

УДК 581.4:582.261.5(282.256.341)

**Г.В. ПОМАЗКИНА, Т.А. ЩЕРБАКОВА**

Лимнологический ин-т СО РАН,  
ул. Улан-Баторская, 3, 664033 Иркутск, Россия

## **ХАРАКТЕРИСТИКА МАССОВЫХ ВИДОВ *BACILLARIOPHYTA* ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ ОЗ. БАЙКАЛ (РОССИЯ)**

---

Исследован состав, количественные характеристики и экология доминирующих видов диатомовых водорослей на двух разрезах литоральной зоны оз. Байкал: на западном побережье у пос. Большие Коты и на восточном вблизи г. Байкальска. На обоих разрезах выделено и охарактеризовано 28 массовых представителей диатомовых водорослей, являющихся индикаторами экологических условий. Обнаружена биотопическая приуроченность видов к определенному субстрату. Описано распределение их по вертикали, приведена межгодичная динамика численности и биомассы. Различная толерантность массовых диатомей к органическим компонентам среды вместе с различным уровнем их развития, по многолетним наблюдениям, свидетельствуют о разной трофности исследованных участков литорали. Анализ количественных показателей развития представителей диатомового сообщества указывает на преобладание ксено- и олиго-ксеносапробных видов на западном берегу, а на восточном разрезе — преобладание о- и о-мезосапробионтов.

**Ключевые слова:** микрофитобентос, *Bacillariophyta*, индекс встречаемости, индекс значимости, сапробность, оз. Байкал.

### **Введение**

Биологический контроль донных водорослей на станциях длительного наблюдения является важным элементом отслеживания изменений в водоеме, поскольку диатомовые водоросли реагируют на все виды загрязнений и являются интегральным показателем качества воды как среды обитания (Кожова, Паутова, 1984; Кожова и др., 1989; Барина и др., 2006). При оценке экологического состояния учитывают видовой состав, численность и биомассу бентосных водорослей, которые достоверно отражают локальные условия в литоральной зоне, а модификация этих показателей связана с факторами окружающей среды (Охупкин, Старцева, 2003; Семенченко, 2004; Трифонова, 2007; Шаров, 2008). Как правило, индикаторными организмами являются широко распространенные и легко идентифицируемые виды (Hellawell, 1986). Методы биоиндикации применяются на многих водоемах (Тавасси и др., 2005; Афанасьева и др., 2007; Барина, Медведева, 2007).

© Г.В. Помазкина, Т.А. Щербакова, 2011

За последнее десятилетие большое внимание уделено изучению видового состава и количественных характеристик водорослей вдоль береговой линии озера Байкал (Flower et al., 2004; Помазкина, Родионова, 2004, 2008; Родионова, Помазкина, 2005, 2007). Доминирующие представители *Bacillariophyta* в литорали озера Байкал отличаются стабильной локализацией и служат удобными объектами для наблюдений. Характеризуются они выраженной сезонностью пиков развития, приуроченных к определенным коротким интервалам годового цикла (Ижболдина, 2007; Помазкина, Родионова, 2008). В фитобентосе оз. Байкал выявлено три растительных пояса (Мейер, 1930). Первый пояс (глубина 0–1,5 м) образует *Ulothrix zonata* Kütz., второй (глубина 1–2,5 м) – *Tetraspora cylindrica* (Wahlenb.) Agardh var. *bullosa* K.I. Mey. и *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M. Schmidt, третий (2–12 м) формируют виды эндемичного рода *Draparnaldiella* C. Meyer et Skabitsch. (*Draparnaldioides* C. Meyer et Skabitsch.). Эти пояса четко выражены у п. Б. Коты, где от уреза воды в глубь озера наблюдается медленное понижение дна до глубины 10–12 м. В пределах каждого растительного пояса отмечена значительная неоднородность сообществ с доминированием одного или нескольких представителей диатомей. Именно они определяют специфику структуры бентосных сообществ и уровень продуктивности. Разрез восточного берега у г. Байкальска выбран на пологом склоне, где преобладают мощные мелководные террасы аккумулятивного типа, подверженные ветрам северо-восточного и северо-западного направлений (Карабанов, 1990). Действием этих ветров, преобладающих на Байкале в летнее время, объясняются повышенные температуры верхних слоев воды у восточного берега по сравнению с западным. Поясность в распределении мейо- и макрофитов на разрезе не выражена. Фитоценоз *Ulothrix zonata* отмечен отдельными островками, другие макрофиты за период наблюдений встречались единично. Эти особенности частично обусловлены тем, что галечно-валунный материал тянется узкой полосой вдоль берега и покрыт слоем наилка, который препятствует прикреплению водорослей. Кроме того, на побережье, где расположен город, имеется Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат, который продолжительное время сбрасывал сточные воды в озеро.

Цель данной работы – охарактеризовать состав и особенности пространственного распределения массовых бентосных диатомовых водорослей литоральной зоны оз. Байкал и выявить виды-индикаторы условий среды обитания.

### Материалы и методы

Для изучения экологии доминирующих видов использовали пробы, собранные нами в июне-сентябре 1997–2002 гг. на двух разрезах, расположенных перпендикулярно берегу у п. Большие Коты от уреза воды до глубины 15 м и у г. Байкальска от уреза воды до глубины 6 м. Пробы собирали аквалангисты с твердого неорганического субстрата с учетом степени обрастания камней макрофитами. Поверхностный слой

песка отбирали трубчатым дночерпателем площадью 5 см<sup>2</sup>. Образцы фиксировали 96 %-м этиловым спиртом. Площадь субстрата определяли переводом проекции камня на миллиметровую бумагу. Придонную температуру воды измеряли от уреза воды до глубины 15 м. Число клеток микроводорослей подсчитывали в камере Нажотта объемом 0,05 мл в 2-3 повторностях. Биомассу микрофитобентоса определяли по методике Макаровой, Пичкилы (1970). Массовым считали вид, составляющий более 5 % биомассы микрофитобентоса, встречаемость – отношение числа проб, в которых отмечен данный вид, к общему числу проанализированных проб.

В работе приведены средние данные многолетних наблюдений по биомассе за биологическое лето (июль – сентябрь) по классификации сезонов в оз. Байкал (Кожов, 1955), разработанной на основании биологических, гидрологических и химических данных. Для классификации видов по их роли и значимости в микрофитобентосе, а также в связи с неравномерностью распределения биомассы видов применяли индекс, являющийся производным частоты встречаемости вида и величины его средней биомассы за многолетний период наблюдений.

Рассчитывали его по формуле:  $I = V \times B$ , где  $B$  – средняя биомасса вида,  $V$  – частота его встречаемости (Кожова, 1998).

