



УДК 556.114.6«329/32»: 582.263 (282.256.341)

## Влияние зелёной водоросли *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr) Kuetz. на суточную и сезонную динамику гидрохимических показателей прибрежных вод озера Байкал

Е. А. Волкова<sup>1</sup>, И. В. Томберг<sup>1</sup>, О. В. Попова<sup>1</sup>, Ю. М. Зверева<sup>2,1</sup>,  
А. Г. Лухнёв<sup>1</sup>, Е. П. Зайцева<sup>1</sup>, М. В. Сакирко<sup>1</sup>, О. А. Тимошкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Лимнологический институт СО РАН, Иркутск,

<sup>2</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск

E-mail: [cathvolkova@mail.ru](mailto:cathvolkova@mail.ru)

**Аннотация.** В 2010–2011 гг. проведены исследования по влиянию доминирующей в зоне уреза зелёной водоросли *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr) Kuetz. на изменение гидрохимических показателей прибрежных вод, в том числе в условиях мезокосмов. В мае – июне выявлено увеличение значений рН до 9,5 и содержания растворённого кислорода до 150 % насыщения, а также снижение концентрации биогенных элементов в приустьевой воде над поясом улотрикса по сравнению с водами открытого озера. Экспериментальные данные показали увеличение в дневные часы значений рН до 11,6, растворённого кислорода до 260 % насыщения. Также отмечено увеличение электропроводности воды, что может свидетельствовать о создании *U. zonata* агрессивных условий среды, способствующих разрушению каменного субстрата, на котором обитает эта водоросль.

**Ключевые слова:** *Ulothrix zonata*, Байкал, зона уреза, мезокосмы, суточная и сезонная динамика, растворённый кислород, рН, температура и электропроводность воды.

### Введение

Макроводоросли являются одним из основных компонентов первичного звена экосистемы озера Байкал. Они оказывают значительное влияние на жизнь донных биоценозов литоральной зоны озера, являясь пищей и убежищем для беспозвоночных животных [4; 8; 9; 10].

Ведущую роль в создании первичной продукции в литоральной зоне озера играют несколько видов бентосных макроводорослей. В первом растительном поясе на глубинах от 0 до 1,5–2 м основным первичным продуцентом в период открытой воды является *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr) Kuetz. и эпифитные диатомовые [2; 16]. Как показали недавние исследования, водоросль играет существенную роль в биогеохимических процессах в прибрежной зоне озера, в формировании и преобразовании среды обитания донных гидробионтов. Заселяя обломки горных пород, нитчатые талломы *U. zonata* ускоряют процессы их разрушения, накапливают химические элементы, содержание которых в воде крайне незначительно, и, таким образом, являются своеобразным биогеохимическим барьером между заплесковой и прибрежной зонами озера [13].

Целью данной работы является характеристика суточных изменений основных гидрохимических параметров прибрежной воды оз. Байкал в процессе жизнедеятельности *U. zonata*, в том числе в условиях экспериментальных моделей. В качестве таких моделей, позволяющих воспроизводить основные внутриводоемные процессы при сохранении главных параметров экологической системы, использовали мезокосмы.

Мезокосмы представляют собой пространственно изолированную часть исследуемой экосистемы и включают определённый объём исследуемой воды, а также соответствующую площадь донных отложений вместе с населяющими их биотическими сообществами. В течение всего времени эксперимента мезокосмы являются открытыми системами, поскольку в них обеспечивается свободный обмен энергией с окружающей средой, а обмен веществом обеспечивается за счёт взаимодействия с атмосферой и с избыточным (достаточным на время эксперимента) запасом вещества внутри самой модельной экосистемы. Такие экосистемы имеют достаточное сходство с исследуемой материнской экосистемой по многим важнейшим характеристикам [7]. Достоинства натур-

ного моделирования в мезокосмах подтверждены многочисленными экспериментальными работами для решения различных научных и практических задач [3; 5–7; 12; 14; 15; 17–20].

### **Материалы и методы**

Исследования проводили на юго-западном побережье оз. Байкал, в районе бух. Бол. Коты, напротив научно-исследовательского стационара ЛИН СО РАН, расположенного в пади Жилище, в летний период 2010 и 2011 гг. Пробы воды для химического анализа отбирали ежемесячно в прибрежной зоне (1–3 м от уреза) и на расстоянии 50–100 м от берега. В сентябре 2011 г. поставлен эксперимент с *U. zonata* с использованием мезокосмов.

