

Загадки байкальской спиригиры

Е. А. ВОЛКОВА

Уже не первый год мировую общественность волнуют сообщения, периодически появляющиеся в печатных и электронных СМИ, о необычном массовом развитии в Байкале загадочной водоросли – спиригиры, «которая губит все на своем пути». И как только не называют, и в чем только не обвиняют несчастную! Действительно, за последние несколько лет во многих районах Байкала выявлено интенсивное зарастание дна спиригирой, а в некоторых – обильные береговые скопления этой водоросли, продукты разложения которых делают прибрежную воду опасной для использования человеком и животными. Раньше водоросли этого рода обитали только в мелководных хорошо прогреваемых бухтах озера и не развивались в таких масштабах. Но ведь не спиригира сама по себе является причиной гибели губок и моллюсков или развития сакситоксин-продуцирующих цианобактерий и других проблем Байкала (Timoshkin et al., 2016). Все эти явления, как звенья одной цепи, – следствие действия факторов, которые, вероятно, имеют смешанную природу. Статья посвящена основным вопросам, которые ставят перед исследователями необычное развитие байкальской спиригиры

В последние годы во многих районах Байкала происходит интенсивное зарастание дна, а в некоторых – серьезные структурные изменения фитобентоса, в частности замена видов-доминантов, в том числе эндемиков, зелеными нитчатыми водорослями, ранее в таких масштабах в озере не регистрируемых. Кроме того, практически по всему периметру озера на глубинах 0–1 м выявлено увеличение биомассы нативных, т.е. характерных для Байкала видов водорослей (Timoshkin et al., 2016). Как правило, значительную долю в составе макрофитобентоса Байкала теперь составляют представители рода спиригира (*Spirogyra* Link).

Ученым приходилось и прежде наблюдать водоросли рода спиригира в Байкале и его окрестностях, но никогда за столетнюю историю изучения фитобентоса озера развитие этих водорослей не имело массового характера и было приурочено только к мелководным, хорошо прогреваемым бухтам (Ижболдина, 2007). На данный момент известно, что значительное развитие этих водорослей часто происходит в местах повышенной концентрации биогенных элементов, обусловленной главным образом сбросом недостаточно очищенных сточных вод (Кравцова и др., 2012, Тимошкин и др., 2014). Результатом такого развития являются гниющие массы водорослей, аккумулирующиеся на берегу в некоторых районах озера (например, г. Северобайкальск) в течение всего периода открытой воды (Тимошкин и др., 2014).

Скопления водорослей, выброшенных на берег напротив пос. Максимиха (Багрузинский залив) в октябре 2014 г.

Ключевые слова: Байкал, Великие Американские озера, нитчатые водоросли, спиригира.

Key words: Baikal, Great Lakes, filamentous algae, Spirogyra

ВОЛКОВА Екатерина Александровна – аспирант лаборатории биологии водных беспозвоночных Лимнологического института СО РАН, Иркутск. Автор и соавтор 6 научных работ

© Е. А. Волкова, 2016



Следует особо отметить, что выбрасываемые на берег водоросли – это нормальное явление в целом. Так завершается вегетационный сезон многих представителей донной флоры озера. Их можно сравнить с фильтром, отработавшим свое, который Байкал регулярно меняет. Например, в последние годы, несмотря на развитие спиригиры, другие нитчатки (нитчатые водоросли) живут и отмирают в положенный им срок. В июне–июле вдоль открытого берега можно видеть скопления улотрикса, а в августе – эндемичных драпарнальдиоидес. Никто их не вытесняет, просто заканчивается пик их вегетации, т. е. роста. На формирование свободноплавающих скоплений талломов макроводорослей в прибрежной части озера в разное время обращали внимание такие исследователи, как В. Ч. Дорогостайский, К. И. Мейер, А. П. Скабичевский.

Однако чрезмерное количество водорослей может быть опасным. А точнее, продукты гниения массивных водорослевых матов, будь то выброшенных на берег или свободноплавающих, могут делать воду непригодной для использования человеком и животными.

