

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2017, 27(1): 64–72

doi.org/10.15407/alg27.01.064

УДК 581.4:582.261.5

ПОМАЗКИНА Г.В., РОДИОНОВА Е.В., ЩЕРБАКОВА Т.А., ХАНАЕВ И.В.

Лимнологический институт СО РАН,

ул. Улан-Баторская, 3, Иркутск 663044, Россия

galina@lin.irk.ru

rodionova@lin.irk.ru

tsherb@lin.irk.ru

ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОФИТОБЕНТОСА В ЛИСТВЕННИЧНОМ ЗАЛИВЕ ОЗ. БАЙКАЛ (РОССИЯ)

Исследован видовой состав, количественные характеристики и структура альгоценоза бентосных диатомовых водорослей вдоль разреза, расположенного на глубине 4–8 м в Лиственничном заливе оз. Байкал в феврале–августе 2015 г. в связи с нарушением зональности растительных поясов и массовым развитием нитчатых *Chlorophyta*. Установлено, что общая численность *Bacillariophyta* осталась на уровне, предшествующем периоду деструктивных явлений в литоральной зоне, наблюдаемых с 2011 г. Изменения структуры альгоценоза *Bacillariophyta* выражены в снижении видового разнообразия, включая редкие и эндемичные виды, и доли видов олигосапробионтов. В доминирующем комплексе, состоящем из широко распространенных видов, заметная роль принадлежит *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kütz.) L.-W., который обычно развивался на глубине до 1,5 м.

Ключевые слова: *Bacillariophyta*, микрофитобентос, зеленые нитчатые водоросли, зал. Лиственничный оз. Байкал.

Введение

Макрофиты и связанный с ними комплекс видов *Bacillariophyta* – характерные элементы прибрежной части оз. Байкал. Ежегодное поясное зарастание литорали западного берега озера водорослями из разных таксономических групп – естественный процесс (Мейер, 1930; Скабичевский, 1966). Первые три пояса растительности обычно распределялись следующим образом: первый – на глубине 0–1,5 м формировали *Ulothrix zonata* (Web. et Mohrer) Kütz., второй – на глубине до 2,5 м обитали виды *Tetraspora cylindrica* (Wahlenb.) Agardh. var. *bullosa* K.I. Mey. и *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) A.S., третий пояс – на глубине 3–12 м развивались виды эндемичного рода *Draparnaldiella* K.I. Mey. et Skab. (*Draparnaldioides* K. Mey. et Skab.). Сообщества диатомовых водорослей с доминированием одного или нескольких таксонов,

© Помазкина Г.В., Родионова Е.В., Щербакова Т.А., Ханаев И.В., 2017

нередко эндемичных, формируются в каждом растительном поясе, они хорошо изучены и сохранялись до последнего времени (Помазкина, 1992; Помазкина, Родионова, 2004; Помазкина и др., 2008).

Заметные изменения флоры впервые наблюдали в летний период 2011 г. вдоль береговой линии Лиственничного залива. На глубине 2,5–10 м было обнаружено разрастание зеленых нитчатых водорослей, сопровождаемое нарушением вертикальной зональности мейо- и макрофитов и изменением видового состава *Bacillariophyta*, приуроченных к растительным поясам (Кравцова и др., 2012). Обычно доминировавшие в первом растительном поясе эндемик *Hannaea baicalensis* Genkal, Popovsk., Kulikovskiy и *Cymbella stuxbergii* (Cl.) Cl. встречались единично. Наблюдалось угнетение развития массовых видов родов *Cymbella* Agardh, *Encyonema* Kütz., типичных для второго растительного пояса. На глубине до 5 м по численности преобладали широко распространенные мелкоклеточные (до 30 мкм) представители рода *Fragilaria* Lyngb., которые в зарослях зеленых водорослей формировали длинные, до 100 мкм, лентовидные колонии (Kravtsova et al., 2014).

Экологические изменения в биотопе способствуют активизации процессов адаптации, которые на уровне диатомового сообщества влияют на таксономический состав, видовое разнообразие, присутствие и численность индикаторных видов и эндемичных форм (Трифонова, 2007).

Цель работы – определить состояние альгоценоза *Bacillariophyta*, населяющих каменистое дно прибрежной зоны Лиственничного залива в 2015 г.

