

УДК 574.587

DOI: 10.35567/1999-4508-2017-4-6

АЛЬГОФЛОРА ПЛАНКТОНА ОЗЕРА КРИВОЕ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА (НОВОСИБИРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2017 г. Е.С. Кривина

ФГБУН «Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук», г. Тольятти, Россия

Ключевые слова: фитопланктон, водоемы культурного ландшафта, уровень загрязнения, таксономическая структура, сезонная сукцессия, озерная экосистема, эвтрофирование.

Представлены результаты изучения основных альгологических характеристик оз. Кривое, расположенного в Карасукском районе Новосибирской области и относящегося к культурному ландшафту р. Карасук. Материалов о состоянии экосистемы водоема в свободном доступе мало, преимущественно все они датируются серединой прошлого века. Поэтому современное экологическое состояние озера представляет особый интерес.

В рамках проведенного исследования изучен видовой состав фитопланктона, его сезонная сукцессия. Произведен анализ показателей количественного развития (численность, биомасса), рассмотрена роль основных отделов водорослей в их формировании. В процессе исследования выявлены комплексы доминирующих видов для каждого этапа отбора, проанализированы индексы видовой разнообразия и выравненности сообщества. Рассмотрен такой важный показатель морфофункциональной структуры сообществ гидробионтов как размерные характеристики клеток. На основании данных сапробиологического анализа оценен уровень загрязнения и определен класс качества воды.



Е.С. Кривина

Изучение состояния озерных экосистем, мониторинг и прогнозирование происходящих под воздействием природных и антропогенных факторов среды изменений – актуальная проблема современной гидроэкологии. Небольшие водоемы, расположенные на антропогенно трансформированном ландшафте, являются его важной климатообразующей и рекреационной частью, при этом зачастую они имеют даже большую эстетическую ценность, чем более крупные водные объекты [1].

Экосистемы водоемов так называемого культурного ландшафта подвержены мощным антропогенным нагрузкам, в т. ч. антропогенному эвтрофированию, а также токсикофикации, заилению, накоплению загрязняющих веществ [1–6].

Фитопланктон широко используется как индикатор экологического состояния водных экосистем. Короткий жизненный цикл водорослей позволяет даже при проведении ограниченных по времени наблюдений выявить и оценить неблагоприятные изменения в системе водоема. Можно утверждать, что фитопланктон – это своего рода интегральный показатель воздействия различных факторов среды на биоту озера, т. к. он первым реагирует на такие воздействия на экосистему путем изменения видового состава и структурно-функциональных характеристик [1, 6].

Цель данной работы – анализ состояния экосистемы оз. Кривое, расположенного в рамках культурного ландшафта системы р. Карасук Новосибирской области.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе представлены материалы, полученные в результате изучения фитопланктона оз. Кривое в 2004 г. Данный водоем расположен в северной части Кулундинской степи Карасукского района Новосибирской области. Согласно литературным данным, экосистема озера исследована слабо. В 1960-х годах XX в. в связи с задачами разностороннего хозяйственного освоения озер степной полосы Западной Сибири лаборатория низших растений Центрального Сибирского ботанического сада совместно с Барабинской экспедицией Биологического института СО АН СССР проводили стационарные биологические исследования на озерах Карасукского района, в т. ч. и на оз. Кривое [7, 8]. Информации о более поздних системных наблюдениях состояния экосистемы озера не обнаружено. Поэтому полученные в рамках данного исследования результаты представляют особый интерес.

Карасукский район характеризуется равнинным рельефом. Почвы большей частью засолены. Развита галофитная растительность. Климат континентальный с суровой зимой и жарким летом. Продолжительность периода с температурой выше 15 °С составляет 90 дней. Среднее количество осадков – 250 мм в год, при этом около 170–190 мм приходится на период, когда температура выше 10 °С.

