НАУКА ИЗ ПЕРВЫХ РУК № 5 (59) 2014

О.А. ТИМОШКИН, В.В. МАЛЬНИК, М.В. САКИРКО, К. БОЕДЕКЕР

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС на БАЙКАЛЕ: ученые ставят диагноз

Огромные зловонные груды гниющих водорослей, тянущиеся на десятки и сотни метров на месте бывших пляжей; берег, усыпанный тысячами раковин погибших брюхоногих моллюсков; дно, плотно покрытое зелеными водорослевыми космами; изъязвленные и покрытые красными пятнами тела губок; наконец, вода, которую нельзя не только пить, но в которой нельзя даже купаться… Еще несколько лет назад невозможно было даже представить, что такие строчки когда-нибудь напишут о Байкале – самом глубоком и чистом пресноводном озере планеты, «доме» для редчайших и нигде больше в мире не встречающихся животных и растений.
Как показывают исследования ученых-лимнологов, причина этого экологического бедствия заключается вовсе не в глобальном потеплении или иных явлениях планетарного масштаба, но в прозаическом загрязнении сточными водами с избыточным содержанием биогенных элементов, азота и фосфора. Пока эти явления приурочены к зоне побережья озера и не затрагивают его глубинную часть, не отражаясь на гидрохимических показателях байкальской воды, но процесс не останавливается: неочищенные и плохо очищенные стоки и фекальные воды медленно, но неуклонно продолжают поступать в «священный Байкал» …
Повторит ли Байкал трагическую судьбу еще одного феномена природы – Большого барьерного рифа, коралловое покрытие которого в результате многолетнего скрытого загрязнения за последнее столетие сократилось более чем на две трети? Обратимы ли эти негативные экологические явления, и что надо делать, чтобы не только мы, но и наши потомки узнали вкус чистейшей байкальской воды?

Ключевые слова: Байкал, эвтрофикация, массовое цветение спирогиры, прибрежная зона, кладбища брюхоногих моллюсков, болезнь губок-любомирскиид.
Key words: Baikal, eutrophication, Spirogyra mass blooming, coastal zone, Gastropoda cemetery, Lubomirskiidae sponge diseases

В некоторых местах Северного Байкала корка перегнившей спирогиры шириной до десяти метров покрывает некогда уютные пляжи. *Октябрь 2013 г. Фото В. Короткоручко*

© О.А. Тимошкин, В.В. Мальник, М.В. Сакирко, К. Боедекер, 2014

ТИМОШКИН Олег Анатольевич – доктор биологических наук, заведующий лабораторией биологии водных беспозвоночных Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор более 250 научных публикаций, в том числе 5 коллективных монографий. Научный руководитель экспедиций, организованных в 2013—2014 гг. для обследования побережья оз. Байкал

МАЛЬНИК Валерий Васильевич – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор более 8 научных публикаций

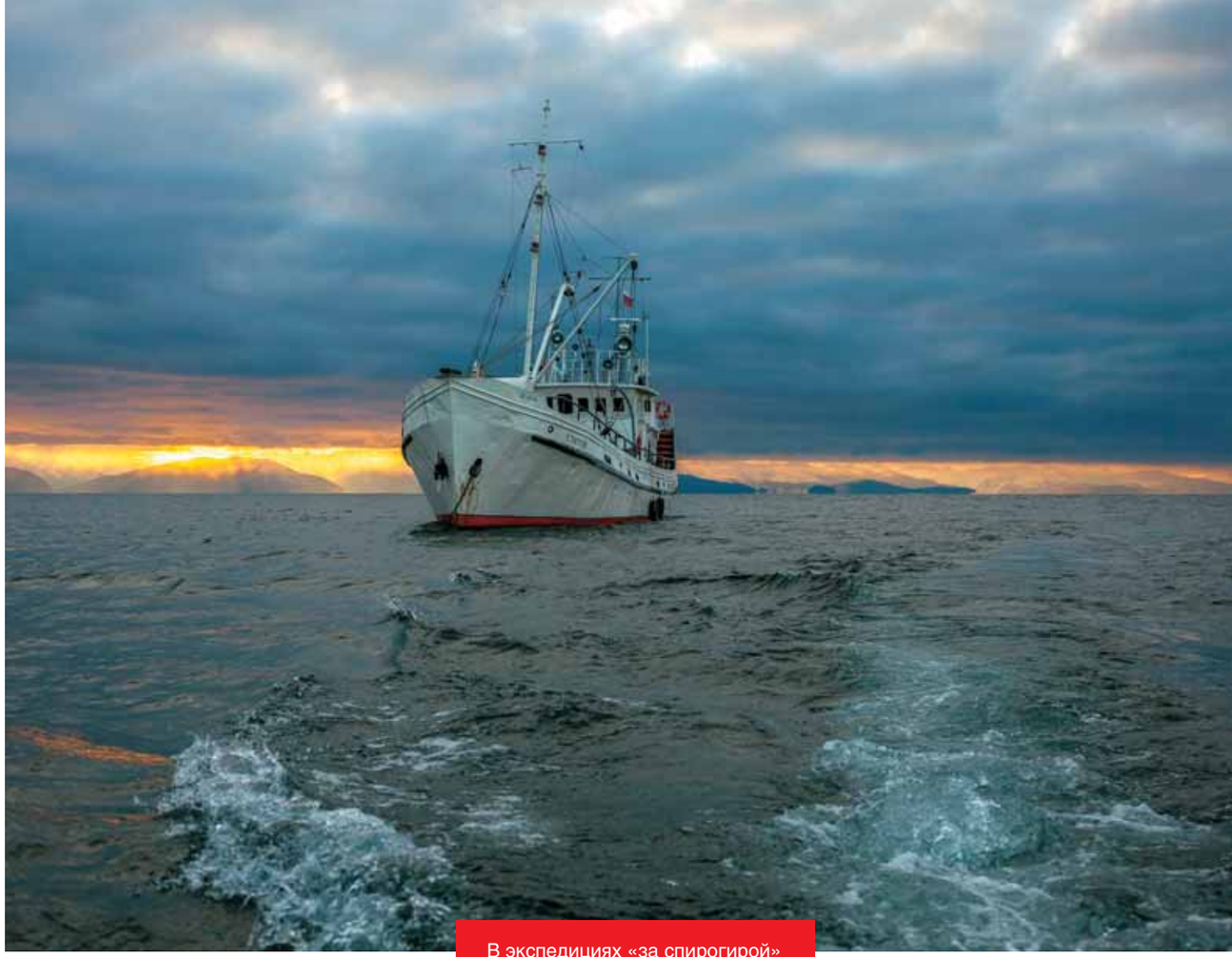
САКИРКО Мария Владимировна – кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории гидрохимии и химии атмосферы Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор 23 научных публикаций

