считаются микросателлитные маркеры.

В ходе исследования на основе опубликованных ранее геномов *L. baikalensis* и *E. muelleri* был разработан набор микросателлитных маркеров, с помощью которого была изучена популяционно-генетическая структура байкальских эндемичных губок на примере *L. baikalensis*. Был проанализирован 251 образец из 8 районов, охватывающих все три котловины озера. Было выявлено наличие хорошо выраженной генетической структуры. Выявлена генетическая подразделенность внутри вида на три кластера, соответствующих котловинам обитания в оз. Байкал. Все исследованные популяции губок находятся в равновесии Харди-Вайнберга. Регрессионный анализ показал наиболее вероятное направление миграций по изобате глубины обитания вида *L. baikalensis*, на которое не оказывают влияния циркуляционные течения. Проведенная реконструкция изменения эффективной численности *L. baikalensis* во времени показала резкий рост и последующий выход на плато, которое наблюдается в настоящий момент. Реконструкция соотносится с результатами, полученными ранее при анализе кернов, и, предположительно, описывает события возрастом до 24 тыс. лет, связанные с последним оледенением. Изменений структуры популяций, взаи-

мосвязанных с событиями массовой гибели губок на Байкале, наблюдаемыми в последнее десятилетие, выявлено не было.

Полученные данные о популяционно-генетической структуре байкальских эндемичных губок можно считать отправной точкой для дальнейших мониторинговых исследований, которые необходимы в контексте событий массовой гибели и заболеваний, отмеченных в последнее десятилетие.

Благодарности. Работа выполнена в рамках гос. тем № 0279-2021-0005, 0279–2021-0011, 0279-2021-0010.

УДК 575.112

ИЗУЧЕНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА *CYTOBACILLUS PSEUDOCEANISEDIMINIS* ИЗ ГЛУБОКОГО ПОДЗЕМНОГО МИНЕРАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА

А. С. Яхненко*, К. А. Тарасов, Е. В. Кравченко

Объединенный институт ядерных исследований
(Россия, 141980, Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6)
**Автор для переписки: yakhnenkoas@gmail.com*

Аннотация. В исследовании проведен геномный и транскриптомный анализ биосинтетических кластеров генов *C. Pseudoceanisediminis,* обитающей в глубоких подземных минеральных источниках. Выявлено пять ключевых кластеров генов (NRPS, терпены, T3PKS, Ni siderophore, Lap_terpene) с преимущественно конститутивной экспрессией, слабо изменяющейся под действием Pb^{2+}. Полученные результаты демонстрируют, что *C. pseudoceanisediminis* обладает значительным биотехнологическим потенциалом. Также выявлена устойчивость метаболических путей бактерии к тяжелым металлам, что открывает перспективы её промышленного использования в загрязненных средах.

Ключевые слова: глубокий подземный, минеральный источник, Cytobacillus, биологически активные вещества, геномика

В последние годы особый интерес исследователей привлекают бактерии, обитающие в экстремальных и антропогенно-измененных экосистемах, как перспективный источник новых биологически активных соединений. *Cytobacillus pseudoceanisediminis* представляет собой грамположительную аэробную бактерию, выделенную из морских осадков, глубинных минеральных источников и даже с поверхности микропластика в морской воде. Уникальная устойчивость этого микроорганизма к высоким концентрациям тяжелых металлов (Cu^{2+} 3 mM, Pb^{2+} 5 mM, Cd^{2+} 0,5 mM), способность утилизировать C1-соединения и полистирол, делают *C. pseudoceanisediminis* особенно интересным объектом для биотехнологических исследований. Изучение биосинтетического потенциала данного вида может привести к открытию новых соединений с антимикробной, антиопухолевой и биоремедиационной активностью, что определяет актуальность настоящего исследования.

В ходе исследования проведен биоинформатический анализ генома и транскриптома *C. pseudoceanisediminis* с использованием сервиса AntiSMASH 7. 0, что позволило идентифицировать пять кластеров генов, ассоциированных с синтезом биологически активных соединений: NRPS-независимый сидерофорный кластер (Ni siderophore), кластер нерибосомальных пептидных синтетаз (NRPS), терпеновый кластер, гибридный кластер Lanthipeptide-Terpene (Lap_terpene) и кластер Type III Polyketide Synthase (T3PKS).

Результаты показали, что большинство генов в изученных кластерах характеризуются конститутивной экспрессией. Наибольший уровень экспрессии отмечен для кластера T3PKS (50 из 50 генов), тогда как в Ni siderophore кластере экспрессировалось лишь 15 из 29 генов. Воздействие ионов Pb^{2+} привело к статистически значимым изменениям экспрессии только одного гена в каждом из кластеров (кроме Lap_terpene и Ni siderophore, где изменений не выявлено).

Полученные данные имеют потенциал для биотехнологических и медицинских приложений. Сидерофоры могут применяться в качестве антимикробных агентов и для биоремедиации тяжелых металлов. NRPS- и T3PKS-продуцируемые соединения представляют интерес для разработки новых антибиотиков, биосурфактантов и фармацевтических прекурсоров. Терпены и LAP-пептиды обладают доказанной антибактериальной и противоопухолевой активностью. Устойчивость экспрессии генов биологически активных веществ к воздействию Pb^{2+} делает *C. pseudoceanisediminis* перспективным объектом для промышленного использования в условиях загрязненных сред.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-00003, https://rscf.ru/project/24-24-00003/.

УДК 575

ИЗУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ КОТТОИДНЫХ РЫБ (PERCIFORMES: COTTIDAE) БАЙКАЛА С ПОМОЩЬЮ БАРКОДИНГ МАРКЕРА COI

А. С. Яхненко*, И. В. Ханаев, В. И. Тетерина, Б. Э. Богданов, С. В. Кирильчик, Е. В. Дзюба

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: yakhnenkoas@gmail.com*

Аннотация. Работа посвящена получению референсных последовательностей участков гена цитохром-с-оксидазы I для представителей байкальских глубоководных коттоидных рыб. Референсные последовательности необходимы для дальнейшего изучения спектров питания рыб с помощью ДНК-баркодинга. Филогенетический анализ полученных последовательностей подтвердил высокую диагностическую ценность этого метода, позволив разграничить с достаточными уровнями поддержки разные роды. Полученные результаты открывают новые возможности для изучения трофических связей эндемичных видов Байкала.

Ключевые слова: Байкал, Cottidae, ДНК-баркодинг, спектр питания, генетика

Байкальские глубоководные коттоидные рыбы (Perciformes: Cottidae) – уникальная группа животных с высоким уровнем эндемизма. Сложности в исследовании пищевых спектров этих видов вызваны не только малым количеством выборок рыб в связи с трудоемким процессом отлова, но и тем, что при их подъеме с больших глубин происходит выбрасывание пищи из желудка, а у рыб, в желудках которых она сохраняется, затруднена идентификация кормовых объектов из-за сильной ее переваренности. Стандартный ДНК-баркодинг с использованием фрагмента митохондриального гена цитохром-с-оксидазы I (*COI*) предлагает мощный инструмент для решения этой задачи, но требует наличия надежных референсных последовательностей и подтверждения их диагностической способности на разных таксономических уровнях. Несмотря на преимущества метабаркодирования, низкая представленность в референсных базах данных нуклеотидных последовательностей видов, обитающих в оз. Байкал, затрудняет их идентификацию.

В ходе исследования были прочитаны нуклеотидные последовательности фрагмента митохондриального гена цитохром-с-оксидазы I для 7 представителей родов *Abyssocottus, Asprocottus*, *Cottinella* и *Neocottus*. На основе полученных данных и доступных последовательностей из GenBank NCBI было построено филогенетическое древо с использованием метода максимального правдоподобия (Maximum Likelihood, ML). Статистическая поддержка клад оценивалась с помощью SH-aLRT, aBayes и ultrafast bootstrap. Филогенетический анализ с высокими уровнями статистической поддержки (>0,9) подтвердил четкое обособление следующих родов: *Paracottus, Cottocomephorus, Comephorus, Asprocottus, Procottus,* и *Neocottus*. Это свидетельствует о высокой диагностической ценности стандартного фрагмента гена *COI* для изучения спектров питания глубоководных коттоидных рыб оз. Байкал.

Благодарности. Работа выполнена в рамках гос. темы № 0279-2021-0005.

УДК 576.32/.36:597.2/.5

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КРОВИ КОТТОИДНЫХ РЫБ ОЗЕРА БАЙКАЛ

В. М. Яхненко*, Ю. П. Сапожникова, А. Г. Королева, И. А. Небесных, А. А. Епифанцев, Е. А. Вахтеева, И. В. Ханаев

Лимнологический институт СО РАН
(Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3)
**Автор для переписки: vera@lin.irk.ru*

Аннотация. Выявлено, что качественные и количественные параметры периферической крови и клеток кроветворных органов, а также структура гемоглобинов определяют адаптации рогатковых рыб Байкала.

Ключевые слова: рогатковые рыбы, гемопоэз, периферическая кровь, цитометрия, функционально активныеи митохондрии, гемоглобин, Байкал

Введение. На долю байкальских рогатковых рыб приходится более двух третей ихтиофауны оз. Байкал, из которых 38 видов эндемичны [Bogdanov, 2023]. Они освоили прибрежную, глубоководную зоны озера, в том числе эпипелагиаль и батипелагиаль [Талиев, 1955; Сиделева, 1982; Bogdanov, 2023].

Система крови байкальских рогатковых рыб представлена органами кроветворения, (почка и селезенка) и периферической кровью. До 90 % клеток периферической крови – зрелые эритроциты. В цитоплазме этих клеток выявлены гемоглобин, митохондрии, рибосомы, гликоген, ферменты цикла Кребса [Morphofunctional … , 2016]. Наличие этих компонентов свидетельствует об активной вовлеченности эритроцитов в метаболизм. Гемоглобин эритроцитов является основным звеном системы транспорта кислорода у рыб. Лейкоциты представлены зернистыми и незернистыми формами и обеспечивают иммунитет. Показатели крови коррелируют со всеми сторонами жизнедеятельности организма, особенностями среды обитания и ее изменениями [Morphofunctional … , 2016, Lahnsteiner, 2020]. Однако роль разных факторов и степень их воздействия на систему крови рыб остаются не до конца понятными. Целью исследования было оценить особенности гемопоэза, количественные и качественные параметры периферической крови представителей рогатковых рыб Байкала разных экологических групп.

Материалы и методы. Исследовано 23 вида рогатковых рыб: придонно-прибрежные (*Leocottus kesslerii, Paracottus knerii, Batrachocottus baicalensis,),* бенто-пелагические *(Cottocomephorus grewingkii, C. inermis, C. alexandrae),* придонно-глубоководные *(B. nikolskii, B. multiradiatus, Asprocottus platicephalus, A. intermedius, A. herzensteini, Cyphocottus megalops*, *Limnocottus griseus, L. bergianus, L. pallidus Procottus major*), пелагические *(Comephorus baicalensis, C. dybowski),* глубоководные *(Cotinella boulingeri, Neocottus werestschagini, N. thermalis, Abyssocottus korotneffi, A. gibbosus).*

Отбор крови проводился у половозрелых рыб, отловленных во время глубоководных тралений на оз. Байкал в августе-сентябре 2020–2024 гг. Были использованы стандартные методы [Rigetti, 1986; Thermal … , 2023; Weakley, Beginners, 1975; Morphofunctional … , 2016].

Результаты. *Гемопоэз.* У всех исследованных видов скопление лимфоидной и миелоидной ткани выявлено в селезенке и в почке, в небольших количествах – в печени, жаберных лепестках, кишечнике, сердце. Лимфопоэз в почках более активен у обитателей литорали и придонно-глубоководных видов, у глубоководных и пелагических– лимфо- и миелопоэз представлен в равной степени. В селезенке – миелопоэз более активен у глубоководных и пелагических форм. У придонно-глубоководных, бенто-пелагических в равной степени присутствуют лимфоидные и миелоидные формы лейкоцитов.

Периферическая кровь. Л е й к о ц и т ы . Кровь исследованных рыб имеет лимфоидный характер. Процентное содержание лимфоцитов уменьшается, нейтрофилов увеличивается с увеличением глубины обитания видов. У голомянок лимфоциты и нейтрофилы присут-

ствуют в равной степени. Моноциты у всех видов встречаются в небольших количествах. Нейтрофильно-лимфоцитарный индекс (N/L), как критерий оценки возможности иммунной системы к адаптациям, у прибрежных видов наименьший, у голомянок – наибольший. При воздействии фенола (6 мг/л от 1 до 14 сут), NaCl (9‰ от1 до 14 сут) отмечено усиление эритропоэза и миелопоэза, и уменьшение пула ФАМ в первые сутки эксперимента у прибрежных (*P. knerii* и *C. grewingkii*), придонно-глубоководного *B. baicalensis*, глубоководного *N. thermalis*. При длительном воздействии этих агентов состав крови восстанавливался на 4, 4, 7-е сут соответственно. Эритроциты. Кровь рогатковых рыб характеризуется наиболее низкой концентрацией гемоглобина, наименьшими показателями количества эритроцитов на единицу объема крови (*Э*), кислородной емкости крови (*КЕК*) и содержания гемоглобина в эритроците (*СГЭ*) по сравнению с другими рыбами Байкала [Morphofunctional … , 2016]. Наибольшие показатели Э у прибрежных и пелагических, у глубоководных видов они низкие, тогда как показатели *СГЭ* высокие. Отмечена обратная корреляция *СГЭ* и *Э*. Малоизменчивыми цитометрическими параметрами зрелых эритроцитов являются ядерно-цитоплазматические отношения (*NCR*), числовая эксцентричность (*E*), которая характеризует степень эллипсоидности эритроцитов и площадь клетки (*S*). У обитателей литорали *E* и *S* – меньше, *NCR* – больше по сравнению с другими видами. У абиссальных и пелагических видов эритроциты имеют почти круглую форму. Эритроциты придонно-пелагических рыб имеют более высокую степень эллипсоидности. При фракционировании гемоглобинов у всех исследованных рыб выявлены как анодные, имеющие низкое сродство к кислороду, так и катодные изоформы гемоглобинов, которые имеют высокое сродство к кислороду и низкую чувствительность к изменениям pH, что при низких температурах позволяет максимально насыщать кровь кислородом. У *N. thermalis* и *L. bergianus* выявлены только анодные, у *A. herzensteini* – только катодные изоформы.

Выводы. Особенности гемопоэза, клеточного состава периферической крови характеризуют высокую степень адаптаций рогатковых видов: глубоководных и пелагических в основном за счет врожденного иммунитета, обеспеченного нейтрофилами, **у** придонно-прибрежных, бенто-пелагических, придонно-глубоководных – за счет адаптивного иммунитета, обеспеченного лимфоцитами. Стабильные условия пелагиали и глубоководного Байкала, приуроченность видов к определенным экологическим нишам обеспечили внутривидовую малоизменчивость эритроцитов и гемоглобинов.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Гостемы № 1210323002248 (руководитель д-р геол.-минерал. наук А. П. Федотов), с использованием микроскопической техники в Центре коллективного пользования «Ультрамикроанализ» (рук. д-р биол. наук Е. В. Лихошвай, инженер А. П. Лопатин). Отбор образцов рогатковых рыб с глубин от 100 до 1400 м проводился с борта НИС «Г. Ю. Верещагин» (ЦКП «Центр комплексных судовых исследований Байкала»).

Список литературы

Ригетти П. Г. Изоэлектрическое фокусирование: теория, методы и применение. М. : Мир, 1986. 398 с.

Сиделева В. Г. Сейсмосенсорная система и экология байкальских подкаменщиковых рыб (Cottoidei). Новосибирск : Наука, 1982. 150 с.

Талиев Д. Н. Бычки-подкаменщики Байкала (Cottoidei) М. ; Л. : Изд-во Акад. наук СССР, 1955. 602 с.

Bogdanov B. E. The Sculpins (Perciformes: Cottidae) of Lake Baikal and Baikal region: updated checklist with the description of new taxa // Limnology and Freshwater Biology. 2023. Vol. 3. P. 63–95. DOI: 10.31951/2658-3518-2023-A-3-63

Lahnsteiner F. Erythrocyte morphometry in teleost fish–Species-specific, inter-individual and environmental-related differences // Acta Zool. 2020. P. 1–13. DOI: 10.1111/azo.12330

Thermal preconditioning alters the stability of hump-snout whitefish (*Coregonus fluviatilis*) and its hybrid form, showing potential for aquaculture / Y. P. Sapozhnikova, A. G. Koroleva, V. M. Yakhnenko [et al.] // Biology. 2023. 12 (10): 1–26. DOI: 10.3390/biology12101348

Weakley B. S., Beginners A. Handbook in Biological Electron Microscopy. Edinburgh : Churchill Livingstone, 1975.

Morphofunctional peculiarities of erythrocytes in wild and farmed coregonid fishes from Lake Baikal / V. M. Yakhnenko, I. V. Klimenkov, N. P. Sudakov [et al.] // Contemporary Problems of Ecology. 2016. Vol. 9, N 2. P. 219–228.

