

**Научные результаты, полученные в 2011 г.,
в ходе выполнения проектов в рамках приоритетных направлений**

Приоритетное направление VI.42. Биология развития и эволюция живых систем.

Проект VI.42.1.3. «Геномные и протеомные исследования космополитных и эндемичных байкальских губок: видообразование и формирование симбиотических отношений». **Научный руководитель:** д.б.н. С.И. Беликов.

Определены нуклеотидные последовательности всех митохондриальных генов у губок *Rezinkovia echinata*, *Swartschewskia papyracea*, *Baikalospongia intermedia profundalis* и *Lubomirskia baicalensis*. Показано, что основное отличие эндемичных от космополитных губок обусловлено внедрением в межгенные области инвертированных последовательностей, вероятно представляющих собой мобильные элементы. Рассчитаны скорости эволюции последовательностей этих генов у байкальских губок относительно их общего предка *Ephydatia muelleri* на основе попарных генетических расстояний по каждому митохондриальному гену. Выявлено, что скорость эволюции последовательностей мтДНК байкальских губок составила 0.15×10^{-9} замен на сайт в год для видов *R. echinata*, *B. intermedia profundalis* и *L. baicalensis*, в то время как у *S. Papyracea* – 0.28×10^{-9} замен на сайт в год. Глубоководный вид с условным названием *B. intermedia morpha profundalis*, по-видимому, дивергировал от космополитного вида *E. muelleri* раньше остальных исследованных видов, затем около 26 млн лет назад дивергировал вид *S. papyracea*. Виды *L. baicalensis* и *R. echinata* формируют молодую кладу, отделившуюся в плиоцене около 1,6 млн. лет назад, после периода похолодания 1,75-1,45 млн лет назад.

Проект VI.42.1.4. «Исследования процессов изменения размера генома в онто- и филогенезе на примере байкальских беспозвоночных и рыб». **Научный руководитель:** к.б.н. С.В. Кирильчик.

Апробирован метод оценки размера генома у байкальских рогатковидных рыб, основанный на использовании ПЦР в реальном времени и не требующий разработки калибраторов (Teterina et al., 2010). В качестве референсного гена был выбран ген бета актина (*Actb*). Проведена валидизация метода с использованием ДНК представителей рыб с известным размером генома – нельмы (*Stenodus leucichthys*), омуля арктического (*Coregonus autumnalis*) и данио-рерио (*Danio rerio*), а также анализ изменений размера генома в филогенезе байкальских рогатковидных рыб. Согласно полученным данным линии роста флуоресценции для всех видов рогатковидных рыб расположены очень близко, что свидетельствует об отсутствии заметных изменений размера генома в ходе эволюции Cottoidei Байкала. Кроме этого,

исследования показали, что размер генома байкальских рогатковидных меньше чем таковой у омуля, нельмы и *D. rerio*.

Проект VI.42.1.5. «Исследования диатомовых водорослей методами электронной микроскопии, геномики и протеомики с целью расшифровки молекулярных механизмов формирования кремнистого экзоскелета и эволюции крупных таксонов». **Научный руководитель:** д.б.н. Е.В. Лихошвай.

В результате исследований природной подледной популяции диатомеи *Aulacoseira baicalensis* различными методами микроскопии выявлены основные стадии морфогенеза кремнеземных структур панциря. Показано, что на самой ранней стадии происходит закладка шипов на кромке лицевой части створки (рис. 1А). Форма шипов определяет дальнейшую экологическую стратегию вида – сохранение клеток в колонии или разделение колоний и их расселение. Загиб створки, покрывающий клетку по всей ее длине и предохраняющий от механического разрушения (от воздействия консументов, в частности), так же формируется на первых этапах. Затем происходит постепенное утолщение створки (рис. 1Б) и формирование ее тонкой структуры – велума ареол и римопортул (двугубых выростов) (рис. 1В). Со стороны, обращенной к цитоплазме, имеется полость между силикалеммой (мембраной, покрывающей везикулу, в которой происходит формирование кремнистой створки) и электронно-плотным биогенным кремнеземом (рис. 1Г), что косвенно свидетельствует в пользу ранее высказанной нами гипотезы о механизме отложения биогенного кремнезема путем синерезиса (Grachev *et al.*, 2008).

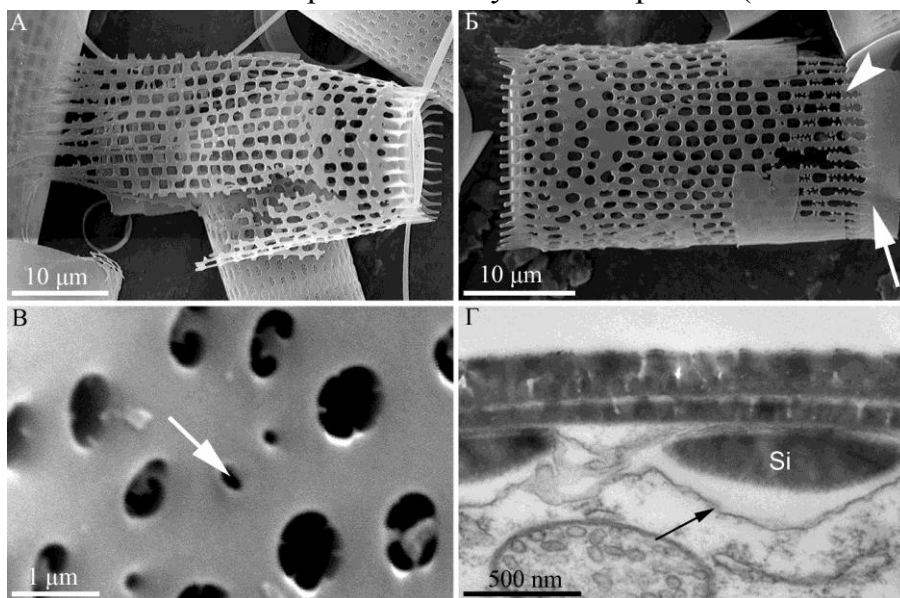


Рис. 1. Морфогенез створки *Aulacoseira baicalensis* на разных стадиях (А-В – СЭМ; Г – ТЭМ ультратонкого среза): А – ранняя стадия формирования створки; Б – створка на стадии роста кольцевидной диафрагмы (стрелка) и формирования ареол (короткая стрелка); В – начало формирования римопортул (стрелка) и велума в ареолах; Г – формирующаяся створка (Si) под поясковыми ободками, стрелкой показана силикалемма.

Приоритетное направление VI.50. Биофизика. Радиобиология. Математические модели в биологии. Биоинформатика.

Проект VI.50.1.3. «Исследование механизмов видообразования в экосистеме озера Байкал с использованием методов классической и молекулярной биологии, геномики и биоинформатики». **Научный руководитель:** д.б.н. Д.Ю. Щербаков.

Исследованы филогенетические связи байкальских эндемиков рода *Draparnaldioides* с другими видами водорослей семейства Chaetophoraceae. Методом медианных цепей, проведенном на основе последовательностей ITS1 установлено, что ближе всего к байкальскому роду *Draparnaldioides* расположены представители рода *Stigeoclonium* и небайкальские *Draparnaldia*.

Приоритетное направление VI.51. Биотехнология.

Проект VI.51.1.9. «Особенности формирования и жизненная стратегия микробного сообщества и вирусов в биопленках в оз. Байкал». **Научный руководитель:** к.б.н. В.В. Парфенова.

Комплексное исследование биопленки естественного субстрата (камня) показало доминирование трех бактериальных филумов (Proteobacteria, Bacteroides, Cyanobacteria). По количеству последовательностей гена 16S рРНК, структурную основу биопленки составляли нитчатые цианобактерии *Rivularia rufescens*. В составе биопленки обнаружены бактерии с разнообразными типами метаболизма, выявлено значительное количество фототрофных организмов и азотфиксаторов (рис. 2).