Сотрудники лаборатории биологии водных беспозвоночных А. В. Непокрытых и А. Лухнев оценивают ширину водорослевых матов на берегу Байкала. (Пос. Заречное, недалеко от Северобайкальска)

В заливе Лиственничном водорослевые маты спиригиры и улотрикса приводят к существенным нарушениям условий среды для нереста августовской популяции желтокрылки (*Cottocomorphus grewingkii*, Dybowski) (Ханаев и др., 2016)

Для существования байкальских гидробионтов чрезмерное развитие водорослей, по мнению некоторых исследователей, также может создавать серьезные проблемы.

При этом, если «порядочные» улотрикс и драпарнальдиоидес «знают честь» и уходят вовремя, то спиригира упрямо не сдает позиции, поставляя на берег тонны отжившей массы до поздней осени.

Еще в первых работах, посвященных донной флоре Байкала, была отмечена ее оригинальность и наличие специфической зональности в распределении видов. В прибрежной зоне озера выделено пять растительных поясов, занимающих глубины от 0 до 60–116 м и характеризующихся определенными видами водорослей (Ижболдина, 2007).

Начиная с 2012 г. стали появляться научные сообщения о локальных структурных изменениях донных фитоценозов Байкала в связи с чрезмерным развитием нитчатых водорослей. В частности, стало известно о замене в летний период в районе залива Лиственничного эндемичных видов драпарнальдиоидес (*Draparnaldioides* Meyer et Skabitsch.), доминирующих в третьем растительном поясе, нитчатыми водорослями родов спиригира и улотрикс (*Ulothrix* Kütz.), что, по мнению авторов, было связано с повышенной антропогенной нагрузкой, в частности с увеличенным содержанием в воде соединений фосфора, источниками которых могут являться синтетические моющие средства (Кравцова и др., 2012, Kravtsova *et al.*, 2014). Сообщалось также о большом количестве спиригиры, прикрепленной к каменистому субстрату этого

залива в составе первого растительного пояса (на глубине 0,3–0,5 м) (Вишняков и др., 2012). Упомянулось об осеннем развитии на урезе воды в этом же заливе и в бухте Большие Коты зеленой водоросли стигеоклониум (*Stigeoclonium tenue* (Ag.) Kütz.) при практически полном отсутствии обычного для этой зоны пояса

улотрикса. Было показано, что масса спиригиры в период максимального развития в бухте Большие Коты может достигать до 317 г/м² (Тимошкин и др., 2014). По состоянию на 2015 г. спиригира зарегистрирована во многих исследованных районах Байкала, преимущественно вдоль западного берега (Тимошкин и др., 2016).



