

УДК 581.4:582.261.5(282.256.341)

**Г.В. ПОМАЗКИНА, О.И. БЕЛЫХ, В.М. ДОМЫШЕВА, М.В. САКИРКО,
Р.Ю. ГНАТОВСКИЙ**

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

СТРУКТУРА И ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА В ЮЖНОМ БАЙКАЛЕ (РОССИЯ)

Исследованы видовой состав, количественные показатели, сезонная и межгодовая динамика фитопланктона в пелагиали (середина разреза Листвянка-Танхой) и в прибрежной зоне (у п. Большие Коты) Южного Байкала в 2005-2007 гг. При сходстве флористического состава в прибрежной зоне и пелагиали озера большее видовое разнообразие водорослей выявлено в прибрежных участках, особенно в летний период. Показано, что продуктивность фитопланктона в мелководной зоне в малоурожайные 2005 и 2006 годы была выше, чем в пелагиали, а в урожайный 2007 г. имела близкие значения.

Ключевые слова: фитопланктон, численность, биомасса, Байкал.

Введение

Основными характеристиками флоры водоемов являются показатель таксономического разнообразия водорослей и их количественные значения (Трифонова, 1990; Охапкин, 1997). Фитопланктон оз. Байкал представлен многочисленными и разнообразными водорослями из многих отделов, однако только 30 видов являются доминирующими и массовыми (Кожова и др., 1999). Многочисленные исследования, проведенные в пелагиали оз. Байкал, позволили установить структуру сообществ фитопланктона, его сезонные и межгодовые изменения (Антипова, 1963; Кожов, 1965; Поповская, 1977; Измestьева, Кожова, 1988; Измestьева, 1998). В пространственном распределении по акватории озера выявлена неоднородность видового состава водорослей и структуры альгоценозов (Кожова и др., 1992). Данные о видовом составе, структуре сообществ, сезонной и межгодовой динамике, пространственном распространении водорослей приводились в основном для пелагиали озера (Мейер, 1930; Антипова, 1963; Кожов, 1965; Поповская, 1977; Измestьева, Кожова, 1988; Измestьева, 1998; Грачев, 2002; Поповская и др., 2002). Фитопланктону прибрежных участков посвящены лишь немногочисленные работы (Поповская, 1991; Кращук, Измestьева, 2004; Bondarenko et al., 2005). К особенностям фитопланктона прибрежной зоны относится интенсивное развитие некоторых представителей водорослей подо льдом, биомасса кото-

© Г.В. Помазкина, О.И. Белых, В.М. Домышева, М.В. Сакирко, Р.Ю. Гнатовский, 2010

рых в прибрежных участках в 2-3 раза выше по сравнению с пелагиалью озера (Поповская, 1991). На примере летнего фитопланктона показано значительное различие флористического состава и количественных показателей пелагиали и мелководных участков озера (Белых и др., 2007). Первичная продукция литорали вносит существенный вклад в общую продукцию глубоководных водоемов, несмотря на меньшую площадь, так как некоторые виды водорослей вегетируют только в прибрежных районах (Вотинцев и др., 1975; Бондаренко, Гусельникова, 1989; Wetzel, 1990; Gessner et al., 1996; Nozaki et al., 2002). В последнее время интерес к изучению фитопланктона и фитобентоса прибрежной зоны пресноводных озер заметно возрос, поскольку она в первую очередь подвергается антропогенной нагрузке.

Для сравнительной оценки видового состава и уровня продуктивности мелководных участков и пелагиали озера проведена серия межгодовых и сезонных наблюдений за динамикой фитопланктона в 2005-2007 гг. Цель данной работы – изучение структурных и количественных характеристик фитопланктона пелагиали и прибрежной зоны Южного Байкала.

Материалы и методы

Комплексные экспедиции по отбору проб в Южном Байкале проводились в 2005-2007 гг. на глубоководной станции, расположенной на середине разреза Листвянка-Танхой, и в прибрежной зоне у п. Большие Коты. Для учета фитопланктона в пелагиали исследовали верхний 25-метровый слой на глубине 0; 5; 10; 15; 25 м (максимальная глубина 1400 м). Отбор проб в прибрежной зоне проводили на глубине 0; 0,5; 1; 2; 4; 5 м (максимальная глубина 5 м). Фитопланктон фиксировали раствором Утермеля и концентрировали осадочным методом. Водоросли просчитывали при увеличении $\times 400$ и $\times 1000$ в световом микроскопе Axiovert 200 («Zeiss», Германия) в трех повторностях. Объем биомассы каждого вида водорослей устанавливали по средним размерам клеток, измеренным по микрофотографиям (программа Video-TestT-Size 5.0, Россия). Флористическое сходство оценивали по коэффициенту Серенсена (Песенко, 1982). Температуру воды измеряли с помощью зонда MCTD 3.5 («Falmouth Scientific. Inc.», США). На всех отобранных горизонтах определяли концентрацию биогенных элементов. Растворенный в воде кислород измеряли объемным йодометрическим методом (Алекин и др., 1973; Wetzel, Likens, 1991). Определение фосфатов выполнено спектрофотометрическим методом с образованием фосфорномолибденовой гетерополиокислоты (Строганов, Бузинова, 1980). Для измерения концентрации нитратов использовали

метод титрования органических соединений, в частности дисульфогеноловой кислоты (Строганов, Бузинова, 1980). Концентрацию кремнекислоты определяли спектрофотометрическим методом, основанным на измерении интенсивности окраски желтой кремнемолибденовой гетерополикислоты (Руководство ..., 1977). Численность и биомассу фитопланктона, температуру и содержание биогенных элементов при отборе серии проб по вертикали для каждой станции определяли как взвешенный средний арифметический показатель (Кузьмин, 1975).

Результаты и обсуждение

В 2005 г. в подледный период численность и биомасса водорослей были высокими – 173 тыс. кл/л и 1 г/м³ соответственно (рис. 1, А). Массовыми видами фитопланктона были динофитовые с доминированием *Peridinium baicalense* Kisselew et Zwetkow, концентрация которого составляла 158 тыс. кл/л. Это типичный представитель подледного планктона, вызывающий «цветение» воды (Антипова, Кожов, 1953; Поповская, 1977). Сопутствующими видами оказались *Gymnodinium baicalense* var. *minor* Антипова и *Peridinium* sp., численность которых достигала 1 тыс. кл/л. Из хлорофитовых наиболее заметными были *Koliella longiseta* (Vischer) Hindák и *Elakatothrix genevensis* (Reverd.) Hind. (до 5 тыс. кл/л). Кристофитовые были представлены видами родов *Cryptomonas* Ehr., *Rhodomonas* Karsten и *Chroomonas* Hansg. с преобладанием *Chroomonas acuta* Uterm. (1-8 тыс. кл/л). Единично встречались типичные байкальские представители под-ледного фитопланктона: *Aulacoseira baicalensis* (K. Meyer) Simonsen, *Synedra acus* Kütz. и *Nitzschia graciliformis* Lange-Bert. et Simons. Биомасса фитопланктона на поверхности составляла 2,4 г/м³ вследствие массового развития *P. baicalense*. Доля динофитовых в общей численности фитопланктона подо льдом составляла 93 %, в биомассе – 99,5 % (рис. 2).