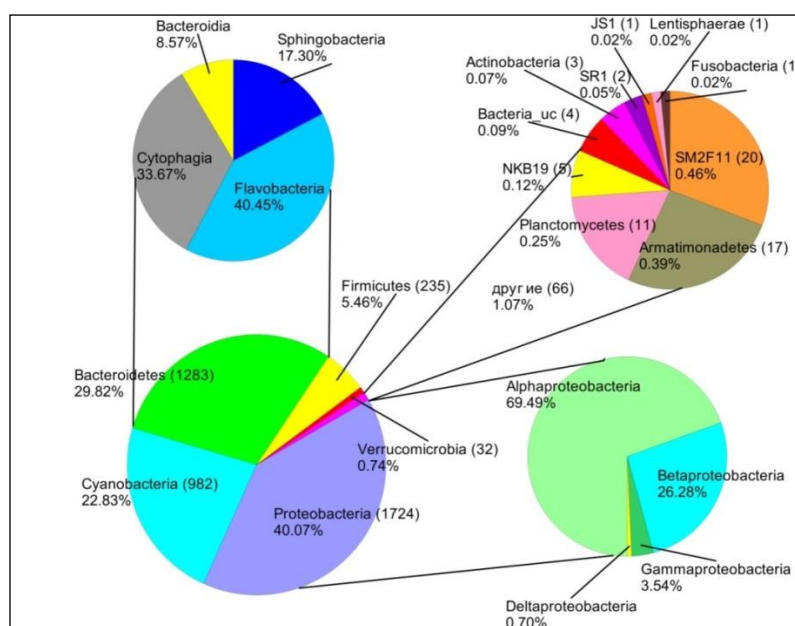


Рис. 2. Метагеномный анализ бактериального сообщества биопленки естественного субстрата со дна литоральной зоны Южного Байкала по гену 16S рРНК. В скобках указано количество прочитанных последовательностей.

В биопленках, образованных в природных условиях на геологических породах трех типов, обнаружены разные морфотипы бактериофагов, в составе которых доминируют представители семейства *Podoviridae* – 45% (морфотип С₁). Также имеется значительное количество (40%) безхвостых фаговых частиц, относящихся предположительно к семейству *Microviridae*. В изученных биопленках на природных и искусственной пластинах не обнаруживались морфологические формы бактериофагов, которые присутствуют в придонной воде литоральной зоны оз. Байкал.

Приоритетное направление VII.62. Динамика и охрана подземных и поверхностных вод, ледники, проблемы водообеспечения страны.

Проект VII.62.1.3. «Комплексный экологический аудит Байкальской природной территории и экосистемы озера Байкал – участка мирового природного наследия». **Научные руководители:** ак. М.А. Грачев, д.г.н. Т.В. Ходжер.

В основные гидрологические сезоны года проведены экспедиции по отбору проб воды в основном русле р. Селенга, а также выше и ниже устьев ее притоков. С использованием катамарана в летнее время сделана детальная съемка по р. Селенге с отбором проб через каждые 5 км (80 проб), начиная от ст. Наушки (граница с Монголией) до устья реки Селенга (протока Харауз).

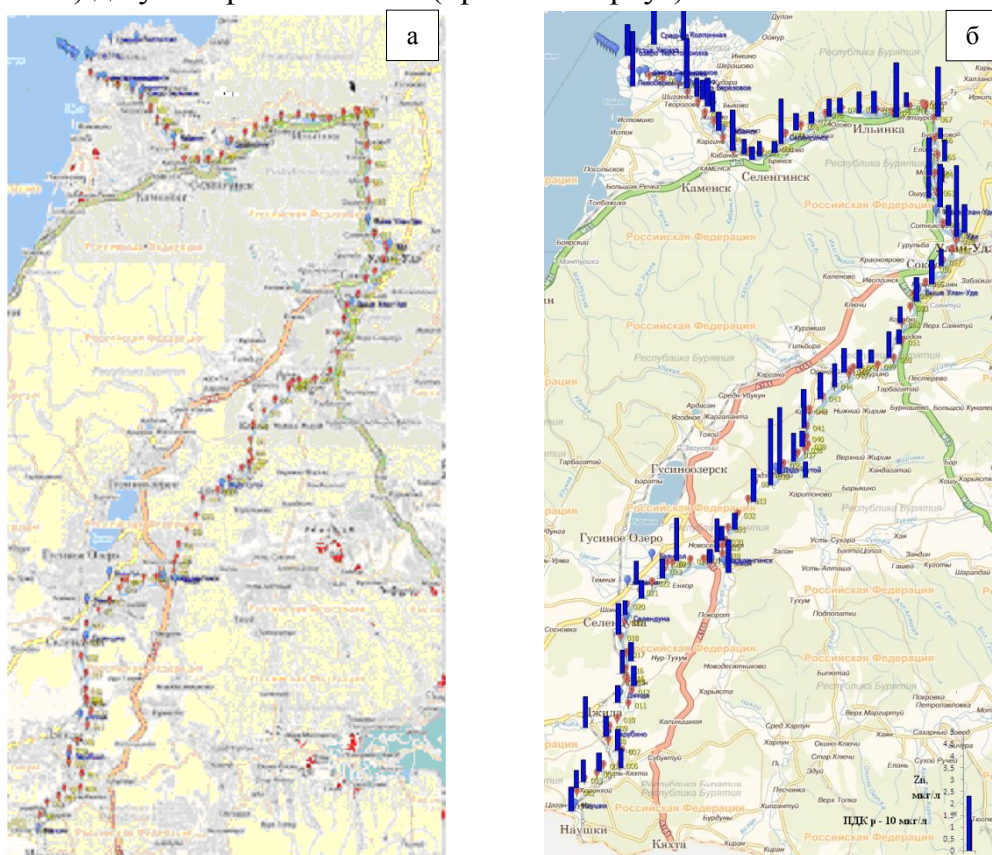


Рис. 3. Схема станций отбора проб (а) и пространственное распределение содержания цинка в воде р. Селенги от ст. Наушки (граница с Монголией) до устья реки (протока Харауз) июль 2011 г., мкг/л (б).

Результаты исследований концентраций растворенных форм микроэлементов, том числе тяжелых металлов в воде р. Селенги и устьях ее притоков, показали, что превышения ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения (Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20) не выявлены. По данным ISP-MS влияние трансграничного переноса из Монголии на качество вод р. Селенги по содержанию тяжелых металлов не наблюдается (рис. 3).

В 2011 г. Лимнологическим институтом СО РАН совместно с ООО «Промысловая гидроакустика», г. Петрозаводск проведена гидроакустическая съемка с целью сбора натурных данных по распределению и оценке численности байкальского омуля. Работы проводились по всей акватории озера Байкал с борта НИС «Г.Ю. Верещагин», выполнено 20 контрольных тралений. В результате акустической съемки установлено, что распределение численности и биомассы омуля по акватории озера Байкал имеет неравномерный характер. Скопления омуля, с плотностью выше среднего, занимают не более четверти обследованной площади, но содержат почти две трети его запаса. Общая картина пространственного распределения омуля по акватории озера остается неизменной в сравнении с ранее проведенными гидроакустическими съемками. Подтвердились выводы о нахождении значительной части популяций омуля над глубоководными зонами озера, ранее не учитываемыми сетными методами, что объясняет увеличение биомассы от 22-25 тыс. тонн (по данным Востсибрыбцентра) до 31,6 тыс. тонн по данным тралово-акустического учета 2011 г. (рис. 4).

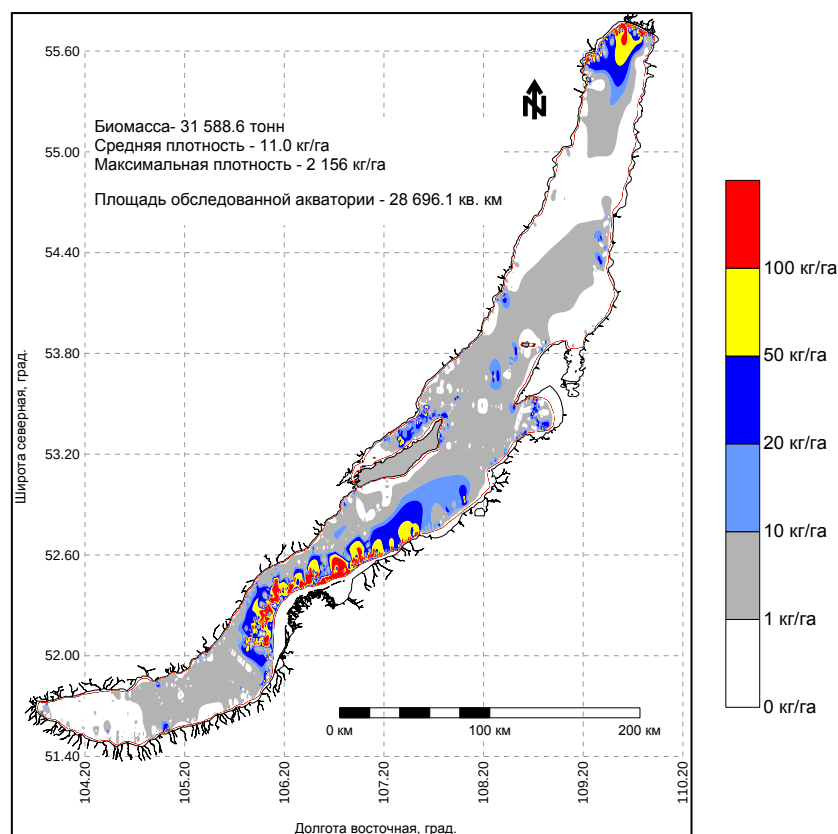


Рис. 4. Карта распределения омуля по биомассе на акватории озера Байкал, 2011 г.