UDC 578.4

DETECTION OF VIRUSES IN A NATURAL RESERVOIR BASED ON NUCLEOTIDE SEQUENCE ANALYSIS

E. M. Astahova*, A. A. Cheremiskina, G. A. Buryak, A. S. Safatov, A. P. Agafonov

State Research Center of Virology and Biotechnology "Vector"
Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being
(Koltsovo, Novosibirsk region, 630559, Russian Federation)
** Corresponding authors: astahova_em@vector.nsc.ru; triggernet@mail.ru*

Abstract. The paper presents the results of molecular biological analysis of small-volume samples from natural water reservoirs for the content of viral nucleotide sequences using the metabarcoding method. Natural water reservoirs, as environmental objects with a low concentration of viruses, are not easy for biogenic analysis. It is quite easy to confirm the bacterial or fungi presence in the water reservoir biocenosis using cultural methods, but it is difficult to confirm the presence of viruses. Based on the genomic sequences fragments obtained using the metabarcoding method, individual bacterial and viral representatives of the water reservoir microbiome were identified.

Keywords: water reservoir microbiome, genomic fragments of viruses, molecular biological study of water, low concentration of microorganisms, environmental viruses

1. Introduction. Natural water reservoirs have their own characteristics, biodiversity and ecosystem, including a large number of microorganisms that support its uniqueness. In plain natural reservoirs with slow water exchange, microorganisms are brought by soil, aerosol, insects, birds, animals. The characteristics of the such reservoir are determined by autochthonous (actually aquatic) and allochthonous (coming from outside) microorganisms. Of interest is the study of the ways of entering, adaptation and survival of viruses in natural water bodies. There is currently no universal molecular biological approach to the study of viruses in the environment. The work is additionally aimed at finding ways to optimize the molecular biological analysis of the content of viruses in water bodies, based on the metabarcoding method. The method is based on obtaining information on the detected viral nucleotide sequences (NS). The purpose of the work was to search for genetic fragments of viruses in small-volume water samples. Analysis of small-volume samples, in the future, will simplify the possibility of transferring water samples by researchers for a preliminary assessment of the microbiological composition of water bodies.

2. Materials and methods. Ice, snow and water samples were collected in April 2024 from Lake Sektinskoye located in the endorheic region between the Ob and Irtysh rivers in the Novosibirsk region, on the territory of the Duplenskoye hunting farm with a large number of migratory waterfowls. The flat lake, with an area of 12.6 km^2, is characterized by poor drainage, and a small role of rainwater and groundwater. Water samples were collected in sterile 50 ml containers, snow and ice were collected in 1.5 liter sterile containers, after which the melt water was mixed and poured into 50 ml sterile containers for further work. Water samples were taken: in the coastal zone of the lake – in the area of reed beds with areas of thawed water; from a small lake (melt lake) that dries up in summer and is mainly made up of melt water, located in the catchment area of the lake, which is a stopover site for waterfowls during migration in spring. Ice was taken from the surface of the lake, where old snow had already melted, freezing into a thick layer of ice on the surface during frosts. Snow was taken from an area overgrown with bushes next to the thawed lake.

Nucleic acids (NA) were isolated using the RealBest Extraction 100 kit (VECTOR-Best, Russia). In an environment with a low concentration of microorganisms (not exceeding 10^3 units/m^3), the optimal method for obtaining information about the contained sequences (NA) is their amplification. Reverse transcription for converting the RNA sequence into complementary DNA with subsequent PCR was performed using the RNAscribe RT kit (BioLabMix, Russia). NA amplification was performed by the polymerase chain reaction (PCR) method using PCR reagent

kits from Bio-LabMix, universal primers aimed at obtaining nucleotide sequences of RNA viruses and random primers. Amplified DNA products were sequenced using the Illumina Platform at the Center for Genomic Research of the Federal State Budgetary Institution of Science, State Research Center of Virology and Biotechnology Vector of Rospotrebnadzor on the iSeq 100 device. The comparison of the collected contigs and the international viral database was performed using BLASTx. During bioinformatics processing, correct biological sequences are identified and grouped by taxonomic characteristics. At this stage, there is a problem of identifying various viral genomes that are highly variable and do not have conservative genes.

3. Results and discussion. As a result, a large number of extended nucleotide sequences were obtained that were not detected in international databases: water from Lake Sektinskoye – 1,514,882 NS; water from a melt lake – 1,842 NS; ice from the lake – 38,596 NS; snow – 46,924 NS. Characteristics of the identified and taxonomically classified viral sequences: water from the lake – number of sequences = 100 NS, species diversity – 20 NS, average fragment length – 1000 NA; water from a melt lake – number of sequences = 16 NS, species diversity – 4 NS, average fragment length 1900 NA; ice from the lake – number of sequences = 318 NS, species diversity – 16 NS, average fragment length 1000 NA; snow – number of sequences = 308 NS, species diversity – 11 NS, average fragment length 1500 NA. Total number of classified viruses: 7 NS are representatives of bacterial DNA viruses (bacteriophages); 5 NS are DNA viruses (insects, algae, amoebas); 17 NS are RNA viruses that are pathogenic for mammals in one way or another. Of these, 7 NS belong to the *Coronaviridae* family. In the melt lake, despite the temporary presence of a large concentration of birds during the migration to nesting sites, a minimal number and diversity of viruses were detected. Most likely, a long-term presence of an animal source of the virus is necessary for a contribution to the established ecosystem of the lake. In the melt lake, only three representatives of the families of mammalian RNA viruses were detected: *Peribunyaviridae, Picobirnaviridae, Astroviridae*. The greatest diversity of viruses was found in the ice and water of Lake Sektinskoye. A detached type of DNA virus has been found in the water – the giant eukaryotic virus *Nucleocytoviricota* with a complex genome containing cellular genes homologous to all kingdoms of life. It can infect a wide variety of host species, from algae and amoebas to insects and mammals. It is worth noting that in parallel, the presented method from the same samples, by genetic fragments, revealed the bacterial composition of the lake microbiome, which received quantitative and qualitative confirmation by cultural methods. Therefore, it is possible to assume the reliability of the corresponding ratio among viruses, however, at the moment there is no way to confirm the results by virus cultivation.

4. Conclusions. Unclassified genetic fragments that are not included in the international database are identified. The maximum number of such fragments was found in the water of Lake Sektinskoye, the least – in the water of the melt lake. The largest number of classified genetic fragments of viruses was found in the ice of the lake. The greatest species diversity of viruses was found in water samples from the lake. The smallest number of viral fragments was found in the melted lake that dries up in summer.

Acknowledgments. The work was supported in part by Rospotrebnadzor grant GZ 11/21.

UDC 574.5:574.6

ASSESSMENT OF A FRESHWATER ECOSYSTEM SURFACE WATERS QUALITY BY GENETIC MARKERS OF MODEL TEST-OBJECT

R. E. Avalyan *, R. M. Aroutiounian, A. L. Atoyants

Research Institute of Biology, Yerevan State University
(8, Charents st., Yerevan, 0025, Armenia)
**Corresponding author: re_avalyan@mail.ru*

Abstract. Plant model test systems are used for biotesting of water quality in freshwater ecosystems (river). To study the level of clastogenicity of the water samples of the Akhuryan River (Armenia), collected at five sampling points along the river in the summer, a test for micronuclei in the pollen mother cells of *Tradescantia* clone 02 (micronucleus assay – Trad-MCN) is used. The following two marker test-criteria were taken into account: the frequency of tetrads with micronuclei (Tetr/MCN) and the frequency of micronuclei in tetrads (MCN/tetr). The study of clastogenic effects in the sporogenic cells of Tradescantia showed increase in the frequency of occurrence of both test criteria in all studied water samples compared to the background with maximum manifestation in the Akhurik sample ($p < 0,01$). A reliable positive correlation was shown between the marker criteria of the micronucleus test and the chemical elements: HCO_3, CO_3, B, Mg, Ca, As, Se, Sr ($p < 0.01$).

Keywords: biotesting, freshwater (river) ecosystem, mutagenicity, *Tradescantia* (clone 02)

To study the genetic effects of the complex impact of pollutants on freshwater ecosystems genetic monitoring using sensitive test objects is highly relevant. Among bioindicator plants a special place is occupied by *Tradescantia* (clone 02), plants of which are widely used in the genetic monitoring system to identify the mutagenic potential of xenobiotics in the aquatic environment.

The Akhuryan River is the longest river in Armenia, flowing in the north of the republic near the city of Gyumri, flowing into the Araks River. To study the level of clastogenicity of the aquatic environment, a test for micronuclei in the pollen mother cells of *Tradescantia* clone 02 (micronucleus assay – Trad-MCN) is used. The application of this assay allows recording the occurrence of chromosomal aberrations (acentric fragments or lagging chromosomes), which are registered as micronuclei (MCN) at the stage of early microspore tetrads of pollen mother cells at disturbances in the process of microsporogenesis (Mizik et al., 2019).

The aim of this work was biotesting the potential mutagenicity of water samples from the Akhuryan River in its upper reaches in the summer using bioassay Trad-MCN of the model test object *Tradescantia* (clone 02).

The study material was water samples of the Akhuryan River, taken from five water sampling points along the river in the summer. The water samples were labeled: A1 – source of the Akhuryan River; A2 – Mets Sepasar; A3 – Amasya Dzor; A4 – Jradzor; A5 – Akhurik. Tap water was used as a conditional background water sample (control). To determine the mutagenicity level of the studied water samples, a micronucleus test (Trad/MCN) of the clone 02 of *Tradescantia* was used. The bioassay was carried out according to standard protocols (Ma et al., 1994). The following two marker test-criteria were taken into account: the frequency of tetrads with micronuclei (Tetr/MCN) and the frequency of micronuclei in tetrads (MCN/tetr). The micronuclei frequency was calculated per 100 tetrads.

Pearson correlation analysis was performed between the frequency of somatic mutations, as well as micronuclei and the concentration of chemical elements (HCO_3, SO_4, NO_3, NO_2, NH_4, PO_4, F, N, Na, K, Mg, P, Ca, Mn, V, Fe, Co, Cr, Cu, Ni, Zn, Ti, As, Mo, Cd, Se, Sr) in the studied water samples. All obtained results were statistically processed using the *Statgraphics Centurion 16.2* computer program (StatPoint Technologies, Inc. USA; Warrenton, VA).

The study of clastogenic effects in sporogenous cells of Tradescantia showed a significant increase of the occurrence frequency of both test criteria (Tetr/MCN and MCN/tetr) in all studied water samples compared to the background level (Fig.).

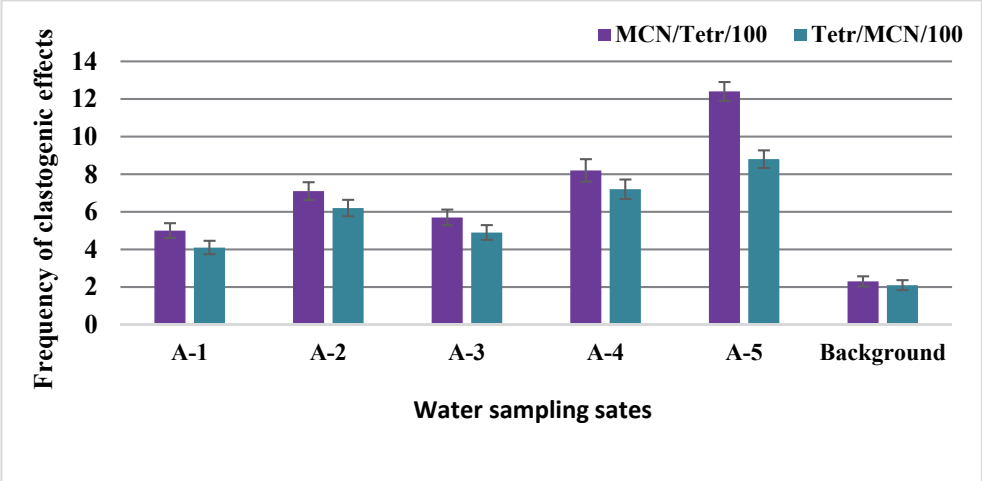


Fig. The level of clastogenicity of the Akhuryan River water samples

The highest frequency of these test markers was observed in sample A5 (Akhurik), and exceeded the background level by 4–5 times ($p < 0.01$) respectively. A relatively low level of clastogenic effects was observed in water sample A1 (source of the Akhuryan River) and exceeded the background level by 2 times ($p < 0.05$). A reliable positive correlation was shown between the marker criteria of the micronucleus test and the chemical elements: HCO_3, CO_3, B, Mg, Ca, As, Se, Sr ($p < 0.01$).

According to the results of the study, an increase in the frequency of micronuclei formation, as a result of an increased degree of chromosome damage during microsporogenesis, indicates the presence of a clastogenic effect exerted by water samples of the river on sporogenous cells of *Tradescantia*. The increased clastogenic activity of the Akhuryan River water is apparently due to the unevenness of domestic and man-made loads, as well as the content of a complex of chemical and toxic components in the river water, especially outside the city of Gyumri. The use of the Trad-MCN test of Tradescantia (clone 02) is appropriate for an adequate assessment of the mutagenicity level of freshwater (river) ecosystems.

References

Misik M., Ma T. H., Nersesyan A. et al. 2011. Micronucleus assays with *Tradescantia* pollen tetrads: an update. *Mutagenesis* 26 (1): 215–221. DOI: 10.1093/mutage/geq080

Ma T. H., Cabrera G. L., Chen R. et al. 1994. *Tradescantia* micronucleus bioassay. *Mutation Research* 310: 220–230. DOI: 10.1016/0027-5107(94)90115-5

UDC 574.5

NEW RECORDED SPECIES OF MACROMYCETES IN THE BAIKAL BASIN

G. Burenbaatar [1]*, Kh. Altantsetseg[2], T. Ulambayar [3]

[1]Sector of Fungi and Lichen Genetic Resources of Botanic Garden and Research Institute, Mongolian Academy of Sciences (Ulaanbaatar, 13330, Mongolia)
[2] School of Medicine, Mongolian National University (Ulaanbaatar, 14200, Mongolia)
[3]School of Animal Science & Biotechnology, Mongolian University of Life Sciences (Ulaanbaatar, 17024, Mongolia)
**Corresponding author: burenbaatarg@mas.ac.mn*

Abstract. The Baikal Basin, which encompasses the Khuvsgul region of Mongolia, harbours a diverse array of macrofungal species. This study reports 15 macrofungal species belonging to 12 genera as new records for Mongolia, supplementing the 677 previously documented higher fungal taxa. Approximately 350 macrofungal specimens were collected during fieldwork conducted in the Khuvsgul region between 2018–2020. Genomic DNA was extracted from dried fungal specimens, and the internal transcribed spacer (ITS), nLSU, and SSU regions were amplified and sequenced. Phylogenetic analysis was performed using concatenated alignments of the ITS, nrLSU, RPB2, and tef1-α regions, with maximum likelihood phylogenies inferred using IQ-TREE. Although these newly recorded species are potentially new to the Baikal Basin, their status within the region requires further confirmation. Future research should focus on initiating a collaborative Mongolian-Russian study dedicated to the macrofungal diversity of the Baikal Basin to clarify the species distribution and enhance regional mycological knowledge. This study highlights the importance of ongoing mycological exploration in the Baikal Basin and the need for international collaboration to advance our understanding of fungal diversity in this ecologically significant region.

Keywords: Macromycetes, Baikal Basin, Lake Khuvsgul, new records, fungal diversity

Grubov (1982) classified Mongolia into sixteen phytogeographic regions, each characterized by distinct vegetation types, including alpine steppe, forest, meadow steppe, typical steppe, desert steppe, and desert. Among these regions, the Khuvsgul region is part of the Baikal Basin.

The Soviet-Mongolian Complex Biological Expedition, initiated in 1969, institutionalized long-term cooperation between the Academy of Sciences of the USSR and Mongolia. The Komarov Botanical Institute (BIN) and the Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences played central roles in the collection and identification of macrofungi in Mongolia. Petrov (1981–1999) focused on the species composition, seasonal fruiting, and ecological roles of fungi in the northern Mongolian forests of the Baikal Basin. Kovalenko (1986) provided the first comprehensive study of Hygrophoraceae in the region, contributing to fungal biogeography.

Based on fieldwork conducted by Prof. Tolgor B. in 2018 and Burenbaatar G. during 2019–2020 in the Khuvsgul region, part of the Baikal Basin, approximately 350 macrofungal specimens were collected. Of these, 15 macrofungal species were recorded for the first time in Mongolia, supplementing the 677 higher fungal taxa previously documented by Kherlenchimeg et al. in 2024.

Genomic DNA was extracted from dried fungal specimens using a NuClean Plant Genomic DNA Kit (Kangwei Century Biotechnology, Beijing, China). Amplification of the internal transcribed spacer (ITS) region was performed using ITS1 and ITS4 primers, whereas the nLSU and SSU regions were amplified with LROR and LR7 primers, respectively. PCR procedures followed the protocol of Mou and Bau (2021), and the resulting products were sequenced by Sangon Biotech (Shanghai). For phylogenetic analysis, newly generated sequences were uploaded to the NCBI database, and reference sequences were retrieved based on the framework of Tóth et al. (2013). Sequence alignment of the ITS, nrLSU, RPB2, and tef1-α regions was conducted using the G-INS-i algorithm via MAFFT, followed by manual refinement in MEGA7. Concatenated alignments were constructed using PhyloSuite, and maximum likelihood phylogenies were

inferred with IQ-TREE under the edge-linked partition model, applying 5000 ultrafast bootstrap replicates and the SH-like approximate likelihood-ratio test.

