

# ВОДНЫЕ ЛИШАЙНИКИ В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ КАМЕНИСТОЙ ЛИТОРАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Куликова Н.Н., Сутурин А.Н., Тимошкин О.А., Бойко С.М., Парадина Л.Ф., Сайбаталова Е.В.

По материалам исследований за период 2002-2007 гг. приводятся сведения о водных лишайниках рода *Verrucaria* (*Verrucaria scabra* Vězda, *V. rheitrophyla* Zsch., *V. maura* Wahlenb. in Ach., *Verrucaria hydrela* Ach.) и *Collema ramenskii* Elenk. каменистой литорали западного побережья оз. Байкал. Наибольшая плотность их развития установлена на глубине 1,5 м; 95-100% обломков горных пород, поднятых с глубин 1,5-2,2 м, обильно покрыты накипными слоевищами *Verrucaria* spp. Лишайники активно участвуют в процессах разрушения каменного материала мелководной зоны. Листоватые и накипные формы лишайников концентрируют относительно воды Ti>Lu>Tb>La>Yb>Pr>Ce>Y>Nd>Be>Tm>Dy>Nb>Gd>Mn>Sm>Co>Tl>Eu>V>Er>Cr>Cd. По сравнению с донными отложениями водные лишайники концентрируют Zn, а *Collema ramenskii* аккумулирует кроме этого Mo.

## ВВЕДЕНИЕ

Лишайники представляют собой многочисленную группу широко распространённых низших споровых растений, способных развиваться на самых разнообразных субстратах: почве, деревьях, горных породах и т.д. Как автогетеротрофные компоненты биогеоценозов лишайники одновременно аккумулируют солнечную энергию и разрушают органические и минеральные вещества. Одними из первых заселяя субстраты, непригодные для многих других растений (скалы, горные отвалы и др.) лишайники постепенно разрушают их как путём механической дезагрегации, так и в результате биохимического воздействия на минералы горных пород. Извлекая из инертных минеральных соединений различные элементы, лишайники включают их в сложную цепь дальнейших превращений в биосфере [1-4].

Известно более 26000 видов и свыше 400 родов лишайников, встречающихся почти во всех природных зонах [5] и приспособленных к самым жёстким условиям существования, но лишь небольшая группа этих растений может постоянно обитать в водной среде [6].

Первые сведения о водных лишайниках, растущих на камнях в ручьях, реках, горных озёрах, появились в публикациях шведского ботаника Э. Ахариуса (1798, 1803, 1810 гг.). В конце XIX и начале XX веков уже многие исследователи отмечали подводный образ жизни некоторых видов лишайников в горных ручьях, речках и озерах Сев. Америки, Финляндии, Англии, Шотландии, Германии. В России начало изучения ассоциаций водных лишайников положено Камчатской (Русское географическое общество, 1908-1909 гг.) и Олонецкой (Российский гидрологический Институт, 1919-1924) экспедициями [6]. Сведения о водных лишайниках Байкальского региона имеются во флористических сводках И.Н. Урбанавичене и Г.П. Урбанавичюса, Т.В. Макрый, А.В. Лиштвы [7-9]. Присутствие водного лишайника *Collema ramenskii* Elenk. в озере Байкал установлено В.Н. Яснитским [10] и М.М. Кожовым [11]. Обитание нескольких видов водных веррукарий в мелководной зоне западного побережья оз. Байкал впервые установлено авторами.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Образцы водных лишайников, обитающих на обломках горных пород литорали, отобраны по трансектам с глубин 1,0-1,5, 3-3,5, 7-10, 14 м аквалангистами, в следующих районах: мыс Березовый (экспериментальный полигон) (описание см. [12]), бухта Большие Коты, бухта Бирхин, пролив Ольхонские Ворота, мыс Ижимей, Ушканьи острова. С каждой точки отбора проб поднимали по 40-60 обломков горных пород. Проективное покрытие рассчитывали методом, указанным в «Методических рекомендациях ...» [13]. Изучение разнообразия доминирующих видов околородных лишайников проводили в пределах экспериментального полигона на пяти выделенных у основания клифа площадках и отдельно лежащих глыбах и валунах. Таксономическое определение лишайников выполнено в Иркутском государственном педагогическом университете кандидатом биологических наук В.А. Лиштвой и в Санкт-Петербургском государственном университете – кандидатом биологических наук А.А. Заварзиным. Исследование характера взаимодействия талломов лишайников из рода *Verrucaria* и степени проникновения талломов в субстрат проводили с помощью микроскопа МБИ-7 и сканирующего электронного микроскопа «Philips 525-M». Величину pH в слое воды над талломами *C. ramenskii* измеряли трижды в течение суток потенциометром «testo 252» в трехкратной повторности. Для изучения микроэлементного состава талломы лишайников, отделенные от субстрата, промывали дистиллированной водой, дополнительно очищали в стаканчике