В качестве мезокосмов использовали пластиковые сосуды диаметром 25 см и объёмом 19 л, которые размещали в зоне уреза воды. Чтобы избежать попадания озёрной воды в сосуды во время приливных волн, на расстоянии 1 м от места проведения эксперимента создали небольшой волнорез. Для эксперимента использовали озёрную воду, профильтрованную через газ (размер ячеек 110 мкм). Предназначенные для размещения в мезокосмы камни с обрастаниями отбирали в приурезовой зоне озера. Для определения вида водорослей использовали микроскоп MEIJI TECHNO CO. LTD при увеличениях  $\times 100$  и  $\times 400$ . Перед размещением в мезокосмы камни промывали фильтрованной байкальской водой. Контролем являлась фильтрованная байкальская вода в мезокосме без камней с обрастаниями. Во время экспериментов соблюдались естественные световой, температурный и газообменный (вода – атмосфера) режимы.

Длительность эксперимента составляла 24 ч. Время начала эксперимента – 18 ч, окончания – 18 ч следующего дня. Каждые 3 ч в мезокосмах измеряли температуру, рН, электропроводность и отбирали 100 мл воды для определения содержания растворённого кислорода. Параллельно эти параметры (кроме содержания кислорода) контролировали в прибрежной воде озера.

Электропроводность воды измеряли переносными кондуктометрами Horiga (Japan) и Эксперт-002 (Эконикс-Эксперт, Россия), оснащённым встроенным датчиком термокомпенсации. Значение электропроводности приведено к температуре 25 °С. Измерение рН воды осуществляли с помощью рН-метра «Эксперт-001-3-0.1», погрешность измерения которого составляет 0,02 единицы рН. Растворённый в воде кислород определяли йодометриче-

ским методом (метод Винклера) [11]. Ошибка измерения составляет 1 %.

Перед проведением анализа биогенных элементов воду фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Анализ проводили на фотоколориметре КФК-3-01-«ЗОМЗ» (Россия) с использованием общепринятых в гидрохимии пресных вод методов [11].

### **Результаты и обсуждение**

Исследования заплесковой зоны, проводимые летом – осенью 2010–2011 в районе пос. Бол. Коты, показали, что значения рН и содержание растворённого кислорода в прибрежной воде (1–3 м от уреза) над поясом водорослей *U. zonata* значительно выше, чем на расстоянии 50–100 м от берега (рис. 1). В дневные часы здесь наблюдали повышение значений рН до 9,5, а содержание растворённого кислорода достигало 150 % насыщения. Кроме того, несмотря на поступление биогенных элементов из зоны заплеска, где содержание этих компонентов в интерстициальных водах значительно (в 3–20 раз) выше, чем в озере [1], в приурезовой воде отмечены более низкие концентрации нитратного азота и минерального фосфора (рис. 2). Мы предположили, что различия в химическом составе воды, вероятно, связаны с высокой фотосинтетической активностью водорослей. Влияние *U. zonata* на суточный ход содержания химических компонентов в байкальской воде было прослежено в условиях мезокосмов.

Во время эксперимента ход температуры в мезокосмах повторял таковой в воде озера с максимумом в дневные часы и минимумом в ночные. При этом разница между экстремальными значениями за сутки в прибрежной воде озера составила 6 °С, в мезокосмах эта величина была выше: 10–12 °С (рис. 3).

Максимальные значения рН в мезокосмах и в байкальской воде отмечены в дневное время суток, минимальные – в ночное время. Значения рН в мезокосмах были выше, чем в воде озера (рис. 4, а). Наименьшие значения в прибрежной зоне (около 8,0) отмечены в 23–24 ч, незначительные изменения наблюдали до 6 ч утра. К 12 ч значение рН достигло максимальной величины (9,1) и существенно не изменялось до 18 ч. В мезокосмах суточный ход рН отличался и временем экстремумов (минимум в 6 ч, максимум в 21 ч) и отсутствием временных интервалов постоянных величин. Ночью значения рН в мезокосмах снижались до 8,6, в дневное время повышались до 11,6.