Виды-индикаторы сапробности ( $S$ ) определяли согласно классификации Пантле-Бука (Унифицированные ..., 1977; Барина и др., 2006; Pantle, Buck, 1955; Sládek, 1986) и Т. Ватанабе (Watanabe et al., 1986). Виды-индикаторы солености воды устанавливали согласно системе Штермера и Смола (Stoermer, Smol, 1999). Виды, чувствительные к рН воды, выявлены с помощью классификации Ф. Хустета (Hustedt, 1938, 1939), дополненной и уточненной М. Порк (1967).

## Результаты и обсуждение

На основе анализа данных массовые водоросли, развивающиеся на двух разрезах и формирующие основу биомассы сообществ микрофитобентоса, представлены 28 видами. Данные о максимальной и средней биомассе доминирующих видов, предпочитаемая глубина и оптимальная температура воды для их развития приведены в таблице.

### Экологическая характеристика и особенности морфологии массовых видов

*Didymosphenia geminata* – северо-альпийский вид (олигогалоб, индифферент). В литоральной зоне у п. Б. Коты в сообществе с *Tetraspora cylindrica* образует второй растительный пояс с одноименным названием. В первой декаде июля на отдельных камнях хорошо заметны кустиковидные колонии, состоящие в основном из клеток *D. geminata* и образующие практически монодоминантное сообщество (иногда с примесью видов рода *Cymbella* Agardh.) В августе *D. geminata* становится субстратом в основном для представителей рода *Gomphonema* Agardh. и

*Cymbella*. С помощью микрофотографа обнаружены три формы *D. geminata*. Первая — *D. geminata* var. *sibirica* Grunow. f. *subcapitata* — узкоголовчатая, наиболее распространенная форма, длина клеток 130–150 мкм, что больше значений диагноза, приведенных К. В. Скворцовым (Skvortzov, 1937). Вторая — *D. geminata* var. *stricta* с нечетко выраженной головкой, длина клеток от 130 до 200 мкм). И последняя широкоголовчатая изогнутая форма — *D. geminata* var. *sibirica* f. *curvata*, длина клеток от 40 до 100 мкм. Исследование *D. geminata* и ее форм в литоральной зоне по всему озеру показало, что плотные колонии она образует только на западном побережье совместно с *D. dentata* f. *elongata* Skvortzov (Flower et al., 2004).

*Hannaea arcus* (Ehrenb.) R.M. Patrick et Reimer — *H. baicalensis* Genkal, Porovsk. et Kulikovskiy (Генкал и др., 2008) — олигогалоб, индифферент, реофильный, холодолюбивый, ксеносапроб, чувствителен к следовым органическим загрязнениям (Медведева, 1994; Медведева, Баринаова, 2004; Ким, 2007). Является представителем первого растительного пояса, развивается среди *Ulothrix zonata*. В литорали оз. Байкал неоднородность его распределения в пределах зоны обитания связана не только с глубиной и характером субстрата, но и с развитием *U. zonata*. Сезонный ритм, сроки массового появления и отмирания этих видов совпадают. На отдельных камнях вид встречается совместно с *Hannaea arcus* и *H. arcus* var. *amphioxys* (Rabenh.) Grun. У п. Б. Коты *H. baicalensis* образует плотные колонии, преимущественно на камнях средней величины (от 10 до 40 см). На мелком галечнике и песке встречается единично. Характерны межгодовые и сезонные изменения его численности и биомассы, а также резкие колебания размеров клеток и степени изгиба створки. В первой декаде июля 1998–1999 гг. и 2001–2002 гг., при температуре 10–12 °С вид составлял 50–80 % общей биомассы. Своим обилием он подавлял развитие других диатомовых водорослей, образуя монодоминантное сообщество.

На разрезе у г. Байкальска *H. baicalensis* не образовывал больших скоплений, за исключением июля 1998 г., когда биомасса его составляла 631 мг/м<sup>2</sup>. Повсеместно отсутствовал и *Ulothrix zonata*. Среднегодовалая биомасса — 52 мг/м<sup>2</sup>. Исследования горизонтального распределения *H. baicalensis* в литорали по всему озеру показали, что вид отмечается повсюду, за исключением восточного берега южной котловины, где встречается единично (Flower et al., 2004).

Доминирующие представители рода *Gomphonema* Ag. входят в группу олигосапробионтов (рис. 1). Клетки прикрепляются к субстрату студенистыми ножками, образуя ветвистые колонии. Представители рода особенно обильны во втором и третьем растительных поясах и играют важную роль в жизни биоценозов литорали. К массовым относятся *G. quadripunctatum* и *G. ventricosum* subsp. *baicalense*. Сопутствующими являются *G. olivaceum* (Lyngb.) Kütz. var. *olivaceum*, *G. lanceolatum* Ehrenb. и *G. acuminatum* Ehrenb. Эти виды развиваются по всему озеру (Мейер, 1930; Скабичевский, 1984) и широко распространены в других водоемах (Баринаова, Медведева, 1996; Михеева, 1999; Баринаова и др., 2006; An Atlas ..., 1996).

Максимальные и средние значения биомассы доминирующих видов микрофитобентоса на двух трансектах оз. Байкал: глубина и температура воды в период их развития

| Таксон  | Разрез у п. Б. Коты         |  |                                   | Разрез у г. Байкальск       |                    |                                   |
|---|-----------------------------|--|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------|
|   | Биомасса, мг/м <sup>2</sup> |  | Температура воды, °С (глубина, м) | Биомасса, мг/м <sup>2</sup> |                    | Температура воды, °С (глубина, м) |
|   | Средняя                     | Максимальная                           |                                   | Средняя                     | Максимальная       |                                   |
| <i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngb.) M. Schmidt               | 2000                        | 06.2002 г.<br>2200                     | 6-15<br>(2-4)                     | 145                         | 08.2002 г.<br>400  | 14-15<br>(0-1)                    |
| <i>Hannaea baicalensis</i> Genkal, Popovsk. et Kulikovskiy      | 500                         | 06.2002 г.<br>1590                     | 10-12<br>(0-2)                    | 52                          | 07.1998 г.<br>631  | 10-12<br>(0-1)                    |
| <i>Gomphonema quadripunctatum</i> (Östr.) Wislouch              | 500                         | 07.2002 г.<br>2200                     | 6-15<br>(2-6)                     | 400                         | 07.2002 г.<br>2400 | 10-16<br>(2-4)                    |
| <i>G. ventricosum</i> Greg. subsp. <i>baicalense</i> Skabitsch. | 250                         | 06.1998 г.<br>704<br>07.2000 г.<br>740 | 6-14<br>(4-12)                    | 73                          | 07.2000 г.<br>141  | 10-15<br>(0-1)                    |
| <i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenh.                     | 104                         | 07.1998 г.<br>602                      | 2-4<br>(8-15)                     | 92                          | 07.2001 г.<br>242  | 5-6<br>(1-2)                      |
| <i>Cymbella stuxbergii</i> Cleve                                | 255                         | 08.2001 г.<br>520                      | 8-15<br>(0-5)                     | 28                          | 47                 | 8-14<br>(1-2)                     |
| <i>C. ventricosa</i> var. <i>ventricosa</i> Bréb.               | 200                         | 07.2001 г.<br>400                      | 6-14<br>(2-4)                     | 2250                        | 09.1999 г.<br>364  | 14-15<br>(0-5)                    |
| <i>C. iurgida</i> W. Greg.                                      | 52                          | 09.1999 г.<br>345                      | 6-14<br>(2-3)                     | 155                         | 09.1999 г.<br>364  | 9-14<br>(2-4)                     |