In this study, we report 15 macrofungal species belonging to 12 genera newly recorded in Mongolia. Although these species are potentially new to the Baikal Basin, their status within this region has not yet been fully confirmed. Future research should focus on initiating a collaborative Mongolian-Russian study dedicated to the macrofungal diversity of the Baikal Basin, aiming to clarify species distributions and enhance regional mycological knowledge.

Table. Newly Recorded Macrofungal Species from the Khuvsgul Region and the Baikal Basin

Species name	Phytogeographical Region number	Fungarium ID	Palace name	Genbank ID
Agrocybe fimicola (Speg.) Singer	1, 2	HMJAU36272; UBA23121; UBA23131	Khuvsgul lake; Mungunmorit-Baruunburkh	PQ732330
Clavulina coralloides (L.) J. Schröt.	1	HMJAU36339	Khuvsgul lake	PQ721609
Entoloma fuligineocinereum Mešić & Tkalčec	1, 4	UBA23048; HMJAU18044; HMJAU18057	Tsenkhermandal-Khentii, Khuvsgul. lake	PQ722548 PQ722008 PQ721604
Gymnopilus suberis (Maire) Singer	1	HMJAU36280	Khuvsgul lake	PQ722045 PQ721865
Hebeloma hiemale Bres.	1	HMJAU36281	Khuvsgul lake	PQ725733
Hebeloma leucosarx P. D. Orton	1	HMJAU36282	Khuvsgul lake	PQ721269
Homophron spadiceum (P. Kumm.) Örstadius & E. Larss.	1	HMJAU36309	Khuvgul	PQ721002
Inocybe lanuginosa (Bull.) Kalchbr.	1	HMJAU36286	Khuvsgul	PQ725226
Inocybe phaeocystidiosa Esteve-Rav., G. Moreno & Bon	1	HMJAU18035	Khuvsgul	PQ725600
Melanoleuca dryophila Murrill	1, 2	LE220256; UBA1334; HMJAU363	Khuvsgul	PP551694
Melanoleuca exscissa (Fr.) Singer	1	HMJAU36335; HMJAU36325	Khuvsgul	PQ726973
Mycena purpureofusca (Peck) Sacc. 1887	1	HMJAU18031; HMJAU18024; HMJAU18026	Khuvsgul	PQ725623 PQ721926 PQ724925
Osteina obducta (Berk.) Donk	1, 2, 9	UBA23252; HMJAU18007; UBA23171; UBA24021	Khuvsgul, Bogdkhan, Dornod-Menengiin tal	PQ726798 PQ726849 PQ721045 PP566050
Paragymnopus pinophilus (R. H. Petersen) J. S. Oliveira	1	HMJAU2018	Khuvsgul	PQ721616
Pluteus rugosidiscus Murrill	1	HMJAU36308	Khuvsgul	PQ726893

Acknowledgements. I would like to express my sincere gratitude to Professor Tolgor Bau for accepting me as a student and providing me with the opportunity to conduct this research. I am also deeply thankful to the warm and supportive faculty of Jilin Agricultural University as well as to the members of the Russian-Mongolian Joint Biological Expedition for their invaluable contributions to the advancement of mycological research in Mongolia.

References

GenBank. (2025-04-05). https://www.ncbi.nlm.nih.gov/.

Grubov V. I. 1982. Key to the vascular plants of Mongolia. Leningrad.

Gubanov I. A. 1996. Konspekt flory vnesnej Mongolii (sosudistye rastenija) [M]. Moscow: Valang.

iNaturalist. (2023-01-01). https://www. inaturalist.org/.

Index Fungorum. (2025-02-20) https://www.indexfungorum. org/Names/Names.asp.

Kherlenchimeg N., Burenbaatar G., Baasanmunkh S. et al. 2024. Improved understanding of the macrofungal diversity of Mongolia: species richness, conservation status, and an annotated checklist. *Mycobiology* 52(1): 13–29.

Kovalenko A. E., Uranchimeg G. 1987. Fungi of the Hygrophoraceae family from the Khentii Plateau of the Mongolian People's Republic. *Mycology and Phytopathology* 21(2): 127–130.

Lu T., Bao H., Bau T. 2018. Genetic diversity and population structure of endemic mushroom Leucocalocybe mongolica in Mongolian Plateau uncovered by EST-SSR markers. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* 32(5): 1195–1204.

Lu T., Bau T., Ohga S. 2017. Physiological study of the wild edible mushroom *Leucocalocybe mongolica. Journal of the Faculty of Agriculture* 62(1): 1–8.

Malysheva E., Kiyashko A. 2011. Contribution to the study of *Agrocybe pediades* complex (Agaricales) in Russia based on nrITS sequences. *Mycologia Balcanica* 7(8): 115–124.

Munkhbat O. E. 2020. Study on medicinal fungi resources in northern Mongolia. Changchun China: Jilin Agricultural University.

Petrov A. N., Belova N. V. 1999. On the flora of macromycetes in Northern Mongolia. *Mycology and Phytopathology* 33(1): 25–29.

Petrov A. 1981. Macromycetes flora in the Khubsugul region. – Natural conditions and resources of the Khovsgol region (MPR), Irkutsk. Irkutsk: Irkutsk State University.

Petrov A. 1989. Macromycetes of fir forests of Khamar-Daban: forest pathology studies in the Baikal region: Irkutsk. *Federal State Budgetary Institution of Science Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry of the SB RAS* 89(3): 125–146.

Uranchimeg G., Bondartseva M. A., Nezdoiminogo E. L. 1983. To the flora of macromycetes of the mountain-taiga vegetation belt of the Mongolian People's Republic. *Mycology and Phytopathology* 17(5): 374–377.

Vlasenko V. A. Turmunkh D., Vlasenko A. V. 2022. Geographical distribution patterns of *Geastrum melanocephalum* (Geastraceae, Basidiomycota) in Siberia in present and under conditions of climate change. *Plant World of Asian Russia* 15(2): 118–127.

UDC 574.58

FEATURES OF THE FORMATION OF AQUATIC MICROALGAE COMMUNITIES IN HYDROLOGICALLY DIFFERENT AQUATIC ECOSYSTEMS OF ARMENIA

L. Hambaryan[1,2]*, S. Esoyan[1], A. Mkrtchyan[1], H. Igityan[1], M. Poniewozik[2,3]

[1]Yerevan State University, Faculty of Biology (1, Alex Manoogian, Yerevan, 0025, Armenia)
[2]Scientific Center of Zoology and Hydroecology (7, P. Sevak st., Yerevan, 0014, Armenia)
[3]The John Paul II Catholic University of Lublin, Faculty of Medicine, Department of Plant Physiology and Biotechnology (1i, Konstantynów, Lublin, PL-20-708, Poland)
**Corresponding author: lus-ham@yandex.ru*

Abstract. Intensive anthropogenic transformation of aquatic ecosystems and their heterogeneous natural hydrological regime play an important role in the formation of specific compositions of primary producers. The importance of the role of phytoplankton in water bodies is due to their primary role as reproducers of organic matter for the entire food web, as well as the presence of species-bioindicators of water quality. Microalgae (eukaryotes and cyanobacteria) can be used for biocontrol of freshwater habitats and the search for various approaches to assess the development strategies of allelochemically toxic species.

Keywords: heterogeneous natural hydrological regime, cyanobacteria, biocontrol, allelochemically toxic species

The study of autotrophic aquatic communities in hydrologically important aquatic ecosystems of Armenia was aimed at identifying the main groups of microalgae that are important for the formation of water quality. To assess the ecological state of Lake Sevan, the Hrazdan River and Yerevanyan Lich, the phytoplankton communities of these water bodies were studied. Particular attention was paid to the presence and dominance of cyanobacteria in the plankton of the studied aquatic ecosystems as indicators of pollution, as well as possible allelopathic effects in the formation of the species composition of phytoplankton. The main groups that formed the water quality for all aquatic ecosystems were algae groups: Cyanophyta, Bacillariophyta and Chlorophyta, but they differed in the ratio of dominants and subdominants. Thus, in both parts of Lake Sevan (Small Sevan, Big Sevan), the ratio of the main groups was between Chlorophyta: Cyanophyta (Small Sevan), Chlorophyta: Bacillariophyta (Big Sevan), in the river. In the Akhbyurak reservoir, Bacillariophyta: Chlorophyta were widespread, while in the Yerevan Lich reservoir, cyanobacteria Cyanophyta: Bacillariophyta dominated, and diatoms were subdominant (Fig.).

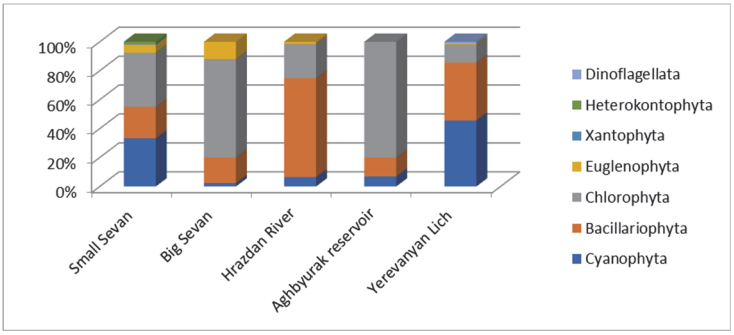


Fig. The main groups of phytoplankton of the studied water bodies

Cyanobacteria of the species *Merismopedia elegans* and toxic forms: *Aphanizomenon flos-aquae* and *Microcystis aeruginosa*, were noted in all water bodies. Experiments are being conducted for the molecular identification of toxic species of cyanobacteria and understanding the main factors for their formation in hydrologically different water bodies.

Acknowledgements. The work was supported by Ministry of Education, Science, Culture and Sport of RA as part of the research project "Factors triggering the bloom of cyanobacteria in important water ecosystems of RA. A comprehensive survey of the bloom phenomenon and its causes." Project Code: 24WS-2H024 (2024–2027).

UDC 579.6

ECOLOGICAL AND BIOGEOCHEMICAL STUDIES IN THE BUREYA RESERVOIR IN THE AREA OF A GIANT LANDSLIDE

L. M. Kondratyeva, Z. N. Litvinenko*, D. V. Andreeva

Institute of the Water and Ecology Problems FEB RAS
(65, Kim Yu Chen st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation)
**Corresponding author: zoyana2003@mail.ru*

Abstract. For the first time in the Russian Far East, in December 2018, at a temperature of -32 °C, a giant landslide with a volume of 24.5 million m3 occurred. The landslide was accompanied by the movement of a large volume of rocks and collapsed directly into the Bureya Reservoir. It completely blocked the access of water to the Bureya Hydroelectric Power Station and provoked a tsunami. According to geomorphologists' research, in terms of the height of the tsunami wave splash the Bureya landslide is one of the largest in the world and is a unique natural phenomenon in a reservoir covered with ice. For the ecological and biogeochemical assessment of the Bureya Reservoir state in the winter and summer periods (2022), comprehensive studies of the water composition in the landslide influence zone were carried out with use of gas chromatographic, spectral and microbiological methods. The obtained research results confirm the hypothesis of complex biogeochemical processes occurring during periodic thawing/freezing of rocks and explosive emission of methane accumulated in the pore space.

Keywords: landslide, reservoir, water quality, biogeochemical processes

Introduction. Landslides are triggered by significant fluctuations in water levels in reservoirs (20–40 m), which lead to powerful groundwater outflows and the destruction of coastal shoals. Landslide processes can be accelerated by sudden freezing of water in cracks and pore space of rocks (Buldovicz et al., 2018). According to calculations, under the influence of the Bureya landslide and tsunami, the area of destroyed soil cover was 120 hectares. In total, about 6,000 tons of undecomposed plant residues and even more finely dispersed organic material were washed away (Makhinov et al., 2019). Changes in water composition in the winter period in the Bureya Reservoir were studied immediately after the landslide and blasting operations to restore the hydrological regime in front of the hydroelectric dam (Kondratyeva et al., 2020). The process of destruction of the slope base in the reservoir may be associated with microbiological processes that occur because of periodic thawing/freezing of rocks saturated with water. It has been established that many volatile organic substances are products of microbial metabolism and are formed because of methanogenesis and methanotrophy (Yu et al., 2017).

Material and methods. Water samples from the Bureya Reservoir (BR) were taken in the winter of 2018–2019 above and below the landslide body near the left and right banks. In the summer of 2022, water samples were taken above and below the landslide body and from nearby bays filled with wood. The organic matter (OM) content in the water in the landslide area was determined by spectrophotometry (Shimadzu UV-3600). The spectral characteristics of water-soluble fractions were determined at $\lambda = 254$ nm and $\lambda = 275$ nm. Volatile OM determined by gas chromatography with use of HP-FFAP column (50 m; 0.320 mm; 0.50 μm) at a temperature range of 50–230 °C. The number of the main ecological and physiological groups of bacterioplankton was used as microbiological indicators: cultivated heterotrophic bacteria; ammonifying, nitrifying and sulfate-reducing bacteria. Agar nutrient media was used for cultivation, the number expressed in colony-forming units (CFU/mL).

Results and discussion. In the winter period, work was carried out to restore the hydrological regime with use of explosives (TNT, RDX), which had a significant impact on the composition of the water during interaction with crushed rocks. In the water around the landslide, heavy volatile compounds (benzene, methanol, toluene, and xylene) were limited, which can be attributed to the decomposition products of wood, trinitrotoluene and/or the conversion of methane, which accumulates during the melting of frozen rocks.

In the summer of 2022, the composition of water around the landslide was influenced by wood debris and soil OM released by the tsunami. In water samples taken in the bays among floating wood, a decrease in the Fe content to values below the detection limits of the device was recorded. The decomposition of plant debris was accompanied by an increase in water color due to its humification with the participation of various groups of heterotrophic microorganisms. They affected the composition of volatile OM and the migration capacity of lithogenic elements. Wood is a multilayer porous material containing specific polar groups of atoms, such as hydroxyl and carboxyl groups. Cellulose and hemicellulose included in wood contain a large number of polar reactive groups that adsorb many metal ions well (Mi et al., 2020).

Conclusions. In the landslide area, a biogeochemical barrier with special processes of microbial metabolism of OM was recorded in the surface waters of the BR due to the influx of crushed rocks and plant residues. In winter, environmental risks of changes in the composition of the BR water are associated with the influx of a large volume of crushed rocks, plant residues and detonation products of explosives. In summer, bays with accumulated crushed wood served as indicators of the consequences of the landslide. The studies indicate that the process of explosive methane emission in regions with receding permafrost is poorly understood. Biogeochemical transformation of OM in the water around the landslide is the cause of an increase in the content of methylated derivatives of benzene and toxic elements. Methanol that was found in many samples can be associated with the transformation of natural methane. The cause of the Bureya landslide could have been an explosive emission of methane with a sharp decrease in temperature.

References

Buldovicz S. N., Khilimonyuk V. Z., Bychkov A. Y. et al. 2018. Cryovolcanism on the Earth: Origin of a Spectacular Crater in the Yamal Peninsula (Russia). *Scientific reports* 8: e:13534. DOI: 10.1038/s41598-018-31858-9

Kondratyeva L. M., Makhinov A. N., Andreeva D. V., Bashkurova A. S. 2020. Changes in water quality in the Bureiskoe reservoir caused by a large landslide. *Water Resources* 47(2): 257–268. DOI: 10.1134/S0097807820020086

Makhinov A. N., Kim V. I., Ostroukhov A. V., Matveenko D. V. 2019. Large landslide in the valley of the Bureya River and tsunami in the reservoir of the Bureya hydroelectric power station. *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences* 2: 35–44 (in Russian). DOI: 10.25808/08697698.2019.204.2.004

Mi R., Chen C., Keplinger T. et al., 2020. Scalable aesthetic transparent wood for energy efficient buildings. *Nature Communications* 11: 3836. DOI: 10.1038/s41467-020-17513-w

Yu Z., Beck D. A., Chistoserdova L. 2017. Natural Selection in Synthetic Communities Highlights the Roles of Methylococcaceae and Methylophilaceae and Suggests Differential Roles for Alternative Methanol Dehydrogenases in Methane Consumption. *Front. Microbiology* 5 (8): e 2392. DOI: 10.3389/fmicb.2017.02392

UDC 579.6

FORMATION OF TOXIC COMPOUNDS IN GROUNDWATER DURING MICROBIAL TRANSFORMATION OF PHENANTHRENE

Z. N. Litvinenko[1,2]*, L. M. Kondratyeva[1]

[1]Institute of the Water and Ecology Problems FEB RAS
(56, Dikopoltsev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation)
[2]Far Eastern State Transport University
(47, Seryshev st., Khabarovsk, 680000, Russian Federation)
**Corresponding author: zoyana2003@mail.ru*

Abstract. The manuscript presents the features of microbial transformation of phenanthrene in groundwater. The processes of biotransformation of phenanthrene were accompanied by a change in color, turbidity of culture fluid and formation of biofilms at different temperatures (23°C and 4°C). The analytical method (gas chromatography) shows that the main intermediates are volatile organic compounds – benzene, toluene, ethylbenzene, *o*-*m*-*p*-xylene, which can act as pollutants of groundwater and create a potential risk for the groundwater ecosystem and water treatment processes. The spatial distribution of BTEX compounds depends on the sampling depth, cultivation temperature and microbial adaptation potential. Transformation of phenanthrene with the formation of toxic compounds was observed at 23°C and at 4°C. The maximum of benzene derivatives compounds was recorded as 0.058 mkg/cm^3 at 4°C in the lower layers of the aquifer.