Повышение температуры воды в мае-июне до 10 °С на поверхности способствовало увеличению видового разнообразия водорослей в основном за счет зеленых, хризофитовых, криптофитовых, эвгленовых и цианопрокариот (см. рис. 2). По численности доминировали зеленые и хризофитовые; их вклад в общую концентрацию фитопланктона составил 35 и 23 % соответственно. Количество диатомовых с преобладанием *Synedra acus* (5,3 тыс. кл/л) и *Cyclotella minuta* (Skv.) Антипова (4,2 тыс. кл/л) увеличилось по сравнению с подледным периодом, их доля в общей численности фитопланктона в мае-июне достигала 9 %. Ранее диатомовую водоросль *C. minuta* в этот период обнаруживали на каменистой литорали в большой концентрации (Помазкина, Родионова, 2004). Появились колонии *Dino-*

bryon divergens Imhof. и увеличилось количество их цист (12-15 тыс. кл/л). Характерными для этого периода оказались эвгленовые родов *Trachelomonas* Ehr. и *Euglena* Ehr. с доминированием *Euglena oblonga* Schmitz., их доля в общей биомассе была наиболее значительна (53 %). Это обычные виды для прибрежных участков Байкала и других пресноводных водоемов (Царенко, 1990; Бондаренко, 1995). Часто встречались представители бентоса из рода *Oscillatoria* Vauch., преобладали *O. amoena* (Kütz.) Gom. и *O. tenuis* Ag. Средняя численность фитопланктона в слое 0-5 м составляла 108 тыс. кл/л, биомасса – 113 мг/м³ (см. рис. 1, А).

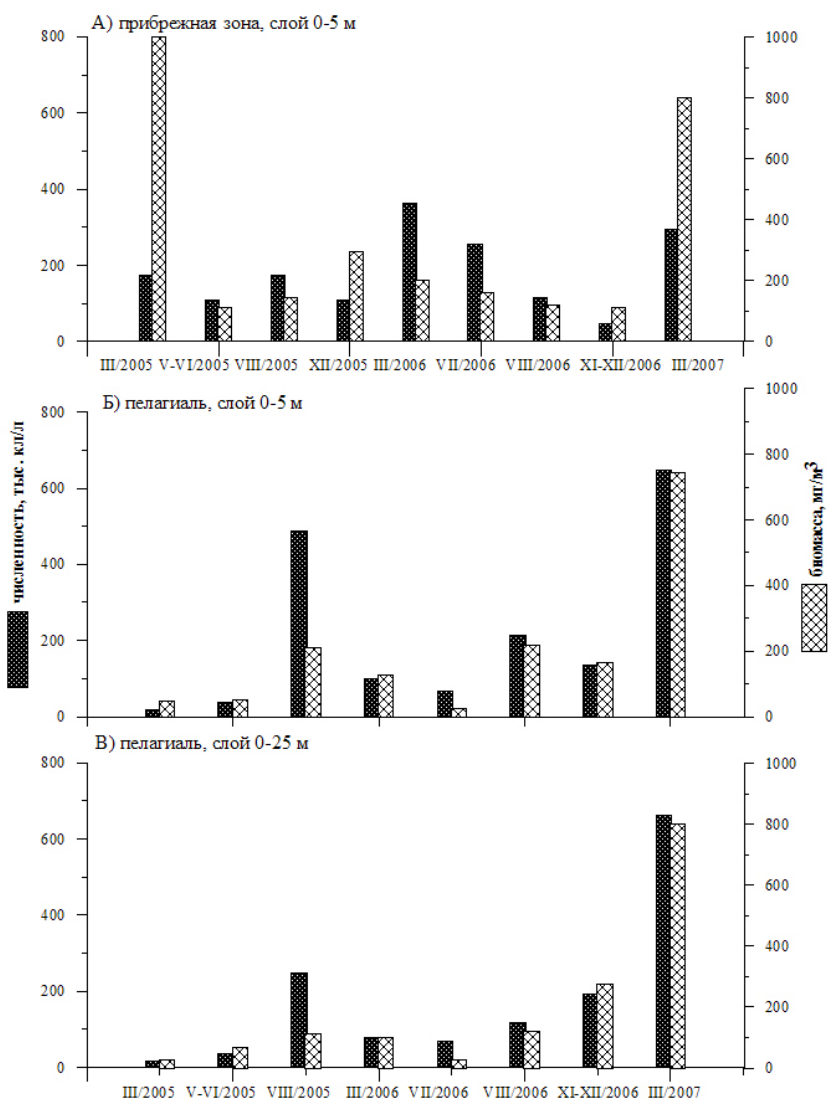


Рис. 1. Межгодовые и сезонные изменения численности и биомассы фитопланктона в Южном Байкале. А – прибрежная станция у п. Б. Коты; Б, В – пелагическая станция, середина разреза Листвянка-Танхой

В августе 2005 г. отмечены высокие количественные показатели хризофитовых с преобладанием *Dinobryon divergens* и *D. cylindricum* Imhof. Их доля в общей численности составляла 61 %, в биомассе – 52 % (см. рис. 2). Среди зеленых часто встречалась *Koliella longiseta* (17 тыс. кл/л). Численность жгутиковых из родов *Cryptomonas*, *Rhodomonas*, *Chroomonas* возросла в 5-7 раз по сравнению с подледным периодом. Представители этих родов доминируют в мелководных водоемах (Косолапова, 2005). Особенно разнообразными были факультативные планктеры – представители родов *Scenedesmus* Meyen, *Crucigenia* Morren, *Tetrastrum* Chodat, *Monoraphidium* Kom.-Legnerova, *Dictyosphaerium* Näg. и др. Часто встречались *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk., *M. pulverea* (Wood) Forti emend. Elenk. и *Aphanothece clathrata* f. *brevis* (Bachm.) Elenk., однако ни один из них не вызывал «цветения» воды. Постоянно присутствовали в планктоне виды-обрастатели. Это представители родов *Oscillatoria*, *Lyngbya* Ag. и *Anabaena* Bory, а также разнообразные бентосные виды диатомовых в большом количестве. Средние значения численности и биомассы фитопланктона в слое 0-5 м составляли 174 тыс. кл/л и 142 мг/м³ соответственно (см. рис. 1, А). Биомасса бентосных представителей достигала 390 мг/м³.

