

ния трофности весной в годы с повышенными концентрациями диатомей байкальского комплекса и меньшая в малопродуктивные годы, в зоопланктоне наоборот. Показатели залива Мухор свидетельствуют о повышенной трофности более явно: соотношение биомасс зоо- и фитопланктона колеблется от показателей мезо- (2019 г.) до эвтрофной зон (2021 г.); индивидуальная масса обитателей зоопланктона в оба года соответствует эвтрофной зоне. Согласно классификации (Китаев, 2007), показатели для залива Мухор соответствуют в разные годы либо мезотрофному, либо эвтрофному типу водоемов, а пелагиаль пролива в низкоурожайные годы характеризуется как олиготрофная зона. В годы с обильной весенней вегетацией холодолюбивого байкальского комплекса трофность пелагиали пролива повышается.

Работа выполнена в рамках госбюджетного проекта № 121032300180-7.

Особенности развития чужеродных спирогиры в прибрежной зоне Байкала на примере бухты Большие Коты (Южный Байкал) в 2022 году

Тимошкин О.А., Мальник В.В., Томберг И.В.

В 2022 году исследования были проведены в бухте Бол. Коты: в июне и сентябре. Распределение спирогиры вдоль 5 стандартных трансект оказалось неравномерным. К сожалению, *Spirogira* “морфотип 1” уже в июне оказался в числе видов-доминантов на каменистом побережье некоторых южных участков бухты, в диапазоне глубин от 0.5 до 1.5 м. Обильные заросли этой нитчатки обнаружены локально на подводных деревянных конструкциях, причем подавляющее большинство нитей оказалось не прошлогодними, а на зрелой стадии (полное слияние 4-х хлоропластов), поколения весны 2022 г. В северных участках бухты *Spirogira* “морфотип 1” встречалась единично, также в зрелом состоянии. В бухтах, расположенных южнее (напротив пади Черная) и севернее (напротив пади Сенная), как и в прежние годы, спирогира обнаружено не было.

По результатам исследований, проведенных в сентябре 2022 г., можно сделать следующие выводы. Ситуация с состоянием фитобентоса каменистого дна прибрежной зоны (глубины до 1.5–2 м) в бухте Бол. Коты вновь оказалась нестандартной и отличалась от той, что наблюдалась нами в 2011–2016 гг. Сменился вид-доминант. Вдоль всей береговой линии бухты, от гостиницы «Маяк» на севере до стационара ЛИИ СО РАН на юге, с максимумом развития примерно на глубине 0.7–1.2 м, доминировала *Cladophora glomerata*. Ее заросли имели вид обширных пятен или даже поясов (часто – при 100% площади проективного покрытия дна). Судя по состоянию клеток и обилию ассоциированных диатомей и золотистых, водоросли находились на заключительной стадии жизненного цикла. На протяжении примерно 800 м от стационара ЛИИ СО РАН до пирса НИИ биологии ИГУ кладофора образовывала настоящий, практически непрерывный вдольбереговой пояс шириной 0.8–1.5 м. Его «следы» в той или иной степени прослеживались (по убывающей) вплоть до пляжа, расположенного севернее устья р. Черная. И наоборот, в прибрежной зоне бухт, расположенных севернее Бол. Котов (Сенная, Варначка), поясов кладофоры не обнаружено. Известно, что эта макроводоросль также является индикатором загрязнения водоемов, в условиях сильного антропогенного пресса в массе развивается во многих озерах мира (в частности – Великих Американских озерах), что приводит к значительным перестройкам в донных сообществах.

Общий вывод: в 2022 году массового развития спирогиры не обнаружено ни на одной из пяти стандартных трансект наблюдений. Тем не менее, на срединных трансектах бухты в составе фитобентоса регулярно обнаруживались нити 3–4 морфотипов спирогиры с доминированием *Spirogira* “морфотип 1”. Но доминирующими группами макроводорослей вдоль побережья всей бухты являлись зеленые драпарнальдии (на 1.5 м и глубже), либо *Cladophora glomerata* (0.7–1.2 м). Причины подобного развития и распределения макроводорослей мелководья в осенний период 2022 г. пока не установлены.