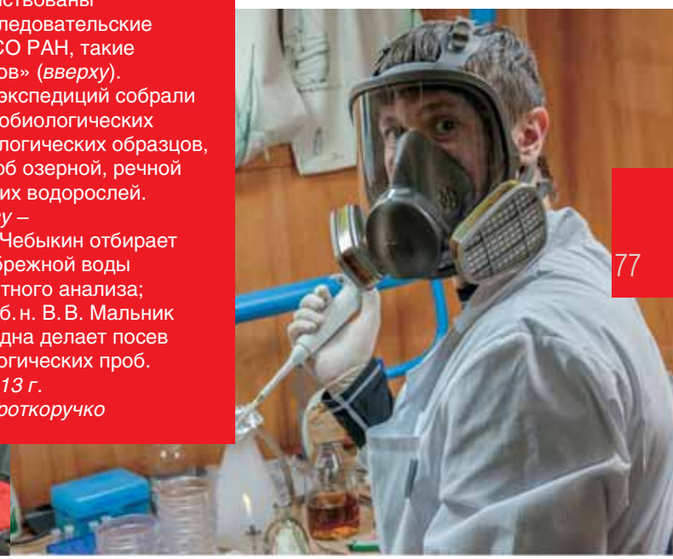
БОЕДЕКЕР Кристиан – доктор философии (биология), сотрудник Университета королевы Виктории в Веллингтоне (Новая Зеландия). Автор и соавтор более 30 научных публикаций, в том числе монографии по мировой флоре кладофоровых водорослей. Профессиональный водолаз

События последних десятилетий показывают, что человек, к сожалению, не является рачительным хозяином своей планеты: антропогенное загрязнение возрастает, и экологические катастрофы перестают быть редкостью. Все это в полной мере относится к озерам. Многие великие озера мира в прошлом столетии были сильно загрязнены, в том числе тяжелыми металлами либо биогенными элементами, вызывающими печально известное «цветение» воды (бурное развитие водорослей и цианобактерий).

К числу таких «хрестоматийных» примеров относятся Женевское, Ладожское, оз. Бива, Великие американские озера и многие другие. А совсем недавно экологическую катастрофу претерпело оз. Котокельское в Бурятии, где зарегистрированы случаи гаффской (сартланской) болезни с человеческими жертвами (Озеро Котокельское.., 2013). И такая пагубная тенденция характерна для многих стран мира: озеро загрязняют до тех пор, пока употребление воды или рыбы из него не становится опасным для здоровья человека.

До недавнего времени одним из самых чистых озер планеты считался Байкал, признанный ЮНЕСКО объектом Всемирного наследия. И основания для этого были достаточно веские: государство тратит на охрану Байкала около миллиарда рублей ежегодно! Однако насколько эффективно с помощью государственной системы мониторинга экосистемы Байкала можно диагностировать «заболевания» уникального водоема?





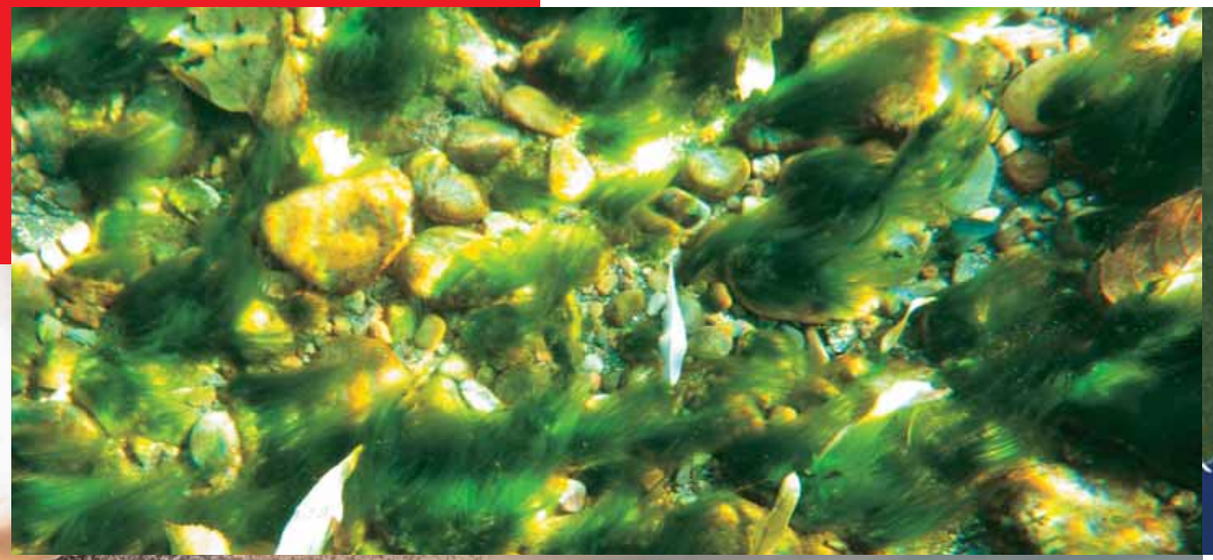
В экспедициях «за спирогирой» были задействованы научно-исследовательские суда ЛИН СО РАН, такие как «Г. Титов» (*вверху*). Участники экспедиций собрали сотни микробиологических и гидробиологических образцов, а также проб озерной, речной воды и самих водорослей. *Слева внизу* – к. х. н. Е. П. Чебыкин отбирает пробы прибрежной воды для элементного анализа; *справа* – к. б. н. В. В. Мальник на борту судна делает посев микробиологических проб. *Октябрь 2013 г. Фото В. Короткоручко*