Материалы и методы

Отбор количественных проб проводили на разрезе «У озера», расположенного в зал. Лиственничный (51°51'50" N, 104°50'38" E) в феврале, марте, мае и августе 2015 г. Пробы отбирали с камней размером 20–40 см, поднятых аквалангистом с глубины 4, 6 и 8 м, смывали щеткой в чашку Петри и фиксировали 96%-ным этиловым спиртом. Объем воды и фиксатора измеряли, объединяли и перемешивали. Аликвоты этой взвеси помещали в камеру Нажотта объемом 0,05 мл, число клеток микроводорослей подсчитывали ($n = 3$) с помощью светового микроскопа Axiostar plus (Carl Zeiss). Площадь субстрата определяли способом проекции камня на миллиметровую бумагу. Сапробность *Bacillariophyta* определяли согласно спискам водорослей-биоиндикаторов (Барина и др., 2006).

Результаты и обсуждение

В 2015 г. на разрезе «У озера» на глубине 4–8 м было отмечено разрастание дна *Chlorophyta*, преимущественно представителями рода *Spirogira*, среди которых встречались единичные нити *Ulothrix zonata* и

U. tenuissima Kütz., а также куртнки *Draparnaldioides simplex* K.I. Mey. et Skab. и *D. baicalensis* K.I. Mey. et Skab. Как и в 2011 г. (Кравцова и др., 2012; Kravtsova et al., 2014), мы наблюдали нарушения, вплоть до исчезновения характерной поясности мейо- и макрофитов. Так, типичный для исследованных глубин третий растительный пояс, формируемый эндемичными видами *Draparnaldiella*, был замещен нитчатыми водорослями распространенных родов *Spirogira* и *Ulothrix*; развитие эдификатора этого пояса — *Draparnaldiella* — угнетено, встречались лишь отдельные кустики.

Подледный период

В феврале 2015 г. более 10% общей численности на разрезе составляли *Gomphonema ventricosum* и *Cocconeis placentula*, на глубине 4 м доминировали *Didymosphenia geminata* (10%), *D. grunowii* (16%), на глубине 8 м — колониальная центрическая диатомея *Ellerbeckia arenaria* f. *teres* (18%). Максимальные и минимальные значения общей численности *Bacillariophyta* на разрезе за период наблюдений приведены в табл. 1. В подледный период максимальная численность *Bacillariophyta* на глубине 4 м в феврале и на глубине 6 м в марте составляла 90 и 136 млн кл/м² соответственно. В марте количество доминантных видов пополнилось различными таксонами рода *Cocconeis* Ehrenb. (см. табл. 2), а также *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (8% их общей численности), *Navicula cryptocephala* (6%) и еще одним планктонным центрическим видом — *Cyclotella baicalensis* Skvortsov. Сопутствующими видами в этот период были *Nitzschia dissipata*, *Encyonema silesiacum*, *E. pseudoturgidum* Pomazkina & Rodionova, *Cymbella skvortzowii* Skab. и *Navicula radiosa* Kütz. В незначительном количестве встречались крупноклеточные *Cymbella stuxbergii* Cl., *Eunotia clevei* Grunow, *Gyrosigma acuminatum* Rabench. и *Yasnitskya tatyanae* Pomazkina & Rodionova. Среднее значение общей численности *Bacillariophyta* на разрезе и в феврале, и в марте не превышало 40 млн кл/м².

Таблица 1

Значения максимальной и минимальной численности *Bacillariophyta* (млн/кл/м²) на разрезе в зал. Лиственничный в 2015 г.

Глубина, м	Подледный период				Период открытой воды			
	Февраль		Март		Май		Август	
	min	max	min	max	min	max	min	max
4	51,0	90,0	9,2	16,0	60,5	74,8	15,0	27,1
6	25,6	28,0	63,6	136,0	59,0	69,0	44,4	56,7
8	19,0	33,8	11,3	31,1	10,0	11,4	130,7	269,0

Диатомовые водоросли, развивавшиеся в подледный период 1998 г. на участке многолетних наблюдений в Южном Байкале — полигоне

Б. Коты (51°53'59" N, 105°03'51" E) – и на разрезе в зал. Лиственничный в 2015 г., сходны по присутствию в доминирующем комплексе эвритермных широко распространенных таксонов: *Cocconeis placentula*, *Gomphonema ventricosum* и *Navicula cryptocephala* (Помазкина и др., 2008). Нынешний состав отличается наличием в числе доминантов на глубине 4–8 м *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*, исторически принадлежащего первому растительному поясу, обильным развитием *Didymosphenia geminata* и *D. grunowii*, поясообразующими видами второго растительного пояса на глубине не более 2,5 м, а также высокой численностью *Ellerbeckia arenaria* f. *teres*, которая прежде не достигала таких значений. Отмечено отсутствие нередко массового в предыдущие десятилетия вида *Pinnularia microstauron* (Ehrenb.) Cl. – индикатора чистых вод (Помазкина, Родинова, 2004; Flower et al., 2004).