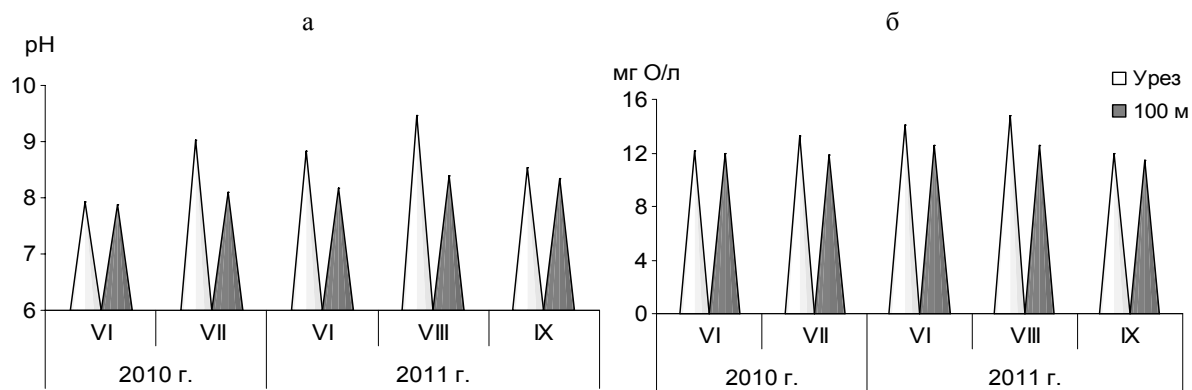


Рис. 1. Изменение величины рН (а) и концентрации растворённого кислорода (б) в воде литорали Южного Байкала в летний период (станция «стационар ЛИН СО РАН»)

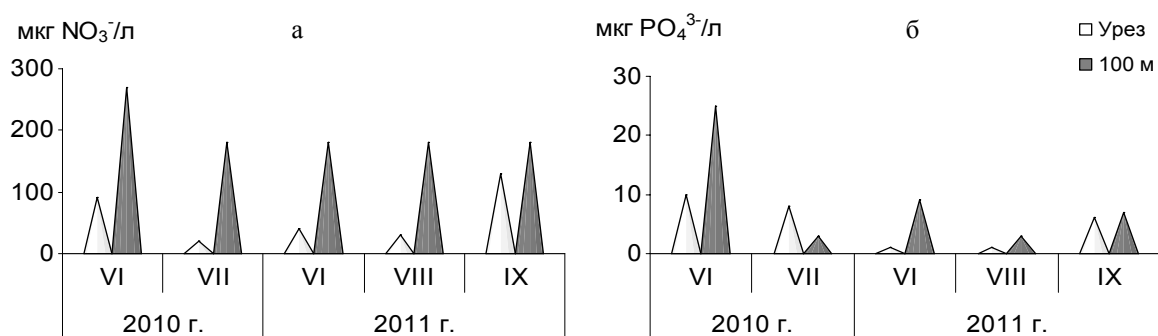


Рис. 2. Концентрации нитратного азота (а) и минерального фосфора (б) в воде литорали озера в летний период (станция «стационар ЛИН СО РАН»)

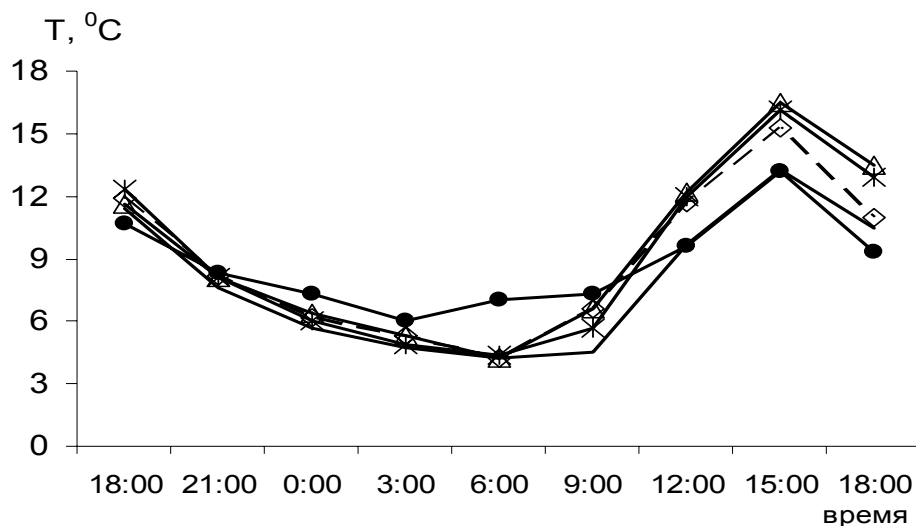


Рис. 3. Суточный ход изменений температуры воды в мезокосмах и в прибрежье оз. Байкал (станция «стационар ЛИН СО РАН») (7.09.2011 г.).