с дистиллированной водой на магнитной мешалке, удаляли под бинокляром остатки посторонних примесей и ополаскивали бидистиллированной водой. Очищенные таким способом пробы лишайников сушили до воздушно сухого состояния при температуре +30 °С, просматривали ещё раз под бинокляром, растирали в агатовой ступке и доводили до постоянного веса при температуре +105 °С. Подготовку проб к анализу проводили методом кислотного разложения в стаканах из фторопласта. Образцы придонного слоя воды отобраны аквалангистами в пластиковые шприцы, в 10-15 см от дна, в тех же точках. Сразу после подъёма воду фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,2 мкм в пластиковые стаканы, консервировали до 2% HNO<sub>3</sub>. Микроэлементный состав проб определяли методом ICP-MS. Анализ выполняли на квадрупольном масс-спектрометре PlasmaQuad PQ2<sup>+</sup> (Thermo Elemental). Степень биологического накопления элементов в лишайниках оценивали относительно воды и донных отложений с помощью коэффициента биологического поглощения [14, 15].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На озере Байкал почти половина побережья представлена клифами, сложенными коренными породами [16, 17]. Абразия берегов и сели вносят в котловину озера ежегодно свыше 1.5 млн. куб. м каменного материала [18]. Скалы, круто уходящие в воду, глыбы и валуны зоны прибоя очень часто покрыты различными видами околводных лишайников. В составе эпилитной лишайнофлоры береговой зоны, в пределах экспериментального полигона «Березовый», выявлены представители трех порядков: Verrucariales, Lecanorales, Teloschistales. Большая часть обнаруженных видов лишайников – 12 – принадлежит к порядку Lecanorales: *Collema crispum* (Huds.) Web., *Lecidea plana* (Lahm.) Nyl., *Protoparmeliopsis muralis* (Schreb.) M. Choisy, *Rhizoplaca chrysoleuca* (Sm.) Zopf., *Aspicilia cinerea* (L.) Körb., *A. aquatica*, *Pseudephebe pubescens* (L.) M. Choisy, *Acarospora strigata* (Nyl.) Jatta, *Candelariella aurella* (Hoffm.) Zahlbr., *Dimelaena oreina* (Ach.) Norman., *Physcia caesia* (Hoffm.) Fürnr., *Phaeophyscia ciliata* (Hoffm.) Moberg. Из порядка Verrucariales представлены *Staurothele catalepta* (Ach.) Blomb. et Forss., *Verrucaria hydrela* Ach., а из порядка Teloschistales – *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr., *X. aureola* (Ach.) Erichs. и *X. fallax* (Hepp.) Arnold. Их обильное развитие значительно усиливает разрушающее действие прибоя и способствует, наряду с другими факторами, поступлению в литоральную зону более мелкого каменного материала, уже до определённой степени выветрелого, трещиноватого и в силу этого, более доступного для заселения прикрепленными формами гидробионтов. Обломки горных пород, попадая в область постоянного действия воды, растительных и животных организмов, разрушаются ещё более интенсивно. Водные лишайники в комплексе с другими гидробионтами, наряду с физическим и химическим факторами, активно участвуют в процессах разрушения каменного материала мелководной зоны, обеспечивая поступление в придонный слой воды самого большого разнообразия минеральных соединений.

В оз. Байкал в бухтах Малого моря обитание водного лишайника листоватой формы, зелёноватой окраски *Collema ramenskii* Elenk., на глубине от 1 до 9 м установлено ещё в 1925 году В.Н. Яснитским. Этот же лишайник позднее обнаружен М.М. Кожовым [11] и Л.А. Ижболдиной [19] в бухте Большие Коты (Южный Байкал).

Широкое распространение в мелководной зоне западного побережья нескольких видов накипных лишайников из рода *Verrucaria* (*Verrucaria scabra* Vězda и *V. rheitrophyla* Zsch., *V. maura* Wahlenb. in Ach., *V. hydrela* Ach.) установлено нами во время экспедиций 2001-2004 гг. Наибольшая плотность развития этих лишайников отмечена на глубине 1,5 м; 95-100% обломков горных пород, поднятых с глубин 1,5-2,2 м, обильно покрыты слоевищами *Verrucaria* spp., а максимальная глубина их обитания – 10-14 м.