Keywords: phenanthrene, biotransformation, groundwater, BTEX-contaminants, microorganisms

Introduction. Groundwater is important resource of the world, which represents the largest global reservoir of unfrozen freshwater, providing the water supply for half the world and sustains terrestrial and aquatic ecosystems. Due to intensive pollution processes, various organic compounds are most often found in groundwater, including polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), which are involved in biogeochemical processes, transformed into water-soluble compounds (BTEX compounds) and can harm human health (Mitra, 2011). Microbial complexes play a special role in the processes of PAHs degradation in groundwater. Their functioning is determined by the influence of external abiotic factors. Global climate changes and fluctuations in the temperature regime of groundwater can change the scenarios of microbial transformation processes and, in some cases, accelerate them. Recent studies indicate intense fluctuations in the temperature regime of groundwater due to global climate change (Benz et al., 2024). In this regard, the aim of the work was to study the influence of the temperature factor on the process of phenanthrene transformation by microbial complexes of groundwater and the formation of toxic BTEX-products (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylene).

Material and methods. The objects of the study were microbiocenoses of groundwater from the observation wells of the Tunguska field (Amur River water influence zone). Samples were taken from observational wells at different depths (15, 30, 45 m). Cultivation was carried out at various temperature regime (23°C and 4°C), taking into account classical microbiological techniques, under sterile conditions, in three replicates. The nutrient mineral medium with the addition of phenanthrene (2%) as the only carbon source was used. Determination of the content of volatile organic compounds (VOCs) in samples of culture fluid after 90 days of cultivation was carried out by gas chromatography on a Crystal-5000. 1 chromatograph with use of an HP-FFAP column (50 m; 0.320 mm; 0.50 μm) at a temperature range of 45–200°C in the Collective Use Center of the Institute of Ecology Problems, FEB RAS “Center for Environmental Monitoring”.

Results and discussion. Early research results confirmed the presence of persistent polyaromatic compounds (phenanthrene, fluorene, anthracene, etc.) in the groundwater of the Tunguska deposit field (Kondrat’eva et al., 2018). With use of phenanthrene, a tricyclic PAH, as an example, *in vitro* studies were conducted on the processes of its transformation by microbial complexes at different temperatures (23°C and 4°C). The spatial distribution of phenanthrene transformation products was determined by the influence of the temperature regime and the adaptive potential of the microbial community, which was active at different depths of the aquifer. During

the research period (August 2022), a significant increase in the number of cultivated heterotrophic bacteria in the upper layer (1–15) of the aquifer (up to 3000 CFU/mL) was recorded. Moreover, the majority (>90 %) were a group of ammonifying bacteria. This may be due to increased water content during periods of intense precipitation, the influence of surface runoff and waterlogging of the soil cover.

During the experimental modeling, active transformation of phenanthrene by microbial complexes of groundwater occurred in the upper layers of the aquifer (1–15, 2–30) at 23°C. This process was accompanied by a change in the turbidity of the samples, the formation of biofilms on phenanthrene particles, and the formation of toxic BTEX-products (Table).

Table. Products of microbial transformation

Samples	Transformation products, mkg/cm^3 23°C						Total
	benzene	ethylbenzene	toluene	*o*-xylene	*m*-xylene	*p*-xylene	
1–15	0,0009	0,001	0,0023	0,0014	0,0006	-	0,0062
2–30	0,0005	0,0003	0,0029	0,0006	0,0002	-	0,0045
3–45	-	-	-	-	-	-	-
	Transformation products, mkg/cm^3 4°C						
1–15	-	-	0,0005	0,0004	-	-	0,0009
2–30	0,0003	0,0006	0,0012	0,0009	0,0005	-	0,0035
3–45	0,0168	0,0061	0,0125	0,0107	0,0057	0,0064	0,058

However, at low temperatures (4°C), the metabolism of microbial communities in relation to phenanthrene was accompanied by the accumulation of biomass and the maximum total BTEX compound in the lower layers of the aquifer (3–45). Due to the slowdown in biochemical processes at low temperatures, accumulation of intermediate products of phenanthrene transformation may occur. It is worth emphasizing that the increased content of components such as benzene and toluene may be due to their high mobility in the dissolved phase (Zanello et al., 2021).

Conclusions. As a result of the conducted studies, it was established that the transformation of PAHs by microbial complexes of groundwater can occur at different temperatures (23°C and 4°C) and depends on the adaptive capabilities of microbiocenoses present at different depths of the groundwater. Toxic BTEX-intermediates formed as a result of the transformation of tricyclic phenanthrene can act as a risk factor for groundwater pollution and their water treatment to provide the population with high-quality drinking water.

References

Benz S. A., Irvine D. J., Rau G. C. et al. 2024. Global groundwater warming due to climate change. *Nat. Geoscience* 17: 545–551. DOI: 10.1038/s41561-024-01453-x

Kondrat'eva L. M., Andreeva D. V. 2018. Effect of a flood in the Amur River on organic matter dynamics in groundwater. *Water Resources* 45(6): 887–896. DOI: 10.1134/S009780781806009X

Mitra S., Roy P. 2011. BTEX: A Serious Ground-water Contaminant. *Research Journal of Environmental Sciences* 5: 394–398. DOI: 10.3923/rjes.2011.394.398

Zanello V., Scherger L. E., Lexow C. 2021. Assessment of groundwater contamination risk by BTEX from residual fuel soil phase. *SN Appl. Sci*. 3: 307. DOI: 10.1007/s42452-021-04325-w

UDC 550.47

GEOCHEMISTRY OF BIOGENIC ELEMENTS IN PORE WATERS OF BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL LAKES (SOUTH OF WESTERN SIBERIA)

A. E. Maltsev*, G. A. Leonova

Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS
(3, Academician Koptyug ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation)
**Corresponding author: maltsev@igm.nsc.ru*

Abstract. Diagenesis leads a modification of the pore waters showing an increase in the contents of the organic matter mineral phases (HCO_3^-, NH_4^+, and PO_4^{2-}), and this highlights the mechanism of anaerobic oxidation of organic matter by microorganisms. The decrease in the SO_4^{2-} concentrations reflects the process of bacterial sulfate reduction. This data showed that intensity of sulfate-reduction in the organic sediments is much greater than in the mineral sediments. What depends on both composition of the organic matter and concentration of sulfates in the pore waters.

Keywords: pore waters, biogenic elements, diagenesis, sulfate reduction, authigenic minerals

Small lakes accumulate large amounts of organic matter (OM). Started from deposition of plant and animal remains, OM passes many stages of biochemical and chemical changes. Transformation of OM and chemical composition of pore water in marine and oceanic sediments well-studied around the world (Berner, 1980). However, in Western Siberian region with its specific cold continental climate, this process remains poorly investigated (Leonova et al., 2019). Our study of pore waters small Siberian lakes adds more systematic knowledge of the biochemical processes occurring in such type of basins and refers mostly to the early stage of diagenesis. The objects for our study are five lakes in the south of Western Siberia (Novosibirsk region) to a variety of sedimentation environments – Bolshie Toroki, and Minzelinskoe (organic sediment), Itkul (mineral-organic sediment), Bolshoy Bagan, and Sargul (mineral sediments).

Pore waters of the uppermost layers of the sediments are significantly enriched by biogenic components: HCO_3^-, NO_3^-, NH_4^+, PO_4^{3-}, and SO_4^{2-} (Fig.).

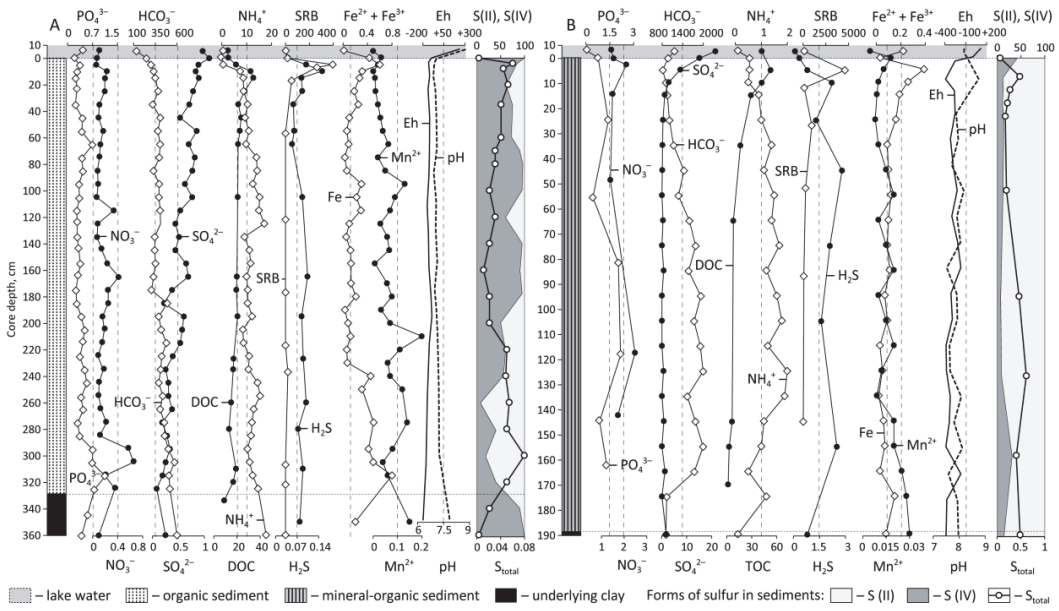


Fig. Distribution of biogenic elements, Fe, and Mn (mg/L), pH, Eh (mV), sulfate-reducing bacteria (SRB, colony-forming unit/g), forms of S (%). A. Lake Minzelinskoe (organic sediment), B. Lake Itkul (mineral-organic sediment)

This results from the microbiological destruction of the organic matter and leads to transfer of the most labile components of the organic matter into solution. Simultaneously reducing conditions are formed in the sediments, and H_2S is synthesized in them. With depth, the waters entrapped in the sediments have more dissolved carbon. Concentration of ammonial nitrogen (NH_4^+), which is an important product of OM mineralization, increases by one order of magnitude already in the uppermost layer of the sediments and continues to increase with depth. Conversely, concentration of nitrates (NO_3^-) decreases. The NH_4^+ concentration in the pore waters of the sediments of different lakes depends on the total content of OM. For this reason, the NH_4^+ concentration in the pore water of organic sediments lakes Bolshie Toroki and Minzelinskoe is the highest – 1.7–15.4 mg/L. Unlike to the mineral sediments of lakes Bolshoy Bagan and Sargul in which the contents NH_4^+ in pore waters are 0.2–0.4 mg/L. Decay of OM buried in sediments is associated with an increase in the concentrations of phosphates PO_4^{3-} and hydrocarbonates HCO_3^- in the pore waters.

Pore waters experience transformation during early diagenesis, and this leads to an increase in the concentration of mineral phases of organic matter (HCO_3^-, NH_4^+, and HPO_4^{2-}). This elucidates the mechanism of anaerobic oxidation of organic matter by microorganisms.

Downward decrease in SO_4^{2-} concentration in the pore waters of the sediments reflects the process of sulfate reduction with participation of sulfate-reducing bacteria. This process is much more significant in the organic and mineral-organic sediments. This can depend on both the OM composition (its availability for the sulfate reducers) and concentrations of sulfates in the pore waters (which main source is water of the lakes).

Sulfate-reducing bacteria more intensively restore isotope-light sulfate in pore water (Table). A metabolic product of sulfate-reducing microorganisms (pyrite) are enriched in the $\delta^{32}S$ isotope, and in the residual SO_4^{2-} is accumulated the heavy isotope $\delta^{34}S$. It was found weighting isotope composition of pyrite on down the sediments depth. This is a consequence of the selective consumption by microorganisms of light sulfates from the upper sediment horizons. As a result, microorganisms of the lower horizons restore the heavy sulfate ion.

Table. Changes of the isotopic composition of pore water sulfate and pyrite (Lake Itkul)

Depth, cm	TOC, %	SRB, cfu/g	S_{total}, %	S (II), %	SO_4^{2-}, mg/L	$\delta^{34}S$, ‰	
						Sulfate	Pyrite
0–2	11.63	45	0.04	0.03	23.0	+19.9	–21.5
5–7	8.51	4600	0.30	0.27	14.0	+20.3	–21.2
20–22	7.15	960	0.22	0.18	2.8	+24.5	–17.8
90–92	7.20	85	0.45	0.37	1.5	+25.9	–11.3
120–122	5.44	20	0.68	0.58	0.9	+28.6	–7.5

Footnote: SRB – sulfate-reducing bacteria, cfu – colony-forming unit

Acknowledgements: Work is done on state assignment of V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch Russian Academy of Sciences (IGM SB RAS), Projects 122041400193-7. Analytical studies were conducted in the Analytical Center for multi-elemental and isotope research IGM SB RAS.

References

Berner R. A. 1980. Early diagenesis: a theoretical approach. Princeton University Press.

Leonova G. A., Maltsev A. E., Melenevsky V. N., Krivonogov S. K., Kondratyeva L. M. et al. 2019. Diagenetic transformation of organic matter in sapropel sediments of small lakes (southern West Siberia and eastern Transbaikalia). *Quaternary International* 524: 40–47. DOI: 10.1016/j.quaint.2019.03.011

UDC 574.58:556.55

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF HYDROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF YOUNG FLOODED QUARRIES IN THE PREGOLYA RIVER BASIN

V. V. Moiseenko[1,2], N. A. Tsupikova[2]*, E. A. Sevostianova[2], L. S. Fedorov

[1]Atlantic Branch of "VNIRO" (5, Dmitry Donskoy st., Kaliningrad, 236022, Russian Federation)
[2]Kaliningrad State Technical University (1, Sovetsky ave., Kaliningrad, 236022, Russian Federation)
**Corresponding author: tsoupikova@klgtu.ru*

Abstract. The aim of the study is to investigate the biodiversity of aquatic organisms in flooded quarries located in the Pregolya River basin in the Kaliningrad region. These water bodies are former sand and gravel quarries. For the first time, the taxonomic and quantitative composition of phytoplankton, zooplankton, and zoobenthos were studied, and a list of ichthyofauna representatives living in the reservoirs was identified. Despite similar hydrochemical conditions in the investigated flooded quarries, the analysis revealed a low degree of similarity between the communities in terms of phytoplankton and zoobenthos.

Keywords: phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, ichthyofauna, flooded quarry, Kaliningrad region

There are dozens of water bodies in the Kaliningrad region that were formed by flooding former quarries for the extraction of sand and gravel material. They are located in the catchment areas of the main waterways of the region – the Pregolya and the Neman rivers. The study of relatively young ecosystems that still are in the process of formation, is of particular interest. The studied water bodies, which were formed between 1980 and 1990, belong to such ecosystems. They are located near the settlement of Rovnoye and near the settlement of Pushkarevo with an area of 34. 7 and 27. 6 hectares, respectively.

Sampling of phytoplankton in water bodies was carried out during the vegetation period of 2023. Fixation, concentration and analysis of phytoplankton were performed applying generally accepted methods (Abakumov, 1983; Mordukhai-Boltovskaya, 1975). Sampling of zooplankton and zoobenthos was carried out during the vegetation periods of 2023 and 2024. Zooplankton was collected with a hydrobiological net (gauze No. 70, mesh size 64 μm) and processed according to the methodology. Zoobenthos was collected with a scraper with a cutting side length of 0.42 m and a fixed extension length to obtain soil samples of equal volume according to the methodology (Krylov, Baryshev, Bezmaternykh et al., 2024). The species composition of the ichthyofauna was determined by surveys of amateur fishermen.

Both quarries are located in the Pregolya river valley, at a distance of about 1.5 km from it. According to most hydrochemical indicators, they belong to the mesotrophic category with signs of eutrophication. The waters of the Rovnoye quarry is moderately hard, with increased mineralization, very low permanganate value; the water of the Pushkarevo quarry is hard, with high mineralization, and low permanganate value. Hard water is a characteristic feature of young reservoirs of technogenic origin (Tashlykova, Afonina, Zamana, Abramova, Taskina et al., 2023). At the time of survey, there were differences observed in the bottom substrate and the development of coastal-aquatic vegetation between the reservoirs. In the Pushkarevo quarry, the bottom is made up of pebbles and there were thickets spots of aquatic vegetation, both coastal and underwater, confined to smooth sections of the underwater slope. In the Rovnoye quarry, the bottom is sandy and aquatic vegetation is poorly represented or absent due to the steepness of the underwater slope, which complicates the possibility of aquatic vegetation development.