Условные обозначения: номера мезокосмов ----◇---- 1; —△— 2; —\*— 3; —●— — оз. Байкал

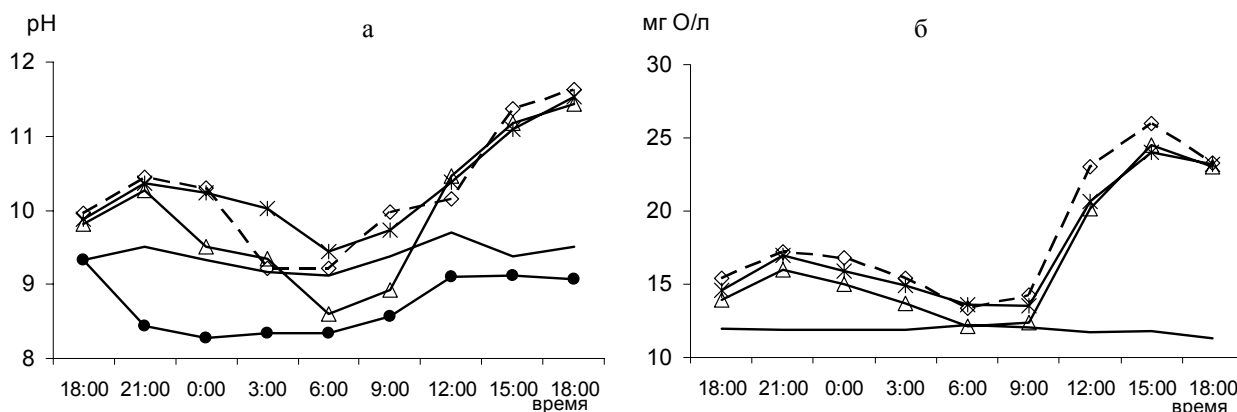


Рис. 4. Суточный ход изменений величины рН (а) и концентрации растворённого кислорода (б) в воде в мезокосмах и в прибрежье оз. Байкал (станция «стационар ЛИН СО РАН») (7.09.2011 г.). Условные обозначения: номера мезокосмов  $\diamond$  – 1;  $\triangle$  – 2;  $\ast$  – 3; \_\_\_\_\_ – контроль;  $\bullet$  – оз. Байкал

Результаты экспериментов показали значительные суточные колебания концентраций растворённого кислорода в мезокосмах (рис. 4, б). Наибольшее (до 96 % насыщения) потребление кислорода наблюдалось в ночные часы. В дневные часы в результате интенсивного процесса фотосинтеза степень насыщения воды кислородом возрастала до 260 %.

В контрольном (без улотрикса) мезокосме значения рН и концентрации кислорода в течение суток практически не изменялись. Незначительные изменения (рН – 0,6 единиц, кислород – 0,7 мг О/л) можно объяснить влиянием продукционной деятельности микроорганизмов и мелких форм водорослей.

Эксперименты с использованием улотрикса показали значительные (8,6–11,6) суточные изменения рН и содержания растворённого кислорода (96–260 % насыщения) в мезокосмах, что позволяет предположить вероятность увеличения скоростей выщелачивания химических элементов из каменного субстрата, на котором живёт вид. Н. Н. Куликова и соавторы [13] установили, что *U. zonata* потребляет микро- и макрокомпоненты не только из воды, но и из камней, на которых крепится. Измерения электропроводности воды в мезокосмах показали рост показателя к концу эксперимента. Это может быть связано с нарастанием концентраций ионов, поступающих в воду при растворении каменного субстрата (рис. 5). В прибрежной воде и в воде контрольного мезокосма изменение электропроводности в течение суток не превышало погрешности метода измерения.