Д. б. н. О. А. Тимошкин исследует пробы спирогиры на борту НИС «Г. Титов». *Фото В. Короткоручко*

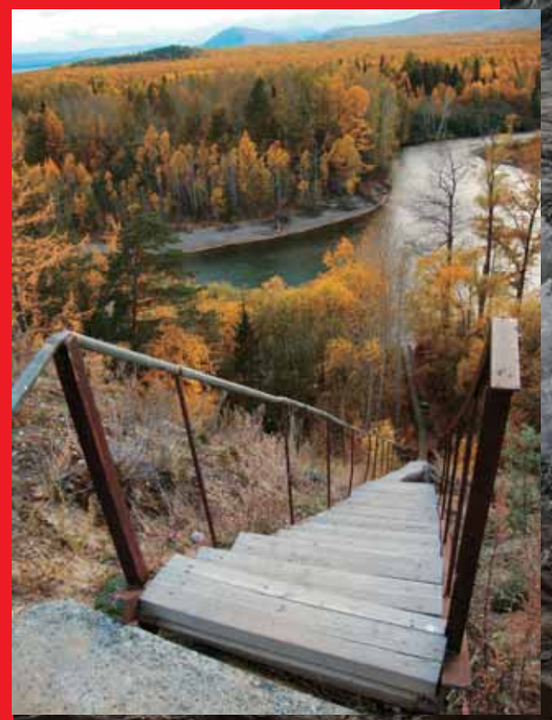
Важным классификационным признаком при определении вида спирогиры служат особенности формирования конъюгационных «мостиков» при половом размножении водоросли, когда происходит объединение содержимого клеток двух (реже трех) нитей водоросли *(слева)*. При этом для многих видов спирогиры конъюгация – редкое явление. *Фото О. Тимошкина*

Гниющие массы спирогиры, выброшенной на берег Байкала у пос. Заречный. Октябрь 2013 г. *Фото В. Короткоручко*

Спирогира (*Spirogyra*) – род зеленых нитчатых водорослей, распространенный в пресных стоячих и медленно текущих водах (не путать с сине-зелеными водорослями, относящимися к прокариотическим организмам, которые точнее называть цианобактериями!). Род спирогира насчитывает 275—400 видов. Массовое цветение этих водорослей часто наблюдается в водоемах, подверженных эвтрофикации, т. е. перенасыщению биогенными элементами, однако в Байкале их наличие ранее отмечалось только в отдельных бухтах, заливах, притом очень редко. Большую часть жизни спирогира проводит в вегетативном состоянии, в виде просто устроенных нитей со спиральными хлоропластами. В результате конъюгации (полового размножения) образуются зигоспоры – округлые или овальные тела, покрытые защитной оболочкой. Основой для видового определения водорослей являются микроструктура слоев оболочки, форма и размеры зигоспор, и лишь потом – размеры, число хлоропластов и строение соединительных участков вегетативных клеток. Точное установление видов спирогиры, оказавшихся способными к бурному размножению в холодных водах Байкала, и их экологических предпочтений позволит глубже понять причины этого феномена



Визуальное обследование побережья северной котловины озера в сентябре–октябре 2013 г. показало, что гигантские скопления отмирающих водорослей приурочены к устью р. Тыя, а также к десятикилометровой прибрежной зоне, простирающейся в западном направлении от устья. Участок побережья от г. Нижнеангарск до г. Северобайкальск оказался свободным от каких-либо береговых скоплений водорослей-спирогир.
Схема выполнена О. Тимошкиным и Е. Зайцевой



Эта знаменитая лестница со множеством ступеней ведет прямо к сточной трубе городских очистных сооружений г. Северобайкальск, расположенной рядом с местом слияния русел горной р. Тыи, впадающей в Байкал. Правое, чистое русло, разительно отличается от левого, куда осуществляется сброс. На мелководье озера в месте впадения Тыи дно почти полностью покрыто ярко-зелеными зарослями спирогиры (*вверху*). *Сентябрь 2014 г.*
Фото О. Тимошкина

Судя по данным последних исследований Лимнологического института СО РАН (Иркутск), ответ на эти вопросы будет скорее отрицательным. Современная система мониторинга Байкала предусматривает отслеживание лишь ограниченного ряда гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров озерной воды, т. е. ориентирована почти исключительно на водное тело озера и не способна оперативно диагностировать чрезвычайные экологические ситуации, складывающиеся на дне Байкала и, особенно, в его прибрежной зоне. А ведь именно там сосредоточена половина видового разнообразия уникальных животных и растений, нигде в мире больше не встречающихся (Аннотированный список..., 2011).

И действительно, чтобы уловить хотя бы небольшое изменение гидрохимических показателей воды во всем гигантском водном объеме Байкала, в него нужно единовременно сбросить огромное количество загрязняющих веществ – ситуация чисто гипотетическая (Грачев, 2012). Но что произойдет, если загрязнения будут поступать исподволь и постепенно, в первую очередь влияя на наиболее заселенную и чувствительную к загрязнению прибрежную зону?

Экспедиции «за спирогирой»

Сотрудники лаборатории биологии водных беспозвоночных ЛИН СО РАН с 2007 г. проводят комплексное междисциплинарное исследование прибрежной зоны озера, с акцентом на зону заплеска (удивительно, но до начала этих работ такая зона на Байкале и других озерах Азии практически не исследовалась). Ученые доказали, что именно эти зоны наиболее быстро реагируют на антропогенное загрязнение (Timoshkin *et al.*, 2012).