Analysis of the similarity in the algae taxonomic composition made it possible to identify significant differences between the species lists (similarity index is 0. 30). In the quarry near the settlement of Rovnoye, 30 taxa of phytoplankton were identified. Golden algae of the genus *Dinobryon* clearly dominated, making up more than 75 % of abundance and more than 95 % of biomass in the quarry. A larger number of taxa were observed in the quarry near the settlement of Pushkarevo – up to 43. Cyanobacteria formed the basis of abundance in the reservoir; the biomass,

which was half as much as the biomass in the Pushkarevo quarry, mostly consisted of diatoms (more than 75 %).

During the research period, 41 species of zooplankton organisms were identified in the quarry near the settlement of Rovnoye (11 copepods, 20 cladocerans, 10 rotifers), with cladocerans predominating in terms of abundance and biomass. In the quarry near the settlement of Pushkarevo – 43 species of zooplankton (13 copepods, 20 cladocerans, 10 rotifers), with copepods predominating in terms of abundance and biomass. Both reservoirs have a similar species structure, the similarity index equals to 0.73.

Analysis of zoobenthos samples showed that bivalves play a key role in abundance and biomass of both quarries. In the quarry of Pushkarevo, 22 species of zoobenthos from 11 systematic groups were found during the study period. In the quarry of Rovnoye, 20 species of zoobenthos from 9 systematic groups were found. Unlike zooplankton, a low degree of similarity in zoobenthos between the quarries (0.19) was observed.

A greater variety of fish species was found in amateur fishing catches in the quarry near the settlement of Pushkarevo. The following species were common to both communities: white bream, crucian carp, bream, tench, freshwater perch, roach, pike (similarity index 0.68). In the quarry near the settlement of Pushkarovo, verkhovka, loach, bitterling, freshwater ruff, rudd, bleak were additionally described; and ide in the quarry near the settlement of Rovnoye. The composition of the ichthyofauna and the extraction (catch) of aquatic biological resources during amateur fishing determine the status of the quarries as water bodies of first-category fishery importance.

With a fairly high similarity in zooplankton and ichthyofauna species, a low similarity was observed in the characteristics of zoobenthos, which may be due to the different nature of the bottom substrate. The above, taking into account the identified differences in phytoplankton, allows us to assume that such local factors of formation of flooded quarries as steepness, nature of bottom sediments of the underwater slope and development of aquatic vegetation, have a greater effect on the characteristics of phytoplankton and zoobenthos than on the indicators of zooplankton and ichthyofauna.

With a fairly high similarity in zooplankton and ichthyofauna species, a low similarity in the characteristics of zoobenthos was observed, which may be due to the different nature of the bottom substrate. The above, taking into account the identified differences in phytoplankton, suggests that such local factors in the formation of flooded quarries as slope steepness, the nature of bottom sediments on the underwater slope and the development of aquatic vegetation, have a greater effect on the characteristics of phytoplankton and zoobenthos than on the features of zooplankton and ichthyofauna.

References

Abakumov V. A. (ed.). 1983. Manual on methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments. Leningrad: Gidrometeoizdat, 318.

Krylov A. V., Baryshev I. A., Bezmaternykh D. M. et al. 2024. Methods of hydrobiological studies of inland waters. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Russian Academy of Sciences, I. D. Papanin Institute of Biology of Inland Waters. Borok, Yaroslavl region: IBVW RAS, 592. DOI: 10.47021/monography_670cd0a47a4437.24064368

Mordukhai-Boltovskaya F. D. (ed.). 1975. Methods of studying biogeocenoses of inland water bodies. Moscow: Nauka, 240.

Tashlykova N. A., Afonina E. Yu., Zamana L. V., Abramova V. A., Taskina L. V. et al. 2023. Man-made reservoirs (Zabaikalsky Krai): ecological features. *Advances in modern natural science* 8: 66–75. DOI: 10.17513/use.38090

UDC 639.2

MODERN APPROACHES TO ASSESSING FISH PRODUCTIVITY IN NATURAL WATER BODIES

M. P. Plaksina*

State Scientific Center of the "VNIRO" (19, Okruzhnoi ave., Moscow, 105187, Russian Federation)
**Corresponding author: MarjanaPopjuk@yandex.ru*

Abstract. Fish productivity is one of the key indicators of the state of natural water bodies. This article summarises both classical and emerging quantitative methods for estimating fish productivity, highlights their assumptions and limitations, and offers recommendations for practical application.

Keywords: fish productivity; natural water bodies; hydro-acoustic survey; eDNA; remote sensing

Fish productivity denotes the total increment of fish biomass in a water body per unit area. This parameter is largely controlled by biotic and abiotic factors as well as species specific traits. Among the most influential drivers is the trophic base; therefore, assessment must account for the composition of zooplankton, phytoplankton and other food organisms. It is important to recognise that not every potential food item supports fish growth. For example, the silver carp *Hypophthalmichthys molitrix*.

One of the simplest and most convenient approaches is the trophic scale proposed by S.P. Kitayev (Kitayev, 1984, 2007). Based on zooplankton and zoobenthos biomass data collected over the study period, this scale classifies a lake or reservoir as ultra-oligotrophic, oligotrophic, mesotrophic, eutrophic or polytrophic. The method is easy to compute and requires little processing power; however, it yields only broad ranges of potential fish productivity and is therefore best suited for preliminary assessment.

Another widely cited technique is that of N.M. Bessonov and Yu.A. Privezentsev (Bessonov et al., 1987). Estimating potential production demands several primary inputs. Water transparency, measured with a Secchi disk, is used to calculate surface primary production: $P_1 = 2.1 \times n$, where P_1 is primary production ($g\ O_2\ m^{-2}$) and n is transparency (m). Mean primary production in the photic layer during the vegetative season equals surface production multiplied by 0.6. One must also consider the length of the growing season (days) and an oxy-caloric coefficient of 3.5 kcal. Bacterioplankton production is derived from $P_\beta = 0.33 \times D$, where D is daily destruction ($mg\ O_2\ L^{-1}$). Literature sources indicate that zooplankton production amounts to 11 % of primary production, whereas zoobenthos contributes only 1 %. Combining primary production in the photic zone with these proportions yields estimates of zooplankton and zoobenthos productivity. Although labour intensive, the method links fish output directly to ecosystem primary production, which is crucial for stocking forecasts.

Food organism production can also be gauged with summer biomass–based P/B coefficients. Transitioning to fish production calculations employs the ratios: $P_{herbivores} = 1.3\% P_1$ and $P_{planktivores} = 3.5\% P_2$ (stocked water bodies). Under natural conditions the relationships are $P_{herbivores} = 0.006 P_1$ and $P_{planktivores} = P_2/10$. The method is universal and suitable for diverse water body types.

The P. L. Pirozhnikov model estimates fish productivity for various guilds while accounting for water temperature and trophic base. Its formula (Pirozhnikov, 1932, 1968) is $F = Z \times S \times h \times P/B \times L/FCR$, where F is fish productivity ($kg\ ha^{-1}$); Z is mean seasonal biomass of food organisms ($kg\ ha^{-1}$); S is surface area (ha); h is depth of the productive layer (m); P/B is the production to biomass ratio of food organisms; L is the utilisation coefficient of food organisms by fish; and FCR is the feed conversion ratio. For each fish taxon the calculation substitutes either phyto- or zooplankton or zoobenthos biomass; in benthivores, depth h is omitted. When assessing silver carp, phytoplankton biomass is entered minus cyanobacteria. Because silver carp does not consume all available food uniformly, L varies with community structure. Strengths of the Pirozh-

nikov method include species specific coefficients and explicit utilisation factors, enabling accurate productivity estimates and subsequent determination of stocking volumes.

Hydro-acoustic surveys rapidly map fish distribution, supplying precise data on abundance and biomass with minimal ecosystem disturbance. eDNA analysis detects species from trace environmental DNA, boosting monitoring sensitivity at low population densities. Remote sensing (chlorophylla, multispectral and hyperspectral imagery) offers realtime evaluations of primary production and trophic status in large lakes and reservoirs. Integrating these tools enhances the accuracy of fish productivity forecasts and corroborates classical computations.

Fish productivity is therefore pivotal to aquatic ecosystem studies and to developing rational strategies for fish stock utilisation. This index also bears directly on fisheries management, providing a basis for gauging a water body's capacity to sustain fish populations and for making informed reproduction decisions. Because productivity assessment is complex and multistage, attention to multiple factors is indispensable. Methods such as those of Kitayev, Bessonov–Privezentsev and Pirozhnikov furnish essential guidelines for gauging water body productivity and optimising its exploitation. Choosing an appropriate method allows not only rational stock management but also maintenance of biodiversity and ecosystem resilience.

References

Bessonov N. M., Privezentsev Yu. A. 1987. *Rybokhozyaystvennaya gidrokhimiya* [Fish Farming Hydrochemistry]. Moscow: Agropromizdat. 130–135. (in Russian)

Kitayev S. P. 1984. *Ekologicheskiye osnovy bioproduktivnosti ozer raznykh prirodnykh zon* [Ecological Foundations of Lake Bioproductivity in Various Natural Zones]. Moscow: Nauka. 20 (in Russian)

Kitayev S. P. 2007. *Osnovy limnologii dlya gidrobiologov i ikhthiologov* [Fundamentals of Limnology for Hydrobiologists and Ichthyologists]. Petrozavodsk: Karelian Research Centre RAS. 394 (in Russian)

Pirozhnikov P. L. 1932. On Methods for Determining Fish Stocks in Lakes. *For Socialist Fishery* 5–6: 57–61. (in Russian)

Pirozhnikov P. L. 1968. Improving Fish Productivity of Large Reservoirs. *Problems of Ichthyology* 8: 54–65. (in Russian)

UDC 551.5:574

STUDY OF LOCAL AND NON-LOCAL SOURCES OF BIOAEROSOLS

A. S. Safatov*, I. S. Andreeva, E. M. Astahova, G. A. Buryak, N. A. Lapteva, A. D. Moshkin, S. E. Olkin, O. V. Ohlopkova, I. K. Reznikova

State Research Center of Virology and Biotechnology "Vector"
Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being
(Koltsovo, Novosibirsk region, 630559, Russian Federation)
**Corresponding author: safatov@mail.ru*

Abstract. Based on literature data and our own research, the work analyzes the characteristics of various sources of bioaerosols from the point of view of whether these sources belong to local or non-local sources of bioaerosols.

Keywords: bioaerosol, local and non-local sources, chemical and biological composition

It is well known that the sources of bioaerosols entering the atmosphere are soil, vegetation, water surfaces, humans, animals, insects, etc. (Cox, Wathes, 1995; Andreae, Crutzen, 1997; Fröhlich-Nowoisky et al., 2016). Moreover, if for small-scale sources the content of bioaerosol near them is determined mainly by the source itself, then for non-local sources, such as large water or land surfaces, it is not clear what makes the main contribution to the observed concentrations of bioaerosols: the source itself or the atmosphere above it. The purpose of this work is to analyze previously obtained results on the contribution of both types of sources to the observed concentrations of bioaerosols.

Atmospheric aerosol samples were taken near the following local sources: Barsukovskaya Cave (Novosibirsk region), small lakes of the Novosibirsk and Murmansk regions, salt lakes of the Altai Territory, lake Baikal and Gelendzhik Bay (see Sergeev et al., 2009; Safatov et al., 2012; Safatov et al., 2018). Air samples were taken to identify culturable microorganisms, some viruses, total protein, some chemical molecules and ions. For water surfaces, samples of the surface monolayer were taken and the same components were subsequently analyzed. Methods for sampling and analysis are described in detail in the works Sergeev et al., 2009; Safatov et al., 2012; Safatov et al., 2018.

A study of local sources of bioaerosol containing viruses, such as the Barsukovskaya Cave, small lakes in the Novosibirsk and Murmansk regions, shows that since similar viruses are not found in the atmosphere in detectable concentrations, these local sources are sources of virus-containing bioaerosol. The situation with bacterial and fungal bioaerosol is more complicated. The fact is that, as shown in our studies (Safatov et al., 2022), a significant number of culturable microorganisms and various biological molecules are constantly present in the atmosphere, and having this background, it is quite difficult to identify what relates specifically to the local source of bioaerosol and what brought from outside. In the work of Safatov et al., 2012, the concentrations of the determined values on the leeward side and at several points on the windward side were analyzed, which makes it possible to calculate the emission of biological compounds and culturable microorganisms from the surface of a small lake – a source of bioaerosol. It is impossible to determine, even for small local sources of bioaerosol, what originated from this source (the emission of biological components and culturable microorganisms) and what is present in the atmosphere without conducting such studies.

Based on the analysis, it is proposed to consider the source of a bioaerosol **local** only in the case when the bioaerosol in its vicinity is mainly determined by the properties of this particular source.

For the larger water area of Gelendzhik Bay, it was also possible to assess the characteristics of the emission of biological compounds and culturable microorganisms from the surface of the bay, since one of the sampling points was located directly in the bay itself (several others were on the shore), and the wind direction changed during the day from shore to bay and in the opposite direction.

Such measurements of the emission of biological compounds and culturable microorganisms from the surface of Baikal lake were not organized due to the lack of suitable wind directions during the study period and the large size of the lake. For Baikal lake and Gelendzhik Bay, comparisons were made of the concentrations of some chemical molecules, elements, and ions, as well as culturable microorganisms in the surface microlayer of water (from where aerosol emission occurs) and in atmospheric aerosol. It has been shown that, in general, the composition of chemical and biological compounds and culturable microorganisms (and the genetic material of some of them) in the surface microlayer of water and the aerosol above the water surface are quite similar. At the same time, it is impossible to reliably determine whether this aerosol composition is formed by emission from the water surface or whether aerosol deposition forms the water surface microlayer mainly (Sergeev et al., 2009).

Accordingly, a **nonlocal source** of bioaerosol is supposed to be considered one near which the bioaerosol concentration and composition is determined both by the source itself and the atmosphere, and, most likely, by their interaction. Moreover, bioaerosol emissions from different parts of such a source can vary significantly.

The actual size of the bioaerosol source for both local and non-local sources can vary significantly. Local sources can be both natural (individual plants, their groups, areas of forests, fields, small bodies of water, etc.) and anthropogenic sources (agricultural land, farms, wastewater treatment factories, landfills, etc.). Non-local sources, as a rule, are large sources of bioaerosol, for example, large forests, fields and deserts, large lakes, seas and oceans.

Based on an analysis of literature data and our own research, it is proposed to consider **local sources** of bioaerosols, the composition of the atmospheric aerosol near which is determined by the properties of the source itself, and **nonlocal sources** – those, the bioaerosol in the vicinity of which is determined in total by both the source itself and the atmosphere.

Acknowledgement. The work was supported in part by Rospotrebnadzor grant GZ 11/21.

References

Andreae M. O., Crutzen P. J. 1997. Atmospheric aerosols: biogenic sources and role in atmospheric chemistry. *Science* 276(5315): 1052–1058. DOI: 10.1126/science.276.5315.1052

Cox C. S., Wathes C. M. 1995. Bioaerosols Handbook. Boca Raton, London, Tokyo: CRC Press, Lewis. 621 p.

Fröhlich-Nowoisky J., Kampf C. J., Weber B., Huffman J. A., Pöhlker C., Andreae M. O., Lang-Yona N., Burrows S. M., Gunthe S. S., Elbert W., Su H., Hoor P., Thines E., Hoffmann T., Després V. R., Pöschl U. 2016. Bioaerosols in the Earth system: Climate, health, and ecosystem interactions. *Atmos. Res.* 182: 346–376. DOI: 10.1016/j.atmosres.2016.07.018

Safatov A. S., Agafonov A. P., Arshinov M. Yu. et al. 2018. Complex Assessment of Atmospheric Air Quality in the City of Gelendzhik. *Atmospheric and Oceanic Optics* 31(5): 519–531. DOI: 10.1134/S1024856018050159

Safatov A., Andreeva I., Buryak G. et al. 2022. Long-term studies of biological components of atmospheric aerosol: trends and variability. *Atmosphere* 13: 651. DOI: 10.3390/atmos13050651

Safatov A. S., Buryak G. A., Olkin S. E. et al. 2012. Results of a comprehensive environmental study of water and air samples in the coastal area of the bitter-salt lakes of the Altai Territory in the summer of 2011. *Atmospheric and Oceanic Optics* 25(6): 550–558 (in Russian).