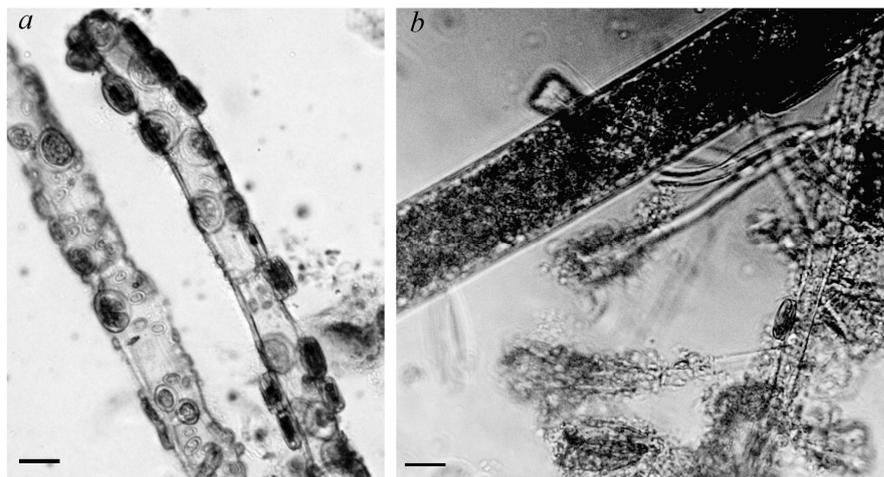
Период открытой воды

В мае после вскрытия льда продолжалась обильная вегетация нитчатых водорослей рода *Spirogyra*, к которой присоединился *Ulothrix zonata*. Доминирующий комплекс диатомей (*Gomphonema ventricosum*, *Navicula cryptocephala*, *Cocconeis placentula*, *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae*) пополнился *Nitzschia dissipata* (10% общей численности). Сопутствующими были *Amphora ovalis* Kütz. и *Gyrosigma acuminatum* (Kütz.) Rabench. Заметный вклад в разнообразие *Bacillariophyta* вносили представители родов *Navicula* Borg и *Nitzschia* Hassall. В мае 2015 г. отсутствовали *Staurosirella pinnata* (Ehrenb.) D.M. Williams et Round и *Meridion circulare* (Grev.) Agardh, ранее нередко создававшие высокую численность (Помазкина, Родинова, 2004). Общая средняя численность микрофитобентоса после вскрытия льда на разрезе оставалась на уровне подледного периода.

В августе 2015 г. 23% общей численности формировали *Navicula cryptocephala* и *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (8%). Обильно развивающиеся на отмирающих нитях зеленых водорослей *Gomphonema ventricosum* и *Cocconeis placentula* (см. рисунок) составляли 11 и 9% общей численности соответственно. Доля *Ellerbeckia arenaria* f. *teres* и *Amphora ovalis* не превышала 10%. *Navicula cryptocephala*, *C. placentula* и, реже, *G. ventricosum*, по данными прошлых лет, также фигурируют как доминанты летнего микрофитобентоса (Помазкина, Родинова, 2004; Помазкина и др., 2008). Обильное развитие *F. capucina* var. *vaucheriae* вместе с эндемичным *Hannaea baicalensis* обычно наблюдалось в поясе *Ulothrix zonata* от уреза до 1,5 м. На глубине третьего растительного пояса экстремально высокая численность ($570 \cdot 10^6$ кл/м²) *F. capucina* var. *vaucheriae*, формировавшего длинные лентовидные колонии, впервые была отмечена в 2011 г. в период вспышки развития *Chlorophyta* при угнетенном развитии остальных массовых видов *Bacillariophyta* (Kravtsova et al., 2014). В настоящее время обильное развитие *F. capucina*

var. *vaucheriae* наблюдали на глубине 4–8 м, но без образования длинных лентовидных колоний. Максимальная за период наблюдений 2015 г. численность этого таксона отмечена в мае на глубине 4 м – $25 \cdot 10^6$ кл/м², что в 2 раза меньше, чем в 2011 г.

