



УДК 574.522:581.5

## Микроводоросли прибрежной зоны озера Байкал

Н. А. Бондаренко, О. И. Белых, Н. Ф. Логачёва, И. В. Тихонова, Е. А. Волкова

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск  
E-mail: [nina@lin.irk.ru](mailto:nina@lin.irk.ru)

**Аннотация.** Проведён сравнительный анализ структуры и количественных показателей водорослей разных биотопов в прибрежье бух. Бол. Коты (интерстициальная вода зоны заплеска, вода у уреза озера и в 100 м от берега). Представлены первые для оз. Байкал сведения о водорослевой составляющей сообществ интерстициальной воды зоны заплеска: 3-летние исследования выявили 63 вида микро- и макроводорослей. Среди микроводорослей основными первичными продуцентами были бентосные формы диатомовых, а также колониальные и нитчатые цианопрокариоты (синезелёные водоросли). Несмотря на присутствие в интерстициальной воде значительных количеств обломков створок и пустых панцирей как планктонных, так и бентосных форм диатомовых водорослей (иногда > 90 % общего количества), именно здесь в летний период отмечались самые большие биомассы водорослей, так как её основу создавали выброшенные прибоем на берег макроводоросли: *Ulothrix zonata*, *Cladophora compacta*, *Tetraspora cylindrica* var. *bullosa* и *Didymosphenia geminata*. В это же время в воде уреза основная роль в фитомассе принадлежала оторвавшимся от субстрата и парящим нитям *U. zonata*, затем донным микроводорослям родов *Hannaea* Patrick, *Gomphonema* Ag., *Cymbella* Ag., *Nitzschia* Hassal. И только поздней весной и осенью на этой станции в значительном количестве отмечались планктонные водоросли. В 100 м от берега фитопланктон по составу был схож с пелагическим с небольшой примесью донных форм.

**Ключевые слова:** микро- и макроводоросли, структура, биомасса, прибрежная и заплесковая зоны, Байкал.

### Введение

Урез каменистой и песчаной литорали Байкала, как и других крупных озёр [19], в связи с составом донных отложений и значительной волновой активностью, мало пригоден для развития высших водных растений (макрофитов). Биопродукционный потенциал экосистемы и особенности её функционирования в этой зоне определяют микро- и макроводоросли. Систематический состав, количественные параметры и особенности биологии макроводорослей, характерных для таких участков озера, хорошо описаны в специальных публикациях прошлого и начала нынешнего века [12; 13; 23; 27 и др.]. Поскольку эта зона является динамичной, и условия в ней могут резко меняться, обитающие здесь низшие растения имеют соответствующие физиологические адаптации к среде обитания [38].

Характеристики прибрежного фитопланктона озера и бух. Бол. Коты, в частности, приведены в ряде работ [3; 6; 14; 16; 17; 25; 28; 30 и др.]. Н. Л. Антипова [1–3] в конце 60-х – начале 70-х гг. прошлого столетия охарактеризовала видовой состав, межгодовую и сезонную динамику сетных форм планктонных водорослей Байкала. Г. И. Поповская [25] отметила от-

личия количественных показателей фитопланктона прибрежной зоны и пелагиали, которые, по её мнению, отчётливо выявляются в подлёдный период, когда общая биомасса фитопланктона в прибрежье оказывается в одни годы в 2–3, а в другие в 8–12 раз выше по сравнению с пелагиалью озера. О. М. Кожова и соавторы [17] при сравнении фитопланктона мелководий и пелагиали выявили пространственную неоднородность в распределении доминирующих видов водорослей. На современном этапе Г. В. Помазкина с соавторами [28] подробно описали сезонные и межгодовые (2005–2007 гг.) изменения структуры, численности и биомассы фитопланктона в бух. Бол. Коты по сравнению с пелагиалью озера. Данные этих авторов показали, что в малоурожайные годы продуктивность фитопланктона была выше в прибрежье, а в продуктивном 2007 г. имела близкие значения.

Среди особенностей фитопланктона мелководья было отмечено присутствие в планктонных пробах значительных количеств бентосных форм водорослей; зарегистрированы резкие сезонные вариации видового состава и количественных параметров донной составляющей в

планктоне: роль этих форм была минимальной в подлёдный период и возрастала к лету [6].

В последние годы развернуты комплексные исследования зоны заплеска озера, где скапливается детрит, оказывающий существенное влияние на гидрохимический режим и микробиологический состав интерстициальных и прибрежных вод [4]. Кроме того, выявлено, что детрит является важным биотопом для развития особых сообществ, микроводоросли которых не исследованы.

В данной работе приводятся первые для оз. Байкал сведения о микроводорослях заплесковой зоны, а также дан сравнительный анализ структуры и количественных характеристик всех составляющих фитопланктона (сетных, нано- и пикоформ) мелководья бух. Бол. Коты, позволяющий прояснить генезис водорослевой части сообществ зоны заплеска.

### *Материалы и методы*

Материалами послужили пробы интерстициальной воды из зоны заплеска, а также воды уреза озера и отобранной в 100 м от берега на станциях падь Чёрная, падь Жилище (в районе стационара ЛИН СО РАН), падь Сенная (картасхема точек отбора проб представлена ранее [4]), собранные в 2009–2011 гг.

В первом биотопе в 1 м от уреза выкапывали лунку, из которой отбирали воду с взвесью терригенных частиц. Образцы у уреза и в 100 м от берега отбирали в поверхностном слое. Дополнительно для анализа результатов по автотрофному пикопланктону (APP) приведены данные, полученные в районе пирса стационара ЛИН СО РАН и в пелагиали озера в 2004–2007 гг.

Для количественной и качественной оценки автотрофного пикопланктона пробы фиксировали глутаровым альдегидом до 2%-ной конечной концентрации, после 10–15 мл образцов фильтровали через поликарбонатные фильтры Millipore с диаметром пор 0,45 мкм. Для эпифлюоресцентной микроскопии фильтры подсушивали на воздухе, помещали на каплю иммерсионного масла под покровное стекло и исследовали при увеличении  $\times 1000$  с помощью микроскопа Axio Imager (Zeiss), снабжённого ртутной лампой HBO 100W и камерой Axio-Cam Cameras. Эукариотический пикопланктон учитывали по автофлюоресценции хлорофилла (красное свечение) при наблюдении под синим фильтром (длина волны 450–490 нм). Прокариотический пикопланктон (цианопрокариоты) идентифицировали по автофлюоресценции дополнительных фотосинтетических пигментов

фикобилинов при наблюдении под зелёным фильтром (длина волны 530–585 нм).

Для количественной и качественной оценки нано- и сетных форм водорослей пробы объёмом 1 500 мл фиксировали раствором Люголя и концентрировали методом седиментации. При обработке материала применяли традиционные в гидробиологии методы [15]. Концентрат просматривали в камере Нажотта объёмом 0,1 мл в световом микроскопе «Peraval» при увеличении  $\times 720$ . Биомассу водорослей определяли с учётом индивидуальных объёмов их клеток [20]. Определение водорослей проводилось с использованием определителей [7–11; 18; 21; 22; 34; 36; 37].

Для сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) фильтры с материалом дегидратировали в растворах этанола возрастающей концентрации. Полное высушивание препаратов проводили при температуре 40 °С в термостате, после чего напыляли золотом в приборе SCD-004 (Balzers) и просматривали при помощи сканирующих электронных микроскопов Philips SEM 525 M и FEI Company Quanta 200.

### *Результаты и обсуждение*

За три года исследований в прибрежье бух. Бол. Коты выявлены 63 вида микро- и макроводорослей (табл. 1). Их разнообразие зависело как от разнообразия прибрежного фитопланктона (68 % общего видового состава встреченных водорослей), так и растительного сообщества дна (см. табл. 1; рис. 1–4). Наибольшим видовым богатством отличались диатомовые (38 % общего видового состава) и зелёные (около 21 %) водоросли.

Среди планктонных водорослей в интерстициальной воде зоны заплеска преобладали мелкие (в первую очередь, нано- и колониальные пикопланктонные) формы; бентосные же были представлены более крупными (10–30 мкм) (см. рис. 1–4). Клетки размером  $> 30$  мкм во все сроки исследования встречались единично. Хорошо известно, что состав водорослей служит отличным биоиндикатором условий среды, а при сильном световом лимитировании развиваются очень тонкие длинные нити и/или мелкие сферические клетки, эффективно улавливающие световую энергию [24; 35], что подтверждается и нашими наблюдениями. Кроме того, с уменьшением размеров клеток возрастают их водоудерживающая способность и устойчивость против засухи, что крайне важно в условиях нестабильного водного режима исследуемого биотопа.