Sergeev A. N., Safatov A. S., Agafonov A. P. et al. 2009. Comparison of the Presence of Chemical and Biomarkers in the Surface Microlayer in Water Areas of Health Resort Zones of Lake Baikal and in Atmospheric Aerosol of This Region. *Atmospheric and Oceanic Optics* 22(4): 467–477. DOI: 10.1134/S1024856009040137

UDC 575.857:595.36

GAMMARUS LACUSTRIS SARS, 1863 IS PHYLOGENETICALLY HOMOGENEOUS IN EAST SIBERIAN WATER BODIES WITH DIFFERENT MINERALIZATION

Y. A. Shirokova[1]*, S. A. Cherkashina[1], E. P. Shchapova[1], Y. A. Rzhechitskiy[1], A. D. Mutin[1], E. D. Zolotovskaya[1], N. V. Shadrin[2]

[1]Irkutsk State University (1, K. Marx st., Irkutsk, 664025, Russian Federation)
[2]A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas (2, Nakhimov ave., Sevastopol, 299011, Russian Federation)
**Corresponding author: yuliashirokova2501@gmail.com*

Abstract. The phylogenetic status of *Gammarus lacustris* populations collected from reservoirs with different mineralization and pH parameters has been studied. A comparison of 18S rRNA and cytochrome c oxidase genes in the amphipods from various East Siberian water bodies has revealed that the studied species complex is phylogenetically homogeneous. Thus, it has been confirmed that *Gammarus lacustris* is euryhaline. The obtained results can be applied to develop the cultivation of this prosperous amphipod species.

Keywords: Amphipoda, *Gammarus lacustris*, cytochrome c oxidase, 18S rRNA, salinity

Gammarus lacustris Sars, 1863 is a species complex with a Holarctic distribution that inhabits water bodies in North America, northwestern Europe, Russia, and northwestern China. *G. lacustris* is an important element in ecosystem food webs in different water bodies. This species can reach high biomass values in small water bodies with varying oxygen regimes, thereby affecting species composition and the abundance of planktonic organisms, maintaining the species diversity in the ecosystem. *G. lacustris* is a vital food source for water birds and fish, and can be widely used in aquaculture. These crustaceans can also be used in the developing food industry due to their high content of protein and other valuable nutrients. It is necessary to increase knowledge about this species and its ecological characteristics to monitor the state of aquatic ecosystems under climate change and anthropogenic pressure, their conservation, and the rational use of bioresources. The current study aimed to identify the phylogenetic status of *G. lacustris* from East Siberian water bodies with various mineralization and pH using 18S rRNA and cytochrome c oxidase (COI) marker genes.

Animals were collected with a hand net, after which they were fixed in 70 % ethanol. The amphipods were sampled from freshwater (lake on the river Kotinka [51.920833, 105.072200], the Kirenga river [57.324453, 107.942784], backwater of the Angara river [52.268286, 104.281709] and Kurminsky Bay [53.173014, 106.978021]) and salt water reservoirs (Lake Bormashevoye [53.457880, 109.001290], Lake Namish-Nur [52.830330, 106.585721], Lake Nuhu-Nur [52.902122, 106.608801] and Lake Shira [54.485347, 90.200414]). In fresh-water reservoirs mineralization was 50–120 mg/l, pH was slightly alkaline (7.25–8.01). Lake Bormashevoye belongs to the sodium hydrocarbonate type and has a total mineralization of 1150 mg/l (Pintaeva, 2019). In Lakes Namish-Nur and Nuhu-Nur, mineralization was 800–5,000 mg/l, pH was alkaline (8. 90–9. 80). According to their ionic composition, the water of the lakes is classified as sulfate-magnesium (Ermolaeva and Fetter, 2021). Lake Shira was distinguished by a high content of dissolved minerals, reaching 15,000–17,000 mg/l, with a predominance of Na^{+}, Mg^{2+},Ca^{2+} ions. Water pH was alkaline (8. 7) (Vereshchagina et al., 2016).

DNA was isolated from *G. lacustris* using the commercial kit DNA-Sorb-M (Syntol, Russia). Fragments of COI and 18S rRNA were amplified using the primers with known sequences (Gurkov et al., 2019). The PCR products were purified using a Cleanup Standard kit (Evrogen, Russia) and sequenced according to the Sanger method using the Nanophor 05 device (The Institute of Analytical Instrumentation). The obtained sequences were aligned using the MUSCLE algorithm in the Unipro Ugene V 38.0 program. The phylogenetic trees were constructed in IQTree 1.6.12 (Trifinopoulos et al., 2016) and iTOL 6.9.1 (Ciccarelli et al., 2006). Each sequence was as-

signed the identifier, which showed the genetic line (MOTUs – molecular operational taxonomic units) and biogeographic distribution according to Hou et al. (2022). For the comparative analysis, the sequences of COI gene from the following articles were used (Hou Z. et al., 2011; Macdonald Iii K. S. et al., 2005; Gurkov A. et al., 2019).

A comparison of 18S rRNA molecular data revealed that all the analyzed amphipods belonged to the same clade, regardless of the mineralization and pH conditions of the water bodies. The biogeographic divergence of the lines according to the COI phylogenetic tree demonstrates that the studied amphipods belong to the East Asian group, except for those from the Kirenga river, which belong to the Tien Shan group. Thus, *G. lacustris* is a highly adaptive crustacean species that inhabits water bodies with a wide range of mineralization, varying from ultra-fresh to hypersaline conditions, and different pH levels. This high level of ecological plasticity and the ability to undergo mass development make this species a promising candidate for the use in aquaculture. These results can be applied to understanding the mechanisms by which the amphipods adapt and their high ecological plasticity, as well as to the future development of the studied species cultivation.

Acknowledgement. This study was supported by the Russian Science Foundation (RSF grant number 24-66-00001).

References

Ermolaeva N. I., Fetter G. V. 2021. The effect of ion composition of water on the structure of zooplankton of Tazheran steppe (Western Baikal region). *Arid ecosystems* 27(4,89): 107–117 (in Russian).

Gurkov A. N., Rivarola-Duarte L., Bedulina D. S., Fernández Casas I., Michael H. et al. 2019. Indication of ongoing amphipod speciation in Lake Baikal by genetic structures within endemic species. *BMC Evol Biol* 19 (1): 138–159. DOI: https:10.1186/s12862-019-1470-8

Hou Z., Sket B., Fiser C., Li S. 2011. Eocene habitat shift from saline to freshwater promoted Tethyan amphipod diversification. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108 (135): 14533–14538. DOI: 10.1073/pnas.1104636108

Macdonald Iii K. S., Yampolsky L., Duffy J. E. 2005. Molecular and morphological evolution of the amphipod radiation of Lake Baikal. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 35(2): 323–343. DOI: 10.1016/j.ympev.2005.01.013

Pintaeva E. T. 2019. Lipid biomarkers in paleoreconstruction of lake sedimentogenesis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, The IX School-Seminar of Young Russian Scientists "Problems of Sustainable Regional Development", dedicated to the 70th anniversary of Academician of the Russian Academy of Sciences Arnold Kirillovich Tulokhonov, Ulan-Ude, 3–7 July 2019. 320(1): 12–16.

Vereshchagina K. P., Lubyaga Yu. A., Shatilina Zh. A., Bedulina D. S., Gurkov A. N. et al. 2016. Salinity modulates thermotolerance, energy metabolism and stress response in amphipods *Gammarus lacustris. PeerJ*: e2657. DOI: 10.7717/peerj.2657

UDC 592

ONE MORE EURASIAN *ACANTHOCYCLOPS* SPECIES OF *ROBUSTUS*-GROUP (COPEPODA: CRUSTACEA) FOUND IN NORTH AMERICA

N. Sukhikh [1*], T. Mayor[2], V. Alekseev[1]

[1]Zoological Institute RAS
(1, Universitetskaya emb., Saint-Petersburg, 199034, Russian Federation)
[2]Limnological Institute SB RAS
(3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033, Russian Federation)
[*] Corresponding author: susikh1@mail.ru

Absract. The natural range of the *Acanthocyclops robustus*-group was significantly expanded after revising the GenBank data and our own DNA sequence data using. Two new genetic lines, which are most closely related to *A. europensis* Karanovic & Bláha, 2019, were found in Siberia and North America as well. The role of human mediated and natural way dispersals in nowadays aquatic zoogeography is discussed.

Keywords: Copepoda, Cyclopoida, molecular phylogeny, biodiversity, taxonomy

North American *A. americanus* (Marsh) invaded Europe soon after beginning of regular metal ship navigation between USA and UK (1880). Transportation with ship ballast water was proposed as the main possible way of its crossing of intercontinental oceanic barrier. After crossing of this zoogeographic border this newcomer begun fast and widely distribute themselves and colonize limnetic continental communities in Europe, Northern Africa and Siberia by using aquatic birds seasonal migrations as local transport. Iranian sea ports as source of invasions including with birds migrations into the Central Asian direction were confirmed of this species by 12S rRNA close haplotypes discovered in Iran and Issyk-Kul Lake.

Even though ballast waters were transported in both ways a close related *Acanthocyclops* species of Eurasian fauna, *A. robustus* (Sars G. O.) was confirmed by molecular genetic method in North America only recently (Elías-Gutiérrez et al., 2018). One more form close to Eurasian *Acanthocyclops* species of *robustus*-group (*A. europensis*) was found in North America also via sequences analyses in GenBank where it was identified at the level of Family Cyclopidae only. It differs from european *A. europensis* s. str. in 7.1 % nucleotide substitutions CO1 gene. In parallel even more close *A. europensis* s. str. genetic form described and known only in Central Europe was identified in the Irkutsk region (Siberia) (4.6 % nucleotide substitutions CO1 gene) that significantly increased its natural areal.

Morphological studies of these material is needed. The role of human mediated and natural way dispersals in nowadays aquatic zoogeography is discussed.

Acknowledgements: the work was performed in the Taxon Centre of ZIN RAS and was supported by state assignments No. 125012800888-5 and 0279-2021-0005 (121032300224-8). The work used the Collection of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences. Sequencing of specimens from Irkutsk region was done at the Instrumentation Center “Electronic Microscopy” of the Collective Instrumental Center "Ultramicroanalysis" (LIN SB RAS).

References

Elías-Gutiérrez M., Valdez-Moreno M., Topan J., Young M. R., Cohuo-Colli J. A. 2018. Improved protocols to accelerate the assembly of DNA barcode reference libraries for freshwater zooplankton. *Ecol. Evol.* 8(5): 3002–3018. DOI: 10.1002/ece3.3742

UDC 574. 58

ZOOPLANKTON AND MEIOBENTHOS FROM WATER BODIES IN THE BASINS OF PUTORANA PLATEAU LARGE LAKES (RUSSIA): TAXOCENES STRUCTURE IN RELATION TO ALTITUDINAL GRADIENT

M. A. Trukhan[1]*, E. S. Chertoprud[2], A. A. Novichkova[1], P. G. Garibian[2]

[1]M. V. Lomonosov Moscow State University, Biological Faculty
(1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation)
[2] A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution
(33, Leninsky ave., Moscow, 119071, Russian Federation)
**Corresponding author: masha.truhan@gmail.com*

Abstract. Zooplankton and meiobenthos invertebrates of the Putorana Plateau are very poorly studied. In samples collected from three different altitudinal zones, 72 zooplankton, 28 meiobenthic Harpacticoida species and 11 meiobenthic macrotaxa were identified. Among them, 18 species were new to the Putorana Plateau, and one species was new to science. Three altitudinal zones were significantly different in the composition of invertebrate taxocenes. Zooplankton species richness decreased with altitude, while meiobenthic taxa richness increased. Altitude, water temperature, mineralisation and flow intensity had the greatest influence on the differences between taxocenes.

Keywords: Cladocera, Copepoda, Harpacticoida, microcrustaceans, meiobenthos macrotaxa, species richness

The Putorana Plateau is a highly dissected mountain range, characterized by a big number of large lakes lying in deep valleys (Mikhailov, 1947). To date, freshwater invertebrates of the Putorana Plateau were studied very fragmentary due to the inaccessibility of this region (Chertoprud et al., 2022). Our study aimed to determine the species composition and peculiarities of the altitudinal distribution of zooplankton and meiobenthos in water bodies of the Putorana Plateau.

In samples collected in the area of lakes Sobachie and Kharpicha, 72 species of zooplankton from the groups Cladocera, Copepoda and Anostraca were identified. Besides, 11 meiobenthic macrotaxa and 28 species of microcrustaceans from the order Harpacticoida (Copepoda) were identified. Among zooplankton and meiobenthos, 18 microcrustacean species were new to the Putorana Plateau, and 1 species was new to science. Taxocenes of zooplankton and meiobenthos of lakes located at low (73–96 m a.s.l.), medium (480–600 m a.s.l.) and high (803–1087 m a.s.l.) altitudes significantly differed from each other ($p<<0,05$; $R=0.3657$).

The species richness of crustacean zooplankton decreased gradually with altitude increasing. In low-altitude water bodies there were 45 species, in medium-altitude – 42 species, and in high-altitude – 37 species. On the contrary, the species richness of meiobenthic Harpacticoida, was low in the low-altitude (6 species), but 2.7 times higher at medium and high altitudes (16 species each). Among the meiobenthos macrotaxa, organisms of the Nematoda group were found in almost every water body, while the Tardigrada group was noted mainly in mountain lakes, and the other taxa were equally common in both mountain and valley lakes. In addition, the abundance of nematodes and tardigrades at high altitudes was 9 and 23 times greater than at low altitudes. Total Cladocera / Copepoda species ratio in zooplankton and meiobenthos samples did not differ significantly and was 0.77 (low altitudes); 0.77 (medium) and 0.70 (high). According to results of the DistLM analysis, the key factors influencing the difference between taxocenes of different water bodies were the altitude (a.s.l.), water temperature (°C), mineralization (ppm) and the flow intensity.

Acknowledgements. Authors are grateful to the staff of the United Directorate of Taimyr Nature Reserves for help in organizing of the field works.

References

Chertoprud E. S., Novichkova A. A., Novikov A. A., Fefilova E. B., Vorobjeva L. V. et al. 2022. Assemblages of meiobenthic and planktonic microcrustaceans (Cladocera and Copepoda) from small water bodies of mountain Subarctic (Putorana Plateau, Middle Siberia). *Diversity* 14(6): 492.

Mikhailov N. I. 1947. Geomorphological observations in the western part of the Putorana Mountains. *Voprosy geografii* 3: 7–26 (in Russian)

UDC 59.009:592/599: 574.91

SPRING BIRDS DIVERSITY IN THE KHURKH RIVER VALLEY, NORTHEAST MONGOLIA

Tsegmid N. *, Oyuntuya Sh., Orgilbold M.

Mongolian University of Life Sciences
(11, Khoroo, Ulaanbaatar, 17024, Mongolia)
**Corresponding author: Tsegmid@muls.edu.mn*

Abstract. The aim of the project is to study the diversity of birds living in the Khurkh River Valley. In this valley, from April 25 to May 1, 2024, the route was surveyed at 22 points. The research points have the following sections. It includes: the Khurkh River, streams, lakes, streams inside wetlands, and agricultural lands. We walked an average of 11 km per day to determine the biodiversity. In the Khurkh River Valley we registered 65 bird species belonging to 12 orders, 23 families, and 47 genera. According to the nature of stay, 16 species of sedentary year-round and 49 species of migratory birds were identified. During our observation period, seven species were reliably found nesting (whooper swan, white-naped crane, Mongolian gull, chough, raven, skylark, and tree sparrow).

Keywords: avifauna, ornithogeographic zoning**,** streams, Lake Binder

The Khurkh River Valley in Mongolia is located 355 km from its capitale city Ulaanbaatar (48°17'53.16"N, 110°20'44.19"E) in the Khentii Range region. This mountain range is in the north-eastern part of Mongolia and is orographically connected with the mountains of Transbaikalia. The most higher summit reaches 2800 m above sea level. The region is a strategically important stopover and feeding place for many migratory birds migrating from South Asia and Australia to Siberia along the East Asian-Australian Flyway. The Khurkh River valleys are in the transition zone between the Siberian taiga and the Central Asian steppe, and the large and small lakes and surrounding wetlands provide a favorable habitat for world classes rare and extremely rare migratory and waterfowl.

In Khurkh River Valley frosts are common. Permafrost lakes, which are particularly vulnerable to climate change, are ideal habitats for waterfowl. The Khurkh River Valley includes unique water bodies and wetlands formations, such as lakes, rivers, streams, springs, peatlands, and thermokarst lakes.

In 1997, the area was included in the International Northeast Asian Crane Conservation Network, in 2009 in the Mongolian Important Bird Area (MN058) and in the Asian Flyway East Asia-Australia in 2016 Flyway (EAAF074). The lakes, rivers, waters and wetlands of the Khurkh River Valley are important breeding, resting and staging areas for many internationally threatened species such as white cranes, stork cranes, hooded cranes, white-billed geese, musk terns, and Asiatic partridges during migration. During the migration, cranes, geese and ducks of other species gather in the river valleys and crop fields as hundreds.

Litterature highlights that 167 bird species belonging to 15 orders, 37 families and 91 genera have been recorded in the Khurkh and Khuiten River Valleys. According to the habitat type, 26 species are resident, and 141 species are migratory.

The aim of the project is to study the diversity of birds living in the Khurkh River Valley. In this valley, from April 25 to May 1, 2024, the route was surveyed at 22 points. The research points includes: the Khurkh River, streams, lakes, streams inside wetland and agricultural lands. We walked an average of 11 km per day to determine the bird biodiversity.