Так, еще в 2010 г. лимнологи нашли массовое цветение несвойственной для Байкала нитчатой макроводоросли рода *Spirogyra* в бухте Большие Коты на Южном Байкале (Тимошкин и др., 2014). Годом позже было обнаружено загрязнение биогенными элементами и чрезмерное развитие чуждых для открытого Байкала водорослей (включая спирогиру) в заливе Листвичном (Кравцова и др., 2012). Сообщения о необычном, массовом развитии водорослей в разных участках озера несколько раз появлялись и в периодической печати, и электронных СМИ.

В сентябре 2013 г. в дирекцию ЛИН СО РАН поступило официальное письмо из Департамента Росприроднадзора по Сибирскому федеральному округу (Новосибирск), в котором сообщалось об «...обнаружении обширного загрязнения акватории оз. Байкал и прибрежья в районе г. Северобайкальск». Незамедлительно, в сентябре–октябре того же года на Северный

Байкал были организованы три экспедиции на научно-исследовательских судах института.

Картина, которую увидели исследователи при высадке на байкальский берег, превзошла самые худшие ожидания. Набегающие на берег волны выбрасывали вязкую черно-зеленую органическую массу, образующую на побережье дурно пахнущие валы, тянущиеся на сотни метров. Микроскопический анализ береговых скоплений показал, что они состоят, в основном, из нитей той самой спирогиры, которая ранее была обнаружена на Южном Байкале.

По сообщению местных жителей, это явление началось примерно в 2010 г. Естественно, оно сказалось на привлекательности местных турбаз, детских лагерей и гостиниц: кто захочет купаться в воде, представляющей собой темный водорослевый «бульон»? Тем более, что эту воду отказывались пить даже коровы и лошади. Населению же пришлось использовать для бытовых целей воду из окружающих прибрежных озерков или бурить скважины для добычи артезианской воды. И все это происходило на берегах крупнейшего в мире хранилища пресной воды!

Визуальное обследование побережья северной котловины озера показало, что гигантские скопления отмирающих водорослей приурочены к устью р. Тыя, а также к десятикилометровой прибрежной зоне, простирающейся в западном направлении от устья. Общая же масса выброшенных на берег гниющих водорослей на этом участке составила не менее 1,4 тыс. т. Расположение скоплений хорошо совпадало с направлением течений, преобладающих в данном районе озера.

Виновник – сточные воды

Все полученные факты свидетельствовали, что чрезмерное развитие водорослей на северной оконечности озера и в приустьевом участке реки каким-то образом связано с деятельностью очистных сооружений Северобайкальска. В октябре 2013 г. группа ученых ЛИН СО РАН совместно с представителями Росприроднадзора и Байкальской транспортной прокуратуры провели официальную проверку деятельности городских очистных сооружений: были взяты пробы очищенных и неочищенных сточных вод самого города, а также вагонного и локомотивного депо (при этом выяснилось, что городские бытовые и промышленные сточные воды попадают на одну и ту же станцию по очистке!). Чтобы разобраться в проблеме, были также взяты анализы артезианской воды, которой из скважин снабжается город, а также образцы моющих средств, употребляющихся при мытье вагонов.

Документы, полученные с помощью транспортной прокуратуры, а также опросы работников очистных сооружений свидетельствовали, что примерно с 2009 г. вагонное депо вместо обычных моющих средств начало применять новые синтетические средства, содержащие сильные бактерицидные препараты.

На протяжении последующих трех месяцев в институте кипела напряженная работа: было задействовано несколько десятков сотрудников из лабораторий биологии водных беспозвоночных, биогеохимии, гидрохимии и группы химии кремнистых наноструктур, а также весь спектр аналитического оборудования института.

Анализ образцов, проведенных под руководством к. х. н. В. И. Смирнова в Иркутском институте химии имени А. Е. Фаворского СО РАН, выявил более высокое содержание фосфора в образцах спирогиры из района сброса сточных вод р. Тыя по сравнению с пробами, взятыми в условно чистом участке Байкала. Известно, что водоросли способны накапливать неорганический фосфор в среде, обогащенной этим элементом. И действительно, гидрохимический анализ показал практически одинаково высокое содержание основных биогенных элементов (прежде всего – минерального фосфора и азота) в неочищенных сточных водах и стоках, пос-

Рядом с действующими очистными сооружениями г. Северобайкальск расположены руины старых, полуразрушенных, с ямами, заполненными зловонной жидкостью. По сообщениям местных жителей, на протяжении многих лет сюда почти ежедневно подъезжали ассенизационные машины и сливали сточные воды города – естественно, бесплатно. Это открытие стало ключом к пониманию странного явления – обильного цветения нитчатых водорослей, включая спирогиру, в левом рукаве р. Тыя примерно в 700 м выше расположения ныне действующей сточной трубы.
Май 2014 г.
Фото О. Тимошкина

Как показал гидрохимический анализ, проведенный к. г. н. М. В. Сакирко, по содержанию биогенных элементов и ряду других загрязняющих веществ очищенные сточные воды г. Северобайкальск практически не отличались от неочищенных.
Фото В. Короткоручко

Эти колонии термотолерантных колиформных бактерий в чашке Петри – результат микробиологического анализа образца поровых вод, взятых из лунки пляжа рядом с гниющими водорослями, напротив пос. Заречный (г. Северобайкальск). Число колоний достигает рекордных значений в 1950 колониеобразующих единиц на 100 мл, что свидетельствует о значительном фекальном загрязнении.
Сентябрь 2013 г.
Фото В. Мальника

тупающих из очистных сооружений. Оказалось, что эти вещества, вызывающие бурный рост водорослей, «транзитом» проходили очистные сооружения, и часть их по речному руслу попадала в Байкал. Помимо этого было выявлено многократное превышение нормы и по другим показателям «качества» сточных вод.