Видовой состав водорослей прибрежья в бух. Бол. Коты

|                        | Отделы и виды, встреченные в зоне заплеска (З) и у уреза озера (У)  | Приуроченность к местобитанию | Станции отбора проб  |             |             |
|------------------------|---|-------------------------------|----------------------|-------------|-------------|
|                        |   |                               | стационар ЛИИ СО РАН | падь Сенная | падь Чёрная |
| <b>Цианопрокариота</b> |   |                               |                      |             |             |
| 1                      | <i>Aphanothece clathrata</i> W. et G.S. West (У, З)   | П                             | +                    | +           | +           |
| 2                      | <i>Clastidium setigerum</i> Kirchn. (У)   | Б                             | +                    | -           | -           |
| 3                      | <i>Gloeocapsa limnetica</i> (Lemm.) Hollerb. (= <i>Chroococcus limneticus</i> Lemm.) (У, З)                       | П                             | +                    | -           | -           |
| 4                      | <i>Oscillatoria lacustris</i> (Kleb.) Geitl. (= <i>Planktothrix lacustris</i> (Kleb.) Umezaki et Watanabe) (У, З) | П, Б                          | +                    | -           | -           |
| 5                      | <i>O. tenuis</i> Ag. ex Gom. (= <i>Phormidium konstantinosum</i> (Ag.) Umezaki et Watanabe (У, З)                 | П, Б                          | +                    | -           | -           |
| 6                      | <i>Rhabdoderma lineare</i> (Schmidle et Laut.) Hollerb. (У)   | П                             | +                    | -           | -           |
| 7                      | <i>Spirulina laxa</i> Smith (У)   | П, Б                          | +                    | -           | -           |
| 8                      | <i>Synechococcus</i> sp. (У, З)   | П                             | +                    | +           | +           |
| 9                      | <i>Synechocystis limnetica</i> Popovsk. (У, З)  | П                             | +                    | -           | -           |
| <b>Euglenophyta</b>    |   |                               |                      |             |             |
| 10                     | <i>Euglena gracilis</i> Klebs (У, З)  | П                             | +                    | +           | -           |
| 11                     | <i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) Stein emend Defl. (З)  | П                             | -                    | +           | -           |
| <b>Cryptophyta</b>     |   |                               |                      |             |             |
| 12                     | <i>Cryptomonas curvata</i> Ehrenberg (У, З)   | П                             | -                    | -           | +           |
| 13                     | <i>C. marssonii</i> Skuja (У, З)  | П                             | +                    | +           | +           |
| 14                     | <i>C. ovata</i> Ehrenberg (У, З)  | П                             | -                    | +           | -           |
| 15                     | <i>C. reflexa</i> (Marsson) Skuja (У, З)  | П                             | +                    | +           | +           |
| 16                     | <i>Rhodomonas pusilla</i> (Bachm.) Javorn. (У, З)   | П                             | +                    | +           | +           |
| <b>Chrysophyta</b>     |   |                               |                      |             |             |
| 17                     | <i>Chrysochromulina</i> sp. (У, З)  | П                             | +                    | +           | +           |
| 18                     | <i>Chrysococcus rufescens</i> Klebs (У, З)  | П                             | +                    | +           | +           |
| 19                     | <i>Dinobryon cylindricum</i> Imhof (У, З)   | П                             | +                    | +           | -           |
| 20                     | <i>D. divergens</i> Imhof (У, З)  | П                             | +                    | +           | +           |
| 21                     | <i>D. sociale</i> Ehrenberg (У)   | П                             | +                    | +           | +           |
| 22                     | <i>Kephyrion moniliferum</i> (Schmid) Bourrelly (У, З)  | П                             | +                    | -           | -           |
| <b>Dinophyta</b>       |   |                               |                      |             |             |
| 23                     | <i>Gymnodinium baicalense</i> var. <i>minor</i> Antipova (У)  | П                             | +                    | +           | +           |
| 24                     | <i>Gyrodinium helveticum</i> (Penard) Takano et Horiguchi (У)   | П                             | +                    | +           | +           |
| 25                     | <i>Peridinium bipes</i> Stein (У, З)  | П                             | +                    | +           | +           |
| <b>Bacillariophyta</b> |   |                               |                      |             |             |
| 26                     | <i>Achnanthes pusilla</i> Grunow (У, З)   | Б                             | +                    | +           | +           |
| 27                     | <i>Asterionella formosa</i> Hass. (У)   | П                             | +                    | +           | +           |
| 28                     | <i>Aulacoseira baicalensis</i> (K. Meyer) Sim. (У, З)   | П                             | -                    | +           | +           |
| 29                     | <i>A. granulata</i> (Ehr.) Sim. (У, З)  | П                             | -                    | -           | +           |
| 30                     | <i>A. islandica</i> (O. Müller) Simonsen (У, З)   | П                             | +                    | +           | +           |
| 31                     | <i>Cocconeis placentula</i> Ehrenberg var. <i>placentula</i> (У, З)   | Б                             | +                    | +           | +           |
| 32                     | <i>Cyclotella baicalensis</i> Skvortzow (У)   | П                             | +                    | +           | +           |
| 33                     | <i>C. minuta</i> Antipova (У, З)  | П                             | +                    | +           | +           |
| 34                     | <i>Cymbella stuxbergii</i> Cleve (У, З)   | Б                             | -                    | -           | +           |
| 35                     | <i>C. ventricosa</i> Kütz. (У, З)   | Б                             | +                    | +           | +           |
| 36                     | <i>Didymosphenia geminata</i> (Lyngbye) M. Schmidt (У, З)   | Б                             | +                    | +           | +           |
| 37                     | <i>Fragilaria ulna</i> Kütz. (У, З)   | П, Б                          | +                    | +           | +           |
| 38                     | <i>Hannaea baicalensis</i> Genkal, Popovskaya et Kulikovskiy (У, З)   | Б                             | +                    | +           | +           |
| 39                     | <i>Gomphonema ventricosum</i> Gregory (У, З)  | Б                             | +                    | +           | +           |
| 40                     | <i>G. olivaceum</i> (Hornemann) Kütz. (У, З)  | Б                             | +                    | -           | +           |
| 41                     | <i>G. lanceolatum</i> Ehr. (У, З)   | Б                             | -                    | -           | +           |
| 42                     | <i>G. quadripunctatum</i> (Oestr.) Wisl. (У, З)   | Б                             | -                    | -           | +           |
| 43                     | <i>Meridion circulare</i> (Greville) Agardh (У, З)  | Б                             | -                    | -           | +           |

Окончание табл. 1

|                    | Отделы и виды, встреченные в зоне заплеска (З) и у уреза озера (У)                | Приуроченность к местообитанию | Станции отбора проб  |             |             |
|--------------------|---|--------------------------------|----------------------|-------------|-------------|
|                    |   |                                | стационар ЛИН СО РАН | падь Сенная | падь Чёрная |
| 44                 | <i>Navicula</i> spp. (У, З)   | Б                              | +                    | -           | +           |
| 45                 | <i>Nitzschia</i> sp. (У, З)   | Б                              | +                    | -           | +           |
| 46                 | <i>N. graciliformis</i> Lange-Bertalot et Simonsen emend Genkal et Popovskaya (У) | П                              | +                    | +           | +           |
| 47                 | <i>Pinularia</i> sp. (У, З)   | Б                              | -                    | -           | +           |
| 48                 | <i>Rhoicosphaenia curvata</i> (Kütz.) Grunow (У, З)                               | Б                              | -                    | +           | +           |
| 49                 | <i>Stephanodiscus</i> sp. (У, З)  | П                              | +                    | +           | +           |
| 50                 | <i>Synedra acus</i> subsp. <i>radians</i> (Kützing) Skabitsch. (У, З)             | П                              | +                    | +           | +           |
| <b>Chlorophyta</b> |   |                                |                      |             |             |
| 51                 | <i>Chlamydomonas</i> cf. <i>conferta</i> (У, З)                                   | П                              | +                    | -           | -           |
| 52                 | <i>Chlorella</i> sp. (У, З)   | П                              | +                    | +           | +           |
| 53                 | <i>Cladophora compacta</i> (C. Meyer) C. Meyer (У, З)                             | Б                              | +                    | -           | -           |
| 54                 | <i>Closterium</i> sp. (У, З)  | П                              | -                    | +           | -           |
| 55                 | <i>Coenochloris polycocca</i> (Korschikoff) Hindak (У, З)                         | П                              | +                    | +           | +           |
| 56                 | <i>Elakatothrix genevensis</i> (Reverd.) Hind. (У)                                | П                              | +                    | +           | +           |
| 57                 | <i>Koliella longiseta</i> (Vischer) Hind. (У, З)                                  | П                              | +                    | -           | +           |
| 58                 | <i>Monoraphidium contortum</i> (Thur.) Komarkova-Legnerova (У, З)                 | П                              | +                    | +           | +           |
| 59                 | <i>M. pseudomirabile</i> Hindak et Zagorenko (У, З)                               | П                              | -                    | -           | -           |
| 60                 | <i>Pseudodictyosphaericum minusculum</i> Hindak (У, З)                            | П                              | -                    | +           | -           |
| 61                 | <i>Scenedesmus</i> sp. (У, З)   | П                              | +                    | -           | -           |
| 62                 | <i>Tetraspora cylindrica</i> var. <i>bullosa</i> C. Meyer (У, З)                  | Б                              | +                    | -           | -           |
| 63                 | <i>Ulothrix zonata</i> Kütz. (У, З)   | Б                              | +                    | +           | +           |

Примечание: «+» – присутствие вида в пробах, отобранных на указанной станции; «-» – отсутствие вида. Местообитание: П – планктон; Б – бентос. В список включены водоросли, жизнеспособные на момент исследования (имевшие в клетках флуоресцирующие хлоропласты). См., например, рис. 1, 4.

