

9. Руднева Л.В. Зообентос горных водотоков бассейна Верхней Оби: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Л.В. Руднева. – Красноярск, 1995. – 24 с.

10. Юракова Т.В. Особенности гидробиологического режима протоки Суrowsкой в условиях разработки гравия / Т.В. Юракова, А.И. Рузанова, Л.Н. Мухин

// Биологические аспекты рационального использования и охраны водоемов Сибири. – Томск: Лито-Принт, 2007. – С. 293-301.

Автор выражает благодарность Е.Н. Крыловой за отбор проб зообентоса и определение олигохет.



УДК 574.582

Е.Ю. Митрофанова

ФИТОПЛАНКТОН ОЗЕР РАЗНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ РЕКИ КАСМАЛЫ, АЛТАЙСКИЙ КРАЙ)

Ключевые слова: фитопланктон, состав, структура, обилие, озера с разной минерализацией.

Введение

На равнинной территории Алтайского края расположено более 5 тыс. озер, большинство которых объединяются в системы по рекам, протекающим в долинах древнего стока: Бурлинскую, Кулундинскую, Барнаульскую и Касмалинскую. На небольшой территории в единой гидрографической системе можно найти как пресные, так и сильно минерализованные водоемы, что создает различные условия для формирования и функционирования первичного звена трофической цепи – водорослей планктона. В Касмалинской системе насчитывают 615 озер, в том числе 223 соленых [1]. Самое большое по площади в этой системе озеро Горькое вытянуто с северо-запада на юго-восток на 51 км при наибольшей ширине 4,9 км, максимальной – 5,2 м и площади 187 км² [2]. Озеро Большое Островное, второе по величине, имеет площадь водного зеркала 28,6 км², средняя глубина 1,8 м, наибольшая – 5,6 м. Площадь водосборного бассейна озера 892 км².

Систематические гидробиологические исследования равнинных водоемов Алтайского края начали проводить с конца 20-х годов прошлого века, но в основном изучали кормовую базу и фауну рыб озер с целью возможной интродукции и

выращивания ценных видов рыб [3]. Исследования водорослей, в том числе фитопланктона, были отрывочными и касались лишь выявления массовых форм [4]. Позднее, в 70-80-х годах, фитопланктон многих минерализованных озер равнинной части Алтайского края был изучен полнее [5-7]. В настоящее время возникла необходимость ревизии альгологического населения водоемов в связи с использованием озер в хозяйственном и рекреационном направлениях.

Цель работы – исследование сезонной динамики состава и обилия фитопланктона, оценка качества воды пяти озер с различной минерализацией бассейна р. Касмалы.

Объекты и методы

Пробы фитопланктона (25) были отобраны на 5 озерах Касмалинской системы – Угловое, Горькое, Б. Островное, Ледорезное и Мельничное – в июле и сентябре 2008 г., апреле, июне и августе 2009 г. (рис. 1). Фиксирование и обработку проб проводили стандартными методами [8]. Пробы отбирали путем зачерпывания, фиксировали 40%-ным формалином, концентрировали фильтрационным методом через мембранные фильтры с размером пор около 1 мкм. Подсчет клеток проводили в камере Нажотта (объем 0,017 мл). Определение биомассы производили счетно-объемным методом на ПЭВМ.

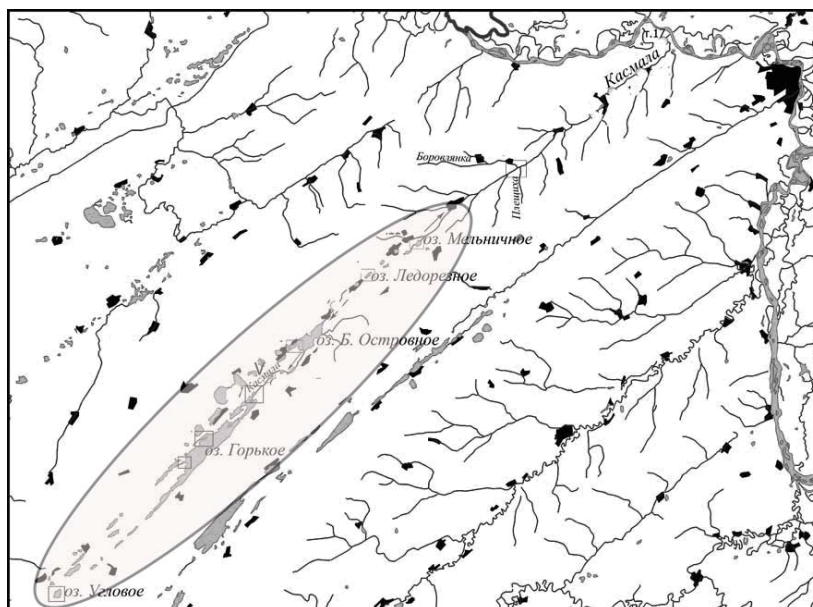


Рис. 1. Карта-схема расположения озер Касмалинской ложбины древнего стока, исследованных в 2008-2009 гг.