|   |     |  |                 |     |  |                |
|---|-----|--|-----------------|-----|--|----------------|
| <i>Cumbella tumida</i> (Bréb. ex Kütz.)<br>Grunow in van Heurck.              | 47  | 07.2002 г.<br>267                      | 6-14<br>(2-4)   | 125 | 07.2002 г.<br>450                      | 9-14<br>(3-5)  |
| <i>C. silesiaca</i> Bleisch in Rabenh.  | 30  | 07.2001 г.<br>200                      | 6-14<br>(2-4)   | 12  | 09.1999 г.<br>55                       | 14-15<br>(0-5) |
| <i>Neidium iridis</i> (Ehrbenb.) Cleve  | 155 | 08.1998 г.<br>400<br>08.1998 г.<br>700 | 2-4<br>(8-15)   | 49  | 07.2001 г.<br>200                      | 8-10<br>(2-5)  |
| <i>Navicula lacus baicalii</i> Skvortsov, et<br>Meyer                         | 75  | 09.2002 г.<br>733                      | 9-10<br>(3-5)   | 20  | 09.2001 г.<br>263                      | 9-15<br>(3-5)  |
| <i>N. radiosa</i> Kütz.   | 513 | 09.2001 г.<br>120                      | 12-13<br>(8-10) | 800 | 09.2002 г.<br>240                      | 6-14<br>(0-5)  |
| <i>N. cryptocephala</i> var. <i>cryptocephala</i> Kütz.                       | 120 | 09.2000 г.<br>46                       | 12-13<br>(8-10) | 267 | 09.2002 г.<br>121                      | 6-15<br>(0-6)  |
| <i>N. tripunctata</i> (O.F. Müll.) Bory                                       | 122 | 09.2003 г.<br>41                       | 12-13<br>(8-12) | 561 | 09.2002 г.<br>260                      | 6-14<br>(0-6)  |
| <i>N. oppugnata</i> Hust.   | 25  | 09.2003 г.<br>10                       | 12-13<br>(8-12) | 454 | 09.2002 г.<br>104                      | 6-15<br>(0-6)  |
| <i>Cocconeis placenticola</i> Ehrenb. var.<br><i>placenticola</i>             | 129 | 10.1999 г.<br>383<br>10.2002 г.<br>706 | 5-7<br>(1-6)    | 243 | 10.2000 г.<br>242<br>10.2002 г.<br>769 | 6-15<br>(0-6)  |
| <i>Fragilaria capucina</i> f. <i>lancoolata-baikali</i><br>Flower et Williams | 47  | 07.1999 г.<br>183                      | 8-10<br>(2-4)   | 97  | 07.1999 г.<br>270                      | 10-12<br>(0-4) |

|  |     |                    |               |     |  |                |
|--|-----|--------------------|---------------|-----|--|----------------|
| <i>Fragilaria capucina</i> f. <i>sublanceolata-baikali</i> Flower Williams | 57  | 07.1999 г.<br>321  | 8-10<br>(2-4) | 127 | 07.1999 г.<br>400                        | 10-12<br>(0-4) |
| <i>F. crotonensis</i> Kitt   | 20  | 56                 | 8-10<br>(2-4) | 200 | 09.2002 г.<br>843                        | 9-12<br>(2-4)  |
| <i>Nitzschia recta</i> var. <i>robusta</i> Hust.                           | 29  | 07.1998 г.<br>1438 | 8-10<br>(5-6) | 120 | 09.2000 г.<br>331                        | 9-12<br>(3-4)  |
| <i>N. patea</i> (Kütz.) W. Sm.   | 10  | 07.1998 г.<br>25   | 8-10<br>(5-6) | 10  | 07.1998 г.<br>18                         | 9-12<br>(3-4)  |
| <i>N. dissipata</i> (Kütz.) Grunow   | 111 | 07.1999 г.<br>222  | 8-10<br>(6-8) | 48  | 08.1997 г.<br>191                        | 8-9<br>(3-5)   |
| <i>Diploneis ovalis</i> (Hilse) Cl. var. <i>ovalis</i>                     | 12  | 07.1999 г.<br>20   | 6-8<br>(5-8)  | 110 | 07.2002 г.<br>351                        | 12-14<br>(0-1) |
| <i>D. elliptica</i> (Kütz.) Cleve  | 12  | 07.1999 г.<br>28   | 6-8<br>(5-8)  | 93  | 08.2003 г.<br>190                        | 12-14<br>(0-1) |
| <i>Ellerbekia arenaria</i> var. <i>teres</i> (Ralfs ex Moore) Crawford     | 340 | 09.2002 г.<br>1538 | 6-8<br>(8-10) | 500 | 09.2000 г.<br>1296<br>09.2000 г.<br>2368 | 8-10<br>(4-6)  |
| <i>Amphora sibirica</i> Skvortsov et Meyer                                 | 120 | 09.2002 г.<br>505  | 7-8<br>(5-10) | 10  | 09.2002 г.<br>40                         | 12-14<br>(0-1) |
| <i>A. ovalis</i> var. <i>affinis</i> Ehrbenb.                              | 30  | 09.2002 г.<br>70   | 8-9<br>(2-6)  | 102 | 09.2002 г.<br>468                        | 12-14<br>(0-1) |