В отличие от *C. ramenskii*, накипные слоевища *Verrucaria* spp. имеют почти чёрную с зеленоватым оттенком окраску и очень плотно срастаются с каменистым субстратом. В процессе своей жизнедеятельности водные веррукарии разрушают как поверхность каменистого субстрата (на нижней стороне талломов, отделённых от горной породы всегда присутствуют мельчайшие минеральные частицы), так и, проникая по трещинам и микротрещинам, способствуют дезинтеграции обломков горных пород изнутри. По мере роста вглубь каменистого субстрата талломы водных веррукарий обходят более твердые, плохо растворимые минералы и распространяются по более рыхлым или уже разрушенным участкам горной породы (рис. 1).

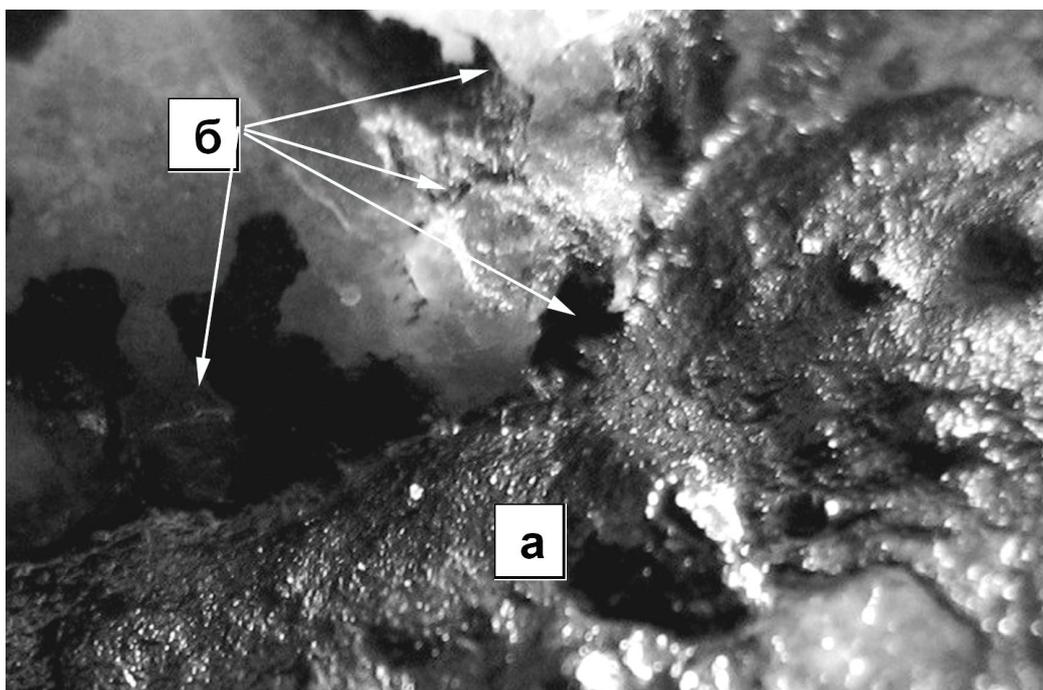


Рис. 1. Талломы водного лишайника рода *Verrucaria* (1) на поверхности (а) и внутри (б) микроклинового гранита (Экспериментальный полигон Берёзовый).

Механическая дезинтеграция обломков горных пород способствует разрушающему действию воды, насыщенной кислородом, углекислотой и другими продуктами жизнедеятельности гидробионтов, в том числе и лишайников, вегетирующих в мелководной зоне Байкала круглый год. Экспериментально установлено изменение показателей рН в приталломном слое воды в течение суток, что в значительной мере связано с процессами фотосинтеза и дыхания лишайников (рис. 2).



Рис. 2. Изменение рН в течение суток в слое воды над талломами *Collema ramenskii* Elenk.

Наряду с накоплением фитомассы идёт обратный процесс – отмирание отживших или повреждённых частей лишайников, с чем связан рост численности микроорганизмов в области талломов, что, в свою очередь, приводит к усилению биохимических процессов выветривания горных пород литорали. Значительным фактором разрушения минералов являются также ферменты и органические кислоты, выделяемые гифами микобионта [2]. Очевидно, лишайники своими выделениями могут «прокормить» громадное число микроорганизмов, которые в свою очередь также интенсивно разрушают поверхность каменистых пород, образуя совместно с лишайниками относительно «рыхлый» поверхностный слой или «кору выветривания» (рис. 3).