Проект VII.62.1.4. «Междисциплинарное исследование заплесковой зоны как важной составляющей литорали озера Байкал». Научный руководитель: д.б.н. О.А. Тимошкин.

Дано определение и представлена междисциплинарная характеристика заплесковой зоны Байкала. Ее длина составляет 1800–2000 км, а нижняя граница заплесковой зоны вследствие поднятия уровня перемещается вверх, к береговому склону в пределах 10 и более метров. Впервые изучены состав, качественные и количественные характеристики, а также сезонная динамика береговых скоплений детрита (БСД) озера Байкал, которые оказывают значительное влияние на абиотические и биотические условия заплесковой зоны.

Впервые за весь период исследования фитобентоса Байкала в узкой прибрежной зоне залива Лиственничный, расположенного напротив пос. Листвянка на протяжении 4 км от м. Лиственничного до истока р. Ангара зарегистрировано аномальное явление - зарастание дна нитчатыми водорослями. Нетипичные для оз. Байкал виды *Mougeotia?* sp. и *Spirogyra* sp. образовали обильные сомкнутые заросли в виде длинных тяжей нитей - «тины» (рис. 5). В фоновом районе отклонений от естественного природного состояния фитобентоса не обнаружено.

Сложившаяся обстановка в заливе Лиственничном обусловлена высокими концентрациями биогенных элементов в воде и ухудшением ее санитарно-гигиенических показателей. В пробах интерстициальных вод, отобранных в береговой зоне 1,5-2 м выше уреза, а также в придонном слое воды особенно высоко содержание фосфата – до 1,3 мг/л, аммонийного азота – до 3 мг/л, что в среднем в 100 раз выше, чем в оз. Байкал; численность общих колиформных бактерий фекального происхождения – до 27500 КОЕ/100 мл, при нормативе не более 500 КОЕ/100 мл согласно СанПиН 2.1.5.980-00 устанавливающего требования к качеству воды для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест.



Рис. 5. Распределение макрофитов в заливе Лиственничный (а) и фоновом районе у мыса Толстый (б) на глубинах 6-10 м.

Проект VII.62.1.5. «Физическая лимнология Байкала: воздействие современных изменений климата и потоков газа из донных отложений на пространственно-временную структуру физических характеристик водной толщи». Научные руководители: к.г.н. Н.Г. Гранин, д.г.н. М.Н. Шимараев.

В результате многолетней (2005-2011 гг.) регистрации эхолотного сигнала в Среднем и Южном Байкале зарегистрировано 17 выходов газа. Карта расположения газовых факелов и исследованная площадь показана на рис. 6. Оценка потока газа акустическим методом проводилась по данным эхолокационной съемки лета 2010 г. для 4 факелов: «S. Petersburg», «K13», «Krasny Yar», «Stupa». Их названия на рис. 7 подчеркнуты. Средний поток метана в исследованных факелах составляет 60-80 т/год. Пересчет на акваторию Южного и Среднего Байкала дает величину 3000 – 3800 т/год. Таким образом, поток метана из донных отложений пелагической части южной и средней частей составляет 0,2-0,3 т/год/км². Для Охотского моря поток метана примерно равен 6,7 т/год/км². В палеodelьте Днепра на глубинах от 100 до 800 м средний поток метана 30 т/год км². Таким образом, потоки метана в глубоководной части Байкала в 30-100 раз ниже, чем в Охотском море и в палеodelьте Днепра.

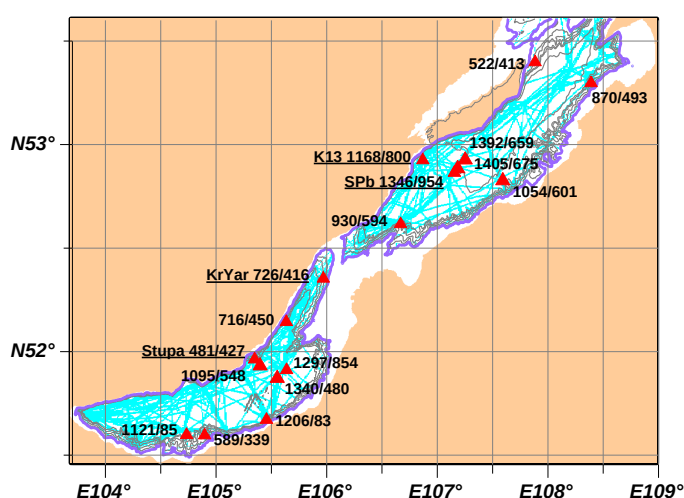


Рис. 6. Карта расположения глубоководных газовых факелов в Среднем и Южном Байкале, цифрами обозначены глубина воды/высота факела. Голубым цветом показана площадь дна, исследованная с применением ЭХОЛОТОВ

Приоритетное направление VII.65. Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования, использование традиционных и новых источников энергии.

Проект VII.65.1.2. «Реконструкция изменений природной среды и климата за последние 75 тыс. лет по результатам исследования осадков пролива Малого Моря оз. Байкал». **Научные руководители:** ак. М.А. Грачев и к.ф.-м.н. Е.Л. Гольдберг.

Методом ICP-MS исследован керн донных отложений VER 05-01 длиной 496 см, отобранный из пролива Малое Море (53°22'22" N, 107°28'49" E, глубина 220 м). Определено содержание 57 химических элементов с разрешением 1 см. Основные типы элементных профилей показаны на рис. 7.

Установлено, что большинство сигналов содержат климатические отклики на события Дансгаарда-Ошгера в Гренландии, однако они не поддаются однозначной корреляции с гренландской кислородной кривой вследствие более сложной структуры – количества и взаимного расположения пиков/провалов. Сделано

предположение о том, что на формирование осадков в Малом Море оказывало влияние несколько основных терригенных источников, заметно различающихся по элементному составу (содержанию и относительному распределению элементов) – р. В. Ангара, р. Баргузин, р. Селенга, твёрдый сток с северо-западного берега и «ледниковое молоко» - результат ледниковой эрозии пород в горном окружении Байкала.

Для реконструкции условий осадконакопления были детально исследованы два типичных разреза II байкальской террасы на северо-восточном побережье, в бухте Фролиха и в районе м. Валукан. Исследования показали, что терраса в районах разгрузки ледников является аккумулятивным образованием, сложенным продуктами размыва ледниковых и водно-ледниковых отложений последнего оледенения в условиях мелководья. Установлено, что основной объем талых ледниковых вод поступал в озеро в интервале от 15 до 11 тыс. л.н.