В декабре 2005 г. значительно сократилось видовое разнообразие водорослей, особенно хлорофитовых. Среди диатомовых доминировала *Cyclotella minuta* (до 35 тыс. кл/л) с небольшой примесью *C. baicalensis* Skv. и *Stephanodiscus* sp. По-прежнему часто встречалась *Koliella longiseta* (до 10 тыс. кл/л), цисты золотистых (до 17 тыс. кл/л) и представителей жгутиковых (до 40 тыс. кл/л). По биомассе преобладали динофитовые (49 %) и диатомовые (41 %) (см. рис. 2, Б). В это время литоральная зона подвержена мощным динамическим процессам. В результате интенсивного перемешивания биомасса бентосных водорослей в планктоне была высокой (до 1,2 г/м³). Средняя численность фитопланктона составляла 108 тыс. кл/л, биомасса – 297 мг/м³ (см. рис. 1, А).

В марте 2006 г. сообщество фитопланктона прибрежной зоны подолдом было разнообразнее, чем в марте 2005 г. По численности, количеству видов и биомассе доминировали криптофитовые – до 300 тыс. кл/л (85 % общей концентрации и 61 % биомассы) (см. рис. 2). Из хлорофитовых значимой была *Koliella longiseta* (до 23 тыс. кл/л), из динофитовых преобладал мелкий *Peridinium* sp. (до 8 тыс. кл/л), среди хризофитовых встречался *Kephyrion* sp. (до 2 тыс. кл/л). Единично отмечались *Synedra acus*, *Cyclotella baicalensis* и *Gymnodinium baicalense* var. *minor*. Численность фитопланктона в сравнении с мартом предыдущего года оказалась в два раза выше – 363 тыс. кл/л, а биомасса

была значительно ниже – 200 мг/м³, поскольку отсутствовал крупный байкальский эндемик *Peridinium baicalense* (см. рис. 1, А).

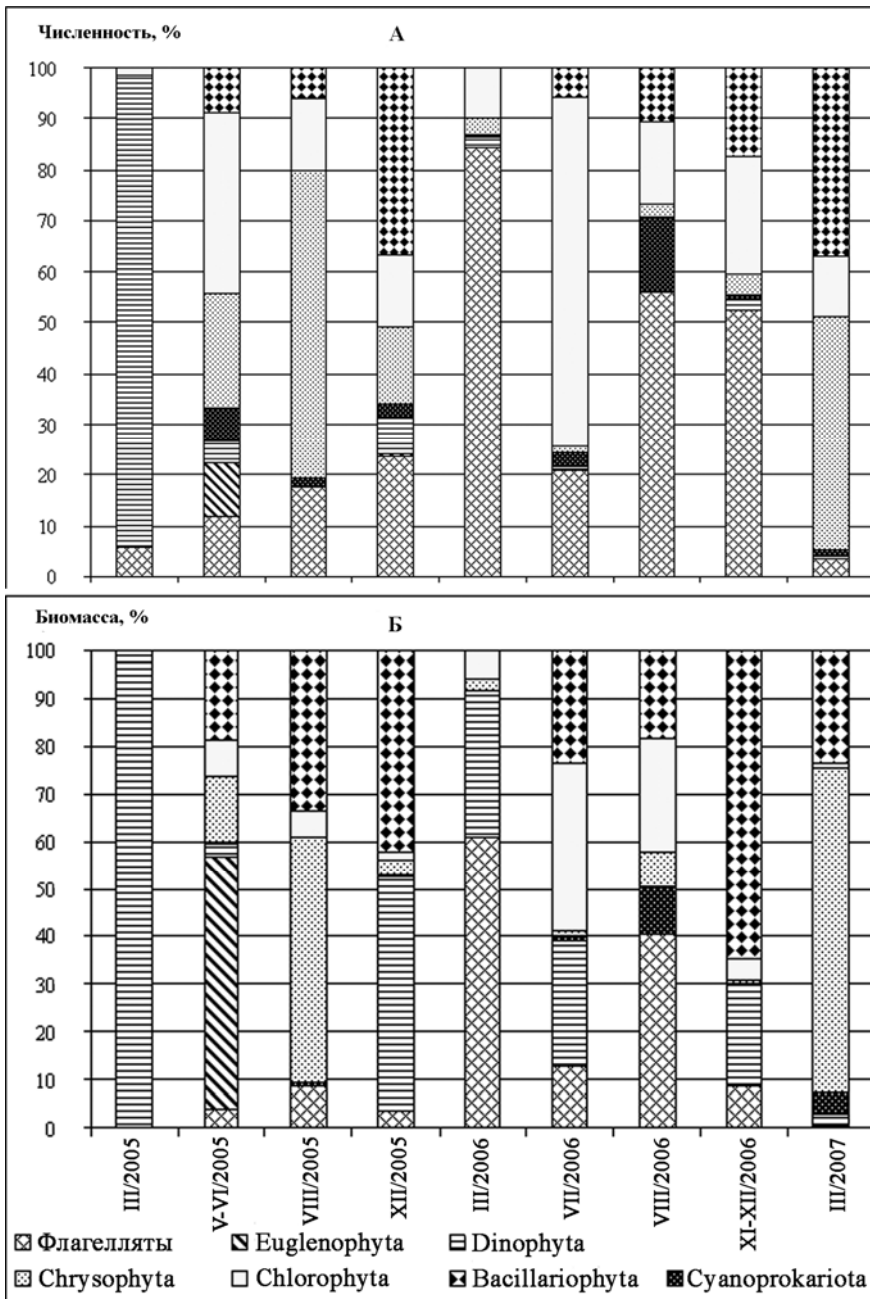


Рис. 2. Межгодовые и сезонные изменения структуры сообществ фитопланктона в Южном Байкале по численности (А) и биомассе (Б) в слое 0-5 м на прибрежной станции

В июле-августе 2006 г. общее видовое разнообразие водорослей в прибрежной зоне увеличилось по сравнению с летом 2005 г. (45 и 30 видов, разновидностей и форм соответственно) благодаря развитию хлорофитовых и цианопрокариот. Доля последних в общей численности фитопланктона увеличилась до 14 % в августе, тогда как в этот же период предыдущего года была всего 2 %. Повышение температуры воды (см. таблицу) положительно сказалось на увеличении видового состава в основном за счет мелкоклеточных видов зеленых водорослей и цианопрокариот. К доминирующему комплексу в заметном количестве добавились *Coelosphaerium kuetzingianum* Näg., *Synedra acus*, *Monoraphidium arcuatum* (Korschik.) Hindák, *Schroederia setigera* (Schroed.) Lemm. и *Koliella spiculiformis* (Vischer) Hindák. Представителей рода *Dinobryon* Ehr. практически не наблюдали. В июле-августе при высокой температуре воды и длительной штилевой погоде в прибрежной зоне отмечены высокие количественные показатели фитопланктона. Средние значения численности и биомассы в июле в слое 0-5 м достигали 255 тыс. кл/л и 162 мг/м³, в августе 115 тыс. кл/л и 120 мг/м³ соответственно (см. рис. 1, А).