Наблюдения за фитобентосом бухты Большие Коты проводятся на регулярной основе примерно с 2010 года. Именно здесь, наряду с зал. Лиственичный (Кравцова и др., 2012), были впервые обнаружены крупномасштабные перестройки в структуре и продукционных характеристиках фитобентоса (Тимошкин и др., 2014). Это прежде всего выразилось в массовом развитии чужеродных нитчаток рода *Spirogira*. В дальнейшем выяснилось, что эти процессы являются типичными для многих участков озера (Timoshkin et al., 2016). Исследования 2013–2021 гг. позволили сделать ряд важных выводов об экологии нитчаток, а также об основных причинах этого негативного явления. Во-первых,

в озере обнаружено 15 разных морфовидов рода *Spirogyra* (Volkova et al., 2018). Подавляющее большинство этих видов образуют свободно плавающие скопления, «облака». Только один из них, так называемый *Spirogyra* «морфотип 1», может в огромных количествах развиваться на каменистых грунтах мелководной зоны, прочно прикрепляясь к камням ризоидоподобными органами. Именно этот вид спирогиры в массе развивается напротив прибрежных поселков, коренным образом меняя состав и количественные показатели сообществ, а также вытесняя эндемичные виды (Timoshkin, 2016; Timoshkin et al., 2016; 2018). Во-вторых, все районы с массовым развитием *Spirogyra* «морфотип 1», в зависимости от сезона, делятся на 2 группы: а) спирогира круглогодично находится в числе доминантов фитобентоса – например, зал. Листвяничный, участок между Заречным и Сеногдой, напротив Байкальска; все они подвержены постоянному и значительному антропогенному воздействию; б) мелководная зона напротив поселков Бол. Коты, Бол. Голоустное, Хужир и др. – антропогенное воздействие носит сезонный характер, соответственно, пик массового развития нитчатки приходится на сентябрь–октябрь, когда завершается туристическая активность. В июне–июле, в таких районах спирогира обычно отсутствовала в составе фитобентоса.

Во-третьих, в подавляющем большинстве случаев, массовое развитие *Spirogyra* «морфотип 1» во всех трех котловинах озера наблюдается в августе–октябре (по завершению туристического сезона), в основном – напротив поселков и центров рекреации. Особенно ярко это показано для участка западного борта южной котловины, а также – острова Ольхон: ареал распространения спирогиры и их массовое развитие за весь период наблюдений носят весьма неравномерный, дискретный характер; спирогира не обнаружено в «диких» местах (например, на восточном побережье Ольхона, Ушканьих островах); в относительно маловодные годы их «цветение» имеет сходные таксономический состав и продукционные характеристики.

В-четвертых, нами не обнаружено корреляции между многолетней динамикой температуры поверхностных вод озера и ряда других абиотических факторов с экологией спирогиры. Соответственно, в настоящее время нет никаких научно обоснованных данных о связи их появления в Байкале и «цветением» с активностью сипов, колебанием уровня воды, выходом метана и др. Напротив, все полученные данные свидетельствуют о том, что важнейшей причиной внедрения в экосистему мелководья и массового развития спирогиры является антропогенный фактор: поступление с грунтовыми водами или водами притоков неочищенных стоков в прибрежную зону озера. Наиболее важная научная аргументация приведена в статье Timoshkin et al., 2018. В качестве дополнительных аргументов приведены сведения по гидрохимическому составу и санитарно-показательным микроорганизмам поровых вод (особенно – районов выхода загрязненных бытовыми стоками подземных вод в мелководную зону озера), которые также подтверждают сделанный выше вывод.

В-пятых, за последние 5 лет выявлена тенденция к увеличению районов с круглогодичной вегетацией чужеродной водоросли. Ситуация в бухте Бол. Коты является единственным положительным примером, когда состояние донных фитосообществ на короткое время изменялось в лучшую сторону. На протяжении 2011–2016 гг. каменистое дно прибрежной зоны бухты в пределах поселка (от стационара ЛИН СО РАН на юге до гостиницы «Маяк» на севере) к сентябрю было практически сплошь (до 100% площади проективного покрытия дна) покрыто зарослями спирогиры «морфотип 1». В сентябре 2017 г. эта картина, сохранявшаяся на протяжении 6 последних лет, начала меняться. Напротив студенческой столовой ИГУ, где развитие спирогиры всегда было наиболее массовым, водоросль практически исчезла! Состав фитосообществ этого участка почти вернулся к первоначальному, байкальскому. Но на «окраинах» бухты Бол. Коты, цветение водоросли осенью по-прежнему оставалось обильным.

В 2018 г. ситуация со спирогирой в бухте кардинально изменилась в лучшую сторону. Все попытки обнаружить массовые заросли спирогиры в бухте Бол. Коты не увенчались успехом! На всех 5-ти стандартных минитрансектах, расположенных вдоль береговой зоны бухты, вплоть до сентября месяца, камни были лишены обильных зеленых обрастаний, а таксономический состав фитобентоса были такими же, как до начала экокризиса, т.е. – типично байкальскими. То есть спирогира полностью исчезла в масштабах всей бухты. Какие же гипотезы могут быть выдвинуты для объяснения причин столь важного события?