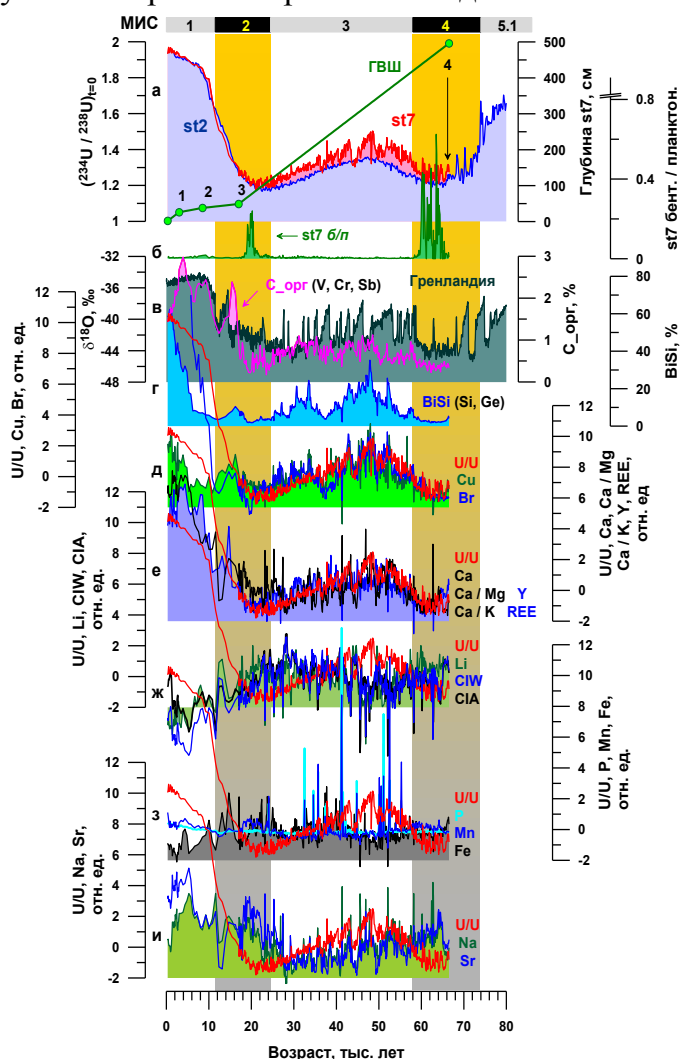


Рис. 7. Водные, биогенные и терригенные индикаторы изменения палеоклимата в осадках пролива Малое Море оз. Байкал. (а) – профили изотопного состава аутигенного урана в осадках st. 7 (Малое Море) и st. 2 (Академический хребет), глубинно-возрастная шкала (ГВШ) для st. 7 построена путём корреляции профилей по пяти точкам (зелёные кружки), керн st. 2 была датирован ранее U-Th методом (Чебыкин и др., 2004); (б) – отношение бентосных видов диатомей к планктонным в осадках, маркирующее экстремально неблагоприятные условия развития диатомей; (в) - сопоставление профиля органического углерода в осадках st. 7 с изотопным составом кислорода в гренландских льдах (Jouzel et al., 2008); (г) – профиль содержания биогенного кремнезёма, а также сходные с ним профили отношений Si/Al и Ge/Al в осадках; (д-и) – основные типы профилей, нормированных на содержание Al элементов в осадках st. 7 в сопоставлении с профилем изотопного состава аутигенного урана ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U}_{t=0}$, красный)

Увеличение водного притока в озеро после 15 тыс. лет могло вызывать увеличение объема воды и непродолжительное повышение относительного уровня с образованием аккумулятивной части исследованных террасовых разрезов. Некоторое снижение уровня, возможно, было связано с похолоданием Позднего Дриаса.

Программа VII.65.2. Геохимия и биохимические циклы природных и техногенных ландшафтов Сибири.

Проект VII.65.2.4. «Исследование биогеохимических обстановок в зонах залегания газовых гидратов и разгрузки газообразных углеводородов на границе раздела «вода-дно» озера Байкал». **Научный руководитель:** д.б.н. Т.И. Земская.

Установлено, что в местах постоянной разгрузки газа, скопления газовых гидратов выходят практически на поверхность дна озера. Высказано предположение, что близость расположения гидратного слоя к поверхности дна озера определяется наличием существующего нерегулярного потока газа или газосодержащего флюида. Зависимости между глубиной залегания гидратного слоя и глубиной водной толщи не выявлено, неглубокое залегание гидратного слоя в осадке отмечается в районе одной структуры на глубинах 400 м (на вершине структуры) и до глубин более 500 м (рис. 8).

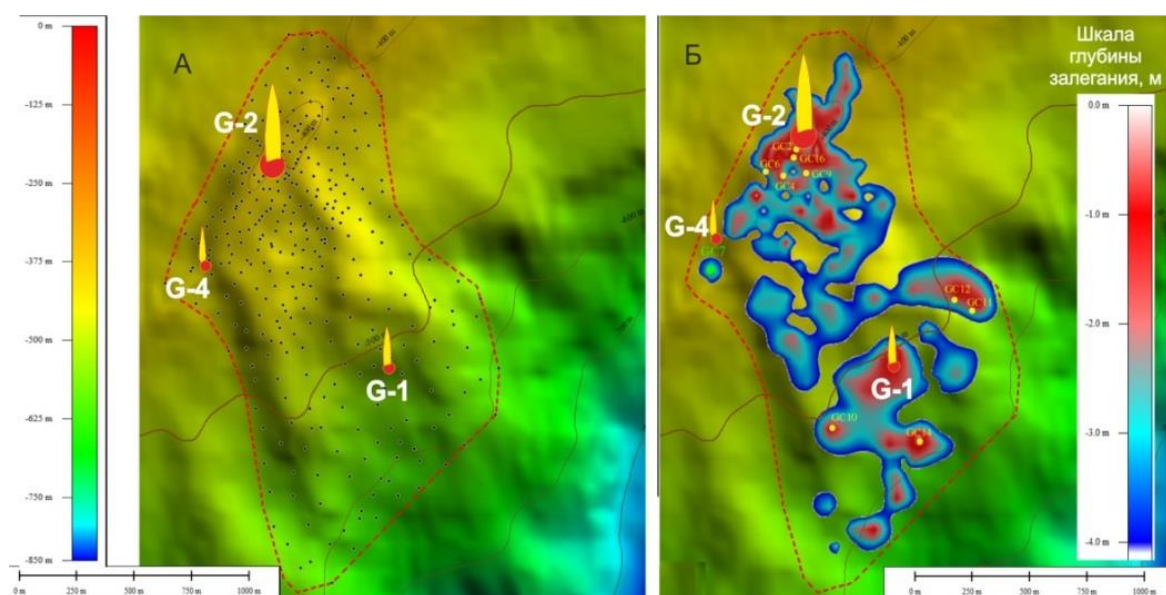


Рис. 8. А- схема района зондирования донных отложений пенетрометром до глубины 4 м; Б - схема глубины залегания кровли газогидратного слоя и точки контрольного опробования гравитационной трубкой до 2 м с газовыми гидратами (желтые точки), зеленым выделена точка, где на поверхности железо-марганцевая плотная корка и плотные глины.

Сделаны оценочные расчеты потоков растворенных компонентов через границу вода-дно, которые свидетельствуют о значительном поступлении растворенных компонентов в водную толщу в районах субаквальной разгрузки нефти и газа у восточного борта оз. Байкал. У западного борта потоки компонентов не так велики, но положительны и направлены из воды в осадок.

**Научные результаты, полученные в ходе выполнения проектов
по Программам Президиума РАН**

Программа Президиума РАН № 6 Молекулярная и клеточная биология.

Проект № 6.3 «Молекулярные и клеточные механизмы синтеза кремнистых панцирей диатомей». **Координатор:** ак. М.А. Грачев.

В геноме *S. acus* обнаружена полная последовательность нового гена белка транспорта кремниевой кислоты (SIT2) массой 62,3 кДа, отличающегося от ранее обнаруженного SIT1 того же организма. Обнаружен ген нового аквапорин-подобного белка из суперсемейства MIP (MajorIntrinsicProteins) массой 31,3 кДа. При анализе вторичной и третичной структур выявлено наибольшее сходство нового белка с аквапоринами растений. Обнаружены гены сигма-субъединиц белков-адаптинов AP3 и AP4, работающих в комплексе с клатрином – новым кандидатом на роль участника транспорта кремния у диатомей. В структуре адаптинов выявлены протяженные консервативные участки, характерные для диатомей и их ближайших родственников (оомицетов и бурых водорослей), имеющие отличия от консервативных участков адаптинов других организмов.

С помощью технологий секвенирования второго поколения расшифрована последовательность нуклеотидов хлоропластного генома пресноводной бесшовной пеннатной диатомовой водоросли *Synedra acus* из озера Байкал. Хлоропластный геном *S. acus* имеет каноническую квадрипартитную структуру с двумя инвертированными повторами, содержащими локусы генов рибосомальных РНК и разделяющими малую и большую уникальные области. Размер хлоропластного генома *S. acus* составляет 116 251 п.о. хпДНК *S. acus* содержит 27 генов транспортных РНК, 3 гена рибосомальных РНК, 2 гена малых РНК *ffs* и *ssra*, а также 128 белок-кодирующих генов, включая 44 гена рибосомальных белков и 44 гена, обеспечивающих фотосинтез. В хпДНК *S. acus*, в отличие от хлоропластных геномов других диатомовых водорослей, гены *aptD* и *atpF* не перекрываются. Отсутствие перекрытия связано со значительной дивергенцией последовательности гена *atpF* *S. acus*. В геноме *S. acus* обнаружен ядерный ген ацил-переносящего белка *acpp*, имеющий хлоропластный таргетинг, о котором свидетельствует наличие сигнального пептида. Основываясь на результатах сравнительно-геномного анализа, можно заключить, что в ходе эволюции перенос гена *acpp* в ядерный геном происходил независимо в нескольких линиях диатомей (рис. 9).