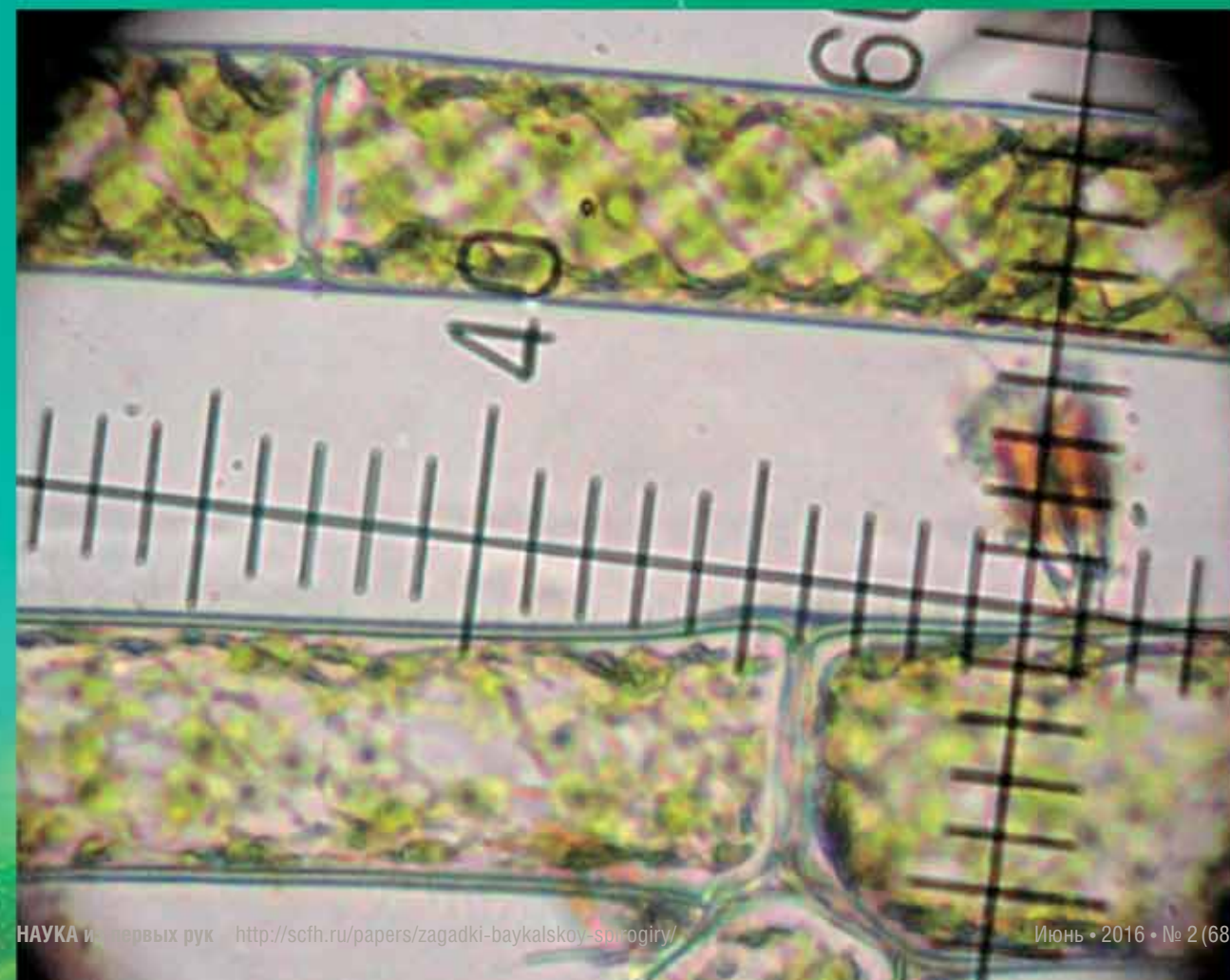
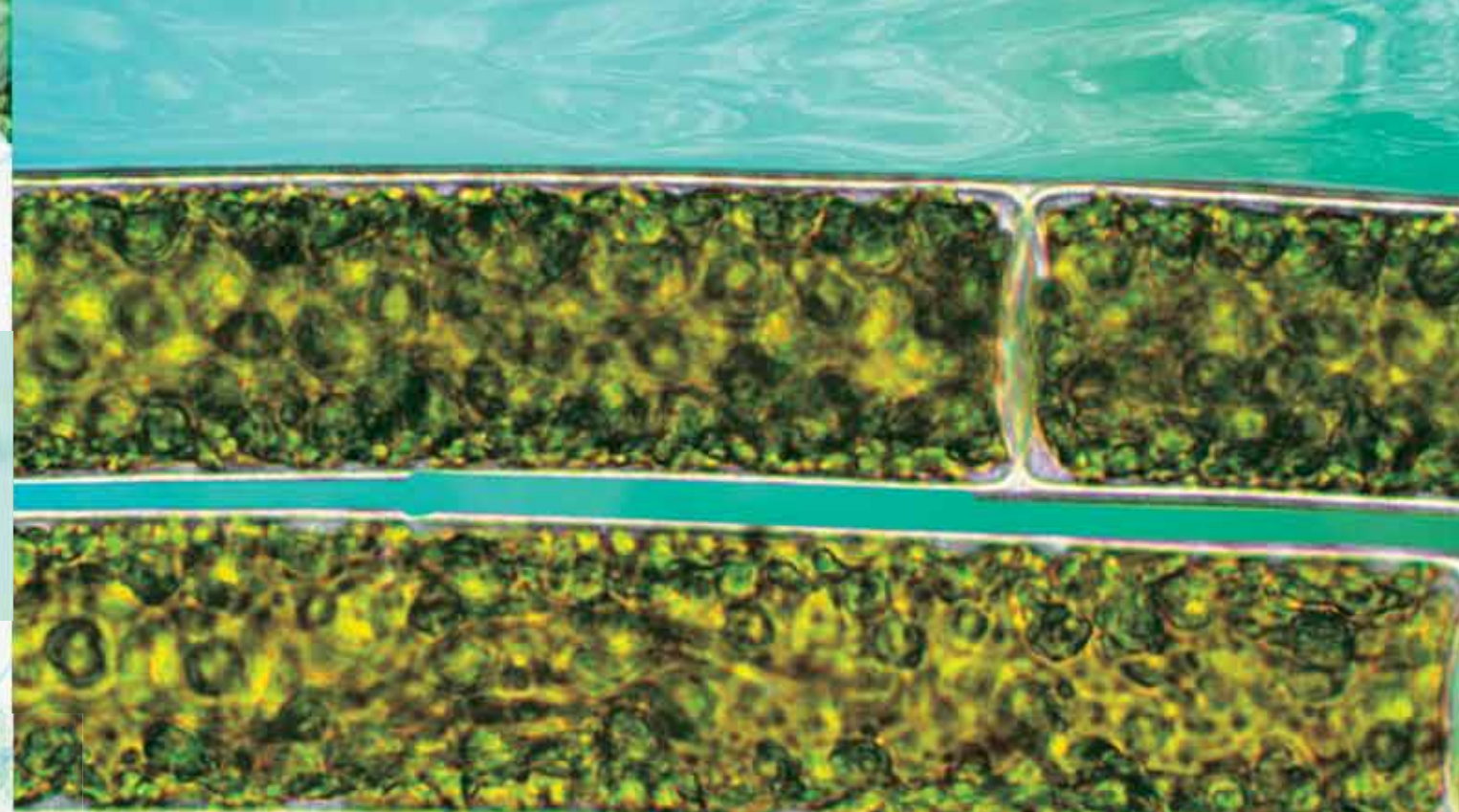
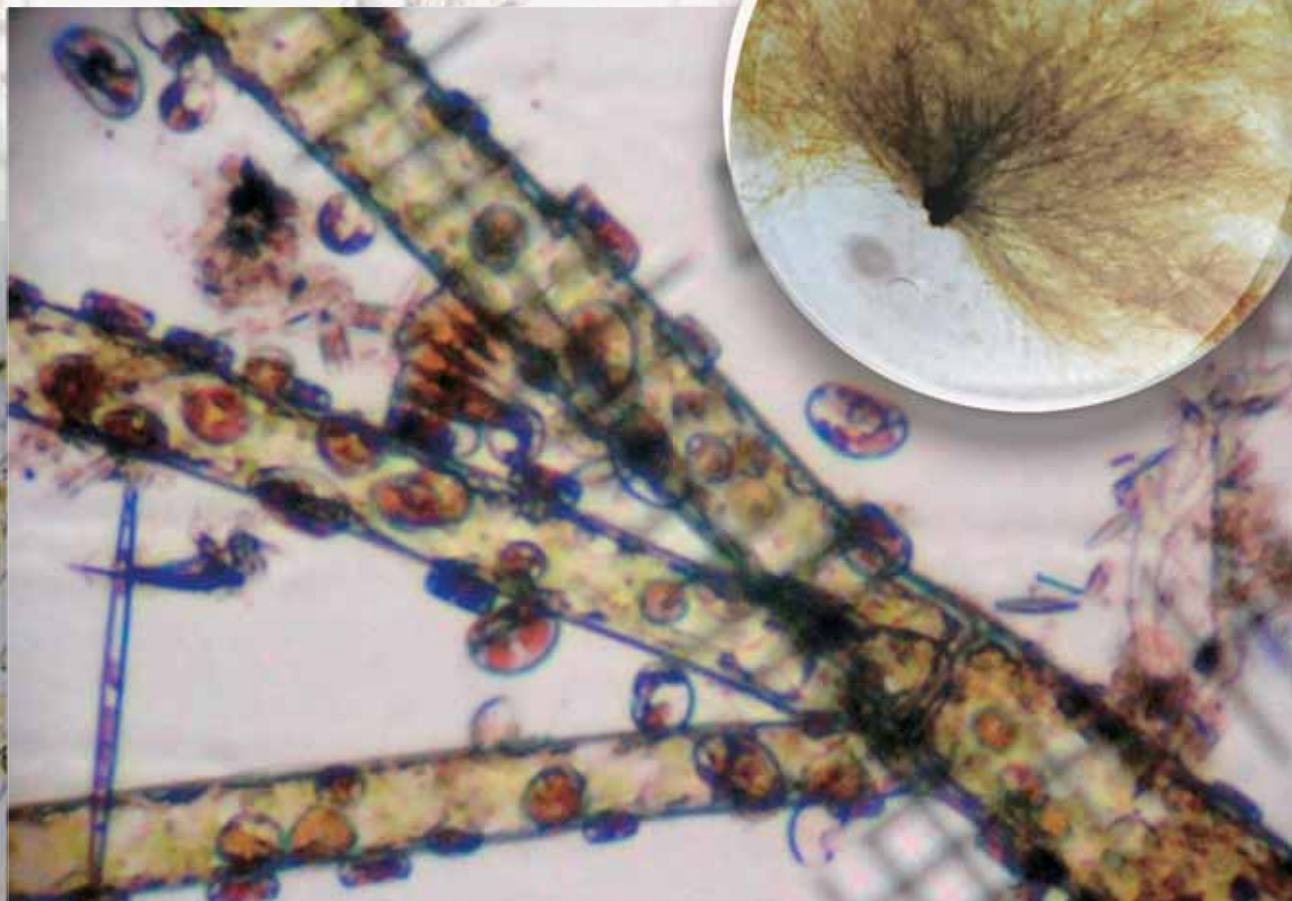