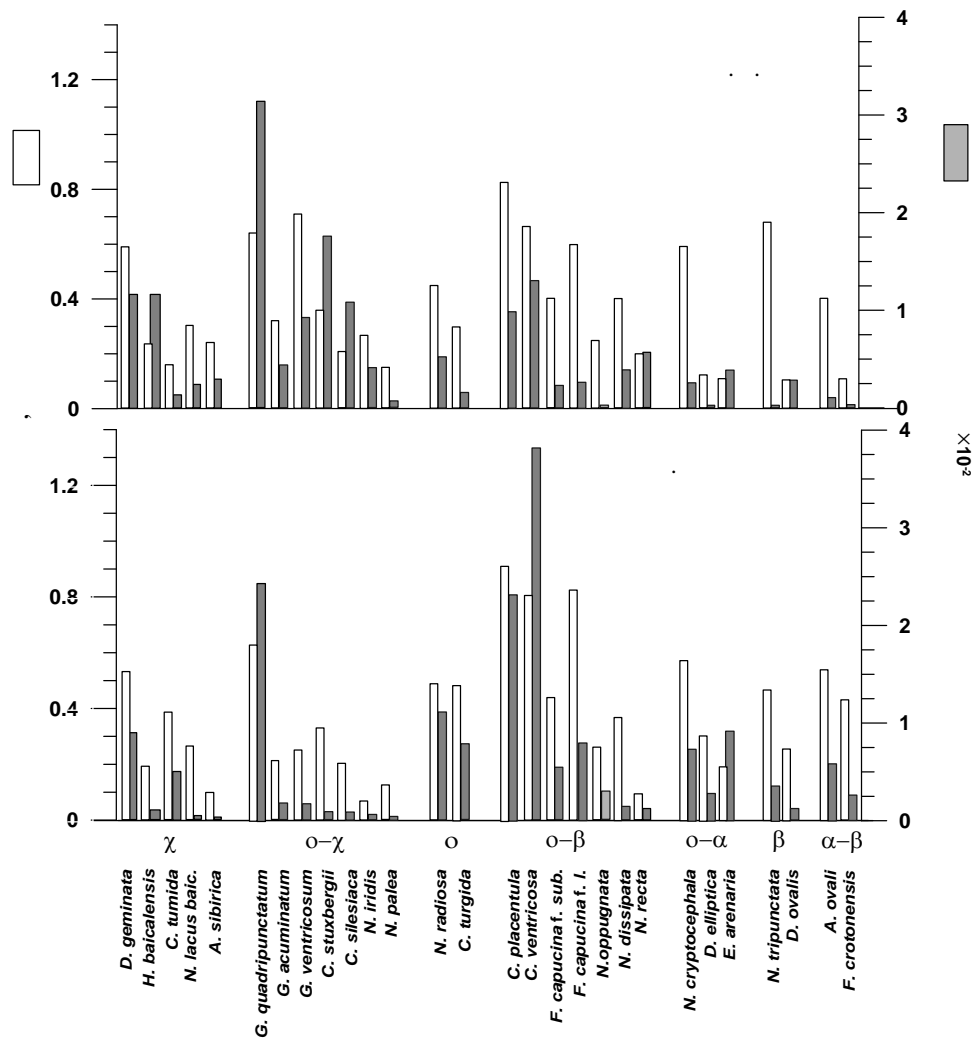


Рис. 1. Состав, количественные характеристики и распределение по экологическим группам (согласно классификации Пантле-Бука) массовых видов *Bacillariophyta* на двух разрезах оз. Байкал

*Gomphonema quadripunctatum* – олигогалоб, индифферент. По нашим данным, длина створок составляет 97–120 мкм, что больше, чем в диагнозе (Skvortzov, 1937), а их форма очень изменчива (Скабичевский, 1985). Вид является эпифитом *Didymosphenia geminata*, а также представителей родов *Cladophora* Kütz. и *Draparnaldioides*. Развитие начинается подо льдом в апреле. Средние и максимальные количественные значения приведены в таблице. Максимальные значения количественного развития этого вида указывают на нарушение стабильных условий в водоеме (Федоров, 1970).

*G. ventricosum* subsp. *baicalense* – олигогалоб, индифферент. Вегетация начинается подо льдом. Как и предыдущий вид, является эпифитом



выше названных макрофитов. Клетки на низком основании образуют веерообразные соединения.

*Gyrosigma acuminatum* – пресноводно-солонатоводный вид (олигогалоф, индифферент). В литорали озера встречается повсеместно, доминирует в третьем растительном поясе на глубине 4–15 м при температуре 2–14 °С.

Массовые виды рода *Cymbella* – *C. stuxbergii*, *C. ventricosa* var. *ventricosa*, *C. turgida*, *C. tumida* относятся к разным экологическим группам, особенно многочисленны в первых двух растительных поясах (Родионова, Помазкина, 2005; Помазкина и др., 2008). Это основные компоненты в питании донных беспозвоночных (Röpstorf et al., 2003; Кравцова и др., 2007). Широко распространены и многочисленны в водоемах разной трофности (Михеева, 1999; Барина и др., 2006). В Байкале начинают вегетировать при температуре 3–5 °С сразу после схода льда, а интенсивное развитие наблюдается в июле–сентябре, при температуре 9–12 °С.

*Cymbella stuxbergii* – олигогалоф, индифферент, характерный представитель первого растительного пояса. Длина створки 60–110 мкм, для признаков створки также отмечена морфологическая изменчивость. В июне–июле водоросль развивается параллельно с *Hannaea baicalensis* и *Cymbella stuxbergii* var. *intermedia* Wislouch, но с течением времени зона ее обитания изменяется: в августе и сентябре *C. stuxbergii* встречается на глубине 4–15 м часто в сопровождении *C. skvortzowii* Skabich. и *C. stuxbergii* var. *baicalensis* Skvortsov et Meyer. На разрезе у г. Байкальска массовых скоплений вида не наблюдали.

*C. ventricosa* по степени устойчивости к кислотности и солёности – индифферент. Наиболее массовый, хорошо изученный вид литорали озера (Родионова, Помазкина, 2007), широко распространен в водоемах разной трофности (Фарук Марашли-Оглы и др., 2005; Барина и др., 2006). Является эпифитом *Didymosphenia geminata* и многочисленных байкальских макрофитов. На глубоководных станциях у п. Б. Коты вид составлял не более 10 %, а в первом и втором растительных поясах – до 50 % общей численности микрофитобентоса. *Cymbella ventricosa* доминирует в литорали по всему озеру, достигая в отдельных местах 45 % общей численности.

*C. turgida* и *C. tumida* – алкалибионт и алкалифил соответственно. По категории солёности – индифференты.

*Neidium iridis* – галофоб, индифферент – наиболее распространенный в литорали озера представитель рода *Neidium* Pfitzer. В массе доминирует на высшей водной растительности и на песчано-илистом субстрате.

Массовые виды рода *Navicula* Вогу, обнаруженные в литорали озера Байкал, характерны для водоемов разного уровня трофности (Михеева, 1999; Бородулина, 2003, 2007; Барина и др., 2006; Krammer, Lange-Bertalot, 1986). Эти свободноживущие водоросли наиболее разнообразны в глубоководной части литорали оз. Байкал. Их массовое развитие при-

урочено к августу–сентябрю при температуре 6–15 °С. Предпочитают низкоминерализованные водоемы. В нашем случае виды-индикаторы рода разделились на 7 групп (рис. 1).