Осенний период (ноябрь-декабрь) 2006 г. характеризовался низкими значениями численности и биомассы (48 тыс. кл/л, 112 мг/м³), видовой состав был сходен с предыдущим периодом 2005 г. Возросла доля диатомовых (до 65 % общей биомассы фитопланктона) и снизилась доля криптофитовых (8 %) (см. рис. 2, Б). Биомасса бентосных представителей в планктоне была значительно ниже показателей предыдущего года (100 мг/м³).

В подледный период 2007 г. наблюдался высокий уровень развития диатомового фитопланктона в отличие от двух предыдущих лет. В массовом количестве вегетировали *Synedra acus* (98 тыс. кл/л) и *Aulacoseira baicalensis* (15 тыс. кл/л). Помимо диатомовых развивался комплекс водорослей, состоящий из *Dinobryon cylindricum*, *Koliella longiseta* и видов рода *Monoraphidium* с максимальной численностью 68, 22 и 35 тыс. кл/л соответственно. Наблюдалось «цветение» *Mallomonas vannigera* Asmund – типичного представителя мелководной зоны Байкала. На поверхности его численность достигала 102 тыс. кл/л, биомасса – 570 мг/м³. В отдельные годы, по данным Г.И. Поповской (1991), биомасса этого вида составляла 2-8 г/м³. Средняя численность и биомасса фитопланктона в слое 0-5 м составляла 295 тыс. кл/л и 800 мг/м³ соответственно (см. рис. 1, А).

Характеристика фитопланктона пелагиали. В 2005 г. в подледный период наблюдали высокий уровень развития зеленых водорослей – до 55 % общей численности в верхнем 5-метровом слое

(рис. 3, А). Доминировали *Dictyosphaerium pulchellum* Wood (640 тыс. кл/л) и *Koliella longiseta* (110 тыс. кл/л). Субдоминантами были криптофитовые: *Cryptomonas gracilis* Skuja, *C. reflexa* (Marsson) Skuja и *Chroomonas acuta*. Из диатомовых встречались *Nitzschia graciliformis* и мелкие виды рода *Stephanodiscus* Ehr. Массового развития типичных подледных байкальских эндемиков *Aulacoseira baicalensis* и *Cyclotella baicalensis* не наблюдали. Численность и биомасса фитопланктона были низкими и в слое 0-5 м составляли 19 тыс. кл/л и 47 мг/м³, в слое 0-25 м – 18 тыс. кл/л и 27 мг/м³ соответственно (рис. 1, Б, В).

В весенний период (май-июнь) видовое разнообразие фитопланктона, особенно в слое 0-5 м, увеличилось за счет *Tetraëdron minimum* (A. Br.) Hansg., *Schroederia setigera*, а также *Coelosphaerium kützingianum*, *Gloeocapsa limnetica* (Lemm.) Hollerb. По численности доминировали зеленые водоросли (39 %) и флагаелляты (38 %). На долю динофитовых приходилось 50 % биомассы (см. рис. 3). В небольшом количестве встречалась *Cyclotella minuta*. Концентрация фитопланктона в слое 0-5 м возросла до 27 тыс. кл/л, биомасса составила 73 мг/м³, в слое 0-25 м – 37 тыс. кл/л и 69 мг/м³ соответственно (рис. 1, Б, В).

В августе 2005 г. доминирующий комплекс состоял из разнообразных жгутиковых с преобладанием *Chroomonas acuta* (до 45 тыс. кл/л). Вклад автотрофных флагаеллят в слое 0-5 м в общую численность достигал 65 %, в биомассу – 8 % (см. рис. 3). Высокую концентрацию *Ch. acuta* наблюдали и ранее в Южном Байкале в разные периоды года (Изметьева, Кожова, 1988; Кожова, 1998; Святенко и др., 2002).

Заметными по численности были диатомовые (30 %), среди которых преобладали *Cyclotella minuta* (20 тыс. кл/л) и *Nitzschia graciliformis* (3 тыс. кл/л). Количество *Dinobryon cylindricum* и *D. divergens* в отличие от мелководных участков было низким и достигало 10-15 тыс. кл/л. Хризифитовые формировали цисты, которые наблюдали повсюду (до 12 тыс. кл/л). Численность *Koliella longiseta* и *Dictyosphaerium pulchellum* увеличилась до 45 тыс. кл/л, сопутствующими оказались *Chlorella* sp., *Elakatothrix genevensis* и *Monoraphidium minutum* (Näg.) Kom.-Legn.

Средние количественные значения фитопланктона заметно возросли: в слое 0-5 м численность достигала 487 тыс. кл/л, биомасса увеличилась до 212 мг/м³, в слое 0-25 м численность составила 247 тыс. кл/л, биомасса – 112 мг/м³ (см. рис. 1, Б, В). В августе 2005 г. в пелагиали Байкала наблюдали самые низкие значения нитратов и фосфатов за исследуемый период вследствие их активного потребления автотрофным пикопланктоном и фитопланктоном. Исследование пространственного

распределения фитопланктона летом 2005 г. по всей акватории озера также выявило высокий уровень развития пикопланктона, что привело к резкому снижению биогенов в пелагиали (Белых и др., 2007).