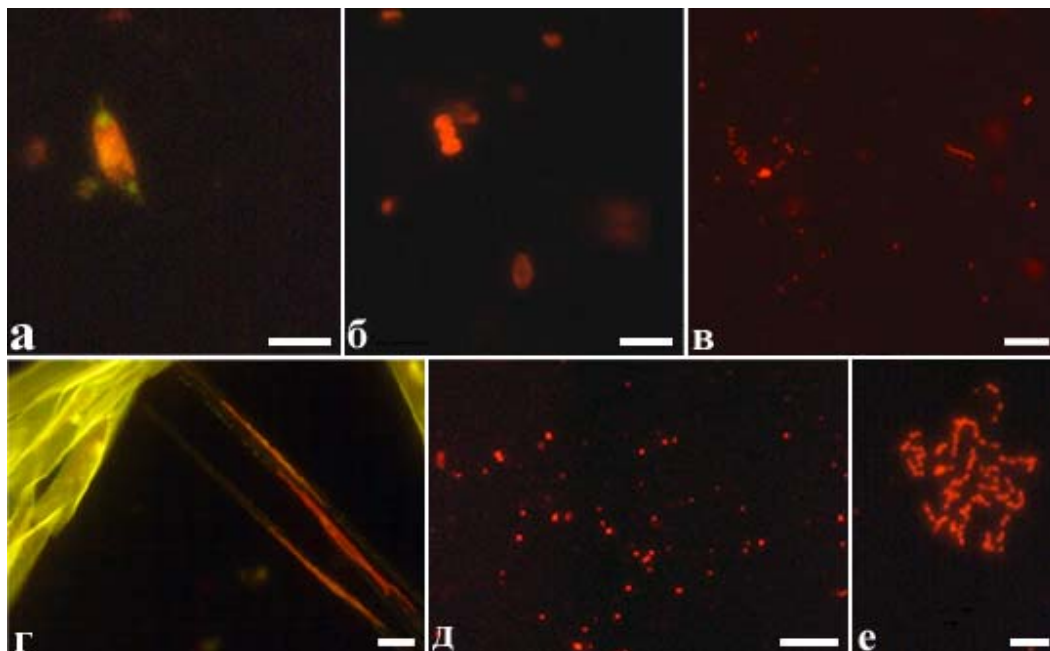


Рис. 1. Водоросли прибрежной зоны. Эпифлуоресцентная микроскопия: а – клетка зелёной водоросли рода *Scenedesmus* Meyen с хлоропластами, флуоресцирующими красным при наблюдении под голубым фильтром; б – нанопланктонные цианопрокариоты (три клетки) и криптофитовые водоросли; в – пикоцианопрокариоты. а–в – в 1 м от берега; г – домики *Dinobryon* sp., содержащие живые клетки, и 3 клетки *Synedra acus* со светящимися хлоропластами; д – единичные пикоцианопрокариоты; е – колония *Aphanothece* sp.; г–е – 100 м от берега. А, г – голубой фильтр, б–е – зелёный фильтр. Масштаб 10 мкм

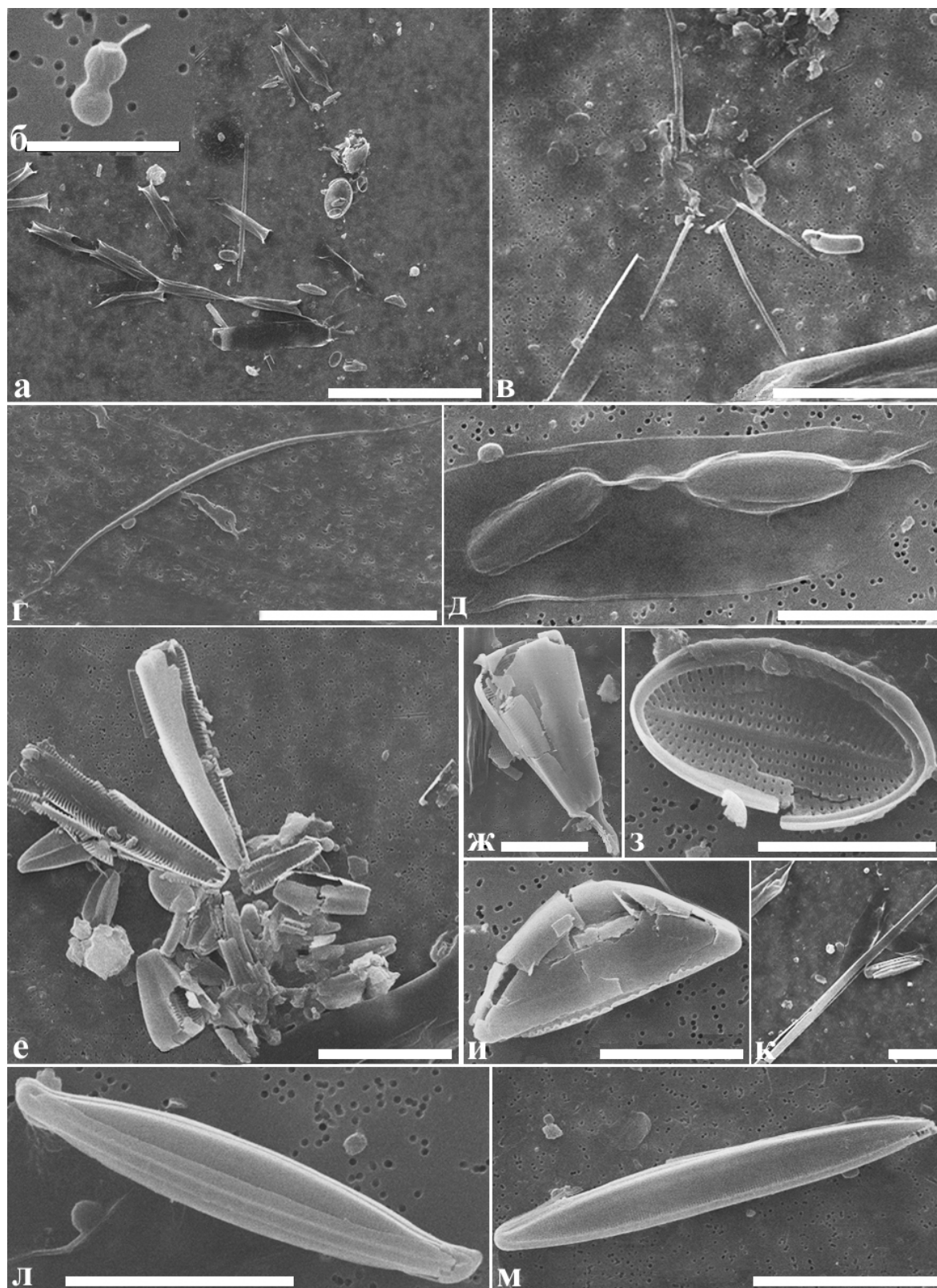


Рис. 2. Водоросли зоны заплеска. СЭМ: а – общий вид пробы, доминируют домики представителей рода *Dinobryon* Ehr.; б – фрагмент с бактериями; в – шипы золотистой водоросли рода *Spiniferomonas* Takahashi; г – *Koliella longiseta*; д – деформированные клетки флагеллят; е – конгломерат из бентосных диатомовых; ж– и – бентосные диатомовые родов *Gomphonema* Ehr., *Cymbella* Agardh, *Cocconeis* Ehr.; к – фрагмент планктонной *Synedra acus*; л, м – бентосные диатомовые рода *Nitzschia* Hassal. Масштаб: а – 100 мкм; б – 5 мкм; в, г, е, ж, к, м – 20 мкм; д, з, и, л – 10 мкм