Для оценки качества воды и определения зоны сапробности был рассчитан индекс сапробности по численности методом Пантле и Бука в модификации Сладчека [9]. Экологическая классификация качества вод исследованных озер Касмалинской системы сделана по В.И. Жукинскому и О.П. Окснюк [10].

Результаты и обсуждение

Отличительной особенностью озер, расположенных в долинах древнего стока на равнинной территории юга Западной Сибири, является различная минерализация. Воды озер Угловое, Б. Островное, Мельничное и Ледорезное относятся к карбонатно-натриевым I типа, оз. Горькое – к хлоридно-натриевым водам I типа. Соленость изменяется от α -гипогалинных пресных вод оз. Ледорезного (максимальная минерализация за период исследования 0,34-0,37 г/л), Мельничного (0,66-0,77 г/л), Б. Островного (0,93-1,05 г/л) до β -мезогалинных солоноватых вод оз. Углового (2,80-3,29 г/л) и α -мезогалинных солоноватых вод оз. Горького (12,07-16,14 г/л) [11]. Именно пространственная и временная неоднородность химизма воды является одним из главных факторов, определяющих характер и уровень биопродукционных процессов в солоноватых водоемах.

В обследованных водоемах выявлен 71 вид водорослей из семи отделов: *Cyanoprocarvota* – 23, *Chrysophyta* – 1, *Bacillariophyta* – 16, *Cryptophyta* – 1, *Dinophyta* – 2, *Euglenophyta* – 1 и *Chlorophyta*

– 27. Наиболее разнообразно были представлены два отдела – зеленые и цианобактерии, составляющие 38,0 и 32,4% соответственно. Среди озер наиболее богатый по составу планктон был выявлен в оз. Б. Островное – до 57 одновременно вегетирующих видов, наименее – оз. Угловом – до 12 видов (табл.). В оз. Б. Островное разнообразны были как зеленые, цианобактерии, так и диатомовые водоросли, причем пик разнообразия пришелся на июль-август. Из зеленых были отмечены многочисленные представители хлорококковых водорослей – *Schroederia setigera* Schud. Lemm., *Tetraedron minimum* (A.Br.) Hansg. и *T. caudatum* (Corda) Hansg., *Dictyosphaerium pulchellum* Wood., *Lagerghemia subsalsa* Lemm. и *L. genevensis* (Chod.) Chod., различные виды *p. Scenedesmus*. В планктоне присутствовали и обрывочные нити зеленой водоросли *Ulothrix zonata* (Web. et Mohr) Kütz., а также *Staurostrum paradoxum* Meyen. Цианобактерии были как колониальные хроококковые (виды родов *Gloeocapsa*, *Microcystis*, *Merismopedia*), так и гормогониевые (виды родов *Lyngbya*, *Aphanizomenon*, *Schizothrix*, *Anabaena*) организмы этого отдела. В оз. Угловое как наиболее бедном по составу водорослей основная доля приходилась на цианобактерии – *Lyngbya contorta* Lemm., *Oscillatoria redeckeii* van Goor, *O. rupicola* Hansg., виды родов *Merismopedia* и *Gomphosphaeria*; оз. Горьком – цианобактерия *Nodularia harveyana* (Thwait) Thur; оз. Мельничное, Ледорезное – зе-

ЭКОЛОГИЯ

ленные и диатомовые, причем последние были более разнообразны весной, в ос-

новном донные формы – это виды родов *Cymbella*, *Amphora*, *Gomphonema*.