*Navicula lacus baikali* – эндемичный вид (олигогалоб, индифферент). Имеет грубые створки с характерными гиалиновыми боковыми участками, что является его отличительным признаком. Для Байкала приводятся две разновидности – *N. lacus baikali* var. *simplex* и *N. lacus baikali* var. *lanceolata* var. nov. (Skvortzov, 1937). По мнению Д. Манна (Mann, 1999), очень выражен полиморфизм створки, размах которого превышает межвидовые границы.

Другие массовые виды рода: *N. radiosa*, *N. cryptocephala* var. *cryptocephala*, *N. tripunctata* и *N. oppugnata* широко распространены по всей литорали озера. Субдоминанты этого рода: *N. cuspidata* (Kütz.) Kütz. – *Craticula cuspidata* (Kütz.) Mann in Round et al., *N. tuscula* Ehrenb. var. *tuscula* (*Aneumastus tusculus* (Ehrenb.) Mann et Stickle), *N. lanceolata* (Agardh.) Ehrenb., *N. bacillum* Ehrenb. (*Sellaphora bacillum* (Ehrenb.) Mann) и *N. pupula* var. *mutata* (Krasske) Hust. Они постоянно присутствуют в сообществах, их биомасса колеблется от 10 до 30 мг/м<sup>2</sup>. Все они олигогалобы и индифференты, по численности формируют основу бентосных сообществ.

*Cocconeis placentula* var. *placentula* (олигогалоб, алкалофил) – самый массовый и широко распространенный вид рода во всех растительных поясах литорали. На обоих разрезах максимальная биомасса отмечена в сентябре–октябре.

Среди пеннатных бесшовных наиболее массовые, широко распространенные представители – *Fragilaria capucina* f. *lanceolata-baikali*, *F. capucina* f. *sublanceolata-baikali* (олигогалобы, алкалофилы). Они образуют плотные веерообразные и ленточные колонии. Подробная характеристика, данные о морфологической изменчивости и новое описание видов приведены в литературе (Flower et al., 2004). У первого вида отмечались аберрантные формы, что выражалось в искривлении створок и уменьшении их размеров. Несмотря на то, что встречаемость видов на разрезах примерно одинаковая, индекс значимости у г. Байкальска был выше. Максимальные значения численности наблюдались в южной котловине у восточного берега (Flower et al., 2004). *Fragilaria crotonensis* является галофилом и алкалофилом. Наиболее массово развивается на разрезе у г. Байкальска. По мнению И.С. Трифионовой (1990), вид при массовом развитии служит показателем эвтрофикации вод.

Три представителя рода *Nitzschia* Hassall. – *N. recta* var. *robusta*, *N. palea* и *N. dissipata* (индифференты, алкалофилы) являются доминирующими. Массовое развитие субдоминантов этого рода – *N. angustata* (W. Sm.) Grunow, *N. amphibia* Grunow, *N. bacilliformis* Hust. и *N. microcephala* Grunow in Cleve et Müller происходило в июле–августе. Их численность у г. Байкальска была выше, однако высоких значений биомассы не наблюдалось. Относятся к о-мезосапробионтам, типичным представителям водоемов разного уровня трофности (Михайлов, 1976;

Михеева, 1999; Стенина, 1999). Известно, что обилие видов рода *Nitzschia* связано с повышенной концентрацией в воде ионов кальция, хлора, минерального и общего фосфора (Охапкин, Генкал, 2001).

Доминирующие виды рода *Diploneis* Ehrenb. — *D. ovalis* var. *ovalis* и *D. elliptica* (индифференты, первый — алкалибионт, второй — алкалифил) широко распространены в пресных и солоноватых водах (Баринаова, Медведева, 1996; Михеева, 1999; Дорофеюк, Цэцэгмаа, 2002). У *D. ovalis* обнаружена изменчивость длины и ширины створки: 9–45 мкм и 10–24 мкм соответственно. Представители рода *Diploneis* относятся к видам с низким уровнем сапробности. Учитывая средние значения биомассы (93 и 12 мг/м<sup>2</sup>), индекс значимости у них выше на разрезе восточного берега (см. таблицу).

*Ellerbekia arenaria* var. *teres* (индифферент, алкалифил). В период максимального развития отмечались нити, в среднем состоящие из 8–10 клеток. Вид обладает широким экологическим спектром (Михеева, 1999; Дорофеюк, Цэцэгмаа, 2002; Баринаова, и др. 2006). Встречался даже среди мхов в известковых вулканических туфах (Schmid, Crawford, 2001), что свидетельствует о широком географическом распространении. Морфологические параметры и особенности вида подробно описаны в работе (Crawford, 1988).

Доминанты рода *Amphora* Ehrenb. — *A. sibirica* (олигогалоб, индифферент) и *A. ovalis* var. *affinis* (индифферент, алкалифил). *A. sibirica* наиболее часто встречался на разрезе у п. Б. Коты среди макрофитов рода *Draparnaldioides* на глубине 5–10 м при температуре 7–8 °С. Субдоминантом является *A. pediculus* var. *pediculus* (Kütz.) Grunow, массовое развитие которого также приурочено к осеннему периоду.

Выше приведенные массовые виды охарактеризованы по значениям биомасс. Мелкоклеточные виды создавали более высокую численность на разрезе восточного берега, но вследствие малых размеров не образовывали высоких значений биомассы. К ним относятся *Meridion circulare* Agardh, *Achnanthes lanceolata* var. *elliptica* Cleve, *Achnantheidium minutissimum* (Kütz.) Czarn., *Rhoicosphenia curvata* var. *gracilis* A.S., *Cymbella cistula* (Ehrenb. in Hempr. et Ehrenb.) Kirchn. in Cohn, *Fragilaria pinnata* Ehrenb. и *Reimeria sinuata* (W. Greg.) Koc. et Stoermer. По категории сапробности все они относятся к мезосапробионтам (первая пара видов — олиго- - мезосапробионты, следующие три — мезосапробионты и последняя — мезосапробионты).

Другая группа видов, численность которых также выше на разрезе у г. Байкальска, состоит из *Cumatopleura solea* (Bréb.) W. Sm., *Nitzschia amphibia* Grunow, *N. linearis* (C. Agardh) W. Sm., *Achnanthes delicatula* (Kütz.) Grunow. in Cleve et Grunow, *Navicula cryptocephala* var. *intermedia* Grunow и *N. helvetica* Grunow in van Heurck, массовое развитие которых связывают с повышением в водоеме хлоридов.

Большая часть охарактеризованных массовых видов является эвритермными, развивающимися при температуре 2–15 °С. По степени

устойчивости к рН большинство видов – индифференты, по категории солености преобладают олигогалобы.