### Заключение

В результате экспериментов и натурных наблюдений отмечено значительное влияние жизнедеятельности *U. zonata* на изменение химического состава прибрежной воды озера Байкал в летне-осенний период. Наблюдалось активное вовлечение фосфатов и нитратов в биологический круговорот в прибрежной воде озера над поясом *U. zonata*. В прибрежной воде озера и в условиях эксперимента (в мезокосмах), отмечено значительное повышение в дневные часы значений рН и концентрации растворённого кислорода. Кроме того, наблюдалось повышение концентраций ионов в воде мезокосмов, на что указывает увеличение электропроводности. Всё это свидетельствует об активной роли *U. zonata* в вовлечении в биологический круговорот биогенных элементов, в том числе поступающих с берега, и в создании агрессивных условий среды, способствующих растворению каменного субстрата, обрастателем которого является данный вид. Для определения количественных характеристик продукционно-деструкционных процессов с участием *U. zonata* необходимы дальнейшие натурные и лабораторные эксперименты.

Работа выполнена в рамках проекта № VII-62-1-4 «Междисциплинарные исследования заплесковой зоны как важной составляющей литорали озера Байкал» (2010–2013 гг.) (руководитель темы О. А. Тимошкин) и частично поддержана программой стратегического развития Иркутского государственного университета по проекту P212-04-004.

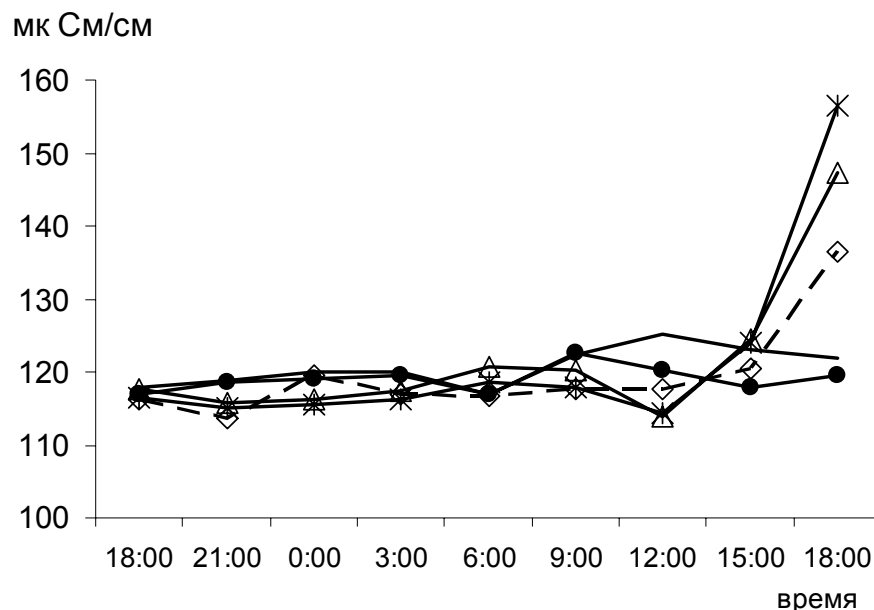


Рис. 5. Суточный ход изменений величины электропроводности воды в мезозкосмах и в прибрежье оз. Байкал (станция «стационар ЛИН СО РАН») (7.09.2011 г.). Условные обозначения: номера мезозкосмов — ◇ — 1; — △ — 2; — ✱ — 3; — — — — контроль; — ● — оз. Байкал

### Литература

1. Биология прибрежной зоны озера Байкал. Сообщение 1. Заплесковая зона: первые результаты междисциплинарных исследований, важность для мониторинга экосистемы / О. А. Тимошкин [и др.] // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. — 2011. — Т. 4, № 4. — С. 75–110.

2. Ижболдина Л. А. Атлас и определитель водорослей фитобентоса и перифритона озера Байкал (мейо- и макрофиты) с краткими очерками по их экологии / Л. А. Ижболдина. — Новосибирск : Наука-Центр, 2007. — 248 с.

3. Камшилов М. М. Экологические аспекты загрязнения водных объектов и принципиальные пути борьбы с ними / М. М. Камшилов // Гидробиология. — 1979. — Т. 15, вып. 1. — С. 7–10

4. Каплина Г. С. Макрозообентос каменистых грунтов литорали оз. Байкал и его сезонная динамика (данные 1963–1968 гг., район Больших Котов) / Г. С. Каплина // Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы. — Иркутск, 1974. — С. 126–137.

5. Лозано С. Использование мезозкосмов для оценки санитарного состояния водных экосистем / С. Лозано // Защита речных вод, озёр и эстуариев от загрязнения. — М. : Гидрометеиздат, 1989. — С. 133–147.