Как такое могло произойти и почему очистные сооружения Северобайкальска не справились с очисткой сточных вод? Нужно сказать, что сами эти сооружения были построены еще в начале 1980-х гг. Их ведомственная принадлежность менялась, но на протяжении последних нескольких лет – вплоть до лета 2014 г., они находились в подчинении у РЖД. Для своего времени эти очистные сооружения были весьма эффективными, однако в последние годы сами сотрудники неоднократно били тревогу по поводу резкого ухудшения качества очистки стоков, хотя эти сигналы так и оставались без ответа. Причину этого они видели в частых аварийных сбросах промышленных стоков из вагонного депо.

Дело в том, что при мойке железнодорожных вагонов стали использоваться синтетические моющие средства, в состав которых входили мощные антимикробные вещества. Эти антисептики угнетали или даже практически полностью подавляли деятельность так называемого *активного ила* – сообщества разнообразных бактерий и простейших организмов, служащего обязательным «живым» компонентом устройств биологической очистки (это предположение впоследствии было подтверждено экспериментами, проведенными в ЛИН СО РАН к. б. н. В. В. Мальником). Для восстановления же эффективности работы активного ила очистных сооружений, как и для любой биологической системы, требуется немалое время, – он просто не успевал восстановиться в перерывах между выбросами.

Есть ли выход?

В результате судебного разбирательства в мае–июне 2014 г. у вагонного депо города появилась замкнутая система очистки воды, которую используют для помывки вагонов. Очистные сооружения Северобайкальска недавно были переданы в ведение города, однако ситуация с гидрохимическими показателями сточных вод, в том числе с высокими концентрациями азота и фосфора, не изменилась.

Самый насущный на сегодня вопрос – что же делать дальше? Конечно, лучше всего было бы вообще не мыть вагоны в непосредственной близости от легендарного озера, однако депо было построено, когда о таких вещах еще и не задумывались. Кроме того, оно снабжает постоянной работой немалое число местных жителей.

Из всей этой истории следуют вполне очевидные выводы: во-первых, нельзя самовольно направлять промышленные стоки на станцию, предназначенную для очистки бытовых сточных вод, и нельзя использовать при мытье вагонов средства, в состав которых входят столь токсичные вещества. Как явствует из гигиенических сертификатов, токсичность этих моющих средств в отношении эндемичных беспозвоночных и рыб, а также активного ила даже не была испытана.

Мы и сейчас не можем оценить те экологические последствия, которые оказывают на жизнь уникальных байкальских животных и растений вещества из состава жестких моющих средств, уже «выброшенные» в экосистему Северного Байкала. Одним из наиболее показательных примеров в этом отношении является нарушение поведения и репродуктивных циклов (вплоть до смены пола!) у рыб, наблюдаемые в некоторых европейских озерах. Причина этого явления – синтетические гормоны, содержащиеся ... в противозачаточных таблетках (!), которые в небольших концентрациях в составе бытовых стоков попадают в водоемы.

Во-вторых, для выяснения причинно-следственных отношений в любой экологической ситуации необходимо привлекать специалистов и профильные институты РАН. К слову сказать, по устному сообщению местных жителей еще в 2012 г. в Северобайкальск приезжала государственная комиссия, по итогам работы которой наблюдаемый феномен аномального размножения водорослей был отнесен к «природным явлениям». Наконец, любые новые химические средства, масштабно применяемые различными предприятиями, расположенными в центральной экологической зоне озера, а также любые новостройки должны в обязательном порядке проходить квалифицированную экологическую экспертизу.

Что касается «аварийной» ситуации с Северобайкальском, то на ее исправление может понадобиться не один год. Скорейшей ее стабилизации должны способствовать такие срочные меры, как прекращение использования СМС с токсическим эффектом, реорганизация работы городских очистных сооружений и проведение мероприятий по восстановлению активного ила и модернизация очистных сооружений.

Но в первую очередь следовало предотвратить попадание токсичных сточных вод в озеро, для чего требовалось немедленно прекратить сброс токсичных промышленных сточных вод в городскую канализацию. Решение этой проблемы нашлось: промышленные стоки можно вывозить за пределы центральной экологической зоны в такие населенные пункты, как Усть-Кут или даже Иркутск, где имеются специально оборудованные очистные сооружения. Дело это вполне реальное: согласно последней официальной информации от ответственных работников вагонного депо Северобайкальска, они уже заключили соответствующий договор с одной из иркутских фирм и конденсат промышленных стоков регулярно вывозится на станцию, приспособленную для очистки таких отходов.

Кладбище тысяч брюхоногих моллюсков в бухте Сеногда на Северном Байкале. *Май 2014 г. Фото В. Короткоручко*

История повторяется?

Последняя, пятая «экспедиция за спирогирой» ЛИН СО РАН состоялась в сентябре 2014 г. на двух научно-исследовательских кораблях. В ее состав входили 42 человека: профессиональные гидробиологи, гидрохимики, микробиологи и аквалангисты, в том числе специалисты по водорослям из Новой Зеландии и Нидерландов. Экспедиции удалось исследовать Байкал практически по всему периметру. Совершив

На пораженных участках тела этой ветвистой губки обнаружены цианобактерии рода *Phormidium*, хорошо видимые под микроскопом (внизу), а также масса мелких нематод, ракообразных и инфузорий-сувоек. *Южный Байкал, 2014. Подводное фото С. Инкена, световая микроскопия О. Тимошкина*

Эндемичные байкальские губки сем. Lubomirskiidae – это необычные многоклеточные животные, своим зеленым цветом обязанные микроводорослям, обитающим в их клетках. «Заросли» любомирскиид не только придают неповторимый вид подводным пейзажам Байкала, но и во многом обеспечивают чистоту его воды

37 погружений, водолазы обследовали многие участки дна; были собраны более тысячи проб грунта, воды, водных растений и животных, сняты десятки видеоклипов и тысячи фотографий... Весь этот огромный материал еще предстоит тщательно проанализировать, но первые выводы можно сделать уже сейчас.