During the research period in the Khurkh River Basin we observed 13 orders of animals: on land *Forimicidae* sp, *Diptera*, *Orthoptera*, *Coleoptera*; in water *Gammarius* sp, *Hemiptera*, *Hirudinea*, *Carassius gibelio*, *Rana amurensis*; inside the wetland *Arachnoidea* and in the steppe *Myospalax aspalax*, *Vulpes corsac* and *Procapra gutturosa*. We focused more on studying the diversity of birds.

In the Khurkh River Valley we registered 65 bird species belonging to 12 orders, 23 families, and 47 genera. According to the nature of stay, 16 species of sedentary year-round and 49 species of migratory birds were identified. During our observation period, seven species were reliably found nesting (whooper swan, white-naped crane, Mongolian gull, chough, raven, skylark and tree sparrow).

The taxonomic classification of the avifauna of the Khurkh River valley is as follows: Galliformes – 1, Pelecaniformes – 1, Anseriformes – 19, Ciconiiformes – 3, Falconiformes – 6, Gruiformes – 3, Otidiformes – 1, Charadriiformes – 7, Columbiformes – 1, Strigiformes – 1, Upupiformes – 1, Passeriformes – 21 species.

The dominant ecological group of the avifauna of the Khurkh River Valley are 36 species of limnophiles, 14 species of dendrophiles, 9 species of campophiles and 6 species of sclerophiles.

In the wetland biotope in the Khurkh River Valley, according to the ornithogeographic zoning of B. K. Stegman (1938), birds of the following fauna types were encountered: transpalearctic – 23, Mongolian – 14, Siberian – 8, European – 7, Chinese – 5, Arctic – 3, Holarctic – 2, Mediterranean, Tibetan and of unknown origin (one species each).

Along streams 27 species of birds have been recorded. This includes 18 Greylag Geese, 11 Whooper Swans, 6 Ruddy Shelducks, 12 Mallards, 140 Shovelers, 10 Common Pochards, 2 Black Storks, 17 Grey Heron, Black Kite, Oriental Marsh Harrier, Rough-legged Buzzard and Cinereous Vulture, one each, 10 Common Cranes, 23 Black-necked Cranes, 1 Demoiselle Crane, 2 Little Ringed Plovers, 56 Lapwings, 2 Common Snipes, 6 Mongolian Gulls, 1 Common Tern, 2 Hoopoe, 4 Magpies, 6 Red-billed Jackdaws, 10 White-naped Jackdaws, 11 Ravens, 58 Skylarks, and 8 Isabelline Wheatears.

When visiting the Lake Binder in April 25th 2024, 21 species of birds were observed: 2 Barnacle Goose, 752 Bean Geese, 6 Greylag Geese, 8 White-fronted Geese, 24 Swan Goose, 2 Whooper Swan, 6 Ruddy Shelduck, 6 Mallard, 4 Shoveler, 26 Red-headed Pochard, 4 Cinereous Vulture, 2 White-necked Crane, Rock Dove, 2 Eagle Owl, 2 Magpie, 2 Red-billed Jackdaw, 6 Raven, 2 Isabelline Wheatear, 4 Tree Sparrow, 50 White-capped Bunting, and 4 Little Bunting. Around other lakes, between the 25th and the 28th of April 2024, 37 species of birds were observed: 1 great cormorant, 40 bean goose, 1 bar-headed goose, 28 swan goose, 12 whooper swan, 55 ruddy shelduck, 10 shelduck, 58 mallard, 20 garganey, 156 shoveler, 22 gadwall, 174 wigeon, 132 red-headed pochard, 108 common goldeneye, 4 common merganser, 1 common spoonbill, 27 grey heron, 9 black kite, 2 marsh harrier, 1 steppe eagle, 2 white-tailed eagle, 3 black vulture, 4 common crane, 23 white-necked crane, 13 demoiselle crane, 12 little ringed plover, 58 Northern Lapwing, 3 Common Snipe, 172 Mongolian Gull, 20 Daurian Jackdaw, 110 Rooks, 2 Hooded Crow, 6 Northern Raven, 48 Skylarks, 2 Isabelline Wheatears, 2 Yellow-headed Wagtails, and 8 White Wagtails.

Inside wetlands and agricultural lands between the 27th and the 29th April 2024, 7 bird species were recorded: 4 Hoopoe, 12 Red-billed Chough, 18 Daurian Chough, 4 Northern Raven, 8 Skylarks, 1 Red-breasted Thrush, and 2 Isabelline Wheatears. This area is known as the East Asian-Australian Flyway or a strategically important area where a huge number of migratory birds migrate from South Asia and Australia to Siberia. During our research, the largest population of Bean Geese (*Anser fabalis*) was found in this area. On 25. 04. 2024, more than 1000 Bean Geese were recorded in Lake Banderya, which is located on the northern side of the Khurkh River Valley, where they were actively feeding. At about 19:00 they flew west, where the group kept 50–70 heads. Thus, on May 1st, 2024, at 8 am, we encountered a flock of more than 10,000 bean geese at the foot of the mountain, 10 km south of the village of Khurkh. This area is the main migration area not only for cranes but also for bean geese (*Anser fabalis*), white-naped jackdaws (*Coloeus dauuricus*) and rooks (*Corvus frugilegus*). These three species formed a very large migratory flock. Before us, Tuvshintugs Sukhbaatar, a researcher at the Wildlife Research and Conservation Center, found one individual among other geese in the Khurkh River Valley in northeastern Mongolia at the end of April 2020. Barnacle geese nest mainly on the Arctic islands

of the North Atlantic. But after 4 years we registered 1 pair of Barnacle Geese (*Branta leucopsis*) in this area.

In the Khurkh Valley, a whooper swan was registered on 29. 04. 2024, with rings, the ring code was 3TO3, with a blue background and white numbers.

We would like to thank the MJEEP J31B23 project, "Advanced Methods for Modeling Changes in Soil Organic Carbon Content and Soil Pollution Due to Land Use Changes" for financial support in conducting fieldwork.

References

Jugdernamjil N. et al. 2022. Waterfowl communities in the lakes of the Khurkh valley. *Toodog* 3:26–31.

Batbayar G., Tuvshintugs S. 2022. The structure of the steppe sparrow community in the Khurkh valley and the habitat selection of dominant species. *Toodog* 3: 16–25.

Tsegmid N., Orgilbold M., P-R. 2025. Dahedri. Meetings of cranes in the Khurkh and Heiten rivers, Mongolia, in 2024. *Information bulletin of the RGJE* 19: 23–26.

New species of birds discovered in 2020. Available from: https://www.wildlifetoursmongolia.com/post/56750.

UDC 59.009:592/599:574.91

BIRDS OF LAKE BOONTSAGAAN (MONGOLIA)

N. Tsegmid[1]*, Kestutis Cepenas[2], G. A. Nacharkin[3], S. Khiliinchuluun[1], S. Baasansuren[4]

[1]Mongolian University of Life Sciences (11, Khoroo, Ulaanbaatar, 17024, Mongolia)
[2]Linasagro (2C-3, Smėlynės g., Panevėžys, 35143, Lithuania)
[3]Scientific and educational department of the Zoological Museum (2, Bolshaya Nikitskaya st., Moscow, 125009, Russian Federation)
[4]Mongolian University of Science and Technology (8th khoroo, Baga toiruu 34, Sukhbaatar dist., Ulaanbaatar, 14191, Mongolia)
**Corresponding author: Tsegmid@muls.edu.mn*

Abstract. The Gobi Lakes Valley (Valley of Lakes) is a long depression stretching in the latitudinal direction between the South Khangai Plateau and the northern slopes of the Gobi Altai. The largest lakes in the Valley are brackish Lake Boontsagaan. The material was collected on May 28, 29, 2023; June 29, 2023. In the Lake, 54 bird species have been recorded. Of these, 10 bird species are sedentary, 21 species are migratory, 11 species are flying and 12 species fly through during spring migration. In the north-eastern shore, the ruddy shelduck, little ringed plover and Kentish plover reliably nest.

Keywords: avifauna, ornithogeographic zoning, Lake Boontsagaan

The distribution and location of lakes in Mongolia largely depends on geomorphological features and precipitation. There are three distinct lake formation regions in Mongolia, and Lake Boontsagaan belongs to the Valley of Lakes region. The Gobi has the largest number of lakes, with more lakes and more lakes by area than the two regions of Mongolia combined. The Gobi region receives about 100 mm of precipitation, evaporation is 900–1000 mm, the river network is small, and the relief is poorly dissected (Batchuluun, 2020).

Characteristics of the physical-geographical region The Gobi Lakes Valley (Valley of Lakes) is a long depression stretching in the latitudinal direction between the South Khangai Plateau and the northern slopes of the Gobi Altai. The absolute heights in the valleys of this depression are mainly from 1200 to 1500 m above sea level. The largest lakes in the Valley are Boontsagaan (it receives its main supply from the Baidrag River and never dries up) (Zvonov et al., 2016).

Lake Boontsagaan is located in the westernmost part of the Ozsh Valley, in the territory of Baatsagaan sum of Bayakhongor aimag. This is a brackish lake, with an area of 252.0 km^2, a length of 24 km, a width of 19 km, a maximum depth of 16 m, an average of 9.9 m, and an altitude of 1312 m above sea level. In August, the water surface warms up to 22–24°C (Tserensodnom, 2000). The fish in the lake include *Oreoleuciscus potanini*, *O. pewzovi* and *O. humilus* (Baasnjav et al., 2001).

The main research method was walking route counts, a total of more than 4 km were covered. The material was collected on May 28, 29, 2023; June 29, 2023. The bird counts were carried out using binoculars (ZESS CONQUEST HD 8*32) and a SONY DSC-HX400 camera, 20.4 MEGA PIXELS. The names of the birds in the list are given according to the summary of S. Gombobaatar (Gombobaatar et al., 2019).

In Lake Boontsagaan, 54 bird species belonging to 11 orders, 22 families and 45 genera have been recorded. Of these, 10 bird species are sedentary, 21 species are migratory, 11 species are flying and 12 species fly through during spring migration. Of the total number of recorded bird species, 12 (22 %) belong to the order of passerines. By habitat, 30 (55.5 %) species of wetland birds, 10 (18.5 %) species of steppe birds, 5 (9.3 %) species of forest birds, 4 (7.4 %) species of birds living in buildings, 4 (7.4 %) species of birds living in rocky gardens, and 1 (1.9 %) species of birds of the Gobi Desert. The lake is home to n=30 near-water bird species. Of these, n=16 species are flying.

Thus, in the lakes of its north-eastern shore, the Ruddy Shelduck (*Tadorna ferruginea*), Little Ringed Plover (*Charadrius dubius*) and Kentish Plover (*Charadrius alexandrinus*) reliably nest. At the end of May, massive migratory flocks of Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*), Greylag Goose (*Anser anser*) and Spoonbill (*Platalea leucorodia*) species were observed. At the end of June, the Great Egret (*Ardea alba*) was encountered, where it actively fed on the lake. A small flock of Eurasian Curlew (*Numenius arquata*), Avocet (*Recurvirostra avosetta*) and Black-headed Gull (*Chroicocephalus ridibundus*) was noted. Thus, more than 20 dead Caspian Terns (*Hydroprogne caspia*) were found near the north-eastern shore of the lake.

References

Batchuluun Ye. 2020. The physical geography of Mongolia. Ulaanbaatar. 242.

Baasnjav G., Tsend-Ayush Ya. 2001. Fish of Mongolia. Ulaanbaatar. 69–77.

Zvonov B. M., Bukreev S. A., Boldbaatar Sh. 2016. Birds of Mongolia. Part I. Non-Passeriformes. Moscow. 26.

Undarmaa J., Kenji Tamura, Natsagdorj L., Norikazu Yamanaka. 2018. Rangeland ecosystems of Mongolia. Ulaanbaatar. 126.

Tserensodnom J. 2000. Catalog of lakes of Mongolia.Ulaanbaatar. 30.

Chimeddorj B., Purevsuren S., Terbish. 2018. Handbook of the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. Ulaanbaatar. 148–293.

Gombobaatar S., Christopher Leahy. 2019. Birds of Mongolia. London: HELM. 280

Shtegman B. K. 1938. Fundamentals of the ornithogeographic division of the Palearctic. Moscow: USSR Academy of Sciences. 1(2). 160.

UDC 574.52

TRANSFORMATION OF THE ECOSYSTEM OF THE SOUTH-EASTERN PART OF THE SIWASH BAY (SEA OF AZOV) UNDER THE CONDITIONS OF LONG-TERM SALINITY CHANGE

K. M. Zaripova*, O. V. Soloveva, N. V. Burdiyan, E. V. Guseva, S. V. Alemov

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS
(2, Nakhimov ave., Sevastopol, 299011, Russian Federation)
**Corresponding author: zaripova_km@ibss-ras.ru*

Abstract. The study investigates the ecological consequences of rising salinity in Southern Sivash, focusing on the physicochemical properties of bottom sediments (pH, redox potential), and on biological communities: bacterio-benthos, meiobenthos, macrozoobenthos, and phytoplankton. The main hypotheses assume that salinity changes affect both the abiotic and biotic components of the ecosystem in spatial and temporal dimensions.

Key words: hypersaline lagoon, salinity change, benthos, phytoplankton

Sivash Bay, located in northeastern Crimea, is one of the largest hypersaline lagoons on Earth. Historically, its salinity has fluctuated significantly due to human activities. In the mid-20th century, Sivash was a hypersaline system (≈140 ‰), supporting a productive ecosystem dominated by Artemia. Between 1963 and 1975, the North Crimean Canal brought Dnieper River water into the region, reducing salinity to 22–26 ‰ and transforming the bay into a brackish ecosystem. However, after the canal's closure in 2014, salinity rose rapidly, reaching 66–80 ‰ by 2017 (Soloveva, 2019) , and 90–120 ‰ by 2020. The aim of this study was to To investigate the current state of the South Sivash ecosystem under prolonged salinity increase by testing the following hypotheses: a) physicochemical parameters (pH, Eh) of bottom sediments are influenced by spatiotemporal salinity variations; b) biodiversity and abundance of bacteriobenthos, meiobenthos, macrozoobenthos, and phytoplankton correlate with salinity distribution.

Samples were collected from Eastern Crimea in July 2020 at multiple stations across a salinity gradient (Fig.). Measurements of pH, Eh, and salinity were taken in situ. Microbial abundance (heterotrophic, sulfate-reducing, and thionic bacteria) was determined using selective media and the limiting dilution method. Meiobenthos and macrozoobenthos were identified and quantified by microscopy. Phytoplankton samples were concentrated by reverse filtration and analyzed using Lugol's iodine and light microscopy.

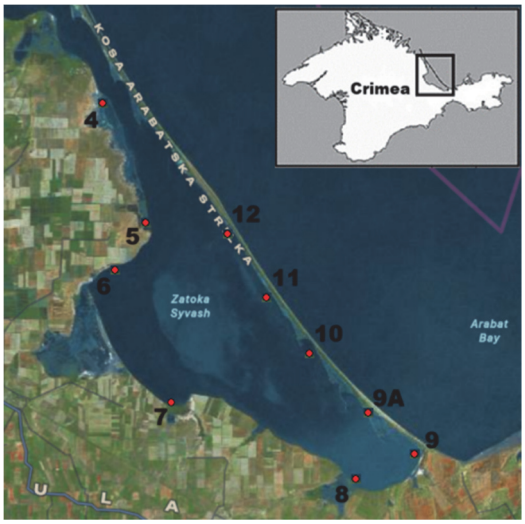


Fig. Sample sites scheme

By 2020, salinity averaged 109‰–a 50 % increase from 2017 (Soloveva, 2019). Salinity increased from north to south. pH dropped from an average of 7.8 (2017) to 7.2, while redox potential decreased to an average of -205 mV, indicating reducing conditions. No correlation was found between pH and salinity, but redox potential showed an inverse correlation with salinity (R=-0.6). Heterotrophic bacteria (HB) maintained stable abundance (10^6–10^7 cells/g), similar to 2017 levels. Sulfate-reducing bacteria (SRB) and thionic bacteria (TB) showed notable spatial variability. SRB ranged from 45 to 2500 cells/g and negatively correlated with salinity (R=-0.6), while TB showed a similar trend (R=-0.6). TB abundance moderately correlated with temperature (R=0.6), suggesting thermal influence on sulfur cycling. The microbial community overall remains active, with halophilic species well-adapted to the new environmental regime. Seven meiobenthic taxa were found in 2020, but their total abundance dropped nearly 12-fold from 2017 levels (from 271 to 23 individuals per 10 cm²) (Shadrin, 2019). The southernmost and shallowest sampling sites were dominated entirely by ostracods, which are known to tolerate both hypoxia and high salinity. Nematodes, once common, were absent in all samples–likely due to their inability to adapt to salinities exceeding 90‰. No clear correlation was found between meiobenthos abundance and physicochemical parameters, though extreme oxygen and salinity conditions likely drove the observed declines. The macrozoobenthic community had entirely collapsed by 2020, with only *Chironomidae* larvae remaining–down from 11 species in 2017. Chironomids were present in densities ranging from 575 to 6813 ind/m², but their overall biomass and abundance had significantly declined. This indicates that salinity has reached critical thresholds for most macrofauna. Phytoplankton abundance ranged from 190 to 18,000 cells/L, with seven genera of diatoms identified. Algae of genera *Synedra*, *Pleurosigma*, and *Navicula* showed varying dominance across salinity levels. Notably, *Amphora*, *Coscinodiscu*s, and *Synedra* exhibited significant negative correlations with salinity (R = -0.9, -0.8, and -0.6, respectively), despite being halotolerant. These patterns suggest even halophilic algae experience growth inhibition as salinity exceeds 100‰. The current taxonomic composition of phytoplankton resembles that of pre-canal Sivash, confirming the lagoon's return to hypersaline conditions.