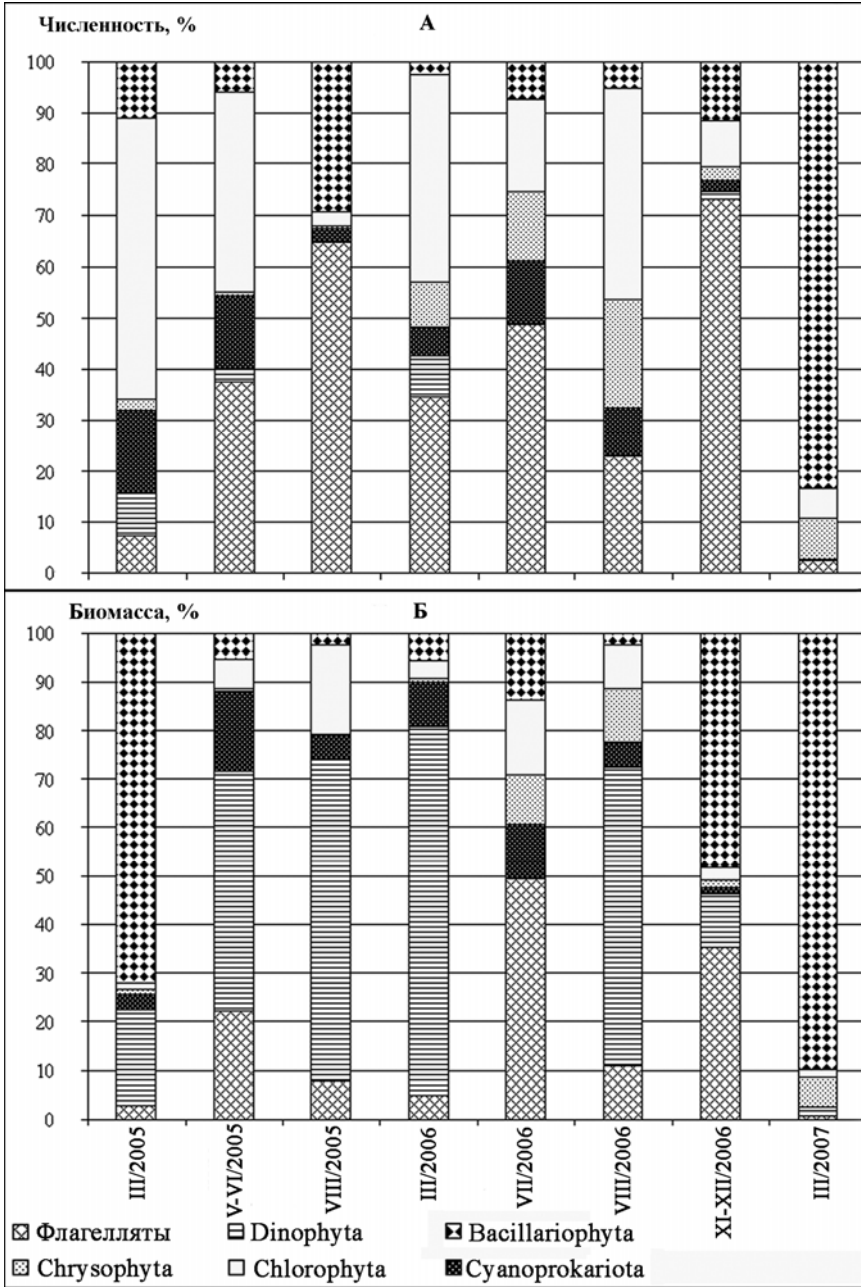


Рис. 3. Межгодовые и сезонные изменения структуры сообществ фитопланктона в Южном Байкале по численности (А) и биомассе (Б) в слое 0-5 м на пелагической станции

В подледный период 2006 г. в пелагиали эндемичные байкальские диатомовые практически не отмечались. Концентрация динофитовых *Peridinium baicalense* и *Gymnodinium baicalense* var. *minor* была небольшой (до 5,5 тыс. кл/л), но их вклад в общую биомассу был значительный (76 %) (см. рис. 3).

Таблица. Физико-химические показатели воды на глубине 0-5 м на станциях наблюдения в Южном Байкале

| Показатель | 2005 г. | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------|-------|----------|-------|--------|-------|---------|---|
| | Март | | Май-июнь | | Август | | Декабрь | |
| | л | п | л | п | л | п | л | п |
| Температура, °С | 0,4 | 0,1 | 10 | 2 | 17 | 9,8 | 2,7 | - |
| Толщина льда, м | 0,75 | 0,8 | | | | | | |
| O ₂ , мг/л | 13,8 | 13,3 | 12,7 | 12,7 | 10,0 | 9,8 | 12,1 | - |
| NO ₃ ⁻ , мг/л | 0,20 | 0,23 | 0,25 | 0,20 | 0,04 | 0,032 | 0,51 | - |
| PO ₄ ³⁻ , мг/л | 0,016 | 0,021 | 0,010 | 0,022 | 0,007 | 0,004 | 0,019 | - |
| Si, мг/л | 0,46 | 0,69 | 0,60 | 0,66 | 0,66 | 0,69 | 0,69 | - |
| CO ₂ , мг/л | 1,01 | - | 1,49 | - | 0,66 | - | 2,19 | - |

| Показатель | 2006 г. | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------|-------|-------|-------|--------|----------------|-------|-------|-------|--|
| | Март | | Июль | | Август | Ноябрь-декабрь | | Март | | |
| | л | п | л | п | п | л | п | л | п | |
| Температура, °С | 0,2 | 0,2 | 19,0 | 9,4 | 13 | 3,2 | 3,4 | 0,2 | 0,2 | |
| Толщина льда, м | 0,85 | 0,8 | | | | | | 0,54 | 0,7 | |
| O ₂ , мг/л | 14,6 | - | 12,1 | 11,5 | 10,56 | 12,0 | 11,9 | 14,7 | 14,1 | |
| NO ₃ ⁻ , мг/л | 0,32 | 0,27 | 0,24 | 0,50 | 0,035 | 0,44 | 0,35 | 0,41 | 0,29 | |
| PO ₄ ³⁻ , мг/л | 0,020 | 0,020 | 0,012 | 0,024 | 0,010 | 0,036 | 0,028 | 0,022 | 0,021 | |
| Si, мг/л | 0,75 | - | 0,68 | 0,65 | 0,72 | 0,68 | 0,62 | 0,58 | 0,55 | |
| CO ₂ , мг/л | 1,67 | - | 0,77 | - | - | 1,92 | - | 0,95 | - | |

Обозначения: л – литораль; п – пелагиаль.

Численность зеленых водорослей была высокой, доминировала *Koliella longiseta* (до 26 тыс. кл/л). В меньшем количестве, чем в прибрежной зоне, в этот период встречался *Chroomonas acuta*, однако в целом флагелляты были разнообразны и многочисленны. Средние

значения численности в слое 0-5 м – 99 тыс. кл/л, биомассы – 127 мг/м³; в слое 0-25 м – 79 тыс. кл/л и 98 мг/м³ соответственно (см. рис. 1, Б, В).