Эндемичные *Gyrosigma baicalensis* Skvortsov et K.I. Mey., *Gomphonema quadripunctatum* var. *baicalensis* Skvortsov et K.I. Mey., *Stephananodiscus makarovaе* Genkal, которых ранее нередко относили к субдоминантам, а иногда и к доминирующим видам (Помазкина, 1992), встречались единично или не обнаружены.



Эпифитные диатомовые водоросли на нитях макрофитов:
a – *Cocconeis placentula*; b – *Gomphonema ventricosum*. Масштаб 20 мкм

В августе 2015 г. на глубине 8 м отмечен рост видового разнообразия *Bacillariophyta*, связанный, скорее всего, с выносом из глубоководных слоев литоральной зоны представителей разных родов – *Eunotia*, *Epithemia*, *Cymbella*, *Surirella*, *Cymatopleura*, *Diploneis* и др., которые, также как и эндемичные виды *Encyonema pseudoturgidum* и *Yasnitskya tatyana*, встречались редко или единично. На этой же глубине отмечена максимальная численность клеток *Bacillariophyta* (269 млн кл/м²).

Такономический список бентосных *Bacillariophyta*, обнаруженных на разрезе в зал. Лиственничный в 2015 г., включает примерно 60 видов, из которых мы выделили 18, численность их на разрезе составляла не менее 1% (табл. 2). Из них 28% видов, согласно данным Бариновой и др. (2006), относятся к олиго-, ксено- или олиго-ксеносапробионтам, предпочитающим олиготрофные условия обитания, 72% видов – обитатели в разной степени загрязненных вод (мезосапробионты). По данным наблюдений 1997–2002 гг., на полигоне Б. Коты, половина из 26 массовых видов относится к индикаторам чистых вод (Помазкина,

Щербакова, 2011). Общая численность *Bacillariophyta* на двух участках Южного Байкала, разделенных 18-километровой береговой зоной, имеет сходные значения.

Таблица 2

Сапробность видов *Bacillariophyta* (согласно Бариновой и др., 2006)

Таксон	Сапробность
<i>Amphora ovalis</i> (Kütz.) Kütz.	α - β
<i>Cocconeis placentula</i> Ehrenb. var. <i>placentula</i>	α - β
<i>C. neothumensis</i> Krammer	β - α
<i>C. pediculus</i> Kütz.	α - α
<i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngb.) A.S.	χ
<i>D. grunowii</i> L.-B. et Metzeltin	–
<i>Ellerbeckia arenaria</i> f. <i>teres</i> (Brun) Crawford	α - α
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) Mann	–
<i>Fragilaria capucina</i> var. <i>vaucheriae</i> (Kütz.) L.-B.	α - β
<i>Gomphonema ventricosum</i> Greg.	α - χ
<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.	χ
<i>N. radiosa</i> Kütz.	α
<i>Nitzschia angustata</i> (W. Sm.) Grunow	χ - β
<i>N. dissipata</i> (Kütz.) Grunow	χ
<i>N. fonticola</i> (Grun.) Grunow	α - β
<i>N. frustulum</i> (Kütz.) Grunow	–
<i>N. microcephala</i> Grunow	α - β
<i>N. perminuta</i> (Grunow) Perag.	β

Примечание. Численность видов *Bacillariophyta* на разрезе в зал. Лиственничный в 2015 г. составляла не менее 1%.

Обозначения: χ – ксеносапробионт, α - χ – олиго-ксеносапробионт, χ - β – ксено-бетамезосапробионт, α – олигосапробионт, α - α – олиго-альфамезосапробионт; α - β – олиго-бетамезосапробионт, β – бета-мезосапробионт, β - α – бета-альфамезосапробионт, α - β – альфа-бетамезосапробионт, «–» – нет данных.

Так, в 2015 г. в подледный период в зал. Лиственничный этот показатель составлял 40 млн кл/м² (в 2002 г. на полигоне Б. Коты – 30 млн кл/м²); в августе максимальная численность на первом участке достигала 270 млн кл/м², на втором – 300 млн кл/м² (Помазкина и др., 2008). Однако, сравнивая структуру альгоценозов *Bacillariophyta* на этих участках, отметим, что в зал. Лиственничный снизилась доля видов, предпочитающих олиготрофные условия обитания за счет увеличения

количества мезосапробионтов, что является результатом повышения уровня трофности вод залива (фото).