Состав доминирующих по биомассе 28 видов был постоянным за период наблюдений на обоих разрезах, однако уровень их развития по годам резко различался, о чем свидетельствуют средние данные (рис. 1). Наиболее информативными показателями состояния экосистемы считаются численность и биомасса, однако их динамика не всегда отражает изменение качества водной среды (Findlay, Kasian, 1996). Применение метода, предложенного Т. Ватанабе (Watanabe et al., 1988), по экологическому распределению показало, что виды-индикаторы сапробности в нашем случае разделились на три группы – эврисапробы (15 видов), сапроксены (10) и сапрофилы (3). Степень их толерантности указывает на устойчивость к органическому загрязнению. Метод Пантле-Бука (Pantle, Buck, 1955), представляющий более точную классификацию на основе расширенного набора экологических характеристик, разделяет доминирующие виды-индикаторы на 7 экологических групп: градации от ксеносапробионтов до бета- и альфа-сапробионтов согласуются с более общим группированием по методу Ватанабе.

Распределение массовых видов по группам сапробности приведено на рис. 1, каждый таксон охарактеризован значениями индексов встречаемости и значимости. По этим индексам, отражающим степень развития и благополучия видов, первостепенную роль в бентосном сообществе на разрезе западного берега играют ксеносапробионты и олигоксеносапробионты. Они вносят наибольший вклад в биомассу микрофитобентоса, характеризуют растительные пояса литорали озера и предпочитают чистые воды. К ним относятся представители первого пояса: *Hannaea baicalensis*, *Cymbella stuxbergii* и *Gomphonema ventricosum*. Для второго пояса наиболее значимы *Didymosphenia geminata*, *Gomphonema quadripunctatum*, *Navicula radiosa* и виды рода *Cymbella*, живущие в низкоминерализованном озере Байкал (Грачев, 2002) и предпочитающие развиваться в относительно стабильных и благоприятных условиях каменистой литорали, заселенной эндемичными макрофитами и нитчатками. Они выступают в качестве основных компонентов микрофитобентоса озера и по праву считаются индикаторами чистых вод.

Вторая группа, играющая в сообществе микрофитобентоса западного берега заметную, но меньшую роль, – олиго- и бета-мезосапробионты с доминированием *Cymbella ventricosa* и *Cocconeis placentula*. Наименее значимы на разрезе у п. Б. Коты виды группы – и –мезосапробионтов (см. рис. 1, 2).

Роль ксено- и олигоксеносапробионтов на разрезе восточного берега незначительна, о чем свидетельствует индекс значимости. Отсутствие макрофитов, постоянное переотложение грунта, пониженная прозрачность не благоприятствуют развитию групп этих видов. Исключением является *Gomphonema quadripunctatum*, у которой в июле 2002 г. на разрезе у г. Байкальска отмечен пик биомассы, что повлияло на среднесезонные значения биомассы и, соответственно, повысило индекс

значимости (см. рис. 1). Известен факт увеличения количества этих водорослей при поступлении биогенных элементов, при естественных флуктуациях условий среды обитания (Трифонова, 1990; Девяткин и др., 1997).

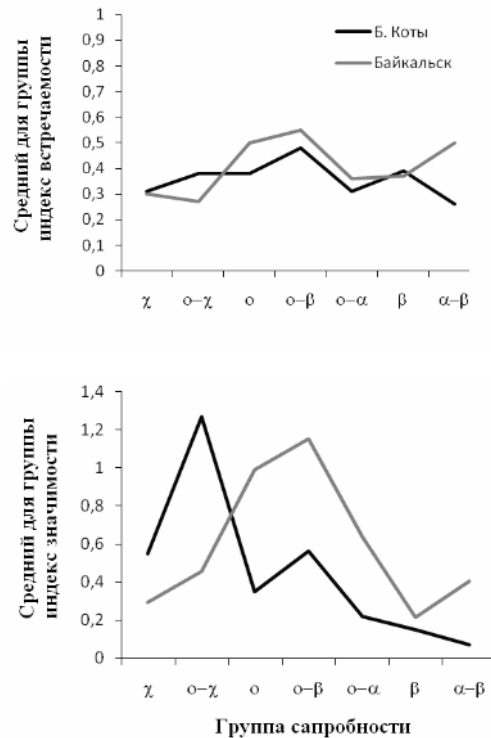


Рис. 2. Значения индексов встречаемости (а) и значимости (б), усредненные для каждой группы сапробности, выделенной среди массовых видов диатомей на трансектах у п. Б. Коты и г. Байкальска

На разрезе восточного берега у г. Байкальска заметно преобладание о- -мезосапробионтов с доминированием *Cocconeis placentula* и *Symbella ventricosa* (см. рис. 1, 2). Индекс их значимости на разрезе значительно выше. Выше он и у остальных представителей этой группы. Более толерантные, небольшие группы водорослей — о- -мезосапробионты, - и - -мезосапробионты (см. рис. 1) имеют меньшие индексы значимости в сравнении с предыдущей группой и превышают значения индексов этих групп на западном разрезе (см. рис. 1, 2). *Navicula cryptocephala*, *Diploneis elliptica* и *Ellerbekia arenaria* var. *teres* — о- -мезосапробионты. Они индифферентны к изменениям минерализации, характеризуются как убиквисты и космополиты. Группа - и - -мезосапробионтов — в основном обитатели вод, богатых органическими веществами (Баринова, Медведева, 1996; Schmid, Crawford, 2001).

В целом, групповой индекс значимости массовых видов у п. Б. Коты имеет нисходящий тренд от ксеносапробов к - и - -мезосапробам. У

г. Байкальска иная картина: очевидна возрастающая значимость мезо-сапробионтов, с максимальными индексами значимости у группы о- - мезосапробионтов (см. рис. 2).

Эдификаторами на разрезе у п. Б. Коты в основном являются ксено-сапробные и олигосапробные виды с высоким индексом значимости. На разрезе у г. Байкальска более высокий индекс значимости получен для видов с низкой степенью сапробности, что указывает на другой трофический статус литорали озера. Это подтверждает и высокая численность мелкоклеточных мезосапробов, включая - и -мезосапробионты диатомовых водорослей, развивающихся на разрезе у г. Байкальска, которые более чувствительны к условиям среды обитания в сравнении с крупноклеточными видами (Snoeijs et al., 2002).

Индексы сапробности массовых видов у п. Б. Коты изменяются от 0 до 1, что соответствует I и II классу качества вод. У г. Байкальска этот индекс повышается до 2, что соответствует III классу чистоты воды.