Ситуация в районе Северобайкальска и устья Тыи нисколько не улучшилась: огромные скопления водорослей продолжают гнить на значительных участках побережья северной оконечности озера. Хуже того: выяснилось, что спирогира быстрыми темпами продолжает осваивать Байкал, и ее ареал быстро расширяется. Плотным ковром покрывая прибрежные скалы и камни, спирогира с успехом вытесняет местные уникальные виды водорослей.

Значительная масса спирогиры была впервые обнаружена на экологическом полигоне «Березовый» ЛИН СО РАН близ пос. Листвянка, где регулярно проводятся междисциплинарные исследования экологии мелководной зоны. Массовое развитие водоросли происходит практически вдоль всего восточного побережья озера и почти половины – западного. Очень похожая ситуация – массовый выброс и гниение водных растений, включая спирогиру, хотя и в меньших масштабах, – зарегистрирована в нескольких бухтах Баргузинского залива, Малого моря, а также на крайней южной оконечности Байкала (побережье пос. Култук).

Новозеландский альголог и аквалангист К. Боедекер, приехавший на Байкал вторично для изучения коренных байкальских видов водорослей-кладофор, с удивлением и печалью констатировал, что по сравнению с 2011 г. дно озера во многих местах выглядит совсем по-другому. Часто ему с трудом удавалось обнаружить эндемичные водоросли, дерновинки которых приходилось буквально «откапывать» из-под плотного ковра спирогиры. И, как правило, это оказывались ослабленные либо больные растения. На некоторых же участках прибрежья спирогира доминировала безраздельно.

Но ученые обнаружили и еще более тревожные экологические явления: настоящие кладбища брюхоногих моллюсков, приуроченные к местам массовой вегетации спирогиры и району сброса сточных вод Северобайкальска, а также массовое заболевание и гибель эндемичных байкальских губок (степень поражения

К поверхности этих мертвых коричневых «ветвей» губки *L. baikalensis* прикрепилось множество крохотных беспозвоночных животных – гидр *(слева)*. По-видимому, разлагающиеся тела губок привлекают представителей зоопланктона, служащих основной пищей гидр. Гибель губок влечет за собой и массовую гибель их симбионтов – рачков-бокоплавов *(справа)*. *Южный Байкал, 2014 г. Фото С. Инкена и О. Тимошкина*

ветвистых губок в зависимости от района погружения составляла 30–100 %!).

Во всех трех котловинах озера найдены экземпляры губок, мягкие части тела которых были полуразрушены либо покрыты черно-малиновыми пятнами. Микроскопический анализ этих пятен показал, что они представляют собой сгустки нитевидных организмов, относящихся к цианобактериям (сине-зеленым «водорослям») рода *Phormidium*. Известно, что формидиумы могут в массе развиваться на ослабленных особях кораллов, поражая коралловые рифы, при этом многие донные виды этого рода продуцируют токсины (NOAA Coral Reef Conservation Program). Поэтому эти бактерии вряд ли являются первопричиной массовой гибели губок: более вероятно, что они заселяют уже «заболевшие» по неизвестной пока причине особи. Являются ли байкальские формидиумы токсин-продуцирующими, должно выясниться уже в ближайшее время.

Ситуация с Байкалом наводит на мысль о судьбе Большого барьерного рифа – уникальной экосистемы, также включенной в перечень объектов Всемирного наследия (Australia's World Heritage, 1996). За последние сто лет твердое коралловое покрытие рифа сократилось более чем на 70 % (Bell *et al.*, 2014)! Причиной тому стали массовые скелетные заболевания кораллов, интенсивное размножение их вредителей и водорослей, угнетающих их жизнедеятельность. К таким событиям привела хроническая скрытая эвтрофикация экосистемы в результате сброса сточных вод. На примере других экосистем кораллов ученые выяснили, что для подобного изменения экосистем и развития макроводорослей нужны не тысячи вагонов с загрязняющими веществами, а всего лишь небольшое, но постоянное превышение обычного уровня концентрации биогенов, равное всего 14 мкг неорганического азота на литр воды, что часто выходит за пределы точности измерений (Yamamuro *et al.*, 2003).

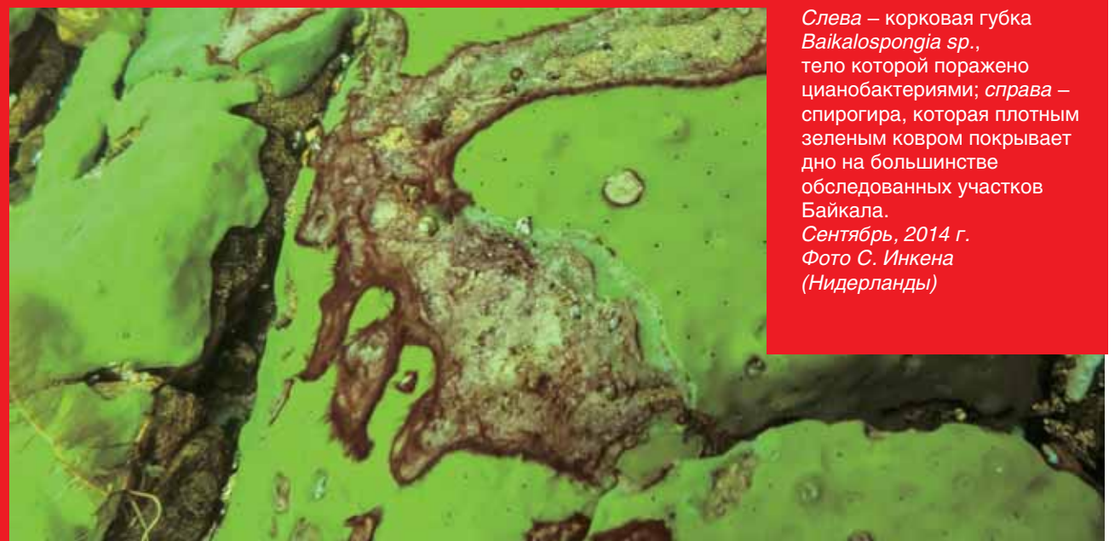
Для высокопродуктивных эвтрофных водоемов, где организмы привыкли жить в условиях избытка органических веществ, столь малая разница в концентрациях биогенов будет несущественной. Но для низкопродуктивных олиготрофных экосистем, таких как Байкал и Большой барьерный риф, обитатели которых тысячелетиями приспосабливались к дефициту биогенов, подобное изменение может разрушить естественный баланс сообществ.