В 2015–2016 гг. сотрудниками ЛИН СО РАН были проведены следующие мероприя-

тия: 1) чтение лекций об экологической ситуации в прибрежной зоне озера Байкал (с акцентом на бухту Бол. Коты); 2) публикация и распространение буклета “НЕТ ФОСФАТНЫМ ПОРОШКАМ НА БАЙКАЛЕ”, где в сжатой форме, на популярном уровне была охарактеризована ситуация с изменением фитобентоса и приведен ряд рекомендаций. Лекции были прочитаны студентам всех иркутских ВУЗов, проходящим летнюю практику в Бол. Котах, а также в нескольких библиотеках и других публичных площадках г. Иркутска. Буклет на протяжении двух-трех летних сезонов распространялся среди жителей пос. Большие Коты, хозяев местных гостиниц, туристов, студентов-практикантов. По сообщению декана биолого-почвенного факультета, д.б.н., проф. Матвеева А.Н., для нужд студентов, проходящих практику на биостанции пос. Бол. Коты, с 2015 г. закупались исключительно бесфосфатные стиральные порошки и хозяйственное мыло (подтверждающие документы имеются). По устному сообщению к.б.н. Д. С. Бедулиной (НИИ биологии при ИГУ), на территории биостанции, принадлежащей Институту, примерно с 2015 г. применялись исключительно бесфосфатные стиральные порошки и моющие средства, в качестве спонсорской помощи предоставляемые фирмой SPLAT. Подобные же моющие средства с 2016 г. стали приобретаться для ученых, работающих на стационаре ЛИИ СО РАН.

Каковы же причины, которые могли привести к практически полному исчезновению этой чужеродной для Байкала водоросли в бухте Бол. Коты? По результатам исследований 2011–2021 гг. достоверно можно утверждать, что ни глобальное потепление климата, ни какие-либо другие абиотические факторы не могут являться важной причиной позитивных изменений (исчезновения спирогиры) в бухте. Если бы перечисленные абиотические факторы действительно оказывали решающее влияние на сообщества водорослей, то они воздействовали бы одинаково на всем протяжении прибрежной зоны между пос. Листвянкой и Бол. Голоустным: ведь расстояние между ними всего лишь 44 км. Известно, что эти прибрежные поселки расположены всего лишь в 15–20 км к югу и северу от Бол. Котов. Но в том-то и секрет, что в 2017–2018 гг. ситуация со спирогирой кардинально изменилась только в бухте Бол. Коты. В сентябре 2018 г., как и во все предыдущие годы, массовое развитие спирогиры «морфотипа 1» в прежнем масштабе было характерно как для окрестностей Листвянки, так и пос. Бол. Голоустное.

К сожалению, осенью 2019 года спирогира «морфотип 1» вернулась в зал. Бол. Коты вновь. Отметим особо, что спонсорство СПЛАТа также закончилось.

Единственный научно обоснованный вывод, который можно сделать из всей вышеперечисленной информации, звучит следующим образом: как это было показано ранее, Spirogyra “морфотип 1” является чувствительным индикатором загрязнения прибрежной зоны бытовыми сточными водами (Timoshkin, 2018; Timoshkin et al., 2018). Данные 7-летних натурных наблюдений в бухте Бол. Коты свидетельствуют о взаимосвязи между массовым развитием водоросли и применением фосфат-содержащих стиральных порошков и моющих средств. Результаты еще одной статьи нашего коллектива (Ozersky et al., 2018), также опубликованной в одном из ведущих мировых журналов лимнологического профиля, свидетельствуют о том, что мелководные водорослевые сообщества прибрежной зоны оз. Байкал одновременно лимитируются и фосфором, и азотом. Следовательно, природоохранным ведомствам и Минприроды РФ необходимо срочно разработать мероприятия по ограничению и полному запрету на применение подобных моющих средств, по крайней мере, в центральной экологической зоне озера. Об этом же свидетельствует весь мировой опыт лимнологических исследований в других водоемах. Положительный опыт по экологическому просвещению населения прибрежных поселков и их посетителей посредством лекций, выпуска трактатов и др. следует как можно скорее распространить и на другие районы Байкальской природной территории.

Работа выполнена в рамках госбюджетного проекта № 121032300180-7.

Краткие сведения о многолетней динамике массовой болезни и гибели ветвистых губок *Lubomirskia baikalensis* Pall. в озере Байкал
Тимошкин О.А., Гула М.И., Побережная А.Е.

На протяжении последних 12 лет лимнологи диагностируют многочисленные негативные экологические процессы («экологический кризис»), происходящие в прибрежной зоне уникального озера. К настоящему времени выявлено, как минимум, 11 таких процессов (Тимошкин, 2020). Одним из наиболее известных является массовое заболевание и гибель эндемичных губок семейства *Lubomirskiidae*. Являясь наиболее обильной группой