Экология доминирующих байкальских представителей исследована недостаточно, но все они по основным экологическим характеристикам близки к североальпийским. Большинство видов являются реофильными в связи с постоянным движением воды, вызываемым волновым накатом и откатом. Как все реофилы, они прикреплены к субстрату, приспособлены к суточным и сезонным колебаниям температуры воды и к перенасыщению ее кислородом (Osipova et al., 2009). Все это способствует развитию и увеличению разнообразия микроводорослей.

### Заключение

На основе данных шестилетних наблюдений получена информация о видовом составе, количественных характеристиках и экологии 28 доминирующих видов-индикаторов условий среды обитания в литоральной зоне оз. Байкал. Выявлена биотопическая приуроченность их к определенным фитоценозам макрофитов и другим субстратам. Индексы встречаемости массовых представителей имеют близкие значения, а их отличия по индексам значимости свидетельствуют о разном уровне трофности двух разрезов. Исследованные разрезы различаются по составу индикаторных видов. На западном побережье преобладают ксено- и олиго-ксеносапробные водоросли, на разрезе восточного берега – бета- и альфа-мезосапробные представители.

Массовые виды в структуре диатомового сообщества и их количественные показатели могут служить индикаторами среды обитания литорали озера Байкал.

*Афанасьева А.Л., Павлова О.А., Трифонова И.С.* Планктонные диатомовые водоросли-индикаторы состояния рек бассейна Ладоги // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. – СПб.: ЛЕМА, 2007. – С. 102–107.

- Барнинова С.С., Медведева Л.А. Закономерности широтного распределения диатомовых водорослей Евразии // Мат. X Междунар. конф. диатомологов стран СНГ. – Минск, 2007. – С. 51–53.
- Барнинова С.С., Медведева Л.А. Атлас водорослей-индикаторов сапробности (российский Дальний Восток). – Владивосток: Дальнаука, 1996. – 334 с.
- Барнинова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей – индикаторов окружающей среды. – Тель-Авив: Pil. Stud., 2006. – 493 с.
- Бородулина О.В. Род *Navicula* (*Bacillariophyta*) в водоемах Северного Казахстана // Бот. журн. – 2003. – **88**, № 10. – С. 31–40.
- Бородулина О.В. Экологические группировки диатомовых водорослей в водоемах Северного Казахстана // Морфология, клеточная биология, экология, флористика и история развития диатомовых водорослей. – Минск: Изд-во Центр БГУ, 2007. – С. 56–58.
- Генкал С.И., Поповская Г.И., Куликовский М.С. Новый для науки вид *Hannaea* Patrick (*Bacillariophyta*) // Альгология – 2008. – **18**, № 3. – С. 328–336.
- Грачев М.А. О современном состоянии экологической системы озера Байкал. – Новосибирск: Наука, 2002. – 156 с.
- Девяткин В.Г., Митропольская И.В., Метелева Ю.А. Динамика видового разнообразия фитопланктона в зависимости от некоторых экологических факторов // Биол. внутр. вод. – 1997. – № 2. – С. 5–12.
- Дорофеюк Н.И., Цэцэгмаа Д. Конспект флоры водорослей Монголии. – М.: Наука, 2002. – 282 с.
- Ижболдина Л.А. Атлас и определитель водорослей бентоса и перифитона озера Байкал (мейо- и макрофиты) с краткими очерками по их экологии. – Новосибирск: Наука–Центр, 2007. – 248 с.
- Карабанов Е.Б. Структура подводных ландшафтов // Подводные ландшафты Байкала. – Новосибирск: Наука, 1990. – С. 3–66.
- Ким Г.В. Новые данные об экологии *Hannaea arcus* Patr. // Мат. X Междунар. конф. диатомологов стран СНГ. – Минск, 2007. – С. 85–86.
- Кожов М.М. Сезонные и годовые изменения в планктоне озера Байкал // Тр. Всесоюз. гидробиол. общ. – 1955. – **6**. – С. 133–157.
- Кожова О.М., Паутова В.Н. Исследования экологии планктонных водорослей водоемов Байкальского региона // Вод. рес. – 1984. – № 3. – С. 114–124.
- Кожова Л.И., Рыжков Л.П., Полина А.В. Биологический контроль качества вод. – М.: Наука, 1989. – 144 с.
- Кравцова Л.С., Механикова И.В., Ижболдина Л.А. Роль фитоценозов водорослей в пространственном распределении макрозообентоса на каменистой литорали оз. Байкал // Гидробиол. журн. – 2007. – **43**, № 5. – С. 17–26.
- Макарова И.В., Пичкилы Л.О. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона // Бот. журн. – 1970. – **55**, № 10. – С. 1488–1494.
- Медведева Л.А. Диатомовые водоросли бассейна реки Серебрянки (Сихотэ-Алинский заповедник) // Там же. – 1994. – **79**, № 3. – С. 46–56.

- Медведева Л.А., Барина С.С. Пресноводные водоросли некоторых водоемов Хабаровского края // Там же. – 2004. – **89**, № 11. – С. 1768–1782.
- Мейер К.И. Введение во флору водорослей оз. Байкал // Бюл. МОИП. – 1930. – **39**, № 3/4. – 399 с.
- Михайлов В.И. Виды рода *Nitzschia* Hass. (*Bacillariophyta*) в Волжских водохранилищах // Там же. – 1976. – № 4. – С. 543–548.
- Михеева Т.М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог. – Минск: Изд-во БГУ, 1999. – 392 с.
- Охапкин А.Г., Генкал С.И. Экология массовых видов диатомовых водорослей планктона водотоков бассейна средней Волги: виды родов *Aulacoseira* Thw., *Melosira* Ag., *Cyclotella* Kütz., *Cyclostephanos* Round, *Skeletonema* Grev., пеннатные диатомеи // Биол. внутр. вод. – 2001. – № 1. – С. 27–35.
- Охапкин А.Г., Старцева Н.А. Состав и экология массовых видов фитопланктона малых водоемов городских территорий (диатомовые, зеленые и синезеленые водоросли) // Бот. журн. – 2003. – **88**, № 9. – С. 84–96.
- Помазкина Г. В. Родионова Е.В. Бентосные *Bacillariophyta* в Южном Байкале (Россия) // Там же. – 2004. – **14**, № 1. – С. 62–72.
- Помазкина Г.В. Родионова Е.В., Мушикова О.М. Микрофитобентос Южного Байкала (Россия) // Там же. – 2008. – **10**, № 2. – С. 117–130.
- Порк М. Диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*) озер Эстонской ССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Тарту, 1967. – 20 с.
- Родионова Е.В., Помазкина Г.В. Вклад доминирующих видов рода *Cymbella* Ag. в микрофитобентос Ю. Байкала // Альгология. – 2005. – **16**, № 4. – С. 72–82.
- Родионова Е.В., Помазкина Г.В. Морфологическая вариабельность *Cymbella ventricosa* Ag. (*Bacillariophyta*) в озере Байкал // Там же. – 2007. – **17**, № 1. – С. 295–304.
- Семенченко В.П. Принципы и системы биондикации текучих вод. – Минск, 2004. – 125 с.
- Скабичевский А.П. Виды рода *Gomphonema* Ag. (*Bacillariophyta*) озера Байкал // Новости системат. низших раст. – Л.: Наука, 1984. – **21**. – С. 51–62.
- Скабичевский А.П. О двух видах *Gomphonema* Ag. (*Bacillariophyta*) из озера Байкал // Бюл. моск. об-ва испыт. природы. Отд. биол. – 1985. – **90**, № 1. – С. 92–103.
- Стенина А.С. Видовой состав *Bacillariophyta* водоемов-отстойников каменноугольных шахт Воркутинского промышленного района (Россия) // Альгология. – 1999. – **9**, № 4. – С. 48–57.
- Тавасси М., Барина С.С., Анисимова О.В., Нево Э., Вассер С.П. Водоросли-индикаторы природных условий в бассейне реки Яркон (центральный Израиль) // Там же. – 2005. – **15**, № 1. – С. 51–77.
- Трифорова И.С. Биоиндикация в лимнологическом мониторинге // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. – СПб.: ЛЕМА, 2007. – С. 23–27.
- Трифорова И.С. Экология и сукцессии озерного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – С. 9–14.
- Унифицированные методы исследования качества вод: Атлас сапробных организмов. – М.: Наука, 1977. – 176 с.