6. Натурное моделирование загрязнения пресного водоёма некоторыми металлами / Б. С. Смоляков [и др.] // Водные ресурсы. — 2000. — Т. 27, № 5. — С. 594–599.

7. Никаноров А. М. Научные основы мониторинга качества вод / А. М. Никаноров. — СПб. : Гидрометеиздат, 2005. — 576 с.

8. Окунева Г. Л. Сезонные изменения мезобентоса на каменистой литорали (район пос. Большие

Коты) / Г. Л. Окунева // Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы. — Иркутск, 1974. — С. 137–152.

9. Окунева Г. Л. Мезо- и микробентос в районе Больших Котов (Южный Байкал) / Г. Л. Окунева // Новые материалы по фауне и флоре Байкала. — Иркутск, 1976. — С. 116–142.

10. Окунева Г. Л. Гарпактициды озера Байкал / Г. Л. Окунева. — Иркутск, 1989. — 150 с.

11. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 1 / под ред. Л. В. Боевой. — Ростов н/Д : НОК, 2009. — 1044 с.

12. Трофимчук М. М. Закономерности функционирования водных модельных экосистем при воздействии токсических факторов : дис. ... канд. биол. наук / М. М. Трофимчук. — Ростов н/Д, 2011. — 150 с.

13. Химический элементный состав *Ulothrix zonata* (Web. Et Mohr) Kutz. залива Большие Коты оз. Байкал / Н. Н. Куликова [и др.] // Материалы II Междунар. конф. «Биоразнообразие, проблемы экологии горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее»; РИО ГОУВПО, Горно-Алтайский гос. ун-т. — 2010. — С. 108–112.

14. Экспериментальная оценка экологического риска при загрязнении водной среды токсическими веществами. 1. Преимущества и основные методологические подходы при использовании микро- и мезозкосмов для решения экологических задач (обзор проблемы) / Г. А. Виноградов [и др.] // Водные ресурсы. — 1999. — Т. 26, № 2. — С. 240–247.

15. Cairns J. Jr. Are single species toxicity tests alone adequate for estimating environmental hazard / J. Jr. Cairns // Environmental Monitoring and Assessment. — 1984. — N 4. — P. 259–273.

16. Composition, biomass, and photosynthetic activity of the benthic algal communities in a littoral zone of Lake Baikal in summer / K. Nozaki [et al.] // *Limnology*. – 2002. – N 3. – P. 175–180.

17. Elmgren R. The use of experimental ecosystems for evaluating the environmental impact of pollutants / R. Elmgren, J. B. Frithsen // *Mar. Mesocosms*. – New York, 1982. – P. 153–165.

18. Giesy J. P. Microcosms in Ecological Research. Dept. of Energy, Symp. N 52 / J. P. Giesy. –

Springfield : Va., National Inform. Center, 1980. – 1110 p.

19. Grice G. D. Introduction and description of experimental ecosystems / G. D. Grice, M. R. Reeve // *Mar. Mesocosms*. – N. Y., 1982. – P. 1–9.

20. Menzel D. W. Concept and design: Controlled ecosystem pollution experiment / D. W. Menzel, J. Case // *Bulletin Mar. Science*. – 1977. – N 27 (1). – P. 1–7.

## Influence of the green algae *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr) Kuetz on diurnal and seasonal hydro-chemical variations in the near-shore waters of Lake Baikal

E. A. Volkova<sup>1</sup>, I. V. Tomberg<sup>1</sup>, O. V. Popova<sup>1</sup>, Yu. M. Zvereva<sup>2,1</sup>, A. G. Lukhnev<sup>1</sup>,  
E. P. Zaytseva<sup>1</sup>, M. V. Sakirko<sup>1</sup>, O. A. Timoshkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Limnological Institute SB RAS, Irkutsk,

<sup>2</sup>Irkutsk State University, Irkutsk

**Abstract.** Influence of green algae, *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr), dominating the waterline zone, on the hydro-chemistry of Baikal near-shore waters, including mesocosms, was investigated during 2010–2011. In May–June, we registered growth of pH values up to 9.5 and dissolved oxygen maxima up to 150% saturation, as well as drops of the biogenic element concentration in the water edge zone above the *Ulothrix zonata* belt compared to that of the open lake waters. Measurements of dissolved oxygen, pH, temperature, electrical conductivity were taken every three hours in the mesocosms. Experimental data showed growth of pH values up to 11.6 and dissolved oxygen up to 260 % saturation in daytime. Electrical conductivity of the water also increased that would mean that *U. zonata* creates conditions favourable for destruction of the rocky substratum it inhabits.