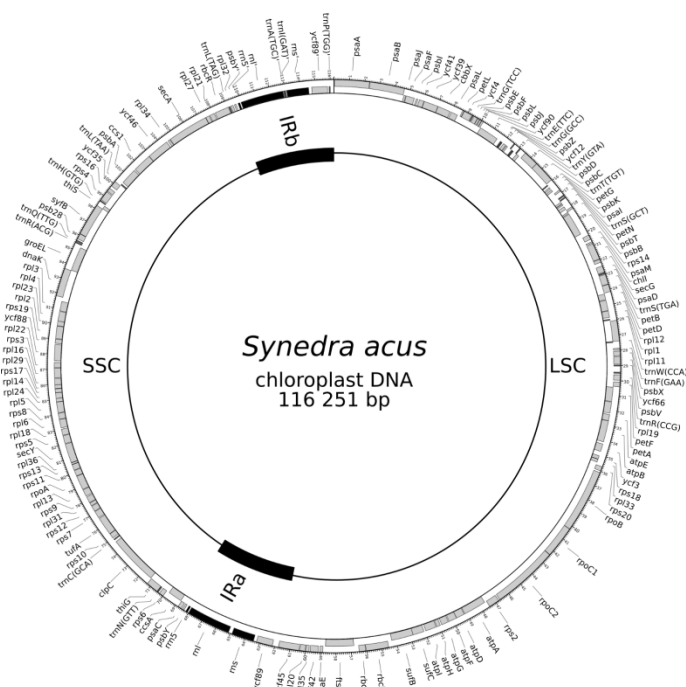


Рис. 9. Геномная карта пластидной ДНК *Synedra acus*. Гены, нанесенные на внутреннем и внешнем кольцах наружной части круговой диаграммы, транскрибируются по или против часовой стрелки, соответственно. Серым цветом обозначены белок-кодирующие гены, черным – гены рибосомальных РНК, темно-серым – гены транспортных РНК. На внутреннем кольце показаны элементы квадрипартитной структуры пластидного генома – инвертированные повторы IRa и IRb, разделяющие малую и большую уникальные области SSC и LSC.

Программа Президиума РАН № 21. Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология. **Подпрограмма** «Комплексные исследования Арктического шельфа».

Проект № 21.7. «Криолитозона и Арктический шельф в условиях меняющегося климата; стабильность экосистем и газовые гидраты; пути захоронения органического вещества». **Координаторы:** ак. Е.А. Ваганов, д.г.н. Т.В. Ходжер.

Комплексный анализ экологического состояния природных сред показал отсутствие существенного антропогенного влияния на атмосферу, водную среду Карского сектора Арктики. Как индикаторы трофности водоемов здесь впервые изучены морфотипы цист хризифитовых водорослей в воде и донных осадках зоны смешения морских и речных вод.

С помощью методов молекулярной микробиологии впервые исследовано филогенетическое разнообразие суммарного микробного сообщества в донных отложениях река-море. Выявлены различия в разнообразии микробных сообществ в зависимости от минерализации поровых вод.

Установлены закономерности распределения органического материала в прибрежно-шельфовой зоне, прилегающей к льдистым берегам морей Лаптевых и Карского. Современный поток органического углерода в море с берегов, сложенных

ледовым комплексом и аласными толщами, за 10 лет возрос в 1,5 раза. Проведена реконструкция деградации многолетней мерзлоты за последние 170 лет на основе изучения донных осадков термокарстовых арктических озер (66,6° - 72,7° с.ш.). Процесс деградации многолетней мерзлоты (ММ), вызвавший формирование озер, начался в 1830-60 годах, с 1950 годов деградация ММ ускоряется, следуя за температурными максимумами с запаздыванием в 5-7 лет.

Подпрограмма «Глубоководные исследования озера Байкал».

Проект 21.8 «Высокоразрешающее картирование дна озера Байкал на основе данных мобильной системы многолучевой эхолотации (ELAC SeaBeam 1050 system) и дистанционных методов пробоотбора и наблюдений». **Координатор:** О.М. Хлыстов.

С помощью многолучевых эхолотов ELAC SeaBeam 1050 (2009 г.) и SeaBat 8101 (2011 г.) впервые получены высокоразрешающие батиметрические данные для Южной и Средней котловин озера на площади 16 000 км². Обнаружена 121 топоструктура в виде возвышенностей на различной глубине от 30 до 1500 м. Диаметр топоструктур варьировал от первых метров до полутора километров, а высота достигала 100 м. Впервые на Байкале обнаружены 3 отрицательные структуры – покмарки. Геологическое опробование 38 новых глубоководных структур показало, что 12 из них являются грязевыми вулканами, остальные - подводными возвышенностями без изменений в геологическом разрезе. Открыто 12 новых мест приповерхностного залегания газовых гидратов (рис. 10).

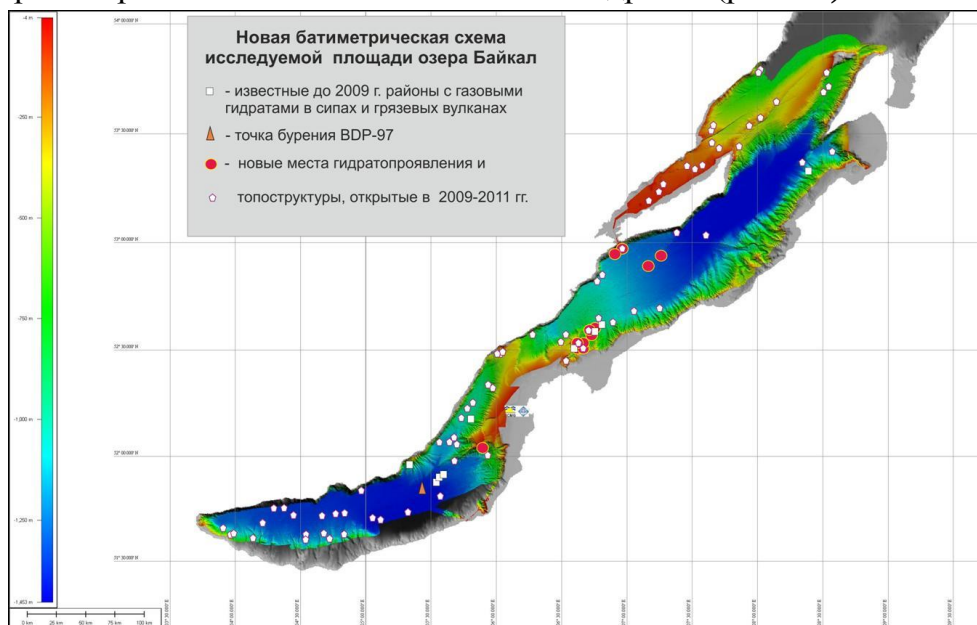


Рис. 10. Цифровая модель рельефа дна Южной и Средней котловин озера Байкал по данным многолучевой эхолотации с обозначением мест новых топоструктур и гидратопоявлений (оттенками серого цвета показана батиметрическая карта проекта ИНТАС -99-1669)

Проект № 21.9. «Комплексные исследования зон активных разгрузок глубинных флюидов на озере Байкал с помощью автономных необитаемых аппаратов, обитаемых аппаратов «МИР», а также дистанционных пробоотборников». **Научный руководитель:** д.б.н. Т.И. Земская.

В зонах разгрузок углеводородсодержащих флюидов в донных отложениях пресноводного озера Байкал выявлены воды, сопоставимые по содержанию некоторых ионов с морскими. Для этих зон характерны высокие плотности поселения животных, их численность выше (до 130 тыс. экз. м⁻²), отмечаемой для «спокойных» участков дна (Тахтеев и др., 1993) (менее 30 тыс. экз. м⁻²).

В районе нефтепроявления у м. Горевое Утеса найдены и описаны шесть новых для науки видов и переописаны три редких вида нематод, а в районе грязевого вулкана Маленький четыре новых для науки видов нематод. Совместно с Центром «Биоинженерия» РАН в осадках над слоями гидратов метана в районе структуры Санкт-Петербург с использованием метода пиросеквенирования выявлено 8 новых филогенетических линий архей, которые составляют 42% от всего архейного сообщества (рис. 11).