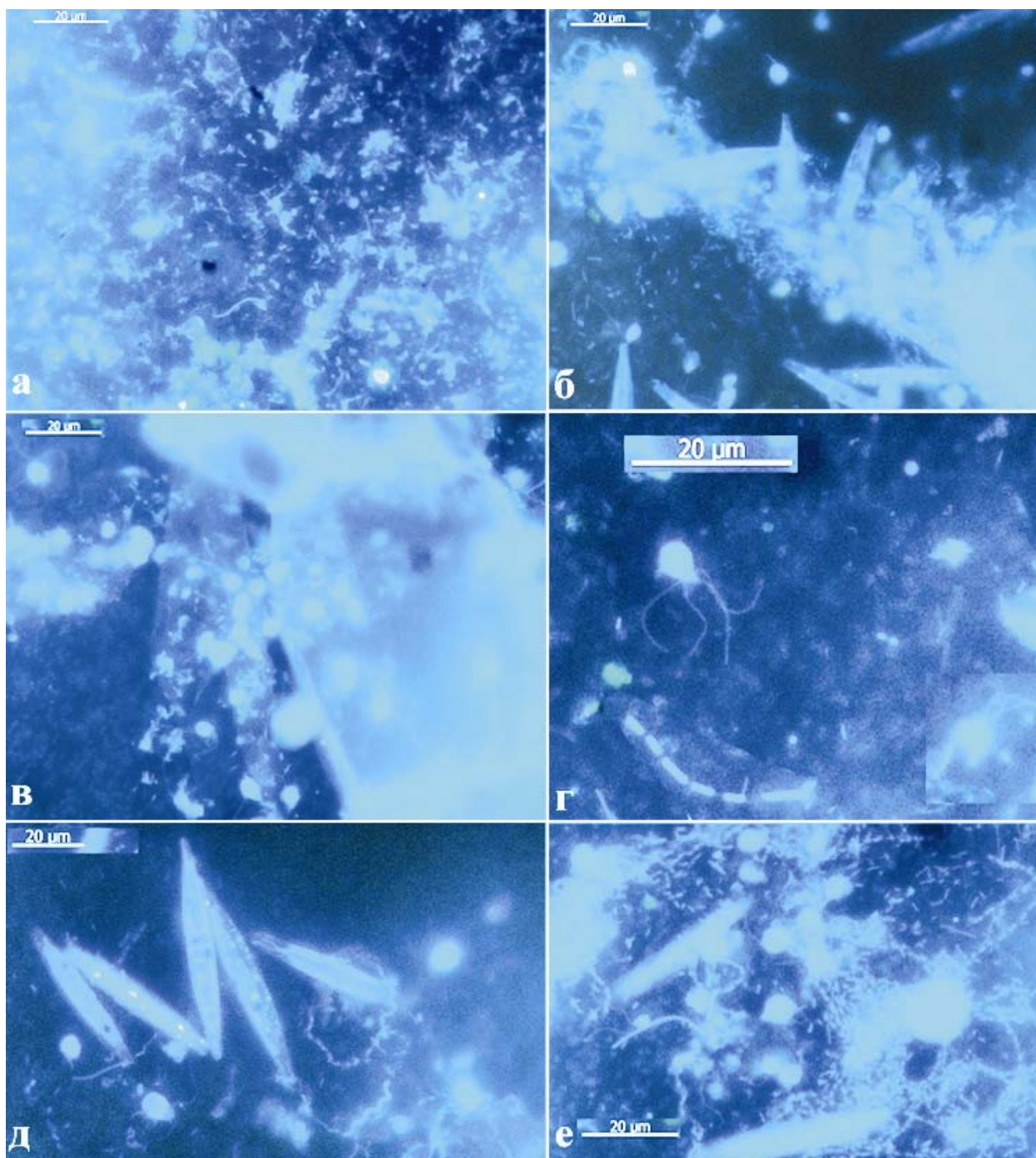


Рис. 3. Флюоресцентная микроскопия проб воды уреза озера, окраска DAPI, наблюдение под УФ-фильтром: а – общий вид бактериопланктона с различными морфотипами бактерий, б – диатомовые рода *Nitzschia* Hassal., споры улотрикса и бактерии; в – выход спор из пустых клеток улотрикса; г – споры улотрикса с 4 жгутиками, нитчатая бактерия; д – клетки диатомовых водорослей, содержащие запасные вещества, и спириллы; е – колонии нитчатых цианопрокариот, диатомовые и споры улотрикса



Рис. 4. Общий вид фитопланктона урезовой зоны. Световая микроскопия, масштаб 50 мкм

#### Сезонная и межгодовая динамика количественных параметров водорослей прибрежной зоны

Для анализа сезонной и межгодовой динамики биомассы водорослей в отобранных пробах учитывались все встреченные виды: микроводоросли планктона и бентоса, а также донные макроводоросли.

Полученные результаты показали, что резких различий в количественных показателях на трёх исследованных станциях не отмечено (рис. 5–13). В ряде случаев более высокими показателями отличались только пробы со станции «стационар ЛИН СО РАН» (см. рис. 5; 8; 11).

Максимальная биомасса водорослей в большинстве проб на всех станциях была отмечена в интерстициальной воде заплесковой зоны, реже – в одном метре от уреза, минимальная – в 100 м от уреза.

Среди микроводорослей основными первичными продуцентами заплесковой зоны были бентосные формы диатомовых, а также цианопрокариоты (в первую очередь, планктонная колониальная *Aphanothece clathrata* и нитчатые

донные рода *Oscillatoria* Vauch.). Здесь отмечены стадии покоя планктонных диатомовых. Наличие покоящихся стадий, в первую очередь рода *Aulacoseira* Thw., представляет интерес в плане наличия возможных очагов сохранения видов в периоды, неблагоприятные для вегетации.

Как правило, в интерстициальной воде отмечались значительные количества обломков створок и пустых панцирей (см. рис. 2, е; 4) как планктонных, так и бентосных диатомовых водорослей (> 90 % общего количества), в то же время в отдельные сроки здесь наблюдались самые большие значения биомассы водорослей. Так, в сентябре 2009 г. в районе стационара ЛИН СО РАН максимальная численность микроводорослей была зафиксирована в интерстициальной воде: по мере удаления от берега она убывала (см. рис. 5). Значения биомассы в этой точке по разрезу были следующими: интерстициаль – 1,1 г/м<sup>3</sup>; урез – 217 мг/м<sup>3</sup>; в 100 м от берега в планктоне – 40 мг/м<sup>3</sup>. В сентябре 2010 г. на станции «падь Сенная» максимальная биомасса водорослей была также отмечена в зоне заплеска (см. рис. 9), в основном за счёт



планктонной диатомовой *Cyclotella minuta*, доминирующей в составе осеннего фитопланктона.

Несмотря на значительное видовое богатство микроводорослей, основу фитомассы заплесковой зоны летом составляли следующие виды: *Ulothrix zonata* Kütz., *Cladophora compacta* (C. Meyer) C. Meyer, *Tetraspora cylindrica* var. *bullosa* C. Meyer и *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) M. Schmidt. Именно эти виды оказались выброшены прибоем на берег и создавали здесь наибольшую биомассу (около 2 г/м<sup>3</sup> интерстициальной воды).

В заплесковой и урезовой зонах повышенная численность микроводорослей в большинстве случаев была отмечена в конце мая – начале июня, что связано, в первую очередь, с завершением весенней вегетации планктонных водорослей, определяющей показатели годовой биомассы фитопланктона, а также со значительными колебаниями уровня воды в это время.

У уреза воды с конца июня и до начала сентября основную долю в фитомассе (до 40 %) составляли оторвавшиеся от субстрата и паря-

щие в толще воды нити *Ulothrix zonata*, а также донные микроводоросли родов *Hannaea* Patrick, *Gomphonema* Ag., *Cymbella* Ag., *Nitzschia* Hassal. (см. рис. 4). Только поздней весной и осенью в значительном количестве отмечались планктонные водоросли. Здесь (особенно у стационара ЛИН СО РАН) отмечены повышенные концентрации криптофитовых водорослей, представленных видами рода *Cryptomonas* Ehr. (табл. 2).

Этот факт и наличие эвгленовых водорослей в интерстициальной воде на станциях «стационар ЛИН СО РАН» и «падь Сенная» (см. табл. 1) свидетельствует о наличии в воде повышенных концентраций растворённых органических веществ. У уреза на станции «стационар ЛИН СО РАН» в летний период зарегистрировано также большое количество колониальных цианопрокариот, что, скорее всего, обусловлено наличием причального пирса, ослабляющего влияние волн, а эта группа организмов чувствительна к механическим воздействиям.

Таблица 2

Численность криптофитовых водорослей в прибрежной зоне Южного Байкала в июле 2010 г. (кл/мл)

| Биотоп                 | Станции отбора проб  |                       |                     |
|------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
|                        | падь Чёрная          | стационар ЛИН СО РАН  | падь Сенная         |
| Вода в 1 м от берега   | 4,05·10 <sup>3</sup> | 14,58·10 <sup>3</sup> | 2,3·10 <sup>3</sup> |
| Вода в 100 м от берега | 0,1·10 <sup>3</sup>  | 1,79·10 <sup>3</sup>  | 1,1·10 <sup>3</sup> |

В 100 м от берега наблюдалась картина, типичная для фитопланктона пелагиали озера: преимущественно развивались типично планктонные формы с незначительной примесью донных.