- Федоров В.Д. Особенности организации биологических систем и гипотеза “вспышки” вида в сообществе // Вестн. МГУ. Сер. биол. – 1970. – № 2. – С. 71–81.
- Фарук Марашли-Огли и др. Видовой состав и сезонная изменчивость сообществ эпиплитных *Bacillariophyta* озера Ладик (Самсун, Турция) // Альгология. – 2005. – 15, № 2. – С. 218–229.
- Шаров А.Н. Индикаторная роль фитопланктона в оценке долговременных изменений качества вод больших озер // Вод. рес. – 2008. – 35, № 6. – С. 697–702.
- An Atlas of British Diatoms / Ed. Sims. – Bristol: Biopress Ltd., 1996. – 600 p.
- Crawford R.M. A reconsideration of *Melosira arenaria* and *M. teres* resulting in a proposed new genus *Ellerbekia* // Algae and the aquatic environment / Ed. F.E. Round. – Bristol: Biopress Ltd., 1988. – P. 413–433.
- Findlay D.L., Kasian S.E.M. The effect of incremental pH recovery on the Lake 223 phytoplankton community // Canad. J. Fish. and Aquat. Sci. – 1996. – 53, N 4. – P. 856–864.
- Flower R.J., Pomazkina G., Rodionova E., Willams D.M. Local and meso-scale diversity patterns of benthic diatoms in Lake Baikal // 17<sup>th</sup> Intern. Diatom Symp., 2004. – Bristol: Biopress Ltd, 2004. – P. 69–92.
- Hellawell I.M. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. – London; New York, 1986. – 546 p.
- Hustedt F. Systematische und ökologische Untersuchungen über die Diatomeenflora von Java, Bali und Sumatra // Arch. Hydrobiol. – 1938, 1939. – 15. – P. 131–177.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. *Bacillariophyceae*. 1 Teil: *Naviculaceae* // Süßwasserflora von Mitteleuropa. – Jena: Gustav Fischer Verlag, 1986. – 2. – 875 S.
- Mann D.G. The species concept in diatoms // Phycologia. – 1999. – N 38. – P. 437–495.
- Osipova S., Dudareva L., Bondarenko N. et al. Temporal variation in fatty acid composition of *Ulothrix zonata* (*Chlorophyta*) from ice and benthic communities of Lake Baikal // Ibid. – 2009. – 48, N 2. – P. 130–135.
- Pantle F., Buck H. Die biologische überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas-und Wasserb. – 1955. – 96, N 18. – S. 1–604.
- Röpstorf P., Sitnikova T.Ya., Timoshkin O.A., Pomazkina G.V. Observation on stomach contents, food uptake and feeding strategies of endemic baikalian gastropods // Berliner Palaobiol. Abh. – 2003. – N 4. – P. 157–181.
- Schmid M.A., Crawford R.M. *Ellerbekia arenaria* (*Bacillariophyceae*): formation of auxospores and initial cells // Phycologia. – 2001. – N 36. – P. 307–320.
- Sládeček V. Diatoms as indicators of organic pollution // Acta Hydrochim. Hydrobiol. – 1986. – 14, N 5. – P. 555–566.
- Skvortzov B.W. Bottom Diatoms from Olchon gate of Baikal Lake, Siberia // Philip. J. Sci. – 1937. – 62, N 3. – P. 293–377.
- Snoeijs P., Svenja Busse S., Potapova M. The importance of diatom cell size in community analysis // J. Phycol. – 2002. – 38, N 2. – P. 265–281.
- Stoermer E.F., Smol J.P. The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences. – Cambridge, etc.: Cambridge Univ. Press, 1999. – 469 p.

Watanabe T., Asai R., Houki F. Numeral Water Quality Monitoring of Organic Pollution using Diatom Assemblages // 9<sup>th</sup> Diatom Symp., 1986. – Bristol, 1988. – P. 123–141.

Получена 18.03.10

Рекомендовал к печати П.М. Царенко

*G.V. Pomazkina, T.A. Sherbakova*

Limnological Institute Siberian Branch RAS,  
3, Ulan-Batorskaya St., 664033 Irkutsk, Russia

#### PREVALING *BACILLARIOPHYTA* OF LAKE BAIKAL LITTORAL ZONE (RUSSIA)

Taxonomic composition, some quantitative and ecological data on diatom species were investigated at two transects of the littoral zone of Lake Baikal: on the western shore near Bolshiye Koty Settle and on the eastern shore near Baikalsk. Twenty-eight dominant species found at both sites were considered as environment bioindicators. Biomass, interannual occurrence and patterns of vertical distribution in the coastal zone were studied for each of key species. Longterm observations showed that abundant benthic species of diverse saprobity level differ significantly in rates of development between western and eastern sections. This is attributed to the diverse trophic status of the studied transects. Xenosaprobiont and oligo-xenosaprobiont species play a primary role in the benthic diatom community on the western shore. Substitution by more tolerant species, belonging to o- -, o- -mesosaprobionts, was observed at the eastern transect.

**Key words:** microphytobenthos, *Bacillariophyta*, index of occurrence, index of relevance, saprobity, Lake Baikal.