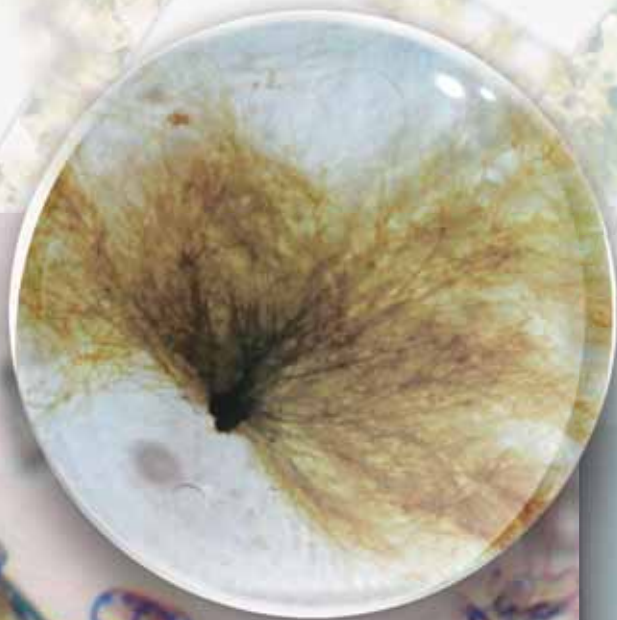
Первый растительный пояс Байкала, или пояс *Ulothrix zonata*, занимающий глубины 0–1,5 м. Фото А. Тимошкина