**Key words:** *Ulothrix zonata*, Baikal, water edge zone, mesocosms, diurnal and seasonal variations, dissolved oxygen, pH, temperature and electrical conductivity of water.

*Волкова Екатерина Александровна*  
*Лимнологический институт СО РАН*  
*664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3*  
*аспирант*  
*факс (3952) 42–54–05*  
*E-mail: cathvolkova@mail.ru*

*Volkova Ekaterina Aleksandrovna*  
*Limnological Institute SB RAS*  
*3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033*  
*doctoral student*  
*fax: (3952) 42–54–05*  
*E-mail: cathvolkova@mail.ru*

*Томберг Ирина Викторовна*  
*Лимнологический институт СО РАН*  
*664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3*  
*кандидат географических наук, научный сотрудник*  
*тел. (3952) 42–65–02, факс 42–54–05*  
*E-mail: kaktus@lin.irk.ru*

*Tomberg Irina Viktorovna*  
*Limnological Institute RAS*  
*3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033*  
*Ph. D. in Geography*  
*research scientist*  
*phone: (3952) 42–65–02, fax: 42–54–05*  
*E-mail: kaktus@lin.irk.ru*

*Попова Ольга Владимировна*  
*Лимнологический институт СО РАН*  
*664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3*  
*аспирант*  
*ведущий инженер*  
*тел.: (3952) 42–82–18, факс: 42–54–05*  
*E-mail: popova-olga87@yandex.ru*

*Popova Olga Vladimirovna*  
*Limnological Institute SB RAS*  
*3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033*  
*doctoral student*  
*leading engineer*  
*phone: (3952) 42–82–18, fax 42–54–05*  
*E-mail: popova-olga87@yandex.ru*

*Зверева Юлия Михайловна*  
Иркутский государственный университет  
664003, Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5  
студент  
тел.: (3952)42-82-18  
E-mail: [spongebobuz@yandex.ru](mailto:spongebobuz@yandex.ru)

*Лухнёв Антон Геннадьевич*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3  
аспирант  
ведущий инженер  
тел.: (3952)42-82-18, факс: 42-54-05  
E-mail: [luhnev.ant@yandex.ru](mailto:luhnev.ant@yandex.ru)

*Зайцева Елена Петровна*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3  
кандидат биологических наук  
научный сотрудник  
тел.: (3952)42-82-18, факс: 42-54-05  
E-mail: [zayaz@lin.irk.ru](mailto:zayaz@lin.irk.ru)

*Сакирко Мария Владимировна*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3  
научный сотрудник  
тел.: (3952) 42-65-02, факс: 42-54-05  
E-mail: [sakira@lin.irk.ru](mailto:sakira@lin.irk.ru)

*Тимошкин Олег Анатольевич*  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
доктор биологических наук  
заведующий лабораторией  
тел. (3952)42-82-18, факс 42-54-05  
E-mail: [tim@lin.irk.ru](mailto:tim@lin.irk.ru)

*Zvereva Julia Mikhailovna*  
Irkutsk State University  
5 Sukhe-Bator St., Irkutsk, 664003  
student  
tel.: (3952)42-82-18  
E-mail: [spongebobuz@yandex.ru](mailto:spongebobuz@yandex.ru)

*Lukhnev Anton Gennad'evich*  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
doctoral student  
leading engineer  
phone: (3952)42-82-18, fax 42-54-05  
E-mail: [luhnev.ant@yandex.ru](mailto:luhnev.ant@yandex.ru)

*Zaytseva Elena Petrovna*  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
Ph. D. in Biology,  
research scientist  
phone: (3952)42-82-18, fax: 42-54-05  
E-mail: [zayaz@lin.irk.ru](mailto:zayaz@lin.irk.ru)

*Sakirko Mariya Vladimirovna*  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
research scientist  
phone: (3952) 42-65-02, fax: 42-54-05  
E-mail: [sakira@lin.irk.ru](mailto:sakira@lin.irk.ru)

*Timoshkin Oleg Anatolyevich*  
Limnological Institute RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
D. Sc. in Biology  
Head of laboratory  
phone: (3952)42-82-18, fax: 42-54-05  
E-mail: [tim@lin.irk.ru](mailto:tim@lin.irk.ru)