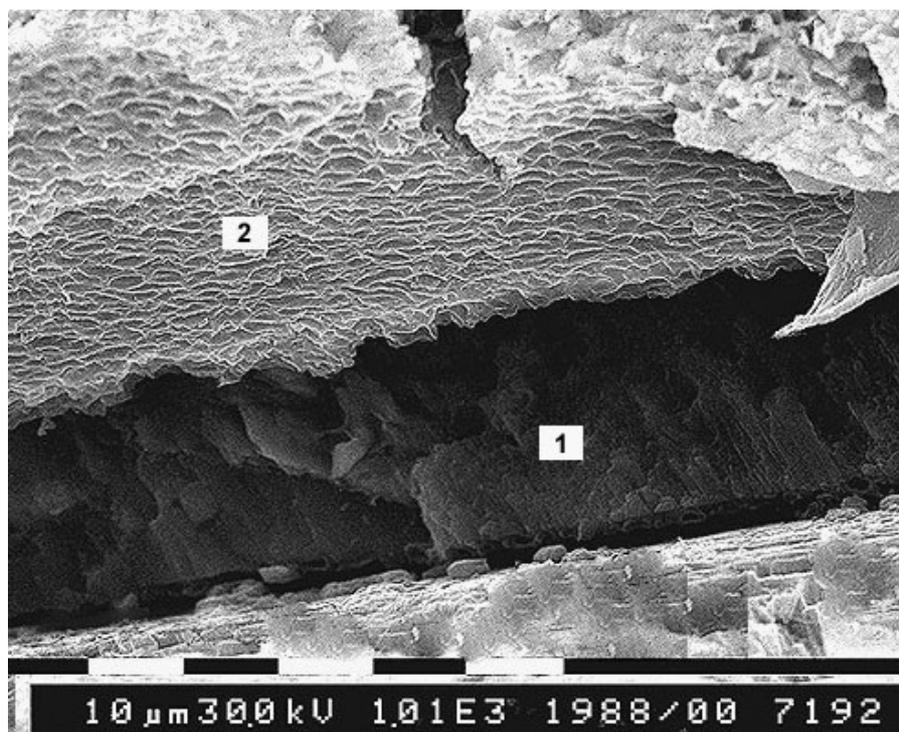


Рис. 3. Разрушающийся слой каменного субстрата (1) под талломом водной веррукарии (2)  
(Экспериментальный полигон Берёзовый)

Для ряда наземных лишайников установлена способность накапливать в талломах химические элементы, освобождающиеся в процессе разрушения каменного субстрата [1-4]. Отличительной биогеохимической чертой водных лишайников и особенно накипных форм является концентрация химических элементов (Ti>Lu>Tb>La>Yb>Pr>Ce>Y>Nd>Be>Tm>Dy>Nb>Gd>Mn>Sm>Co>Tl>Eu>V>Er>Cr>Cd), содержание которых в воде каменной литорали крайне незначительно. Кроме того, в их талломах присутствуют Th (0,02-0,40 мкг/г сухой массы) и Ho (0,03-0,11). Их концентрация в воде ниже предела обнаружения. Очевидно, основным источником минерального питания эпилитной растительности является каменный субстрат, относительно которого лишайники являются концентраторами Zn, при этом наибольшая степень его поглощения и способность накапливать Mo характерны только для слоевищ *C. ramenskii*.

Активизируя аквализ горных пород литорали, водные лишайники, наряду с другими факторами, прямо или косвенно повышают доступность многих химических элементов, необходимых для роста и развития, как самих лишайников, так и многочисленных, разнообразных групп гидробионтов, обитающих в условиях маломинерализованных вод каменной литорали ультраолиготрофного озера Байкал.

*Работа выполнена в рамках тем «Исследование биогеохимических процессов в литорали Байкала: биоразнообразие бентоса, приуроченность гидробионтов к минералам, механизмы биодеструкции, ключевые бентосные сообщества и их взаимодействие со средой обитания» № 24.2.4; «Влияние ландшафтно-экологических факторов на формирование биоразнообразия, уникальных сообществ и процессы видообразования в мелководной зоне Байкала» и частично поддержана программой РАН № 11.14 «Биоразнообразие и динамика генофондов...» (рук. О.А. Тимошкин).*