Спиригира, развивающаяся на каменистом мелководье. Байкал, бухта Большое Голоустное, глубина 0,5 м, октябрь 2014 г. Фото О. Тимошкина

Любопытен тот факт, что среди байкальских зеленых водорослей (Chlorophyta), которые являются наиболее разнообразной группой макрофитобентоса озера, лидирующие позиции заняла именно спиригира (которая, однако, согласно современной систематике, относится к отделу Charophyta). В других водоемах, например, в Великих Американских озерах (Эри, Мичиган, Онтарио), увеличение биогенной нагрузки также привело к массовому развитию зеленых нитчаток (Higgins *et al.*, 2008 и др.), однако там, как и во многих других системах, испытывающих подобные проблемы, пришлось иметь дело с кладофорой гломератой (*Cladophora glomerata* (L.) Kütz). Кладофора гломерата, одна из самых широко распространенных нитчаток в мире, также является «естественным» представителем донной флоры Байкала, где встречается на каменистом субстрате в августе-сентябре. При этом вдоль основной части побережья и число участков встречаемости (1,5–8 %) вида, и его фитомасса (0,21г/м²) незначительны (Ижболдина, 2007).

Фрагмент таллома кладофоры гломераты, покрытый диатомовыми водорослями рода кокконеис (*Cocconeis* sp. Ehr). Световая микроскопия. Общий вид таллома кладофоры гломераты (*Cladophora glomerata* L. Kütz).

Фрагмент нити спиригиры (вверху) и фрагмент нити кладофоры гломераты (внизу). Световая микроскопия



Почему спиригира?