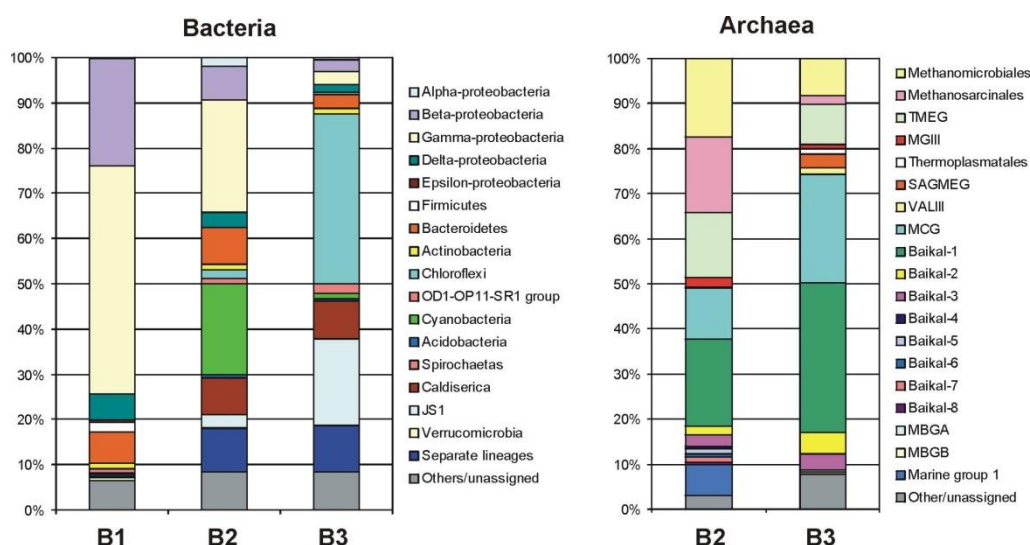


Рис. 11. Структура микробных сообществ в водной толще (B1) и донных осадках (B2 и B3) над слоями гидратов метана в Среднем Байкале (исследование проведено с применением метода пиросеквенирования в Центре Биоинженерии РАН).

Проект № 21.10. «Исследование разномасштабных гидрофизических процессов и их изменчивость, как основных факторов тепло- и массопереноса в экосистеме озера Байкал». **Координаторы:** д.ф.-м.н. Е.В. Ерманыук, к.г.н. Н.Г. Гранин.

Выявлено наличие кольцевых структур в зимнее время в пяти районах озера Байкал (рис. 12). Наиболее часто они появлялись у м. Крестовского. Радиусы кольцевых структур (1,5–2,5 км) близки к бароклинным радиусам деформации Россби. Полевые исследования показали, что образование кольцевых структур происходит за счет антициклонических круговых течений, которые генерируются

вследствие локального подъема «теплой» воды и опускания изотермических поверхностей (рис. 13). Увеличение скоростей крупномасштабных круговых течений вызывает усиление турбулентного обмена в подледном слое воды, а это способствует уменьшению толщины ледового покрова. Результаты математического моделирования течений и изменения толщины ледового покрова хорошо согласуются с данными полевых исследований. Решение обратной задачи позволило провести оценки коэффициента вертикального турбулентного обмена и потоков тепла на границе лед-вода.

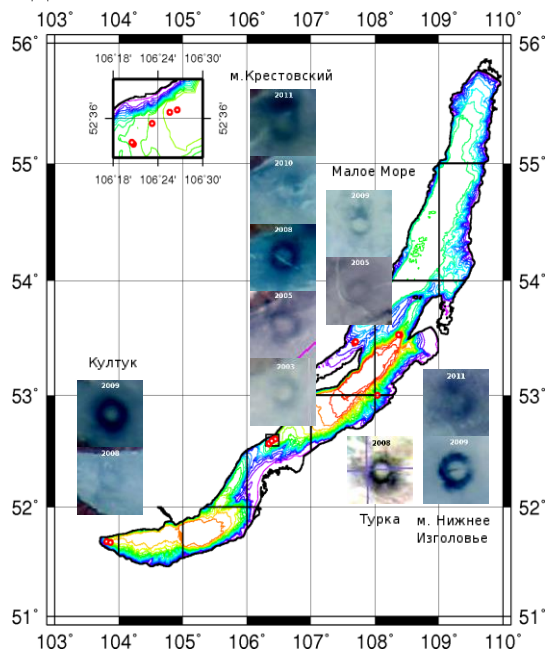


Рис. 12. Карта мест появления кольцевых структур и их спутниковые снимки (на врезке положение центров кольцевых структур у м. Крестовского в разные годы)

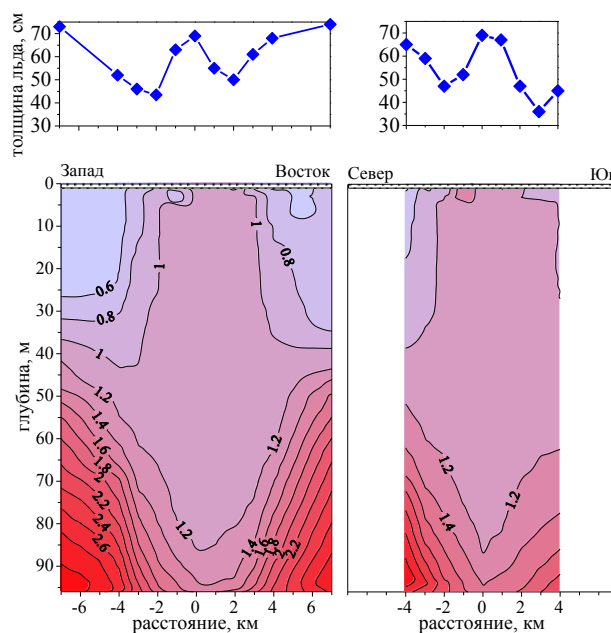


Рис. 13. Толщина льда и вертикальное распределение температуры на разрезах через кольцевую структуру «Култук» 7 апреля 2009 г.

Проект № 21.11. «Исследование процессов формирования и динамики глубинных вод озера Байкал и Японского моря с использованием изотопных трассеров». **Координаторы:** д.г.н. М.Н. Шимараев, д.ф.-м.н. В.Н. Сойфер.

Выяснено, что тритий является трассером обновления придонных вод и индикатором для диагностирования механизмов. Его применение позволило установить, что формирование стока вод р. Ангары осуществляется как из верхних, так и из наиболее чистых глубоких ($>100-200$ м) слоев воды в результате их подъема. Причиной подъема вод является прибрежный апвеллинг, вызываемый сгонными С-ССЗ ветрами с берега и экмановским переносом во вдольбереговых течениях при ветрах западной четверти над Южным Байкалом. По глубине развития (от 100-200 до 300-400 м) и скорости подъема ($10^{-1}-10^{-3}$ см/с) апвеллинги на Байкале близки к наблюдаемым в морях. Установлены сезонные особенности проникновения речных вод в озеро и их смешения с озерными водами в районе Селенгинского мелководья. Обнаружены различия в средней концентрации трития в водах основных притоков,

указывающие на формирование влагооборота бассейнов этих рек атмосферными осадками разного происхождения.

Программа Президиума РАН № 22 Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов.

Проект № 22.45 «Инкорпорирование химических аналогов кремния в створки диатомей: исследование механизмов биосилификации – путь к новым наноматериалам». **Координатор:** д.б.н. Е.В. Лихошвай.

Получены экспериментальные данные о влиянии аналогов кремния на диатомей, подтверждающие некоторые из гипотез в области биосилификации: о возможности неспецифического транспорта кремния в клетки диатомей и о его существовании в клетке в форме кремниевой кислоты или её олигомеров, стабилизированных биополимерами.

Разработан биоинспирированный подход к получению новых композитных кремнистых материалов, допированных химическими аналогами кремния – германием, титаном, цирконием, оловом (рис. 14). Получены стабильные в растворе наночастицы, содержащие до 15% допирующих элементов и стабилизированные синтетическими полимерными основаниями и амфолитами. Конденсация данных наночастиц под влиянием изменения кислотности среды или концентрации приводит к композитным высокопористым субмикронным частицам или к плёночным материалам, содержащим чередующиеся допированные слои толщиной 500-1000 нм.

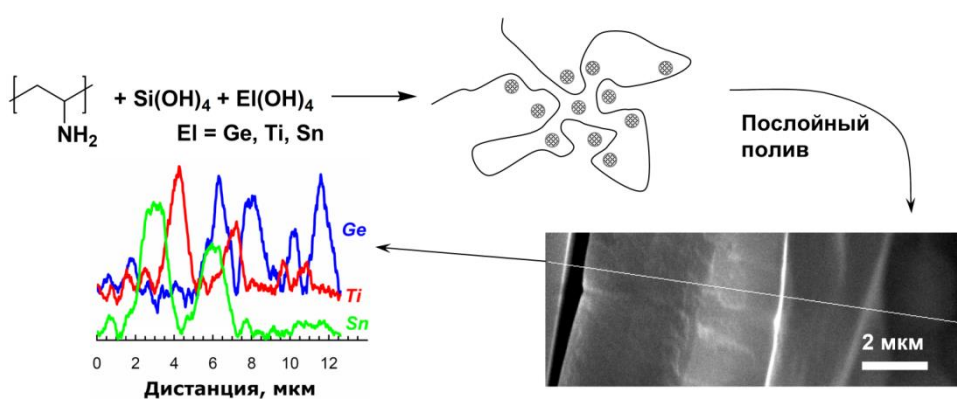


Рис. 14. Схема биоинспирированного метода получения послойно допированных органо-кремнистых материалов, заключающаяся в синтезе стабильных в растворе композитных наночастиц, содержащих до 15% допирующего элемента с последующим поливом целевых пленок. Распределение элементов по срезу пленки получено методом сканирующей электронной микроскопии в сочетании с энерго-дисперсионной спектроскопией (SEM-EDAX).