В межгодовом масштабе количественные показатели летне-осеннего периода отличались незначительно (см. рис. 5–13). Выделялись только показатели весны 2010 г. (см. рис. 8), когда в планктоне прибрежья в массе развивались диатомовые водоросли *Aulacoseira islandica*, *A. baicalensis* и *Synedra acus*.

#### Характеристика автотрофного пико-планктона прибрежной зоны

Количественные характеристики пикоцианобактерий и пиководорослей, размер которых не превышает 3 мкм, были невысокими и колебались на исследуемых станциях незначительно (табл. 3). Тем не менее, именно автотрофный пикопланктон вносил в планктонную составляющую биомассы зоны уреза в летние месяцы и в начале осени до 50 %.

Результаты предыдущих исследований [26; 32; 33] показали, что весной и в начале лета (июнь) концентрация пикопланктона была вы-

ше в мелководной зоне бухты, а в июле-августе – в пелагиали (рис. 14). Так, в марте 2004 г. в литорали численность автотрофного пикопланктона (APP) составляла 41,4 тыс. кл/мл, биомасса – 51 мг/м<sup>3</sup>, а в пелагиали – 23,3 тыс. кл/м и 18 мг/м<sup>3</sup> соответственно. В июне 2004 г. концентрация пикопланктона в литорали увеличивалась до 116,5 тыс. кл/мл, а биомасса – до 72 мг/м<sup>3</sup>. В пелагиали в это же время биомасса APP была ниже вдвое. В августе в пелагиали, как установлено в результате многолетних наблюдений [5; 26; 32], отмечается пик развития APP. За период 2004–2007 гг. его численность и биомасса достигали самых высоких показателей в августе 2006 г. и составляли 747 тыс. кл/мл и 405 мг/м<sup>3</sup> соответственно. В ноябре-декабре зафиксированы минимальные значения численности пикоцианопрокариот и пиководорослей, причём самые низкие показатели выявлены в литорали: общая концентрация здесь достигала 4,6 тыс. кл/мл, а биомасса – 3 мг/м<sup>3</sup>. Аналогичное соотношение количественных показателей в прибрежной и открытой частях бухты установлено и в другие годы.



Численность (кл/мл) / биомасса (мг/м<sup>3</sup>) автотрофного пикопланктона в бух. Коты в июле 2010 г.

| Биотоп                      | Станция отбора проб      |                          |                          |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                             | падь Чёрная              | стационар ЛИН СО РАН     | падь Сенная              |
| Вода в 1 м от берега        | 0,72·10 <sup>3</sup> /39 | 1,3·10 <sup>5</sup> /70  | 1,06·10 <sup>5</sup> /57 |
| Вода в 100 м от берега, 0 м | 1,1·10 <sup>5</sup> /58  | 1,79·10 <sup>5</sup> /96 | 0,51·10 <sup>5</sup> /28 |

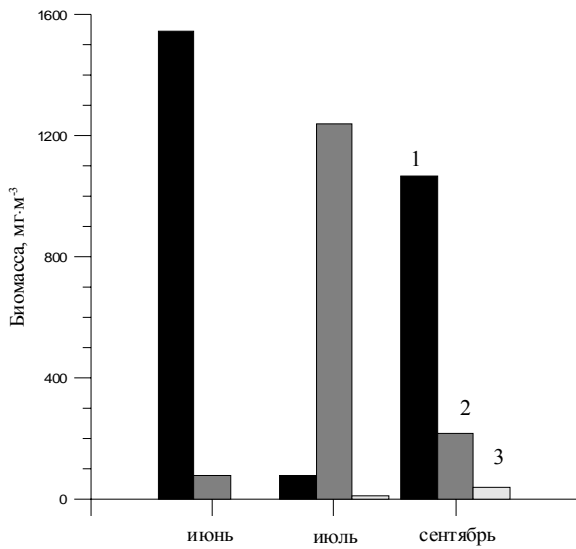


Рис. 5. Динамика биомассы водорослей на станции «стационар ЛИН СО РАН» в июне – сентябре 2009 г.: 1 – интерстициальная вода, 2 – урез озера, 3 – в 100 м от берега

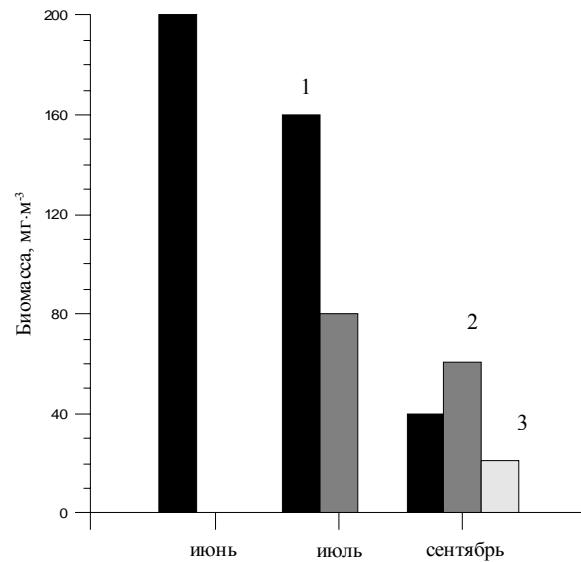


Рис. 6. Динамика биомассы водорослей на станции «падь Сенная» в июне – сентябре 2009 г.: 1 – интерстициальная вода, 2 – урез озера, 3 – в 100 м от берега

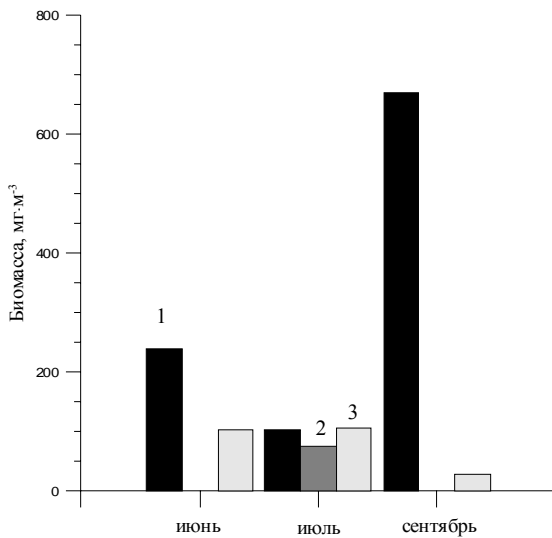


Рис. 7. Динамика биомассы водорослей на станции «падь Чёрная» в июне – сентябре 2009 г.: 1 – интерстициальная вода, 2 – урез озера, 3 – в 100 м от берега

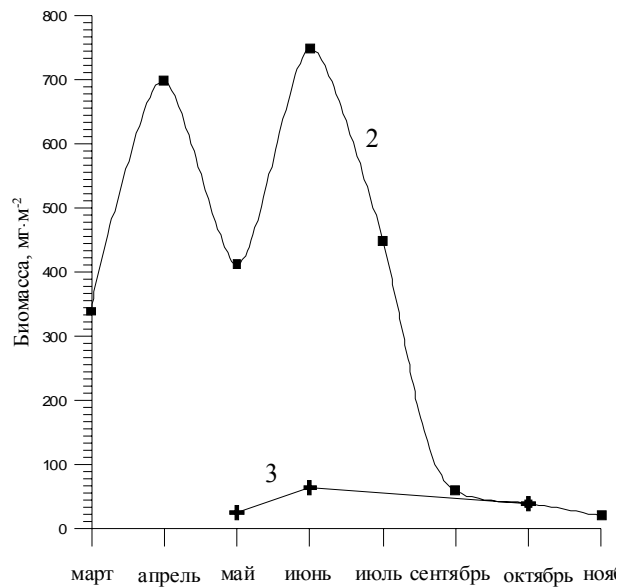


Рис. 8. Динамика биомассы водорослей на станции «стационар ЛИН СО РАН» в 2010 г.: 2 – урез озера, 3 – в 100 м от берега

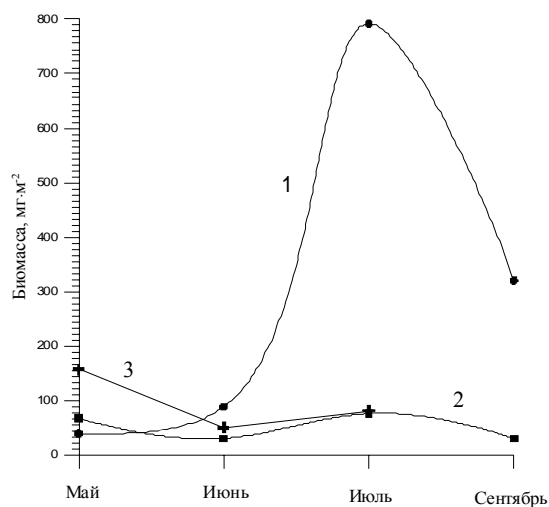


Рис. 9. Динамика биомассы водорослей на станции «падь Сенная» в мае – сентябре 2010 г.: 1 – интерстициальная вода, 2 – урез озера, 3 – в 100 м от берега