Отчего же массовым развитием на биогеогенное перенасыщение литорали Байкала откликнулась именно загадочная спиригира, а, например, не печально известная кладофора гломерата? Для того чтобы ответить на этот вопрос, необходимо изучение этих водорослей, в частности, их жизненных циклов и особенностей развития как в естественной среде обитания на основе регулярных сезонных полевых исследований, так и в лабораторных условиях с учетом многих факторов. Так, например, в случае «цветения» прибрежной зоны Великих Американских озер было выявлено, что резкая замена доминантов – улотрикса зонаты (*Ulothrix zonata* Kütz.) кладофорой гломератой – и чрезмерное развитие последней происходит, в частности, из-за массового бесполого размножения улотрикса, инициируемого повышением температуры воды в летний период (Graham *et al.*, 1985). Опустошенные после выхода зооспор нити улотрикса отмирают, предоставляя «вакантное» место для других водорослей. Далее «на сцену выходит» кладофора гломерата, для которой действующий температурный режим, наличие свободного каменистого субстрата и поступающее биогеогенное «питание» с суши являются благоприятными условиями для успешного развития. Интересно то, что улотрикс возвращается,

когда осенью температура становится ниже 10° С, теперь уже замещая кладофору. То есть особенности биологии отдельных видов в совокупности с абиотическими факторами в условиях повышенной биогеогенной нагрузки во многом ответственны за специфическую перестройку прибрежных донных сообществ в Великих Американских озерах.

Застукать спиригиру со спиригирой

Рассуждая о загадочности развития именно спиригиры в Байкале, нельзя не сказать о ней самой, как об одном из наиболее таинственных представителей растительного мира. Считается, что водоросли рода *Spirogyra* легко узнаваемы благодаря их спирально закрученным хлоропластам. Однако существуют другие, довольно похожие на нее, водоросли (например, рода *Sirogonium* Kütz. или *Sirocladium* Randhawa), которые человек без

Конъюгация спиригиры: переход содержимого из клеток одной нити в клетки другой и формирование зигоспор – продукта полового размножения этих водорослей)

опыта и специальной подготовки может принять за спиригиру. В некоторых случаях ее можно спутать даже с представителями других семейств! Поэтому, видя перед собой зеленый нитчатый моток, нельзя однозначно утверждать, что это спиригира. В некоторых участках Байкала бурно «цветет» только спиригира.

Проблемы идентификации спиригиры связаны еще и с тем, что определение вида проводится по особенностям стадий полового размножения, или конъюгации, когда содержимое клеток одной нити переходит в клетки другой. Без количественных и качественных характеристик этого процесса, без описания сформировавшихся в его результате зигоспор даже примерно нельзя сказать, какой вид находится перед нами на предметном стекле под микроскопом, а значит, и там, откуда был взят образец. При этом такие стадии у спиригиры по разным данным встречаются лишь в 10–18% образцов, а у байкальской спиригиры, по данным автора – лишь в 9%.

С развитием методов молекулярной биологии появилась возможность определять виды живых организмов на основе совпадения нуклеотидных последовательностей молекулярных маркеров неизвестного вида с уже имеющимися в базах данных последовательностями известных видов. На данный момент таксономически признан-

ными являются 516 морфологических видов спиригиры (согласно *AlgaeBase* по состоянию на апрель 2016 г.), однако лишь для 36 из них известны последовательности каких-либо генетических маркеров и только для 8-ми ядерного гена 18S рДНК (согласно базе данных NCBI по состоянию на апрель 2016 г.).

Главным образом именно из-за трудностей видового определения спиригиры сложно сказать, является ли тот или иной вид данного рода вселенцем, который беспрепятственно распространился по всему Байкалу в последние годы. Спиригира, которая сегодня массово развивается во многих районах Байкала, могла быть там и

Анализ последовательностей 18S рДНК, полученных при работе с отдельными вегетативными нитями водорослей из залива Лиственничный, показал, что в массе водорослей присутствуют, как минимум, три вида спиригиры, пока не идентифицированные (Романова и др., 2013)



вчера, но не в таком количестве, а ее фертильные стадии просто не встречались исследователям ранее. Так, недавно по морфологическим признакам была определена *Spirogyra fluviatilis* Helse, или спирогиры речная (Тимошкин, 2014), которая развивается на каменистой литорали в некоторых заливах Байкала. Ранее этот вид в озере не регистрировали, но это не означает, что эта водоросль была занесена недавно. Спирогиры речная широко распространена во всем мире и встречается во многих пресноводных водоемах, реках и озерах. В окрестностях Байкала многие исследователи находили стерильные талломы спирогиры (см. Ижболдина, 2007), вполне возможно, относящиеся и к этому виду.