The rapid transformation of Sivash Bay's environment–due to the canal's closure and ongoing evaporation–has created extreme and unstable ecological conditions. Bottom sediments now exhibit strong reducing characteristics and organic matter accumulation. While microbial populations show resilience and adaptation, meiobenthic and especially macrozoobenthic communities have suffered dramatic losses. Ostracods alone maintain high local abundance due to their tolerance to hypoxia and high salinity. The poor diversity and reduced biomass of phytoplankton also reflect environmental stress. Diatom species are particularly sensitive to salinity shifts beyond their physiological thresholds, and current conditions exceed the known tolerances of many taxa. Microbial indicators, particularly SRB and TB, appear useful for tracking environmental changes, given their strong response to salinity and pH gradients.

Acknowledgment. This project was executed within the framework of IBSS state research assignment "Study of biogeochemical patterns of radioecological and chemoecological processes in the ecosystems of water bodies of the Sea of Azov–Black Sea Basin in comparison with other areas of the World Ocean and individual aquatic ecosystems of their drainage basins to ensure sustainable development in the southern seas of Russia" (No. 124030100127-7).

References

Shadrin N. V., Kolesnikova E. A., Revkova T., Latushkin A. A., Chepyzhenko A., Dyakov N., Anufriieva E. 2019. Macrostructure of benthos along a salinity gradient: The case of Sivash Bay (the Sea of Azov), the largest hypersaline lagoon worldwide. *Journal of Sea Research* 154: 101811. DOI: 10.1016/j.seares.2019.101811

Soloveva O. V., Tikhonova E. A., Alemov S. V., Burdiyan N. V., Viter T. V., Guseva E. V., Kotelyanets E. A., Bogdanova T. A. 2019. Ecological state of the southeastern part of Sivash Bay (Sea of Azov) under conditions of changing salinity. *Contemporary Problems in Ecology* 12: 179–188. DOI: 10.1134/S1995425519020070

UDC 597.55.611.018

SPERMATOGENESIS FEATURES IN FLIER *CENTRARCHUS MACROPTERUS* (FAMILY CENTRARCHIDAE)

Q. Zhou[1]*, K. A. Zhukova[1,2]

[1]Shenzhen MSU-BIT University (1, International University Park Road, Longgang District, Dayun New Town, Guangdong Province, Shenzhen, 18172, China)
[2]Lomonosov Moscow State University (Leninskije Gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russian Federation)
** Corresponding author: 1336606418@qq.com*

Abstract. Flier is a commercially important freshwater species in China. The study presents the first description of the morphology of the testis and male germ cells. Histological studies have shown that its testes have lobular unrestricted spermatogonial type, the sizes of germ cells corresponded to those of representatives of the same family.
Keywords: histology, testis, China, reproduction, male germ cells

Flier is the freshwater representative of family Centrarchidae, naturally living in lakes and rivers of North America. Recently, flier was introduced into the fish farming industry in China, and became important object of aquaculture in Anhui, Sichuan and other Provinces (Liu, Li, 2013; Jiang 2019; Xia et al., 2022).

For successful farming of the fish, it is necessary to have knowledge of its reproductive biology. There are no data on the development of testes and male germ cell in flier. Therefore, aim of study to research spermatogenesis feature in *Centrarchus macropterus*.

Material and methods. Filers were purchased from a local store in Shenzhen (Fig. 1). Testes were fixed in 10 % buffered formalin. The samples were then dehydrated, cleared with xylol with HS566 Carousel Tissue Processor, embedded in paraffin using Thermo Fisher Scientific Histostar pourers, sectioned with Thermo Scientific HM355S and Leica RM2235 microtome (4 μm thickness), and stained with hematoxylin and Ehrlich's eosin with Thermo Scientific Gemini AS. Carl Zeiss Axio Lab A1 microscope were used for microscopy and photography.



Fig. 1. Flier *Centrarchus macropterus*

Results and discussion. The testes of the studied fliers were in the spawning capable phase of gonadal maturation. Sex cells of all stages were present in lobules, but spermatozoa predominated. The lateral parts were more mature than the medial parts (Fig/ 2).

Spermatogonia have round shape, transparent cytoplasm with size 5.75 μm ± 0.9 SD (5–7μm), with round nucleus with 2.75 μm ± 0.9 SD (2–4 μm). Primary spermatocyte smaller than spermatogonia with 4. 55 μm ± 0.7 SD (3–6 μm) with big and dark nucleus with size 3.42 μm ± 0.7 SD (2–5 μm). Secondary spermatocytes have size 2.92 μm ± 0.5 SD (2–4 μm), with nucleus 1.85 μm ± 0.4 SD (1–3 μm). Spermatids have size 2.03 μm ± 0.3 SD (1–3 μm) nucleus occupies most of the space, looks very dark with size 1.29 μm ± 0.4 SD (1–2 μm). The head of the Spermatozoa and diameter is round with size 1.14 μm ± 0.4 SD (1–2 μm).

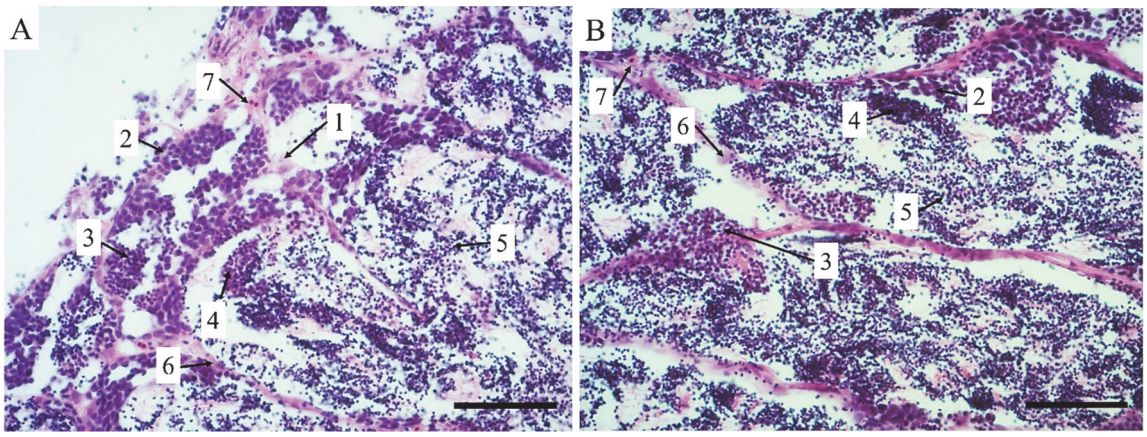


Fig. 2. A- Lateral and B – medial regions of the testis in flier *Centrarchus macropterus*
1 – spermatogonia, *2* – primary spermatocyte, *3* – secondary spermatocyte, *4* – spermatids, *5* –spermatozoa, *6* – interstitial tissue, *7* – blood cell. Scale line – 50μm

Testes of flier have the same general structure as in other teleost fish species. Their testes consist of similar structures called germinal and interstitial compartments, separated by a basement membrane. Spermatogenesis occurs within a cystic structure surrounded by Sertoli cells, and all germ cells develop as a synchronous clone. The testes of fliers have a lobular, unrestricted spermatogonial type. This is characterised by the presence of spermatogonia along the length of the lobules. The same type of testis structure is found in fishes of the orders Perciformes and Cichliformes (Uribe et al., 2014). The germ cell morphology of the green sunfish *Lepomis cyanellus* from the same family Centrarchidae was similar, but the cell sizes were larger (Cao et al., 2008).

In spawning capable testes, even though sperm masses filled the extensively branched seminiferous lobules, spermatogenesis continued in peripheral areas, as the early-stage male germ cells positioned near the tubule walls. This allows males to have a prolonged spawning period, as filer fish spawn several times a year (Ma et al., 2024). These findings add to our knowledge of the reproductive biology of filer and can be used in aquaculture of this species.

References

Cao Y. Z., Li W. S., Ye W. 2008. Gonadal Development in blue sunfish, Lepomis cyanellus: A Histological Study. *Chinese Journal of Zoology* 43 (01): 88–95. DOI: 10.13859/j.cjz.2008.01.006

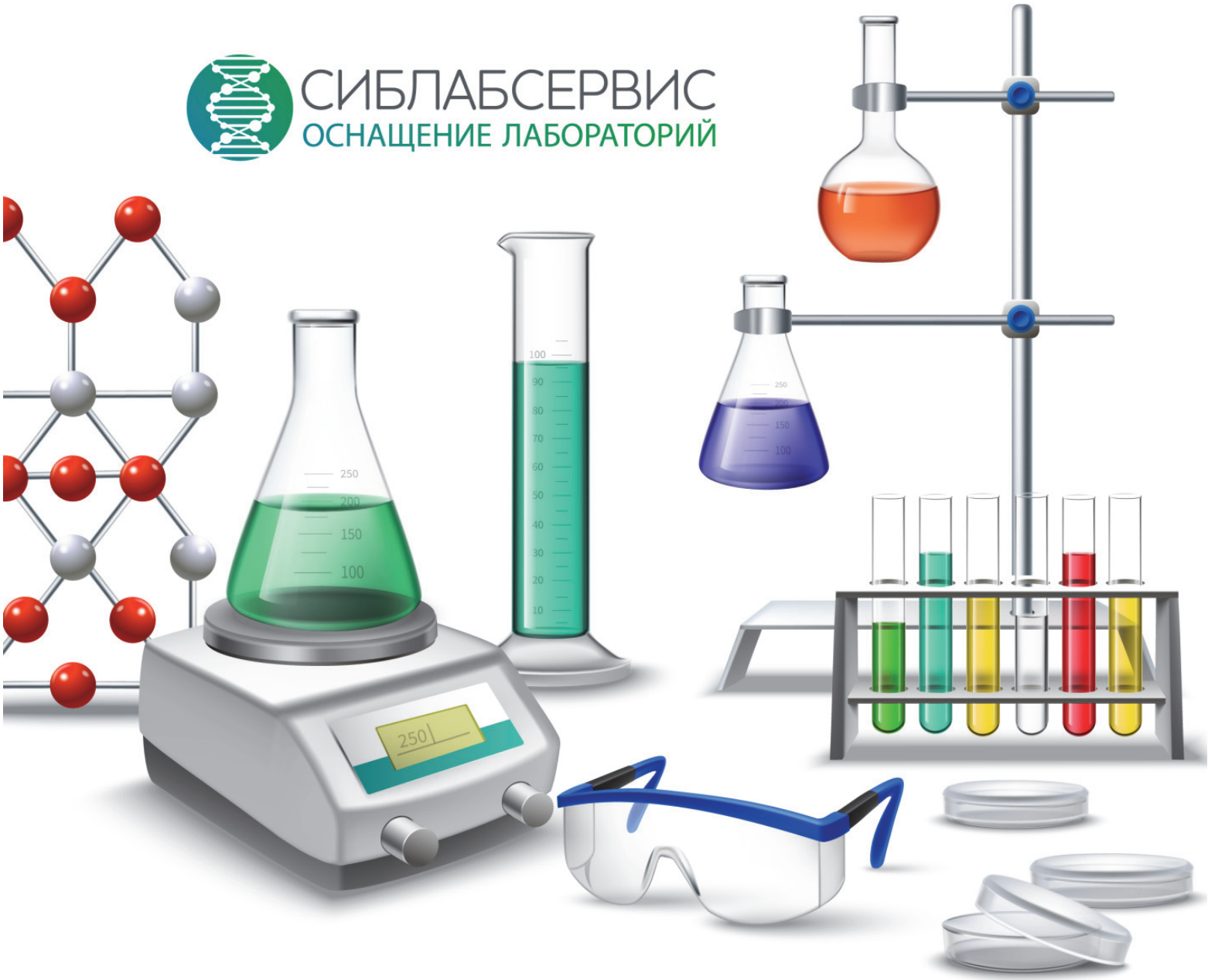
Liu Y., Li H. 2013. Cultivation techniques of bluegill sunfish. *Animals Breeding and Feed* 5: 42–43. DOI: 10.13300/j.cnki.cn42-1648/s.2013.05.031

Ma Y., Liang Z., Wen F., Liao C., Pan J., Shao J., He G., Liu J., Guo C. 2024. Life history characteristics and adaptability of the invasive species blue-gill sunfish in Qiandao Lake. *Chinese Journal of Hydrobiology.* 48(09): 1541–1552.

Uribe, M. C., Grier, H. J., Mejía-Roa, V. 2014. Comparative testicular structure and spermatogenesis in bony fishes. *Spermatogenesis* 4(3): e983400. DOI: 10.4161/spmg.983400

Xia F. M., Chen H. M., Luo Y. Q. 2022. Lepomis cyanellus Rafinesque,1819 Risk of invasion in Guizhou [J]. *Science in Guizhou* 40 (03): 33–36. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6563.2022.03.009

СИБЛАБСЕРВИС
ОСНАЩЕНИЕ ЛАБОРАТОРИЙ



- Лабораторное оборудование
- Лабораторный инвентарь
- Лабораторный пластик
- Продукция для ПЦР и секвенирования
- Питательные среды и диагностикумы
- Химические реактивы

г. Иркутск, Фаворского, 1Г
664033, г. Иркутск, а/я 113

+ 7 (3952) 78-25-78
+ 7 (3952) 78-25-79

www.siblsbservice.ru
www.siblabpribor.ru

info@sls-irk.ru
sale@siblabservise.ru

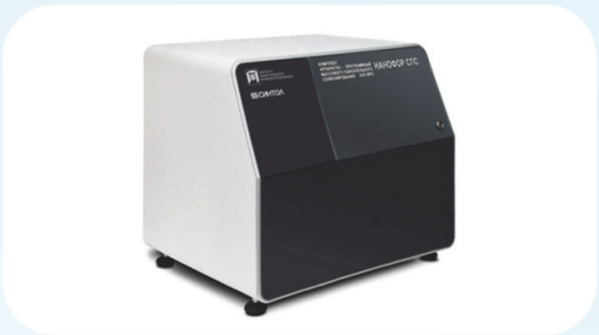
СИНТОЛ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ













- Производство широкого спектра наборов реагентов и оборудования для выделения, амплификации, количественного анализа нуклеиновых кислот и их классического и массового параллельного секвенирования.
- Синтез олигонуклеотидов, зондов для ПЦР в реальном времени, модифицированных олигонуклеотидов (более 100 модификаций).
- Комплексное оснащение молекулярно-генетических лабораторий.
- Обучение молекулярно-генетическим методам исследований.
- Разработка наборов реагентов для молекулярно-генетических исследований на заказ.

www.syntol.ru
Тел. +7 (495) 984-69-93
Адрес: 127434, г. Москва, Тимирязевская, 42

Компания Технополь

Ваш проводник в мире высоких технологий



НАВИГАЦИЯ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ

ИНСПЕКЦИЯ И ПОИСКОВЫЕ РАБОТЫ

ГИДРОГРАФИЯ И ГЕОФИЗИКА

ГИДРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ

141980, г. Дубна, ул. Энтузиастов, 5-183
т/ф: (496) 216 31 20 / 212 79 96
Email: technopole@dubna.ru
www.technopolecom.ru

Научное издание

VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЕРЕЩАГИНСКАЯ БАЙКАЛЬСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

8–14 сентября 2025 г., г. Иркутск, Россия

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ И СТЕНДОВЫХ СООБЩЕНИЙ

VIII VERESHCHAGIN INTERNATIONAL BAIKAL CONFERENCE

8–14 September 2025, Irkutsk, Russia

ABSTRACTS

ISBN 978-5-9624-2403-3

Материалы публикуются в авторской редакции

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Иркутский государственный университет»
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1; тел. +7 (3952) 51-19-00
Издательство ИГУ, 664082, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 124
тел. +7 (3952) 52-18-53; e-mail: izdat@lawinstitut.ru

Подписано к использованию 03.09.2025. Тираж 13 экз. Объем 35,3 Мб.

Тип компьютера, процессор, частота:	32-разрядный процессор, 1 ГГц или выше
Оперативная память (RAM):	256 МБ
Необходимо на винчестере:	320 МБ
Операционные системы:	ОС Microsoft® Windows® XP, 7, 8 или ОС Mac OS X
Видеосистема:	Разрешение экрана 1024×768
Акустическая система:	Не требуется
Дополнительное оборудование:	Не требуется
Дополнительные программные средства:	Adobe Reader 6 или выше