Таблица

Характеристики фитопланктона озер Касмалинской системы в 2008-2009 гг.

| Параметры | Озера | | | | |
|----------------------------|---------|---------|--------------|------------|------------|
| | Угловое | Горькое | Б. Островное | Ледорезное | Мельничное |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Июль 2008 г. | | | | | |
| Число видов | 20 | 29 | 57 | 30 | 35 |
| Численность, млн кл/л | 1,035 | 0,844 | 2,377 | 0,757 | 0,799 |
| в том числе, %: Суа | 51,2 | 72,5 | 34,9 | 22,9 | 23,4 |
| Chl | 37,9 | 20,1 | 40,8 | 27,1 | 29,4 |
| Вас | 10,9 | 2,6 | 17,1 | 35,9 | 31,8 |
| др. | - | 4,8 | 7,2 | 14,1 | 15,4 |
| Биомасса, г/м ³ | 3,335 | 1,976 | 2,354 | 1,346 | 0,955 |
| в том числе, %: Суа | 33,8 | 66,9 | 33,2 | 13,1 | 18,9 |
| Chl | 44,5 | 25,1 | 55,9 | 25,8 | 21,3 |
| Вас | 21,7 | 6,8 | 9,1 | 44,9 | 37,8 |
| др. | - | 1,2 | 1,8 | 16,2 | 22 |
| Индекс сапробности | 2,96 | 2,85 | 2,22 | 1,86 | 2,19 |
| Сентябрь 2008 г. | | | | | |
| Число видов | 18 | 31 | 51 | 33 | 29 |
| Численность, млн кл/л | 0,959 | 0,702 | 0,971 | 0,656 | 0,615 |
| в том числе, %: Суа | 22,5 | 33 | 8,9 | 11,5 | 7,5 |
| Chl | 46,8 | 56,9 | 58,7 | 37,8 | 39,5 |
| Вас | 22,8 | 5,5 | 29,5 | 33,4 | 28,9 |
| др. | 7,9 | 4,6 | 2,9 | 17,3 | 24,1 |
| Биомасса, г/м ³ | 0,844 | 0,955 | 1,365 | 0,931 | 0,894 |
| в том числе, %: Суа | 13,3 | 22,1 | 9,9 | 8,2 | 5,8 |
| Chl | 45,2 | 35,7 | 41,2 | 42,1 | 44,1 |
| Вас | 30,4 | 20,8 | 22,9 | 23,1 | 25,1 |
| др. | 11,1 | 21,4 | 26 | 26,6 | 25 |
| Индекс сапробности | 1,89 | 1,92 | 2,01 | 2,14 | 2,02 |
| Апрель 2009 г. | | | | | |
| Число видов | 21 | 17 | 34 | 21 | 24 |
| Численность, млн кл/л | 1,577 | 1,399 | 1,001 | 0,982 | 0,934 |
| в том числе, %: Суа | 35,1 | 44,8 | 18,2 | 13,8 | 15 |
| Chl | 32,3 | 33,9 | 23,1 | 35,8 | 32,1 |
| Вас | 22,8 | 21,3 | 45,7 | 39,5 | 45,8 |
| др. | 9,8 | - | 13 | 10,9 | 7,1 |
| Биомасса, г/м ³ | 2,958 | 2,001 | 1,033 | 0,737 | 0,791 |
| в том числе, %: Суа | 45,1 | 40,1 | 11,2 | 7,8 | 11 |
| Chl | 29,2 | 42,8 | 27,3 | 29 | 25,1 |
| Вас | 11,9 | 17,1 | 55,8 | 59,7 | 59,1 |
| др. | 13,8 | - | 5,7 | 3,5 | 4,8 |
| Индекс сапробности | 2,88 | 2,56 | 1,9 | 2,08 | 2,18 |
| Июнь 2009 г. | | | | | |
| Число видов | 15 | 11 | 22 | 19 | 15 |
| Численность, млн кл/л | 0,896 | 0,704 | 0,977 | 0,605 | 0,589 |
| в том числе, %: Суа | 36,9 | 45,7 | 15,9 | 20,1 | 24,6 |
| Chl | 30,9 | 28,5 | 46,8 | 37,7 | 35,5 |
| Вас | 7,8 | 13,9 | 23,9 | 33,4 | 29,7 |
| др. | 24,4 | 11,9 | 13,4 | 8,8 | 10,2 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Биомасса, г/м ³ | 1,301 | 1,005 | 0,855 | 0,804 | 0,699 |
| в том числе, %: Суа | 33,5 | 33,7 | 13,5 | 10,9 | 9,5 |
| Chl | 39,7 | 38,9 | 40,9 | 32,9 | 31,1 |
| Вас | 22,8 | 20 | 29,7 | 38,5 | 38,5 |
| др. | 4 | 7,4 | 15,9 | 17,7 | 20,9 |
| Индекс сапробности | 2 | 2,01 | 1,89 | 1,96 | 2,14 |
| Август 2009 г. | | | | | |
| Число видов | 12 | 11 | 53 | 38 | 29 |
| Численность, млн кл/л | 2,056 | 1,057 | 2,356 | 1,496 | 1,099 |
| в том числе, %: Суа | 31,8 | 39,1 | 17,5 | 21,2 | 11,9 |
| Chl | 33,9 | 15,8 | 36,8 | 31,2 | 30,3 |
| Вас | 22,1 | 29,2 | 30,3 | 29,8 | 28,1 |
| др. | 12,2 | 8,7 | 15,4 | 17,8 | 29,7 |
| Биомасса, г/м ³ | 1,951 | 0,966 | 1,977 | 1,287 | 0,856 |
| в том числе, %: Суа | 22,8 | 20,9 | 22,1 | 15,8 | 18,2 |
| Chl | 44,1 | 27,6 | 32,9 | 36,1 | 28,3 |
| Вас | 26,5 | 34,7 | 30,8 | 30,5 | 22,7 |
| др. | 6,6 | 16,8 | 14,2 | 17,6 | 30,8 |
| Индекс сапробности | 1,86 | 1,77 | 1,9 | 1,88 | 1,98 |