Вьяснение видового богатства спирогиры в Байкале является на сегодняшний день одной из самых актуальных задач. Во-первых, данные о биоразнообразии вообще и отдельных групп организмов в частности, используются в методах экологического биомониторинга водных экосистем. А точная видовая идентификация и понимание регионального разнообразия является основой биологического контроля и оценки состояния окружающей среды. При этом, сведения о видовом составе спирогиры в Байкале, которыми мы располагаем сегодня, получены более 80 лет назад, ограничены двумя локальными участками (Мейер, 1930) и буквально единичны для окрестностей озера (Ижболдина, 2007). Во-вторых, Байкал – это кладезь уникального биологического разнообразия. Многие виды нигде, кроме как в Байкале, не встречаются! Не исключено, что и спирогиры представлена в Байкале многими видами, идентифицировать которые разными методами – задача ближайшего времени.

Работы, которые посвящены фундаментальным и практическим проблемам байкальской спирогиры, ведутся в настоящее время в Лимнологическом институте СО РАН.

Увы, пока вопросов больше, чем ответов. Но, как известно, правильно поставленная задача – уже половина ее решения.

Спирогиры среди камней р. Большая Котинка, впадающей в бухту Большие Коты, и в ручье Жилище (внизу). В центре – камень со дна озера, с глубины одного метра, (около пос. Большое Голоустное), покрытый нитчатыми водорослями, в основном спирогирой, талломы которых достигают 50 см в длину

Выражаю искреннюю благодарность научному руководителю д.б.н., проф. О.А. Тимошкину, а также д.б.н. Н.А. Бондаренко за их чуткое напутствие в моем научном поиске

Литература

- Вишняков В. С. и др. Таксономический список макроводорослей прибрежной зоны бухты Большие Коты и залива Лиственничный (Южный Байкал) // Изв. Ирк. гос. ун-та. Сер. «Биология. Экология». 2012. Т. 5, № 3. С. 147–159.
- Ижболдина Л. А. Атлас и определитель водорослей фитобентоса и перифритона озера Байкал (мейо- и макрофиты) с краткими очерками по их экологии. Новосибирск: Наука-Центр, 2007. С. 248.
- Кравцова Л. С. и др. Нарушение вертикальной зональности зеленых водорослей в прибрежной части залива Лиственничный озера Байкал. // Докл. РАН. 2012. Т. 447 № 2. С. 1–3.
- Романова и др., Идентификация зеленых нитчатых водорослей из района локального биогеоценнозного загрязнения озера Байкал (залив Лиственничный) с помощью молекулярного маркера 18S рДНК // Экологическая генетика. 2013. Т. 11 № 4. С. 23-33. (12597).
- Тимошкин О. А. и др. Экологический кризис на Байкале: ученые ставят диагноз. Наука из первых рук. 2014. Т. 5, С. 75–91.
- 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.
- Ханаев И. В. и др. Влияние массового развития зеленых нитчатых водорослей на воспроизводство желтокрылки *Cottocomephorus grewingkii* (Dybowski, 1874) (*Cottidae*) в условиях экологического кризиса озера Байкал // Докл. РАН. 2016. Т. 467. № 1. С. 119–121.
- Graham J. M. et al. Light and temperature as factors regulating seasonal growth and distribution of *Ulothrix zonata* (*Ulvophyceae*) // J. Phycol. 1985. V. 21. P. 228–234.
- Higgins S. N., et al. An ecological review of *Cladophora glomerata* (*Chlorophyta*) in the Laurentian Great Lakes. *Journal of Phycology*. 2008. V. 44. 839–854.
- Kravtsova L.S. et al. Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal. // *Great Lakes Research*. 2014. V. 40. P. 441–448).
- Timoshkin, O. A., et al., Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? // *J. Great Lakes Res.* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2016.02.011>.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ «Мой первый грант» № 16-34-00064 «Морфологическое и генетическое разнообразие водорослей рода *Spirogyra* (*Zygnematorhysceae*, *Chlorophyta*) – новых доминирующих представителей флоры озера Байкал»