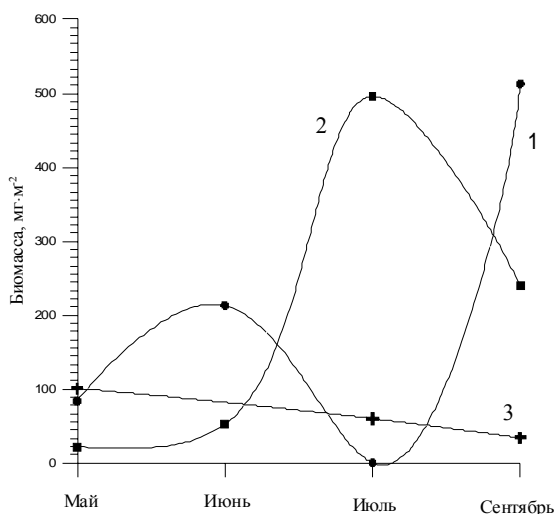


Рис. 10. Динамика биомассы водорослей на станции «падь Чёрная» в мае – сентябре 2010 г.: 1 – интерстициальная вода, 2 – урез озера, 3 – в 100 м от берега

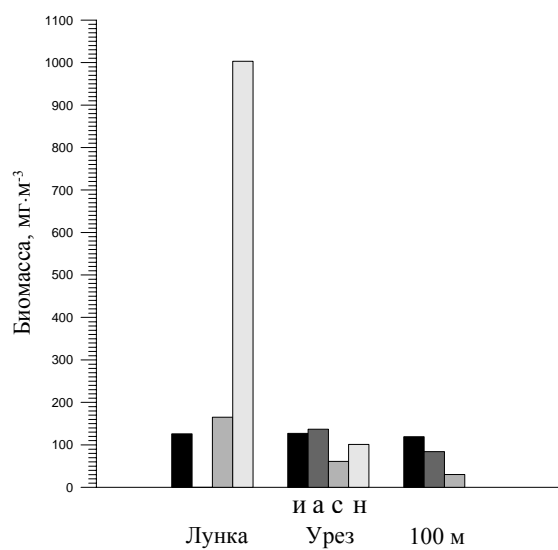


Рис. 11. Динамика биомассы водорослей на станции «стационар ЛИН СО РАН» летом 2011 г.: и – июнь, а – август, с – сентябрь, н – ноябрь

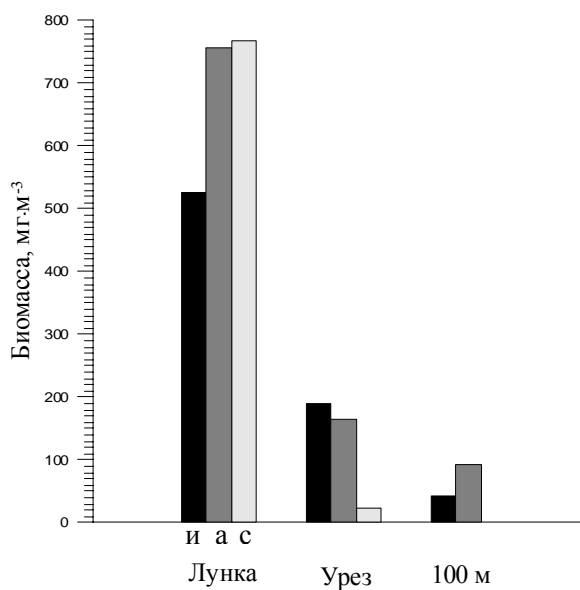


Рис. 12. Динамика биомассы водорослей на станции «падь Чёрная» летом 2011 г.: и – июнь, а – август, с – сентябрь

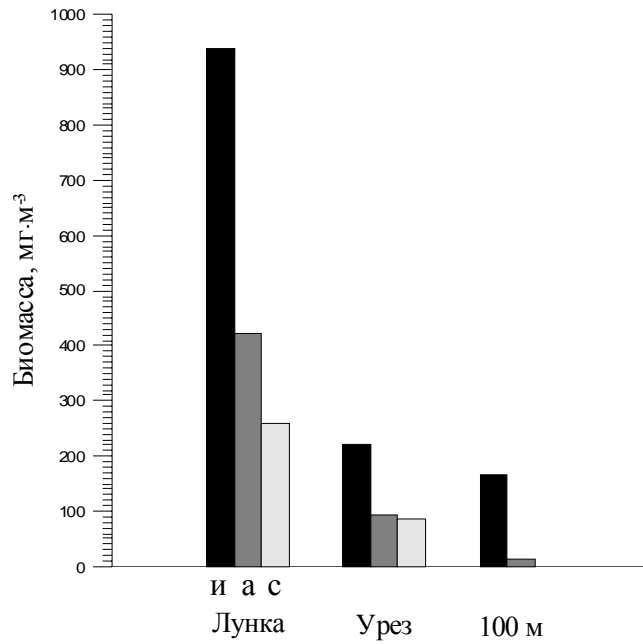


Рис. 13. Динамика биомассы водорослей на станции «падь Сенная» летом 2011 г.: и – июнь, а – август, с – сентябрь

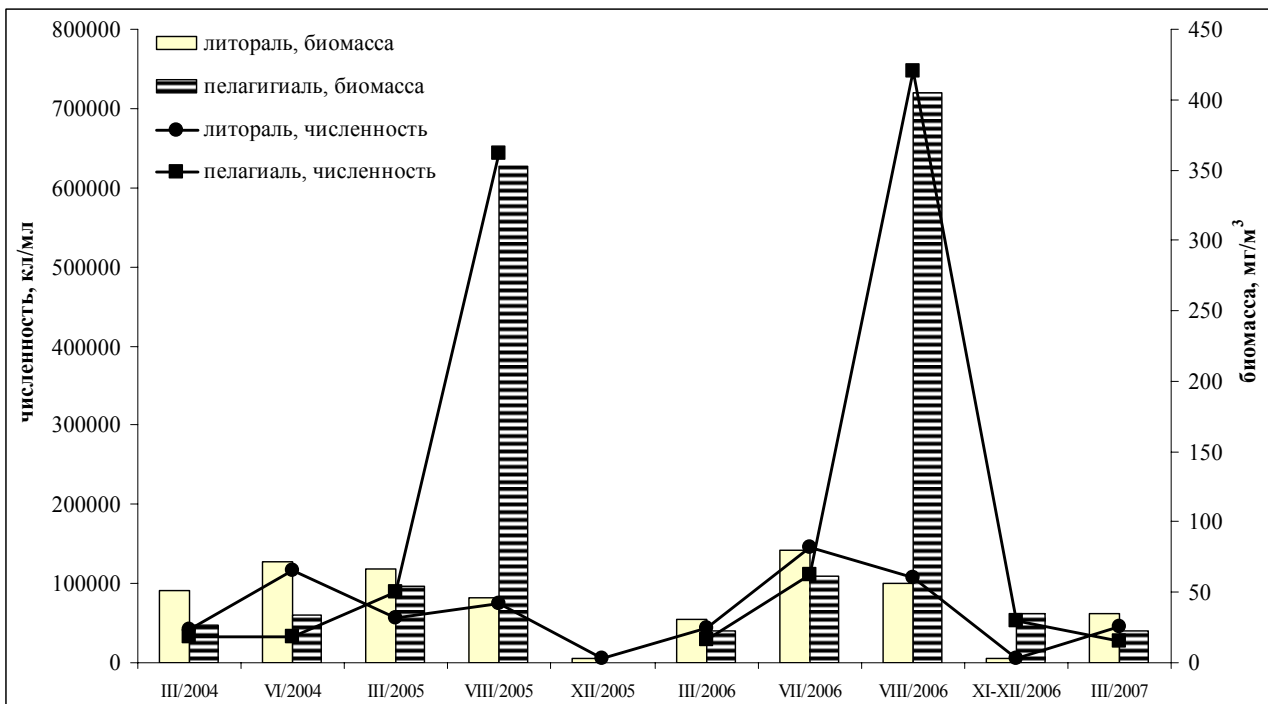


Рис. 14. Динамика численности и биомассы автотрофного пикопланктона в Южном Байкале в 2004–2007 гг.

Видовой состав АРР в пелагиали и литорали в разные сезоны года сходен, более выраженное различие наблюдается в межгодовом аспекте. Так, в марте 2004 г. в составе АРР доля эндемичного *Synechocystis limnetica* Porovsk. была высока: 15 % на центральной станции разреза Лиственничное – Танхой и 13 % у пос.