Проект № 22.65. «Разработка и апробация платформы для быстрого секвенирования отдельных молекул ДНК в реальном времени с использованием флуоресцентных аналогов субстратов в нанореакторах объемом 50 зептолитров». **Координатор:** ак. М.А. Грачев.

Осуществлен синтез новых флуоресцентно-меченных производных аденозинтрифосфата, содержащих группы 7-нитробензо-2-окса-1,3-диазола и родамина В, связанные с концевой фосфатной группой олигопропиламинными мостиками (2 или 3 атома азота). Исследована их способность выступать в качестве субстратов при матричном синтезе ДНК с использованием различных ДНК-зависимых ДНК-полимераз.

Программа Президиума РАН № 26. Биологическое разнообразие.

Проект № 26.12 «Биоразнообразие и динамика микроводорослей оз. Байкал».

Координатор: д.б.н. Е.В. Лихошвай.

В качестве решения одной из прикладных задач проведен анализ фитопланктона Иркутского водохранилища, сформированного более 50 лет назад на р. Ангара, которая вытекает из озера Байкал. Показано, что уровень развития фитопланктона в водохранилище находится в прямой зависимости от урожайности диатомовых водорослей оз. Байкал. Доминирующий комплекс видов в водохранилище стабилен, состоит из диатомовых, хлорофитовых и хризифитовых водорослей. Цианобактерии характеризуются малым числом видов и низким уровнем развития. Вода Иркутского водохранилища в ее нижней части по составу индикаторных организмов характеризуется как чистая. Общий индекс сапробности в период открытой воды соответствует 1,2. Мелкие заливы водохранилища имеют несколько повышенный индекс сапробности (1,3-1,5). Констатируется, что трофический статус водохранилища с момента его затопления существенно не изменился.

Проект № 26.13. «Исследование симбиотической и паразитической микрофлоры лососевидных рыб и закономерности ее формирования». **Координатор:** к.б.н. Е.В. Дзюба.

В ходе исследования биоразнообразия симбиотической и паразитической микрофлоры лососевидных рыб и закономерностей его формирования в онтогенезе обнаружены новые для ассоциированной микрофлоры рыб Восточной Сибири виды: *Mycoplasma* sp. (Bacteria; Tenericutes; Mollicutes; Mycoplasmataceae; *Mycoplasma*) - вероятно, симбиотический микроорганизм; обнаружен в кишечнике черного байкальского хариуса; проведен филогенетический анализ (рис. 15А); разработана диагностическая система праймеров и проведена оценка зараженности; апробированы условия культивирования и проведено окрашивание люминисцентно мечеными антителами к микоплазмам группы «hominis» (рис. 15Б); проведены ультрамикроскопические исследования (рис. 15В). *Spironucleus barkhanus* (Eukaryota; Diplomonadida; Hexamitidae; Hexamitinae; *Spironucleus*) - паразитический микроорганизм пищеварительной системы рыб; проведен филогенетический анализ (рис. 15Г); обнаружен в кишечниках разных видов лососевидных рыб; разработана

диагностическая система праймеров и проведена количественная оценка зараженности разных видов рыб в водоемах Восточной Сибири (рис. 15Д); проведены микроскопические исследования (рис. 15Е).

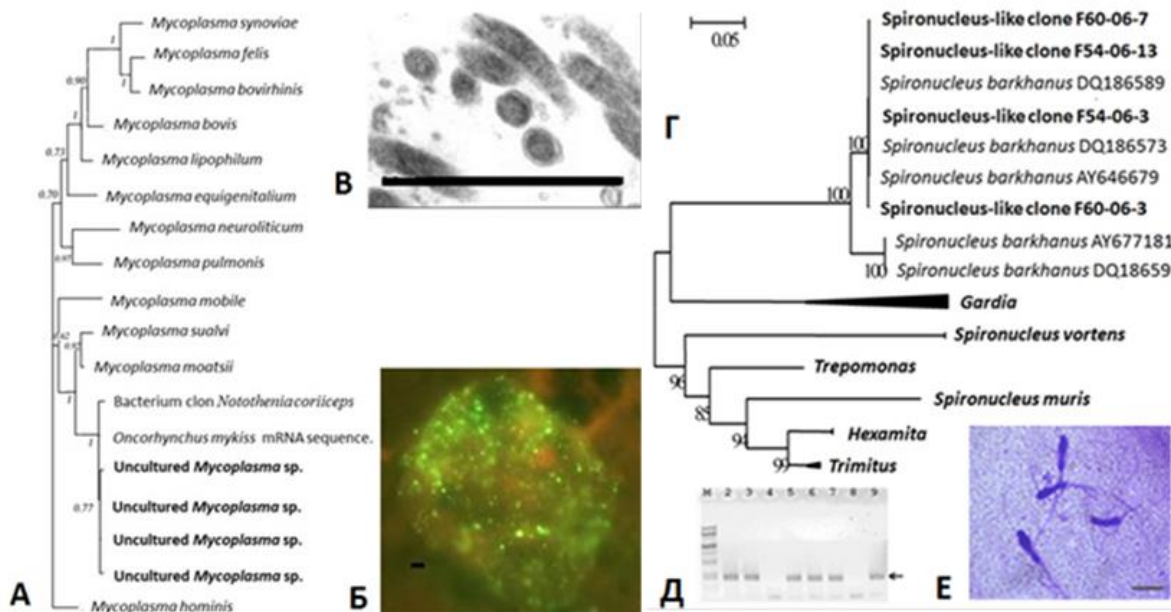


Рис. 15А. Филогенетическое древо *Mycoplasma*, построенное по фрагменту 16S РНК;

Б. Клетки *Mycoplasma* в кишечнике черного байкальского хариуса, окрашенные антителами к *M. hominis*; В. Трансмиссионная микроскопия культуры *Mycoplasma* из кишечника черного байкальского хариуса; Г. Филогенетическое древо Diplomonadida, построенное по фрагменту 16S рДНК; Д. Пример электрофореграммы результатов диагностической амплификации; Е. Световая микроскопия *Spironucleus* из желчного пузыря черного байкальского хариуса.

Программа фундаментальных исследований специализированных отделений РАН ОНЗ – 11. Эволюция криосферы в условиях меняющегося климата.

Проект № 11.9. «Комплексное высокоразрешающее исследование ледяных и снежно-фирновых кернов позднего голоцена в районе станции Восток (Антарктида). Внутриконтинентальные горно-ледниковые системы Байкальской горной области как индикаторы глобальных изменений климата последних десятилетий».

Координаторы: д.г.н. Т.В. Ходжер, к.г.н. Э.Ю. Осипов.

Впервые получены результаты пошагового (2 см) химического состава пяти поверхностных снежно-фирновых и ледяных кернов (общая длина 36 метров) в районе ст. Восток (Антарктида). На основании высоких концентраций неморского сульфата (до 1200 мкг/л), и низких значений величины рН (5.0-4.5) получена летопись вулканических извержений за последние 900 лет. В кернах выявлены отчетливые сигналы более 30 вулканических извержений, в том числе глобальных, анализируемых в мировой литературе: XX в. Агунт (1963 г.), Пинатубо (1991 г.), XIX в. – Тамбора (1815 г.), Кракатау (1883 г.), Неизвестный (1809 г.), XVII в. – Хуанапутина (1600 г.), Гамконора (1673г.), XV – Кувае (1453 г.) и вулкан Неизвестный (1259 г.) в XIII. Сканирующей электронной микроскопией и

электронно-зондовым рентгеноспектральным микроанализом в слоях со следами вулканических проявлений обнаружены микрочастицы размерами от 2 до 20 мкм, похожие на вулканическое стекло с доминированием в их составе кремния, алюминия, железа, калия.

Проанализирован химический состав снежного покрова во время санно-гусеничного похода (СГП) на трассе ст. Прогресс - ст. Восток (53 РАЭ). Сумма ионов в снеговой воде варьировала от 200 до 600 мкг/л, с наименьшими значениями в середине и максимальными в конечной точке СГП - на ст. Восток. Доля морских сульфатов вблизи побережья составила 25-40%, с уменьшением до 1% в центре материка. На глубинах 100 и 130 см в районе ст. Восток и других станциях обнаружены высокие значения сульфатов, причиной которых могут быть захороненные следы извержения вулканов ближайших 15-20 лет.