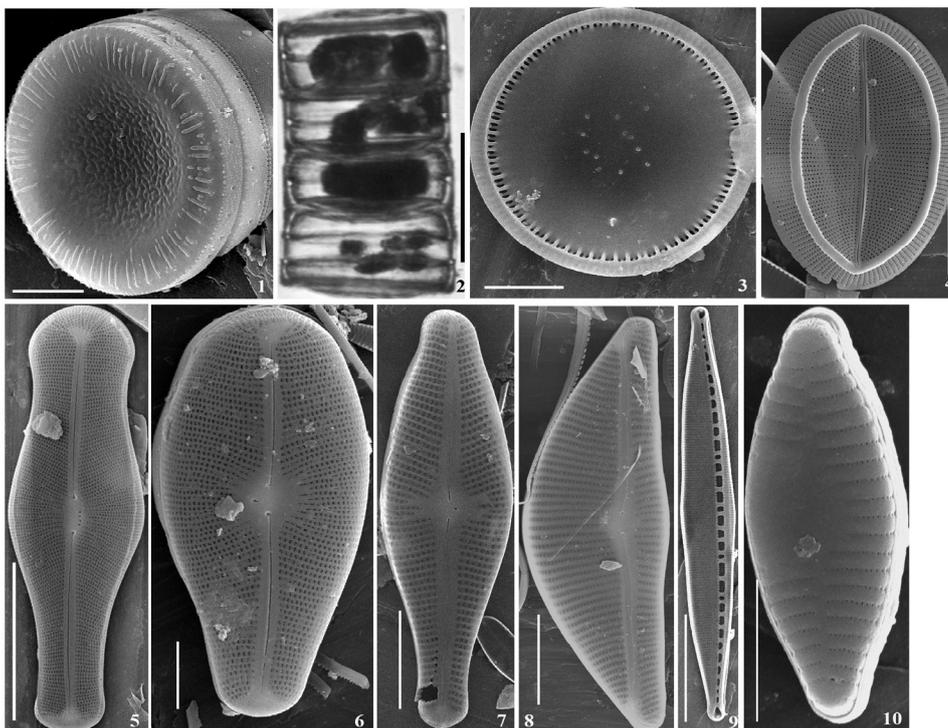


Фото. Доминирующие виды *Bacillariophyta* в зал. Лиственничный (2 – СМ; 1, 3–10 – СЭМ):

1 – *Ellerbeckia arenaria* f. *teres*; 2 – колония клеток *E. arenaria* f. *teres*; 3 – *Cyclotella baicalensis*; 4 – *Cocconeis placentula*; 5 – *Didymosphenia geminata*; 6 – *D. grunowii*; 7 – *Gomphonema ventricosum*; 8 – *Encyonema silesiacum*; 9 – *Nitzschia dissipata*; 10 – *Fragilaria carpicina* var. *vaucheriae*. Масштаб: 1, 3, 4, 6–9 – 10 мкм; 2, 5 – 50 мкм; 10 – 5 мкм

Заключение

В 2015 г. в Лиственничном заливе оз. Байкал отмечено обеднение общего видового разнообразия микрофитобентоса, включая эндемичные и редкие формы. Общая численность *Bacillariophyta* находится в пределах значений многолетних наблюдений. Отсутствие в составе массовых видов, ранее нередко доминантных или субдоминантных байкальских эндемиков, связано с наблюдаемой с 2011 г. деградацией характерных поясов растительности литоральной зоны. Увеличение в структуре альгоценоза диатомовых водорослей доли мезосапробионтов и снижение доли олиготрофных видов свидетельствуют о сохраняющемся повышенном уровне трофности вод залива.