Примечание. Суа – цианобактерии; Chl – зеленые; Вас – диатомовые.

Можно отметить, что озера Б. Островное, Мельничное и Ледорезное как наименее минерализованные в любые сезоны года отличались наибольшим видовым разнообразием с максимумом в летние месяцы (июль-август). В более минерализованных озерах, напротив, наиболее богатый состав фитопланктона выявлен или в начале вегетационного периода (апрель, оз. Угловое), или в его конце (сентябрь, оз. Горькое). При этом в этих озерах в фитопланктоне часто отмечали представителей лишь цианобактерий, диатомовых и зеленых водорослей. Уменьшение таксономического разнообразия и упрощение систематической структуры альгофлоры с увеличением количества растворенных солей – известный факт [12]. Напротив, с уменьшением минерализации наблюдается увеличение как общего разнообразия фитопланктона, так и доли в нем диатомовых и зеленых водорослей. Такую тенденцию наблюдали в слабоминерализованном (6,62-8,38 мг экв/л) оз. Шибынды-куль, Восточный Казахстан, минеральных озерах западного побережья оз. Байкал, Китая и Монголии [13, 24, 15].

Численность и биомасса фитопланктона в озерах Касмалинской системы изменялись в широких пределах: 0,590-2,377 млн кл/л и 0,699-3,335 г/м³ (табл.). Ранее в оз. Горьком (солёный участок) средняя численность фитопланктона за период май-август составила всего 0,005 млн

кл/л [7]. В оз. Горькое и Угловое численность фитопланктона была выше в весенний период (апрель), чем таковая в других исследованных водоемах ввиду развития цианобактерий – преобладала *Lyngbya contorta* (до 29,3 и 44,1% соответственно), вторыми по значимости были зеленые хлорококковые водоросли. В весенний период в сильно минерализованных водоемах происходит временное опреснение воды за счет стока талых вод, вследствие чего, вероятно, и возможен пик количественного развития фитопланктона. В водоемах с менее минерализованной водой такой пик фитопланктона приходится на период с наибольшим прогревом воды и обусловлен значительным развитием зеленых водорослей – в оз. Б. Островное это июль-август. Хотя периодически в этом водоеме при наибольшем прогреве водной толщи отмечали и массовое развитие цианобактерий [7]. В целом летний период для всех озер отличался повышенным развитием цианобактерий. Если в наиболее минерализованном оз. Горьком они преобладали численно – *Nodularia harveyana* (30,8%), *Merismopedia tenuissima* Lemm. и *Oscillatoria sp.*, то в остальных озерах занимали второстепенные позиции после зеленых (27,1-40,8%) и диатомовых (21,3-55,9%) водорослей.