В результате комплексных исследований на ледниках Кодара, Байкальского хребта и Восточного Саяна получены новые данные о их морфологии, морфометрии, строении и климате. Обновлено каталоги ледников, установлено, что льдообразование проходит по инфильтрационному и местами по инфильтрационно-конжеляционному типу в течение 1-2 летних сезонов. Картирование ледников показало, что с конца Малого ледникового периода (МЛП), площадь ледников Кодара сократилась на 55% (0,35%/год).

Научные результаты, полученные в ходе выполнения междисциплинарных интеграционных проектов фундаментальных исследований СО РАН

Проект № 5. «Исследование таксономического состава и ультраструктуры кремнистых организмов и их значения для биостратиграфии миоценовых отложений Забайкалья и Приморья». **Координатор:** к.б.н. М.В. Усольцева.

Установлено, что диатомовая флора, как Приморья, так и Забайкалья обладает резко выраженным эндемизмом. Для отложений Забайкалья характерны виды *Aulacoseira spiralis* (Ehr.) Houk et Klee и *A. jonensis* (Grun.) Houk et Klee, виды рода *Actinocyclus*, *Alveolophora tscheremissinovaе* (Khurs.) Khursevich. Для миоценовых отложений Приморья эти виды не являются типичными или встречаются редко (*Alv. tscheremissinovaе*). Абсолютным доминантом является вид *Aulacoseira praegrnulata*. Все это дает основание полагать, что проводить корреляцию комплексов диатомей на уровне видового разнообразия пока очень сложно, поскольку в этих регионах существовали совершенно разные условия формирования облика диатомовой флоры. Необходимо тщательная таксономическая ревизия и изучение тонкого строения панцирей доминирующих видов диатомей всех известных миоценовых отложений, что, вероятно, позволит проследить эволюционную этапность развития диатомовых флор отдельных регионов и эволюцию таксономически-значимых признаков.

Полученные данные расширяют представление о видовом разнообразии диатомовых водорослей и будут использованы для уточнения объемов и границ диатомовых зон миоцена Приморья и Забайкалья.

Проект № 6. «Закономерности поведения байкальского омуля и гидроакустическая оценка динамики его популяций как ключевого промыслового вида». **Координаторы:** к.б.н. Е.В. Дзюба, д.т.н. В.С. Киричук.

Исследована динамика миграций и состав нерестового стада омуля посольской популяции. Установлено омоложение состава половозрелых особей и снижение их средних размеров в нерестовом стаде, вследствие массового созревания рыб в более раннем возрасте. Определена абсолютная и дифференциальная акустическая чувствительность байкальского омуля в сопоставлении с результатами электронно-микроскопического изучения его акустико-гравитационной системы.

Разработаны методы голографического мониторинга для исследования звукорассеивающих слоев. Предложен ряд решений, позволяющих оценить стайное поведение байкальского омуля, оптимизировать качество изображения и разделения рыбных скоплений на единичные особи, описать динамику их активности и пространственного распределения.

Проведены экспериментальные работы и установлены эмпирические зависимости силы цели байкальского омуля от его длины. С использованием полученных в ходе выполнения проекта данных о закономерностях поведения байкальского омуля проведена гидроакустическая съемка для оценки его численности и биомассы по акватории озера Байкал.

Проект № 27. «Углеводороды Байкала: условия и механизмы формирования и деградации». **Координаторы:** ак. М.А. Грачев, ак. А.Э. Конторович.

Процессы образования и деградации углеводородов в Байкале динамичны, в некоторых случаях их проявление имеет локальный характер и приводит к формированию подводных озокеритоподобных (битумных) построек, образованию метана смешанного типа, из которого формируются гидраты структуры КС-2, образованию вторичных минералов (сидерита и родохрозита). С помощью молекулярных методов и в модельных экспериментах показана способность микроорганизмов р. *Rhodococcus* использовать нефть в качестве единственного источника углерода и энергии, а также наличие в их геноме специфических ферментов алкангидроксилаз.

В отличие от морских осадков, где метанобразование наблюдается глубже зоны сульфатредукции (первые метры осадка), в осадках озера Байкал процессы образования метана и микроорганизмы, ответственные за его продуцирование отмечаются уже в первых сантиметрах осадка, поэтому в поверхностных слоях

донных отложений районов разгрузки всегда присутствует метан бактериального генезиса.

Проект № 49. «Разнообразие, биогеографические связи и история формирования биот долгоживущих озер Азии». **Координатор:** д.б.н. О.А. Тимошкин.

Закончена современная ревизия таксономического состава фауны и некоторых групп флоры озера Байкал и его водосборного бассейна. Проведен биогеографический анализ планктона и бентоса высокогорных озер и водотоков севера Иркутской, Читинской областей, Бурятии и Монголии. Выявлены десятки видов водорослей и беспозвоночных, ранее считавшихся эндемичными для озера Байкал (рис. 16). Обнаружены 2 необычных псаммофильных вида микротурбеллярий озера Байкал, которые по комплексу признаков относятся к новым для науки родам, ближайшие родственники которых населяют пляжи океанических экосистем. Сделаны описания более 50 видов и 3 родов, новых для науки, эндемичных для Байкала и Бивы. Опубликованы сведения о двух альтернативных случаях симпатрического видообразования в озере Байкал, каждый из которых является результатом вселения в озеро единственной предковой формы. Реконструирована история развития фауны пресноводных моллюсков кайнозоя Западной Сибири, осуществляемая на фоне прогрессивного глобального похолодания с периодическими флуктуациями климата, а также тектонической эволюции, сопровождаемой перестройками рельефа.

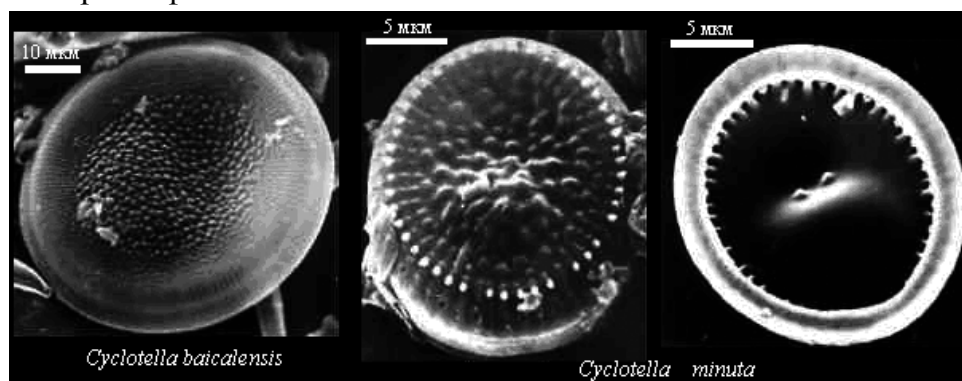


Рис. 16. На основе электронно-микроскопических исследований состава диатомовых водорослей ряда горных озер Баргузинской котловины выявлены *Cyclotella baicalensis* и *C. minuta*, ранее относимые к байкальским эндемикам.

Проект № 63. «Обнаружение закономерных связей между строением генома и биологическими свойствами штаммов вируса клещевого энцефалита посредством секвенирования и анализа полноразмерных геномов». **Координатор:** д.б.н. С.И. Беликов.

Показано, что фактором, определяющим тяжесть течения заболевания клещевым энцефалитом, являются особенности генома вируса. Это утверждение обосновано для вируса КЭ дальневосточного субтипа, и, вероятно, может быть верным для вируса КЭ

сибирского субтипа. Найдены мутации, достоверно различающие варианты вируса, приводящие к диаметрально противоположному протеканию заболевания клещевым энцефалитом, и разработан простой метод детекции мутаций для прогноза тяжести течения заболевания. Показано, что популяция вируса КЭ, циркулирующая в окрестности новосибирского Академгородка, стабильна в течение, по крайней мере, 20 лет.

Проект № 95. «Изучение ко-адаптации в системе "продуцент-консумент" на примере диатомовых водорослей и их потребителей в пресноводных экосистемах». **Координатор:** д.б.н. Е.В. Лихошвай.

Для ряда объектов, представляющих тип коловраток, тип моллюсков (класс брюхоногие) и тип членистоногих (подтип ракообразных), обитающих в пресноводных экосистемах, выявлена связь между местообитанием, пищевой стратегией и строением ротового аппарата. Показано, что специализация в строении ротового аппарата консументов на употребление в пищу толстостенных и твердо-панцирных диатомовых водорослей обеспечивается укреплением мандибул и может обеспечивать разделение видов по спектру потребляемой пищи и разным биотопам.