Работа выполнена в рамках проекта ФАНО России 0345-2014-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей — индикаторов окружающей среды. — Тель-Авив: Pil. Stud., 2006. — 439 с.
- Кравцова Л.С., Изболдина Л.А., Ханаев И.В., Помазкина Г.В., Домышева В.М., Сакирко О.С., Грачев М.А. Нарушение вертикальной зональности зеленых водорослей в прибрежной части залива Лиственничный озера Байкал // Докл. РАН. — 2012. — 447. — С. 227–229.
- Мейер К.И. Введение во флору водорослей оз. Байкал // Бюл. МОИП. — 1930. — 39(3–4). — 399 с.
- Помазкина Г.В. Зональное распределение микрофитобентоса в Южном Байкале // Альгология. — 1992. — 2(4). — С. 66–72.
- Помазкина Г.В., Родионова Е.В. Бентосные *Bacillariophyta* в Южном Байкале (Россия) // Альгология. — 2004. — 14(1). — С. 62–72.
- Помазкина Г.В., Щербакова Т.А. Характеристика массовых видов *Bacillariophyta* литоральной зоны оз. Байкал (Россия) // Альгология. — 2011. — 21(1). — С. 52–69.
- Помазкина Г.В., Родионова Е.В., Мушникова О.М. Микрофитобентос Южного Байкала // Альгология. — 2008. — 18(2). — С. 160–172.
- Скабичевский А.П. О распределении донной растительности Байкала в окрестностях Больших Котов // Бюл. МОИП. — 1966. — 71(6). — С. 108–119.
- Трифорова И.С. Биоиндикация в лимнологическом мониторинге // Биоиндикация в мониторинге пресных экосистем. — С.Пб.: ЛЕМА, 2007. — С. 23–27.
- Flower R.J., Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Williams D.M. Local and meso-scale diversity patterns of benthic diatoms in Lake Baikal // Seventeenth Int. Diatom Symp. (2002, Ottawa, Canada). — Bristol: Biopress Limit., 2004. — P. 69–92.
- Kravtsova L.S., Izboldina L.A., Khanaev I.V., Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Domyшева V.M., Sakirko M.V., Tomberg I.V., Kostornova T.Ya., Kravchenko O.S., Kupchinsky A.B. Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal // Great Lakes Res. — 2014. — 40. — P. 441–448.

Поступила 26 мая 2016 г.

Подписал в печать С.И. Генкал

REFERENCES

- Barinova S.S., Medvedeva L.A., and Anisimova O.V., *Bioraznoobrazie vodorosley — indikatorov okruzhayushchey sredy* [*Algae Biodiversity — environmental indicators*], Pil. Stud., Tel Aviv, 2006, 439 p. (Rus.)
- Flower R.J., Pomazkina G.V., Rodionova E.V., and Williams D.M., *Seventeenth Intl. Diatom Symp. (2002, Ottawa, Canada)*, Biopress Limit., Bristol, 2004, pp. 69–92.
- Kravtsova L.S., Izboldina L.A., Khanaev I.V., Pomazkina G.V., Domyшева V.M., Sakirko O.S., and Grachev M.A., *Dokl. RAN*, 2012, 447: 227–229.
- Kravtsova L.S., Izboldina L.A., Khanaev I.V., Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Domyшева V.M., Sakirko M.V., Tomberg I.V., Kostornova T.Ya., Kravchenko O.S., and Kupchinsky A.B., *Great Lakes Res.*, 2014, 40: 441–448.

- Meyer K.I., *Bull. MOIP*, 1930, 39(3–4): 399.
Pomazkina G.V. and Rodionova E.V., *Algologia*, 2004, 14(1): 62–72.
Pomazkina G.V., *Algologia*, 1992, 2(4): 66–72.
Pomazkina G.V., Rodionova E.V., and Mushnikova O.M., *Algologia*, 2008, 18(2): 160–172.
Pomazkina G.V. and Shcherbakova T.A., *Algologia*, 2011, 21(1): 52–69.
Skabichevskiy A.P., *Bull. MOIP*, 1966, 71(6): 108–119.
Trifonova I.S., *Bioindikatsiya v monitoringe presnykh ekosistem [Bioindication in freshwater ecosystems monitoring]*, LEMA, St. Petersburg, 2007, pp. 23–27. (Rus.)

ISSN 0868-854 (Print)

ISSN 2413-5984 (Online). *Algologia*. 2017, 27(1): 64–72

doi.org/10.15407/alg27.01.064

Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Scherbakova T.A. & Khanaev I.V.

Limnological Institute, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
3, Ulan-Batorskaya St., 664033 Irkutsk, Russia

CHANGES OF MICROPHYTOBENTHOS IN LISTVENNICHNYI BAY, LAKE BAIKAL (RUSSIA)

Species composition, quantitative characteristics and algocoenosis structure of benthic diatoms were investigated due to violation of vegetation zones and mass development of filamentous *Chlorophyta* in Listvennichnyi Bay of Lake Baikal. Sampling was carried out in February and August 2015 along the section located at a depth of 4–8 m. It was found that the total number of *Bacillariophyta* remained at the level of that reported in the period before the advent of destructive phenomena in the littoral zone, observed since 2011. In the structure of *Bacillariophyta* algocoenosis we recorded a reduction of species diversity, including number of rare and endemic species, as well as the decrease in the proportion of oligosaprobionts. The dominant complex consisting of widely distributed species, prominent role belongs to *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kütz.) L.-B., which is usually developed at a depth of 1.5 m.

Key words: *Bacillariophyta*, microphytobenthos, filamentous green algae, Listvennichnyi Bay, Lake Baikal.