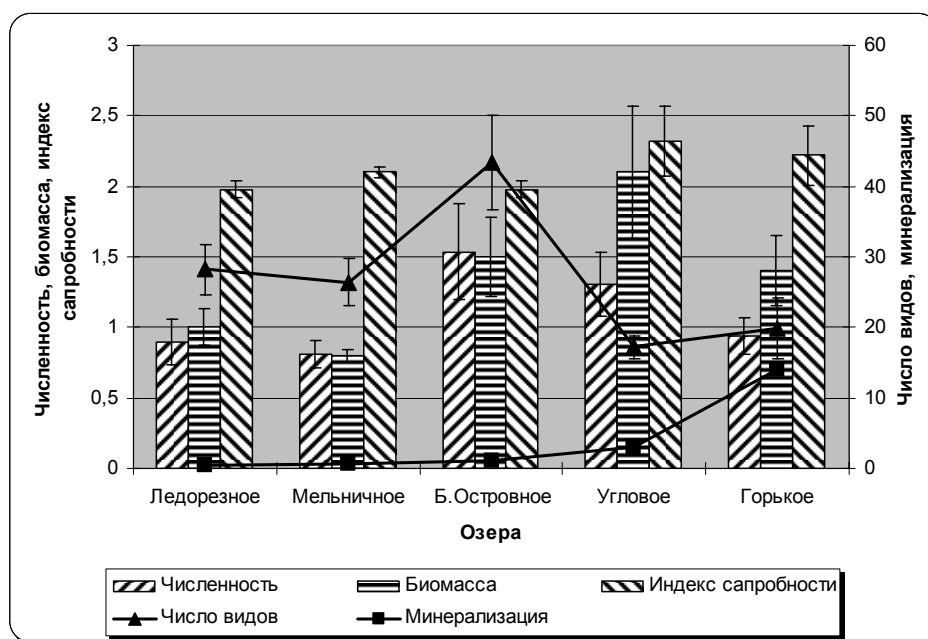


Рис. 2. Средние за период исследования значения численности (млн кл/л), биомассы (г/м³), индекса сапробности, числа видов фитопланктона и максимальной минерализации воды (г/л) в озерах Касмалинской системы, 2008-2009 гг.

Наибольшие значения биомассы выявлены в весенне-летний период в оз. Угловое и Горькое также за счет массового развития в них цианобактерий. Именно виды родов *Lyngbya* и *Oscillatoria* вносили основной вклад в биомассу фитопланктона. Кроме того, существенная роль принадлежала и мелкоклеточным видам цианобактерий, но с высокой численностью, например, *Gomphosphaeria lacustris f. compacta* Lemm. (до 11,8%), *Gloeocapsa minima* (Keis.) Holler. (9,7%), а также *Microcystis pulverea* (Wood) Forti (7,9%) (в оз. Угловое). В других озерах основу биомассы в летний период составляли в основном крупные зеленые водоросли – *Staurastrum paradoxum* Meyen (17,8% в оз. Б. Островное).

Анализ средних за период исследования 2008-2009 гг. показателей развития фитопланктона и минерализации воды позволил подтвердить тенденцию, присущую подобным водоемам (рис. 2). При увеличении минерализации происходит обеднение видового состава фитопланктона, увеличивается его биомасса. Индекс сапробности, напротив, увеличивается в более минерализованных озерах, вероятно, ввиду отсутствия водорослей с большим потенциалом самоочистки, а именно зеленых и диатомовых.

Среди водорослей планктона выявлено 25 видов-индикаторов органического загрязнения (35,2% от общего числа видов), в том числе четыре вида, являющихся

обитателями загрязненных вод. Присутствовали показатели всех зон сапробности, но в основном это были α - и β -мезосапробы, обитатели загрязненных и слабозагрязненных вод. Индекс сапробности (по численности) колебался в пределах 1,77-2,96 и соответствовал изменениям от β - до α -мезосапробной зоны.

Заключение

Проведенное исследование позволяет рассматривать озера Касмалинской системы как совокупность разнотипных водных экосистем, фитопланктон которых по своему качественному составу и количественному развитию варьирует в соответствии с градиентом минерализации. В озерах выявлен разнообразный фитопланктон – 71 вид водорослей из семи отделов. Наибольшим видовым разнообразием отличались озера с наименьшей минерализацией воды (Б. Островное, Ледорезное, Мельничное), наименьшим, напротив – с наибольшей (Горькое и Угловое). Характерной особенностью фитопланктона исследованных озер является тенденция к обеднению таксономического состава водорослей в толще воды и увеличению биомассы с увеличением минерализации воды. Сезонная динамика фитопланктона в озерах с меньшей минерализацией воды характеризуется одновершинной кривой с максимумом в июле-августе при развитии в основном зеленых