И действительно, на Байкале, как и на Большом барьерном рифе, произошли существенные изменения мелководных сообществ, включающие массовое цветение водорослей и поражение колониальных сидячих беспозвоночных, подчас сопровождаемые обильным развитием цианобактерий одного и того же рода. И все это на фоне «незначимых» изменений гидрохимических показателей водной толщи. Не слишком ли много печальных аналогий для простого совпадения?

В случае Большого барьерного рифа самоуверенные ученые и государственные чиновники пренебрегли предостережениями более осторожных коллег и опоздали с «диагнозом», как минимум, на полвека...

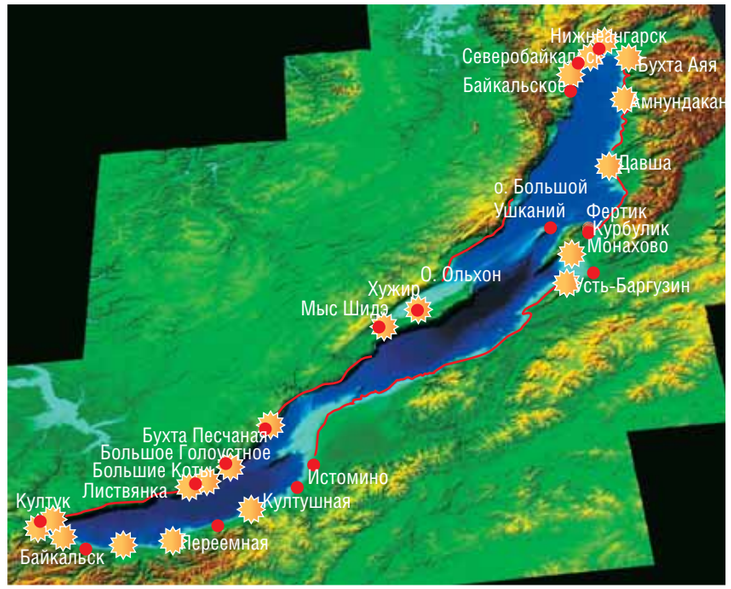
Экологическую ситуацию на Байкале, возникшую вследствие чрезмерного размножения спирогиры, а также других явлений, специалисты ЛИН СО РАН справедливо признают чрезвычайной. Совершенно очевидно, что обнаруженные на сегодня негативные явления затронули экосистему прибрежной зоны в масштабах всего озера.

Массовое «цветение» водоросли спирогиры наряду с результатами гидрохимического анализа сточных вод, попадающих в притоки Байкала с очистных сооруже-



Слева – корковая губка *Baikalospongia sp.*, тело которой поражено цианобактериями; *справа* – спирогира, которая плотным зеленым ковром покрывает дно на большинстве обследованных участков Байкала.
Сентябрь, 2014 г.
Фото С. Инкена (Нидерланды)

Экспедиция ЛИН СО РАН в сентябре 2014 г. показала, что спирогира распространилась в прибрежной зоне в масштабах почти всего озера (*звездочками обозначены места массового развития спирогиры*). Проще назвать участки, где эта водоросль пока не обнаружена: Ушканьи о-ва, большая часть о. Ольхон (за исключением пос. Хужир и бухты Перевозная), а также часть западного побережья от м. Елохин до начала Малого моря (*красной линией обозначены пока не исследованные участки побережья*)



нии, расположенных в центральной экологической зоне озера, свидетельствуют о крупномасштабной длительной скрытой эвтрофикации мелководной и заплесковой зон озера, вызванной не естественными причинами (такими, как старение водоема), а избыточным поступлением биогенных элементов.

Наиболее вероятной причиной этого явления служит многолетний сброс в Байкал недостаточно очищенных либо вовсе не очищенных сточных вод, в том числе фекальных. По данным экспедиционного обследования старые, построенные еще во времена СССР, очистные сооружения в гг. Северобайкальск, Байкальск и в п. Кичера сейчас находятся далеко не в лучшем состоянии, а в п. Усть-Баргузин – полностью разрушены. Даже новые очистные станции в гг. Бабушкин и Слюдянка практически совсем не очищают сбрасываемые ими сточные воды.

К этому нужно добавить массовый сброс с многочисленных судов неочищенных фекальных и содержащих нефтепродукты «трюмных» вод. А в большинстве крупных прибрежных населенных пунктов, где велось и сейчас ведется массовое строительство туристических объектов, очистные сооружения вообще отсутствуют.

По сообщению жителей пос. Максимиха (одного из мест, где найдены массовые выбросы водорослей), местные сточные воды доставляются ассенизационными машинами вот на эту станцию очистных сооружений в п. Усть-Баргузин (*вверху*). Услуга, естественно, платная. Вопрос, куда же сливаются стоки на самом деле, остается открытым.
Фото В. Мальника

В публикации использованы фото В.Короткоручко (Иркутск)

Все эти негативные явления, наблюдающиеся на озере уже в течение четырех лет, не были документально зафиксированы и не нашли отражения в государственных докладах по состоянию экосистемы Байкала за 2011 и 2012 гг. Сложившаяся ситуация ясно показывает недостаточную эффективность государственной системы мониторинга Байкала, поскольку она в принципе не способна диагностировать возможные поражения экосистемы дна, происходящие вследствие «скрытой» эвтрофикации. Образно говоря, она позволяет лишь «диагностировать рак на последней стадии».