В июле концентрация криптофитовых возросла до 56 тыс. кл/л, в первую очередь за счет *Chroomonas acuta* (до 29 тыс. кл/л), распространившегося по всей акватории южной котловины из мелководных районов, где численность ее была высока. Доля жгутиковых, включая криптофитовые, была максимальной (49 %) в общей численности фитопланктона, также выделялись зеленые (18 %) и золотистые (13 %) водоросли (см. рис. 3, А). Довольно значимыми были *Koliella longiseta*, *Monoraphidium minutum* (до 12 тыс. кл/л), *Dictyosphaerium pulchellum* и *Schroederia robusta* Korschik. (6-8 тыс. кл/л). Встречалась *Cyclotella minuta* (до 2 тыс. кл/л), на поверхности развивались *Coelosphaerium kuetzingianum* и *Gloeocapsa limnetica* (до 2-3 тыс. кл/л). Средние значения численности и биомассы фитопланктона в слое 0-5 м составили 68 тыс. кл/л и 24 мг/м³, в слое 0-25 м – 68 тыс. кл/л и 25 мг/м³ соответственно (см. рис. 1, Б, В). В июле наблюдали характерный для этого периода максимум биогенных элементов (см. таблицу).

В августе общая структура фитопланктона изменилась (см. рис. 3). Ослабла роль жгутиковых, активнее развивались представители хлорофитовых с теми же доминантами, что и в июле, увеличилось количество золотистых водорослей и цианопрокариот, появилась *Anabaena spiroides* Kleb. (до 5 тыс. кл/л). Средние значения численности и биомассы фитопланктона в слое 0-5 м увеличились в несколько раз по сравнению с июлем и составили 213 тыс. кл/л и 219 мг/м³, в слое 0-25 м – 118 тыс. кл/л и 122 мг/м³ соответственно (см. рис. 1, Б, В), что привело к понижению концентрации биогенов (см. таблицу).

Осенний период (ноябрь-декабрь) характеризовался развитием криптофитовых с доминированием *Chroomonas acuta*. На поверхности воды его численность достигала максимальных значений (143 тыс. кл/л). Возросла роль диатомовых (до 48 % общей биомассы), прежде всего благодаря *Cyclotella minuta* с концентрацией 45 тыс. кл/л. Вклад хризофитовых снизился до 2 % (см. рис. 3, Б). Средние значения численности и биомассы фитопланктона в слое 0-5 м составляли 134 тыс. кл/л и 165 мг/м³, в слое 0-25 м 193 тыс. кл/л и 277 мг/м³ соответственно (см. рис. 1, Б, В).

В марте 2007 г. подо льдом в пелагиали наблюдали массовое развитие диатомовых (84 % общей численности) с преобладанием *Synedra acus* (см. рис. 3, А). Численность *Aulacoseira baicalensis* не превышала 30 тыс. кл/л. Количество *S. acus* на глубоководной станции было выше, чем в мелководье; максимальная концентрация вида выявлена на 15-метровой глубине – 610 тыс. кл/л. Подобные значения приводились ранее для

«синедровых» лет (Поповская, 1977). Как известно, доминирование вида не подчинено строгой закономерности (Антипова, 1963; Поповская, 1977). Последний раз «цветение» *S. acus* в Ю. Байкале, по нашим наблюдениям, было в 2001 и 2003 гг. В подледный период 2007 г. мы зарегистрировали редкое природное явление – половой процесс у *S. acus*. В большом количестве обнаружены инициальные клетки, ауксоспоры на различных стадиях роста и молодые клетки синедры, длина которых значительно превышала таковую родительских клеток. Вторыми по численности в пелагиали были хризофитовые (8 %), представленные в основном *Dinobryon cylindricum*, *Kephyrion* sp. и цистами. В отличие от прибрежной зоны в пелагиали отмечали только отдельные чешуйки и шипы *Mallomonas vannigera*. Зеленые водоросли *Koliella longiseta*, виды родов *Monoraphidium* и *Dictyosphaerium* достигали концентрации 25 тыс. кл/л. Хлорофилл-содержащие жгутиковые были немногочисленны. Средние значения численности были высокими и достигали в слое 0-5 и 0-25 м – 648 и 662 тыс. кл/л; биомасса составляла 744 и 798 мг/м³ соответственно (см. рис. 1, Б, В).

Рассматривая вертикальное распределение водорослей в пелагиали, следует отметить, что в исследуемый период, за исключением ноябрю-декабря 2006 г. и марта 2007 г., их максимальное количество наблюдали в слоях 0-5 м и 0-15 м. В слое 0-25 м, данные по которому приводятся в большинстве работ, посвященных байкальскому фитопланктону (Антипова, 1963; Вотинцев и др., 1975; Поповская, 1977, 1991), численность и биомасса были ниже. Вертикальный профиль фитопланктона в ноябрю-декабре 2006 г. и марте 2007 г., очевидно, обусловлен доминированием в структуре альгоценозов диатомовых водорослей, которые, как известно (Вотинцев и др., 1975), быстро покидают верхний слой водной толщи.

Биомасса водорослей в пелагиали 2005-2006 гг. не превышала 500 мг/м³, что характерно для малопродуктивных годов (Поповская, 1977). Полученные результаты подледного периода 2007 г. позволяют говорить о том, что год характеризуется как продуктивный за счет массового развития диатомовых.

Сравнение таксономической структуры планктонной флоры на двух участках озера показало, что основу фитопланктона и в прибрежной зоне, и в пелагиали в 2005-2006 гг. составляли автотрофные флагелляты, преимущественно криптофитовые, зеленые, динофитовые и хризофитовые водоросли. В осеннее время появлялись еще и диатомовые, в основном *Cyclotella minuta*. В отличие от двух предыдущих лет подледный период 2007 г. характеризовался развитием диатомовых с преобладанием *Synedra acus*. Фитопланктон пелагиали и прибрежной зоны представлял собой единый фитоценоз. Массовые виды водорослей на исследованных участках

были одни и те же. Это истинно планктонные, космополитные формы: *Koliella longiseta*, *Elakatothrix genevensis*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Chroomonas acuta* и *Coelosphaerium kuetzingianum*. Коэффициент флористического сходства по Серенсену составил 0,72-0,76, что свидетельствует о значительной близости альгофлор исследованных участков. В прибрежной зоне, по сравнению с планктоном пелагических участков, возросло значение подвижных жгутиковых форм: эвгленовых, вольвоксовых, золотистых, динофитовых водорослей. Подобное явление характерно и для других водоемов (Девяткин, 1981; Шаров, 2005). Специфичность фитопланктона прибрежной зоны Байкала проявлялась в разнообразии доминирующих родов в летний период, а также в присутствии в планктоне большого количества эпифитных цианопрокариот и бентосных диатомовых водорослей. В отличие от фитопланктона пелагиали в прибрежной зоне наблюдалось увеличение вклада отдельных видов в общую численность и биомассу фитопланктона. Например, в 2005 г. подо льдом в литорали отмечено массовое развитие *Peridinium baicalense*, тогда как в пелагиали вид отсутствовал. К особенностям фитопланктона пелагиали в 2005-2006 гг. следует отнести более заметную по численности роль мелкоклеточных колониальных зеленых водорослей и цианопрокариот, разнообразных криптофитовых и автотрофных флагеллят.