Бол. Коты. Такие же значения обнаружены и подо льдом в 2005 г. В этот же период в 2006 г. вклад *S. limnetica* составил 6 %, а марте 2007 г. – не более 1 % как в пелагиали, так и в литорали озера, очевидно, в связи с массовым развитием сетного фитопланктона. В пелагиали вклад прокариотического пикопланктона в биомассу

АРР был наибольшим (до 98 %) в августе, а наименьшим – в июне (64 %). В литорали доля прокариот была ниже, чем в пелагиали, здесь большую роль играли пиководоросли, доля которых в биомассе изменялась от 1 % в июле до 65 % в марте.

Как известно, пресноводные пикопланктонные цианопрокариоты по составу светособирающих пигментов делятся на фикоэритрин-доминирующие (РЕ) и фикоцианин-доминирующие (РС). РС-пикоцианопрокариоты в открытом Байкале не были обнаружены в течение всего периода исследований, а в прибрежной зоне встречались в единичном числе. Ранее мы сообщали о выделении культур РС-цианопрокариот из мелководных и прибрежных участков Байкала [26]. РС-цианопрокариоты характерны для высокопродуктивных озёр. В Баргузинском заливе оз. Байкал на прибрежной станции в устье р. Баргузин РС-цианопрокариоты составляли 95 % общей биомассы АРР. Они поступали из реки и вегетировали на мелководье, но уже в открытой части залива встречались только РЕ-цианопрокариоты. Отмечено, что повышенная концентрация фосфора и низкая прозрачность благоприятна для роста РС-цианобактерий [31]. Отбор проб у пос. Бол. Коты проводился в зоне активной гидродинамической деятельности на узкой мелководной платформе, перегиб которой в крутой склон проходит на глубине 4–5 м. Данные условия, очевидно, не способствуют развитию популяции РС-цианопрокариот.

Низкая концентрация АРР в летний период в прибрежной зоне, по сравнению с пелагиалью, может быть вызвана ингибированием роста цианопрокариот более высокой фотосинтетически активной радиацией, которая, по данным П. П. Шерстянкина [29], характерна для мелководья. Известно, что пикоцианопрокариоты предпочитают условия низкой освещенности. Например, в пелагиали Байкала в период открытой воды их максимальная численность выявлена на глубине 10–15 м [33]. Вероятно, в подлёдный период при наличии снежного покрова создаются более благоприятные условия для фотосинтеза цианопрокариот, что служит одним из факторов их успешного развития в прибрежной зоне весной.

Таким образом, динамика развития автотрофного пикопланктона в литорали и пелагиали озера имела следующие особенности: в весенне-летний период в прибрежной части биомасса пикопланктона варьировала с разницей не более чем в 3 раза, в открытом же Байкале изменялась в 53 раза. В зимний период

количественные показатели минимальны как в прибрежной, так и в открытой частях озера. Подо льдом (в период обратной стратификации) и в период гомотермии биомасса пикопланктона в прибрежной части в среднем в 1,5–2 раза выше, чем в открытом Байкале. В июле – августе биомасса АРР в литорали незначительно (в 1,1 раза) повышается по сравнению с мартом, а в пелагиали увеличивается почти в 20 раз. Во время массового развития автотрофного пикопланктона в пелагиали его численность и биомасса превышают таковую в литорали в среднем в 14 раз.

### Заключение

Результаты трёхлетних (2009–2011 гг.) исследований проб воды в разных биотопах прибрежья бух. Бол. Коты (интерстициальная вода зоны заплеска, вода у уреза озера и в 100 м от берега) показали, что биопродукционный потенциал экосистемы здесь определяют микро- и макроводоросли. Получены первые для оз. Байкал сведения о микроводорослях заплесковой зоны. Для выявления генезиса водорослевой части сообществ зоны заплеска проведён сравнительный анализ структуры и количественных характеристик всех составляющих фитопланктона (сетных, нано- и пикоформ) мелководья бух. Бол. Коты. Выявлены 63 вида микро- и макроводорослей. Видовой состав низших растений зоны заплеска зависел как от структуры растительного сообщества водной толщи прибрежья, так и донной составляющей. В интерстициальной воде в условиях светового лимитирования и нестабильного водного режима доминировали бентосные формы диатомовых, а также колониальные и нитчатые сине-зелёные водоросли. Среди планктонных преобладали мелкоклеточные (нано- и пикопланктонные), а бентосные были представлены более крупными формами. Особый интерес для выявления возможных очагов сохранения видов в неблагоприятные периоды представляет нахождение в этом биотопе стадий покоя планктонных диатомовых рода *Aulacoseira*. Несмотря на присутствие значительных количеств обломков створок и пустых панцирей как планктонных, так и бентосных форм диатомовых, здесь отмечались самые большие биомассы водорослей. Поздней весной и осенью основной вклад в биомассу принадлежал микроводорослям, а летом (при значительном видовом богатстве микроводорослей) основу фитомассы создавали выброшенные прибоем на берег макроводоросли: *Ulothrix zonata*, *Cladophora compacta*,



*Tetraspora cylindrica* var. *bullosa* и *Didymosphenia geminata*.

У уреза озера только поздней весной и осенью в значительном количестве отмечались планктонные водоросли, что связано с завершающей фазой их вегетации, а начиная с конца июня и кончая началом сентября, основная роль в фитомассе принадлежала оторвавшимся от субстрата и парящим в толще воды нитям *Ulothrix zonata*, а также донным микроводорослям родов *Hannaea* Patrick, *Gomphonema* Ag., *Cymbella* Ag.

В 100 м от берега фитопланктон и по составу, и по динамике количественных параметров был типично пелагическим.

Количественные характеристики пикоцианопрокариот и пиководорослей прибрежья в период исследования были невысокими и колебались на исследуемых станциях незначительно, но именно пикопланктон вносил в планктонную составляющую водорослевой биомассы зоны уреза в летние месяцы и в начале осени до 50 %. Сравнительный анализ результатов настоящего и ранних исследований [26; 33] позволил заключить, что в зимний период количественные показатели автотрофного пикопланктона минимальны как в прибрежной, так и в открытой частях озера. Весной подо льдом (в период обратной стратификации) и в период гомотермии биомасса пикопланктона в прибрежной части в среднем в 1,5–2 раза выше, чем в открытом Байкале, в июле–августе, по сравнению с мартом, повышается незначительно (в 1,1 раза), а в пелагиали увеличивается почти в 20 раз. Во время массового развития автотрофного пикопланктона в пелагиали, его численность и биомасса превышает таковую прибрежья в среднем в 14 раз.

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. Авторы благодарят Н. В. Потаскую, Е. П. Зайцеву, А. Г. Лухневу за содействие в организации экспедиционных работ и отборе проб для настоящего исследования.

## Литература

1. Антипова Н. Л. Сезонные и годовые изменения фитопланктона в озере Байкал / Н. Л. Антипова // Исследования по микрофлоре и зоопланктону Байкала. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1963. – С. 12–28.
2. Антипова Н. Л. О колебаниях численности видов мелозиры в планктоне озера Байкал / Н. Л. Антипова // Гидробиологические работы на водоёмах Советского Союза / Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва. – 1963. – Т. 18. – С. 235–241.
3. Антипова Н. Л. Межгодовые изменения в фитопланктоне Байкала в районе Больших Котов за период 1960–1970 гг. / Н. Л. Антипова // Продуктивность Байкала и антропогенные изменения его природы. – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1974. – С. 75–84.
4. 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.
5. Бондаренко Н. А. Значение водорослей пико- и нанопланктона в продукционных процессах в озере Байкал / Н. А. Бондаренко, Н. Е. Гусельникова // Биол. науки. – 1989. – № 12. – С. 34–36.
6. Бондаренко Н. А. Фитопланктон открытого прибрежья озера Байкал / Н. А. Бондаренко, Н. Ф. Логачева // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна. – Новосибирск : Наука, 2009. – Т. 2 : Водоёмы и водотоки юга Восточной Сибири и Северной Монголии. Справочники и определители по фауне и флоре озера Байкал. – С. 785–798.
7. Водоросли. Справочник / С. П. Вассер [и др.]. – Киев : Наукова Думка, 1989. – 605 с.
8. Голлербах М. М. Определитель пресноводных водорослей СССР / М. М. Голлербах, Е. К. Косинская, В. И. Полянский. – М. : Наука, 1953. – Вып. 2. – 652 с.
9. Дедусенко-Щеглова Н. Т. Определитель пресноводных водорослей СССР / Н. Т. Дедусенко-Щеглова, А. М. Матвиенко, Л. А. Шкорбатов. – М. ; Л. : Наука, 1959. – Вып. 8 : Зелёные водоросли, класс вольвоксовые. – 239 с.
10. Диатомовые водоросли СССР. – Л. : Наука, 1988–1992. – Т. 2 (1–2). – 115 с.
11. Забелина М. М. Определитель пресноводных водорослей СССР / М. М. Забелина, И. А. Киселев, А. И. Прошкина-Лавренко. – М. : Сов. наука, 1951. – Вып. 4. Диатомовые водоросли. – 399 с.
12. Ижболдина Л. А. Мейо- и макрофитобентос озера Байкал (водоросли) / Л. А. Ижболдина. – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1990. – 176 с.
13. Ижболдина Л. А. Атлас и определитель водорослей бентоса и перифитона озера Байкал (мейо- и макрофиты) с краткими очерками по их экологии / Л. А. Ижболдина. – Новосибирск : Наука-центр, 2007. – 248 с.