и диатомовых водорослей с добавлением цианобактерий. В озерах с большей минерализацией пик развития фитопланктона приходится в основном на начало вегетационного периода (апрель) и его окончание (сентябрь) и обусловлен развитием цианобактерий. По максимальной биомассе фитопланктона вода озер относится к трем классам: 2 – «чистая», разряд – «вполне чистая» (0,6-1,0 мг/л – Мельничное), 3 – «удовлетворительной чистоты», разряд 3а – «достаточно чистая» (1,1-2,0 мг/л – Ледорезное), разряд 3б – «слабозагрязненная» (2,1-5,0 мг/л – Угловое, Горькое, Б. Островное) [10]. По присутствию в планктоне в основном α - и β -мезосапробов, величине индекса сапробности вода исследованных озер относится к классам качества воды – «удовлетворительной чистоты» и «загрязненная», разрядам – «достаточно чистая», «слабозагрязненная» и «умеренно загрязненная». Полученные данные дополняют общую картину разнотипных озер юга Западной Сибири и позволяют выработать рекомендации по их использованию.

Библиографический список

1. Соловов В.П. Продуктивность водоемов Алтайского края и пути их интенсивного рыбохозяйственного освоения / В.П. Соловов // Биологические ресурсы внутренних водоемов Сибири и Дальнего Востока. – М.: Наука, 1984. – С. 13-24.
2. Вопросы экологии водоемов и интенсификации рыбного хозяйства Сибири / Б.Г. Иоганзен, А.П. Петлина. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1986. – 132 с.
3. Водоемы Алтайского края. Биологическая продуктивность и перспективы использования / Л.В. Веснина, В.Б. Журавлев, В.А. Новоселов и др. – Новосибирск: Наука, 1999. – 285 с.
4. Воронихин Н.Н. Материалы к изучению альгологической растительности озер Кулундинской степи / Н.Н. Воронихин // Изв. ГБС АН. – 1929. – С. 12-40.
5. Филиппова А.В. Некоторые результаты изучения фитопланктона водоемов Алтайского края / А.В. Филиппова // Биологические ресурсы Алтайского края и пути их рационального использования. – Барнаул, 1979. – С. 105-107.
6. Голубых О.С. Планктон соленого оз. Горькое степной зоны Алтайского края / О.С. Голубых, Л.А. Попкова // Биологические основы рыбного хозяйства Запад-

ной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 39-41.

7. Веснина Л.В. Гидробиологический мониторинг озер Алтайского края / Л.В. Веснина // Сиб. эколог. журн. – 2000. – № 3. – С. 263-269.

8. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / В.А. Абакумов. – СПб.: Гидрометеодат, 1992. – С. 164-173.

9. Унифицированные методы исследования качества вод. Часть 3. Методы биологического анализа вод, Приложение 2. Атлас сапробных организмов. – М., 1977. – 227 с.

10. Жукинский В.И. Экологическая классификация качества поверхностных вод суши по их составу и свойствам / В.И. Жукинский, О.П. Оксюк // Инф. бюл. по водн. хозяйству. – 1984. – Вып. 2/34. – С. 71-76.

11. Кириллов В.В. Сравнительный анализ экосистем разнотипных озер Касмалинской и Кулундинских долин древнего стока / В.В. Кириллов, Е.Ю. Зарубина, Д.М. Безматерных, Н.И. Ермолаева, Т.В. Кириллова, Л.В. Яныгина, Л.А. Долматова, А.В. Котовщиков, О.Н. Жукова, М.И. Соколова // Наука – Алтайскому краю. – Барнаул: Азбука, 2009. – Вып. 3. – С. 311-333.

12. Сафонова Т.А. Особенности альгофлоры водоемов системы оз. Чаны / Т.А. Сафонова // Биологические основы рыбного хозяйства Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 74-77.

13. Кривошеина Л.В. Гидрофауна Шибинды-куль / Л.В. Кривошеина, Л.А. Федотова, Л.Б. Будкеева, М.Р. Любимова // Биологические основы рыбного хозяйства Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 42-44.

14. Пенькова О.Г. Минеральные озера западного побережья оз. Байкал / О.Г. Пенькова, Н.Г. Шевелева, Т.В. Полякова // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. – 2003. – № 4. – С. 23-27.

15. Williams W.D. Chinese and Mongolian saline lakes: a limnological overview / W.D. Williams // Hydrobiologia. – 1991. – 210. – P. 39-66.

Автор выражает благодарность сотрудникам Лаборатории водной экологии ИВЭП СО РАН за помощь в отборе проб. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-05-98019-р_сибирь_а и Программы президиума РАН (проект 16.14).