В пелагиали менее значимы были хризофитовые (7 % общей численности) по сравнению с прибрежной зоной, где их доля составляла 17 % за исследуемый период. Так, 2007 г. характеризовался кратковременным “цветением” *Mallomonas vannigera*, в пелагиали вид не отмечался. Численность диатомовых в двух участках озера в 2005-2006 гг. была одинаковой (11 %), однако в 2007 г. количественные значения диатомей в пелагиали были значительно выше. В пелагиали озера в слое 0-5 м структурный комплекс водорослей состоял из меньшего числа видов. Здесь наблюдалось также сглаживание сезонности в развитии большинства видов, за исключением диатомовых. Обнаруживалось немало случайных представителей, включая бентосные диатомовые, которые приносятся из прибрежной зоны, особенно в период наиболее активного перемешивания водных масс. Наличие этих видов считается неинформативным для анализа структуры сообществ пелагиали (Оксиюк и др., 1994).

Состояние сообществ фитопланктона отражает реакцию видов на изменение условий среды, таких как перемешивание, прогреваемость воды, влияние водосбора, а также физических и химических показателей, в т.ч. поступление биогенных элементов, что вызывает перестройку альгоценозов (Трифонов, Макареца, 2006). Исследуемый нами мелко-

водный участок у п. Б. Коты относится к открытому Байкалу и находится в зоне гидродинамической активности. Из-за близости дна здесь наблюдается более высокая фотосинтетически активная радиация, чем в глубоководной части озера (Шерстянкин, 1965), а вода хорошо прогревается, особенно в штилевую погоду. В отличие от физических параметров химические показатели, в частности содержание фосфора, азота и кремния в двух участках озера отличаются незначительно (см. таблицу). В месте отбора проб в прибрежную зону нет значительного притока биогенов, т.к. в озеро впадает лишь небольшой ручей, к тому же береговая зона здесь открытая, с хорошей перемешиваемостью водных масс. Для сравнения, на мелководье, в местах впадения крупных рек, где содержание биогенов в несколько раз превышает таковое в пелагиали, отмечена более высокая численность и биомасса фитопланктона, чем в открытом Байкале (Белых и др., 2007).

В данной работе корреляция между химическими показателями мест обитания и количественными значениями фитопланктона не прослеживается. Так, в марте 2005 г. различие в биомассе водорослей между прибрежной зоной и пелагиалью озера было 20-кратным при сходной концентрации биогенов. Очевидно, что на развитие фитопланктона влияет комплекс биотических и абиотических факторов, особенно это проявляется в литорали, где существуют сложные конкурентные отношения за биогены с фитобентосом.

Заключение

В малопродуктивные годы (2005 и 2006 гг.) прибрежная зона и пелагиаль озера в целом характеризовались схожей структурой фитопланктона. Однако видовой состав водорослей прибрежной зоны был более разнообразным за счет эвритопных и эврибионтных видов, которые не являются достоверными показателями состояния экосистемы. Более интересны в этом отношении оказались байкальские эндемичные и массовые представители, которые и определили основные сезонные и межгодовые изменения фитопланктона уникального озера.

Средние значения биомассы фитопланктона в прибрежной зоне в малопродуктивные 2005 и 2006 гг. были в 2,1 раза выше, чем в пелагиали в слое 0-5 м. Максимальные количественные значения как в мелководном участке, так и в пелагиали озера отмечены в подледный период. В марте 2005 г. биомасса водорослей мелководной зоны в 3,5 раза превышала таковую на глубоководной станции за счет интенсивного "цветения" динофитовых. В 2006 г. различия в видовой структуре и количественных

показателях были незначительными. В марте 2007 г. продуктивность фитопланктона в прибрежье и пелагиали была высокой и сходной благодаря массовому развитию диатомовых, в прибрежной зоне с добавлением золотистых.

В пелагиали более продуктивным был 2006 г., в среднем в два раза по сравнению с 2005 г. В прибрежной зоне самые высокие значения биомассы фитопланктона отмечены в 2005 г. Таким образом, в малоурожайные по диатомовым годы более продуктивной была прибрежная зона озера, а в урожайный 2007 г. продуктивность пелагиали и прибрежной зоны была сходной.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 05-04-48624, № 08-05-00258, 09-04-90420-Укр_ф_а. Авторы глубоко признательны И.В. Тихоновой, А.С. Гладких за участие в отборе проб, Н.А. Бондаренко за обсуждение полученных результатов, а также сотрудникам отдела ультраструктуры клетки за высказанные замечания и пожелания.

G.V. Pomazkina, O.I. Belykh, V.M. Domyшева, M.V. Sakirko & R.Yu. Gnatovsky

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

STRUCTURE AND DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON OF SOUTHERN BAIKAL (RUSSIA)

Species composition, qualitative indices, and seasonal and inter-annual dynamics of phytoplankton were investigated in the pelagic part of Lake Baikal at the middle cross-section of Listvianka-Tankhoy as well as in the littoral near the settlement Bolshie Koty, Southern Baikal in 2005-2007. The floristic composition of algae of both studied sites is similar, while the variety of species of the littoral was higher, especially in summer. Phytoplankton productivity in the coastal zone was low in 2005; in 2006 it was higher than that in the pelagic zone and in 2007 productive values of both sites were similar.

Key words: phytoplankton, number, biomass, Lake Baikal.

Алекин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеониздат, 1973. – 269 с.

Антипова Н.Л. Сезонные и годовые изменения фитопланктона в озере Байкал // Тр. Лимнол. ин-та СО АН СССР. – М.: Наука, 1963. – Т. 11 (XXII), Ч. 2. – С. 12-28.