14. Измestьева Л. Р. Структура и сукцессии фитопланктона / Л. Р. Измestьева, О. М. Кожова // Долгосрочное прогнозирование состояния экосистем. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1988. – С. 97–129.
15. Киселёв И. А. Методы исследования планктона / И. А. Киселёв // Жизнь пресных вод. – М. ; Л., 1956. – Т. 4, ч. 1. – С. 140–416.
16. Кожова О. М. Фитопланктон озера Байкал : автореф. дис. ... канд. биол. наук. / О. М. Кожова. – Иркутск, 1956. – 20 с.
17. Кожова О. М. Динамика численности фитопланктона в районе г. Байкальска / О. М. Кожова, Л. Р. Измestьева, Г. А. Святенко // Экологические исследования Байкала и байкальского региона. Ч. 1. – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1992. – С. 119–137.
18. Коршиков О. А. Визначник прісноводних водоростей УРСР. V. Protococcineae / О. А. Коршиков. – Киев : Вид-во АН УРСР, 1953. – 449 с.
19. Литоральная зона Ладожского озера / ред. Е. А. Курашов. – СПб. : Нестор-История, 2011. – 416 с.
20. Макарова И. В. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона / И. В. Макарова, Л. О. Пичкилы // Ботан. журн. – 1970. – Т. 55, № 10. – С. 1488–1494.
21. Матвиенко А. М. Определитель пресноводных водорослей СССР / А. М. Матвиенко. – М. : Советская наука, 1954. – Вып. 3. Золотистые водоросли. – 188 с.
22. Матвиенко О. М. Визначник прісноводних водоростей Української РСР : III. Ч. 2. Пірофітові водорості – Ругорфита. / О. М. Матвиенко, Р. М. Литвиненко. – Київ : Наукова Думка, 1977. – 385 с.
23. Мейер К. И. Введение во флору водорослей оз. Байкал / К. И. Мейер // Бюл. МОИП. – 1930. – Т. 39, № 3–4. – С. 179–392.
24. Минеева Н. М. Функционирование фитопланктона крупных пресноводных систем при разной обеспеченности ресурсами / Н. М. Минеева, Л. А. Щур, Н. А. Бондаренко // Гидробиол. журн. – 2012. – № 3. – С. 21–33.
25. Поповская Г. И. Фитопланктон Байкала и его многолетние изменения (1958–1990 гг.) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук / Г. И. Поповская. – Новосибирск, 1991. – 32 с.
26. Поповская Г. И. Этапы изучения автотрофного пикопланктона озера Байкал / Г. И. Поповская, О. И. Белых // Гидробиол. журн. – 2003. – Т. 39, № 6. – С. 12–24.
27. Скабичевский А. П. О распределении донной растительности Байкала в окрестностях Больших Котов / А. П. Скабичевский // Бюл. МОИП. Отд. биол. – 1966. – Т. 71, № 6. – С. 108–119.
28. Структура и динамика фитопланктона в Южном Байкале в 2005–2007 гг. / Г. В. Помазкина [и др.] // Альгология. – 2010. – Т. 20, № 1. – С. 56–72.
29. Шерстянкин П. П. Экспериментальные исследования подледного светового поля озера Байкал / П. П. Шерстянкин. – М. : Наука, 1975. – 91 с.
30. Яснитский В. Н. Результаты наблюдений над планктоном Байкала в районе Биологической станции за 1926–1928 гг. / В. Н. Яснитский // Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркут. гос. ун-те. – Иркутск, 1930. – Т. 4, вып. 3–4. – С. 191–234.
31. Abundance, growth and grazing loss rates of picophytoplankton in Barguzin Bay, Lake Baikal / T. Katano [et al.] // Aquat. Ecol. – 2005. – Vol. 39, N 4. – P. 431–439.
32. Autotrophic picoplankton of Lake Baikal: composition, abundance and structure / O. I. Belykh [et al.] // Hydrobiologia. – 2006. – Vol. 568, s. 1. – P. 9–17.
33. Belykh O. I. Autotrophic picoplankton in Lake Baikal: abundance, dynamics, and distribution / O. I. Belykh, E. G. Sorokovikova // Aquat. Ecosyst. Health Manag. – 2003. – Vol. 6, N 3. – P. 251–261.
34. Komárek J. Cyanoprokaryota. 1. Chroococcales / J. Komárek, K. Anagnostidis // Süßwasserflora von Mitteleuropa. – Heidelberg, Berlin : Spektrum, Akad. Verl., 1998. – Bd. 19/1. – 548 p.
35. O'Farrell I. Phytoplankton morphological response to the underwater light conditions in a vegetated wetland / O'Farrell I., P. Tezanos Pinto, I. Izaguirre // Hydrobiologia. – 2007. – Vol. 578. – P. 65–77.
36. Round F.E. The Diatoms. Biology and morphology of the genera / F. E. Round, R. M. Crawford, D. G. Mann. – Cambridge : University Press, 1990. – 747 p.
37. Starmach K. Chrysophyceae und Haptophyceae / K. Starmach // Subwasserflora von Mitteleuropa / ed. A. Pascher. – Jena : VEB Gustav Fischer Verlag, 1985. – Bd. 1. – 515 p.
38. Temporal variation in fatty acid composition of *Ulothrix zonata* (Chlorophyta) from ice and benthic communities of Lake Baikal / S. Osipova [et al.] // Phycologia. – 2009. – Vol. 48, N 2. – P. 130–135.

## Microalgae in the shore zone of Lake Baikal

N. A. Bondarenko, O. I. Belykh, N. F. Logacheva, I. V. Tikhonova, Ye. A. Volkova

**Abstract.** The present study provides a comparative analysis of the structure and quantitative characteristics of algae from different biotopes in the shore zone of Bolshye Koty Bay (interstitial waters in the splash zone, water at the shoreline and 100 m off). First data on the algal communities in the interstitial waters of the splash zone are presented. Sixty three micro- and macro algal species were encountered during 3-year long investigations. Benthic diatoms, as well as colonial and filamentous cyanoprokaryotes (blue-green algae) were identified as major primary producers among microalgae. Regardless of the presence of significant amounts of valve fragments and empty tests of planktonic and benthic diatoms (sometimes > 90 % of the total amount), we registered the highest biomass of algae in this habitat during summer time, since it was mainly composed of macroalgae thrown up by the waves onto the beach: *Ulothrix zonata*, *Cladophora compacta*, *Tetraspora cylindricavar. bullosa* and *Didymosphenia geminata*. At the same time, *U. zonata* filaments, detached from substratum and floating, constituted the main part of the phytoplankton in the water at the shoreline, and a smaller part was made up by benthic microalgae genera: *Hannaea* Patrick, *Gomphonema* Ag., *Cymbella* Ag., *Nitzschia* Hassal. Only in late spring and autumn, substantial amounts of planktonic algae were encountered at this site. The composition of phytoplankton 100 m off the shore was similar to the pelagial phytoplankton with a small admixture of benthic forms.

**Key words:** micro- and macroalgae, structure, biomass, shore and splash zones, Lake Baikal.

Бондаренко Нина Александровна  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
доктор биологических наук  
ведущий научный сотрудник  
тел. 42-82-18, факс: 42-54-05  
E-mail: nina@lin.irk.ru

Bondarenko Nina Aleksandrovna  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
D. Sc. of Biology, leading research scientist  
phone: 42-82-18, fax: 42-54-05  
E-mail: nina@lin.irk.ru

Белых Ольга Ивановна  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
кандидат биологических наук  
ведущий научный сотрудник  
тел. (3952)42-82-18, факс 42-54-05  
E-mail: belykh@lin.irk.ru

Belykh Olga Ivanovna  
Limnological Institute SB RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
Ph. D. in Biology, leading research scientist  
phone: (3952)42-82-18, fax: 42-54-05  
E-mail: belykh@lin.irk.ru

Логачёва Наталья Филипповна  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
ведущий инженер  
тел. (3952)42-82-18, факс: 42-54-05  
E-mail: nina@lin.irk.ru

Logacheva Natalia Filippovna  
Limnological Institute RAS  
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033  
leading engineer  
phone: (3952)42-82-18, fax: 42-54-05  
E-mail: nina@lin.irk.ru

Тихонова Ирина Васильевна  
Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
кандидат биологических наук  
научный сотрудник  
тел. (3952)42-82-18, факс 42-54-05  
E-mail: iren@lin.irk.ru

Tikhonova Irina Vasilyevna  
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: iren@lin.irk.ru

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