#### **WATER LICHENS IN GEOLOGICAL AND BIOGEOCHEMICAL PROCESSES ON THE STONY LITTORAL OF LAKE BAIKAL**

*N.N. Kulikova, A.N. Sutorin, O.A. Timoshkin, S.M. Boyko, L.F. Paradina, E.V. Saybatalova*

Water lichens of the genus *Verrucaria* (*Verrucaria scabra* Vězda, *V. rheitrophyla* Zsch., *V. maura* Wahlenb. in Ach., *Verrucaria hydrela* Ach.) and *Collema ramenskii* Elenk. were studied on the stony littoral of the western coast of Lake Baikal during 2002-2007. Their density was highest at the depth of 1,5 m; 95-100% rock fragments collected from the depth of 1,5-2,2 m were covered by plentiful crustose thallomes of *Verrucaria* spp. Lichens contribute much into destruction of the stony ground in the shallow-water zone.

Foliose and crustose lichens concentrate

Ti>Lu>Tb>La>Yb>Pr>Ce>Y>Nd>Be>Tm>Dy>Nb>Gd>Mn>Sm>Co>Tl>Eu>V>Er>Cr>Cd in comparison with water. Water lichens concentrate Zn and *Collema ramenskii* – Mo as well, compared to bottom sediments.

### Литература

1. *Полынов Б.Б.* Первые стадии почвообразования на массивно-кристаллических породах // Почвоведение. 1945. № 7. С. 327-339.
2. *Ярилова Е.А.* Роль литофильных лишайников в выветривании массивно-кристаллических пород // Почвоведение. 1947. № 9. С. 533-548.
3. *Бязров Л. Г.* Лишайники в экологическом мониторинге. М., Научный мир. 2002. 336 с.
4. *Галанин А.А.* Лихенометрический метод в изучении современных геоморфологических процессов на северо-востоке России. Автореф. ... канд. диссерт. геогр. наук. Владивосток: ТИГ ДВО РАН. 1997. 22 с.
5. *Окснер А.Н.* Определитель лишайников СССР. Вып. 2. Морфология, систематика и географическое распространение. Л.: Изд-во Наука. 1974. 284 с.
6. *Савич В.П.* Подводные лишайники. Тр. Ботан. инст. им. В. Л Комарова АН СССР. 1950. Сер. II. Вып. 5. С. 148-170.
7. *Урбанавичене И.Н., Урбанавичюс Г.П.* Лишайники Байкальского заповедника (аннотированный список видов). Флора и фауна заповедников. М. 1998. 68 с.
8. *Макрый Т.В.* Лишайники Байкальского хребта. Новосибирск: Наука. 1990. 200 с.
9. *Лиштва А.В.* Лишайники и макромицеты Витимского заповедника. Иркутск. 2000. С. 8-62.
10. Жизнь пресных вод. / Под ред. В. И. Жадина, М., Л.: Изд-во АН СССР. 1949. Т. II. С. 478-483.
11. *Кожов М.М.* Биология озера Байкал. М.: АН СССР. 1962. 315 с.
12. *Timoshkin O.A., Coulter G., Wada E., Suturin A.N., Yuma M., Bondarenko N.A., Melnik N.G., Kravtsova L.S., Obolkina L.A., Karabanov E.B.* Is the concept of a universal monitoring system realistic? Landscape-ecological investigations on Lake Baikal (East Siberia) as a possible model // Vehr. Internat. Verein. Limnol. 2005. № 29. P. 315-320.
13. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. Л.: Гос. НИОРХ. 1984. 19 с.
14. *Никаноров А.М., Жулидов А.В.* Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 309 с.
15. *Перельман А. И.* Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1975. 341 с.
16. *Карабанов Е.Б., Сиделева В. Г., Ижболдина Л. А., Мельник Н. Г., Зубин А.А., Зубина Л. В., Смирнов Н.В., Парфенова В.В., Федорова О.А., Горбунова Л.А., Кулишенко Ю.Л.,* Подводные ландшафты Байкала, Новосибирск, Наука, 1990.
17. *Потемкина Т.Г.* Литодинамика прибрежной зоны озера Байкал: Автореф. дис. ... канд. географ. наук, Иркутск, 2000.
18. *Агафонов Б.П.* Разрастающийся Байкал. ДАН. 2002. Т. 382, №4. С. 540-542.
19. *ИЖБОЛДИНА Л. А.* МЕЙО- И МАКРОФИТОБЕНТОС ОЗЕРА БАЙКАЛ (ВОДОРΟΣЛИ). ИРКУТСК. ИЗД-ВО ИГУ. 1990. 176 С.