- Антипова Н.Л., Кожов М.М.* Материалы по сезонным и годовым колебаниям руководящих форм фитопланктона озера Байкал // Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркут. гос. ун-те. – 1953. – **18**, вып. 1/2. – С. 63-68.
- Белых О.И., Помазкина Г.В., Тихонова И.В., Томберг И.В.* Характеристика летнего фитопланктона и автотрофного пикопланктона озера Байкал в 2005 г. // Альгология. – 2007. – **17**, № 3. – С. 380-396.
- Бондаренко Н.А.* Список планктонных водорослей // Атлас и определитель пелагиобионтов Байкала. – Новосибирск: Наука, 1995. – С. 621-630.
- Бондаренко Н.А., Гусельникова Н.Е.* Продукция фитопланктона Южного Байкала // Изв. СО АН СССР. – 1989. – Сер. биол., вып. 1. – С. 77-81.
- Вотинцев К.К., Мещерякова А.И., Поповская Г.И.* Круговорот органического вещества в озере Байкал. – Новосибирск: Наука, 1975. – 189 с.
- Грачев М.А.* О современном состоянии экологической системы озера Байкал. – Новосибирск: Наука, 2002. – 156 с.
- Девяткин В.Г.* Формирование и продуктивность литоральных альгоценозов // Биол. внутр. вод. – 1981. – № 51. – С. 11-15.
- Изместьева Л.Р., Кожова О.М.* Структура и сукцессии фитопланктона // Долгосрочное прогнозирование состояния экосистем. – Новосибирск: Наука, 1988. – С. 97-129.
- Изместьева Л.Р.* Опыт организации гидробиологического мониторинга // Методология оценки состояния экосистемы. – Новосибирск: Наука, 1998. – С. 95-110.
- Кожов М.М.* К познанию планктона оз. Байкал // Изв. Биол.-геогр. ин-та при Иркут. гос. ун-те. – 1965. – **18**, вып. 1/2. – С. 3-17.
- Кожова О.М., Изместьева Л.Р., Святенко Г.А.* Динамика численности фитопланктона в районе г. Байкальска // Экологические исследования Байкала и байкальского региона. Ч. I. – Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1992. – С. 119-137.
- Кожова О.М.* Гидрологическому мониторингу Байкала – 50 лет // Проблемы сохранения биоразнообразия. – Новосибирск: Наука, 1998. – С. 8-12.
- Кожова О.М., Павлов Б.К., Пешкова Е.В., Святенко Г.С.* Изменение видового состава фитопланктона Южного Байкала в период с 30-х до конца 90-х и тенденции его перестройки // Мат. конф. «Проблемы экологии». – Иркутск, 1999. – С. 34-44.
- Косолапова Н.Г.* Фауна планктонных гетеротрофных жгутиконосцев малых водоемов // Биол. внутр. вод. – 2005. – № 1. – С. 9-14.
- Крацук Л.С., Изместьева Л.Р.* Седиментация фитопланктона в Южном Байкале в летний период // Экосистемы и природные ресурсы горных стран. – Новосибирск: Наука, 2004. – С. 87-93.
- Кузьмин Г.В.* Фитопланктон. Видовой состав и обилие // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – С. 73-87.
- Мейер К.И.* Введение во флору водорослей озера Байкал // Бюл. Моск. об-ва испыт. прир., новая сер. – 1930. – **39**, № 3/4. – С. 179-396.
- Оксиюк О.П., Зимбалева Л.Н., Протасов А.А.* Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. Бентос, перифитон, зоофитос // Гидробиол. журн. – 1994. – **30**, № 4. – С. 31-35.
- Охапкин А.Г.* Таксономическая структура фитопланктона как показатель стадии сукцессии равнинных водохранилищ // Бот. журн. – 1997. – **82**, № 1. – С. 46-54.

- Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
- Поповская Г.И. Динамика фитопланктона пелагиали (1964-1974 гг.) // Биологическая продуктивность пелагиали Байкала и ее изменчивость. – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 5-39.
- Поповская Г.И. Фитопланктон Байкала и его многолетние изменения (1958-1990 гг.): Автореф. дис. докт. биол. наук. – Новосибирск, 1991. – 32 с.
- Поповская Г.И., Генкал С.И., Лихошвай Е.В. Диатомовые водоросли планктона озера Байкал: Атлас-определитель. – Новосибирск: Наука, 2002. – 168 с.
- Помазкина Г.В., Родионова Е.В. Бентосные *Bacillariophyta* в Южном Байкале (Россия) // Альгология. – 2004. – **14**, № 1. – С. 62-72.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 534 с.
- Святенко Г.С., Павлов Б.К., Пешкова Е.В. Сезонные изменения фитопланктона в Южном Байкале в 1989-1991 гг. // Сиб. экол. журн. – 2002. – № 4. – С. 491-497.
- Строганов Н.С., Бузинова Н.С. Практическое руководство по гидрохимии. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 196 с.
- Трифорова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – 184 с.
- Трифорова И.С., Макарецва Е.С. Сезонная и многолетняя динамика фито- и зоопланктона и их взаимоотношения в мезотрофном озере // Биол. внутр. вод. – 2006. – № 3. – С. 18-25.
- Шаров А.Н. Влияние техногенного загрязнения на фитопланктон водоемов Субарктики (на примере водоемов Кольского полуострова) // Там же. – 2005. – № 2. – С. 52-64.
- Шерстянкин П.П. О минимуме нижнего света на Байкале // Лимнологические исследования Байкала и некоторых озер Монголии. – М.: Наука, 1965. – С. 218-222.
- Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. – Киев: Наук. думка, 1990. – 208 с.
- Bondarenko N.A., Melnik N.G., Obolkina L.A., Timoshkin O.A. The role of microbenthic organisms in the productivity of water above the littoral of lake Baikal (Ecological test site Berezovy) // Abstr. Intern. Sci. Conf. in honor of the 100th anniver. of corresponding member of the USSR Acad. Sci. (3-7 Oct., 2005, SPb). – SPb: KML, 2005. – P. 12.
- Gessner M.A., Schiferstein B., Müller U. et al. A partial budget of primary organic carbon flows in the littoral zone of a hardwater lake // Aquat. Bot. – 1996. – **55**. – P. 93-105.
- Nozaki K., Morino H., Munehara H. et al. // Composition, biomass, and photosynthetic activity of the benthic algal communities in a littoral zone of Lake Baikal in summer // Limnology. – 2002. – **3**. – P. 175-180.
- Wetzel R.G. Land-water interfaces: metabolic and limnological regulators // Verh. Intern. Ver. Limnol. – 1990. – **24**. – P. 519-590.
- Wetzel R.G., Likens G.E. Limnological analyses. – New York: Springer-Verlag, 1991. – 391 p.

Получена 13.01.09

Рекомендовал к печати С.И. Генкал