Насколько обратимы все эти явления? По поводу спирогиры дать однозначный ответ пока трудно. Прежде всего, потому, что невозможно в один момент прекратить сброс в Байкал сточных вод со всех имеющихся судов и населенных пунктов, построить новые и наладить старые станции очистных сооружений и, наконец, изменить сам образ экологического мышления населения Прибайкалья и гостей-туристов. На все это потребуются годы, если не десятилетия. Что касается губок, то средняя скорость роста этих удивительных животных составляет всего около 1 см в год (Гомбрайх, 1987, 1988; Семитуркина и др., 2009). Следовательно, возраст особей губок длиной 100 см, вполне обычных для Байкала, может достигать ста лет! Поэтому в случае массовой болезни и гибели губок их популяции смогут возобновиться лишь спустя десятилетия после исчезновения причины заболевания.

На сегодняшний день задача исследователей – как можно быстрее разобраться во всех причинно-следственных связях негативных экологических событий, обнаруженных в озере Байкал. Остается только надеяться, что ученым-профессионалам дадут реально разобраться в этой ситуации, и их советы по поводу корректировки существующей системы мониторинга будут уважительно выслушаны и приняты. Крайне необходимо в ближайшее время принять единое, обоснованное и объективное мнение по этому вопросу, с которым связано будущее нашего Байкала. Как показывает мировой опыт, именно с постановки четкого экологического диагноза экологическим событиям и выработки единого мнения ученых, общественности и госслужащих, отвечающих за мониторинг озер, начинаются положительные сдвиги по оздоровлению их экосистем. ...Ирония судьбы: после возвращения из последней экспедиции на Байкал нам довелось познакомиться с недавно опубликованным очередным томом Государственного доклада «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране» (Москва, 2014), где в разделе «Заключение» недвусмысленно сказано: «Состояние озера Байкал в 2013 г. не претерпело каких-либо заметных изменений...» (с. 362).

ЧТО ДЕЛАТЬ?

- Как можно быстрее дать научно обоснованную оценку экологической ситуации на Байкале на государственном уровне. Найти общий язык между всеми заинтересованными сторонами: учеными, работниками государственных служб и общественностью.
- В кратчайшие сроки снизить биогенную (минеральный азот и фосфор) нагрузку на прибрежную зону озера. Ввести жесткий контроль за деятельностью станций очистных сооружений и сдачей подсланиевых вод с судов, начать строительство новых очистных сооружений. Начать пропаганду против использования фосфат-содержащих моющих средств среди населения центральной экологической зоны озера. Лучший вариант – предложение акад. М. А. Грачева: запретить производство подобных СМС в масштабах всей России, как это сделано в ряде других стран.
- Оценить влияние массового развития спирогиры на мелководные сообщества. Возобновить исследования пищевых спектров байкальского омуля и изучить состояние популяций придонно-пелагических видов эндемичных бычков-подкаменщиков, его важного кормового ресурса.
- Провести срочную корректировку существующей государственной системы мониторинга, а также «норм допустимого сброса» в оз. Байкал. Ввести мониторинг прибрежной зоны, включая заплесковую, а также придонных вод и донных биоценозов. Подробная схема таких работ, одобренная Всемирным лимнологическим конгрессом (2004 г.), уже имеется (Тимошкин и др., 2011; Timoshkin *et al*., 2005).
- Создать федеральный вневедомственный институт мониторинга оз. Байкал с единым центром хранения экологической информации, собранной по скорректированной схеме; уничтожить ведомственные монополии на хранение и любые ограничения на использование и анализ оригинальной информации о состоянии озерной экосистемы

Литература

Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна / Отв. ред. О.А. Тимошкин. В 2 томах. Новосибирск: Наука, 2011. Т. 2, книга 2, 1668 с.

Грачев М.А. О современном состоянии экологической системы озера Байкал. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2002. 156 с.

Кравцова Л.С. и др.Нарушение вертикальной зональности зеленых водорослей в прибрежной части залива Лиственичный озера Байкал. // Доклады АН. 2012. Т. 447 (2). С. 1–3.

Тимошкин О.А. и др. Массовое развитие зеленых нитчатых водорослей родов Spirogyra Link и Stigeoclonium Ktz / (Chlorophyta) в прибрежной зоне Южного Байкала. // Гидробиологический журнал. 2014. Т. 10 (5). С. 15–26.

Bell P.R.F., Elmetri I., Lapointe B.E. Evidence of Large-Scale Chronic Eutrophication in the Great Barrier Reef: Quantification of Chlorophyll "a" Thresholds for Sustaining Coral Reef Communities // AMBIO. 2014. 43: 361–376.

NOAA Coral Reef Conservation Program National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce // http://coris.noaa.gov/about/diseases/welcome.html.

Timoshkin O.A. et al. Is the concept of a universal monitoring system realistic? Landscape-ecological investigations on Lake Baikal (East Siberia) as a possible model // Verh. Internat. Verein. Limnol. 2005. Vol. 29, №1. P. 315–320.

Timoshkin O.A. et al. Introduction into biology of the coastal zone of Lake Baikal. 1. Splash zone: first results of interdisciplinary investigations and its role for the lake ecosystem monitoring // Известия ИГУ. Серия «Биология. Экология», 2012. Т. 5, № 3. С. 33–46

Авторы благодарят директора ЛИН СО РАН академика М.А. Грачева за моральную и финансовую поддержку экспедиций и инициирование междисциплинарных исследований, С. Инкена (Нидерланды) за помощь в подводных исследованиях и фото- и видеоматериалы; проф. К. Ямамуро (Токийский университет, Япония) за плодотворную дискуссию, а также всех сотрудников ЛИН СО РАН, непосредственно участвовавших в экспедиционных и исследовательских работах

Работа частично поддержана проектом СО РАН VI.51.1.10 «Современное состояние, биоразнообразие и экология прибрежной зоны озера Байкал» (№ 01201353447) и Marsden FastStart grant (#E2516-3416) of the Royal Society of New Zealand