Озеро Кривое имеет лопастную форму, вытянуто в направлении с северо-востока на юго-запад. Максимальная длина 12 км, ширина 2,5 км, общая площадь – около 2135 га. Максимальная глубина озера в период наблюдений составила 4,4 м, преобладают глубины 2,2–3,4 м. При таких небольших глубинах вода оз. Кривое хорошо прогревается: температура воды в конце июня около 21 °С, в июле достигала максимума 26 °С, с середины августа отмечено резкое понижение до 14 °С, в сентябре до 11 °С [9].

Водоем испытывает значительную антропогенную нагрузку: в непосредственной близости от озера расположено с. Благодатное. В весенне-летний

период оз. Кривое становится излюбленным местом отдыха местных жителей и многочисленных приезжих.

Пробы были отобраны и предоставлены лабораторией ФГБУН «Средне-Волжское бассейновое управление по рыболовству и сохранению водных биологических ресурсов». Отбор проб производили ежемесячно с июня по октябрь 2004 г. в пелагической зоне озера. Всего отобрано 15 проб по стандартным гидробиологическим методикам [10]. Пробы отбирали батометром Рутнера, фиксировали 40 % раствором формалина, концентрировали методом прямой фильтрации. Качественный анализ видового состава и определение уровня количественного развития фитопланктона проводился в лаборатории экологии простейших и микроорганизмов ФГБУН «Институт экологии Волжского бассейна РАН». Подсчет клеток проводили в камере «Учинская» объемом 0,01 мл, биомассу рассчитывали по методу приведенных геометрических фигур. Для определения видовой принадлежности водорослей пользовались определителями серий «Определители пресноводных водорослей СССР» и «Susswasserflora von Mitteleuropa» [11–24].

В качестве критериев разнообразия и выравниваемости альгофлоры использовали информационные индексы Шеннона и Пиелу, рассчитанные по численности и биомассе [25]. Оценку сапробности вод проводили по методу Пантле и Букка в модификации Сладечека, используя известные индикаторные значения сапробности отдельных видов [26–30]. К доминирующим видам относили те, численность и биомасса которых составляла 10 и более % от общего значения [25].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В составе альгофлоры планктона оз. Кривое выявлено 184 таксона водорослей рангом ниже рода (табл. 1). Наибольшим таксономическим богатством выделился отдел зеленых водорослей, который включал 35 % от общего числа видов, разновидностей и форм, затем следовали диатомовые водоросли (21 %) и синезеленые (13 %). Доля других отделов водорослей была существенно ниже и, как правило, не превышала 10 %: эвгленовые – 11 %, динофитовые и стрептофитовые – 6 %, криптофитовые – 5 %, золотистые и желто-зеленые – 1 %.

Использование некоторых флористических коэффициентов для анализа таксономической структуры фитопланктона (табл. 2) показало незначительную насыщенность альгофлоры внутривидовыми таксонами, а также наличие низких значений родовой насыщенности. Присутствие в альгофлоре в основном монотипических родов характерно для экосистем с более жесткими условиями существования и отмечается при увеличении степени трофии вод, в данном случае вызванной значительной антропогенной нагрузкой, в т. ч. выраженной и отсутствием биогенного лимитирования [31].

Таблица 1. Таксономическая структура альгофлоры оз. Кривое

Отдел	Число классов	Число порядков	Число семейств	Число родов	Число таксонов			
					ВИДОВЫХ	ВНУТРИВИДОВЫХ	всего	%
Cyanophyta	2	3	8	20	36	1	37	13
Chrysophyta	1	2	4	6	4	0	4	1
Bacillariophyta	2	5	14	21	54	6	60	21
Xanthophyta	1	1	1	2	4	0	4	1
Cryptophyta	1	1	1	3	15	0	15	5
Dinophyta	1	1	5	9	18	0	18	6
Euglenophyta	1	1	1	5	26	6	32	11
Chlorophyta	4	5	16	45	96	5	101	35
Streptophyta	1	1	2	3	14	3	17	6
Всего	14	20	52	114	267	21	288	100

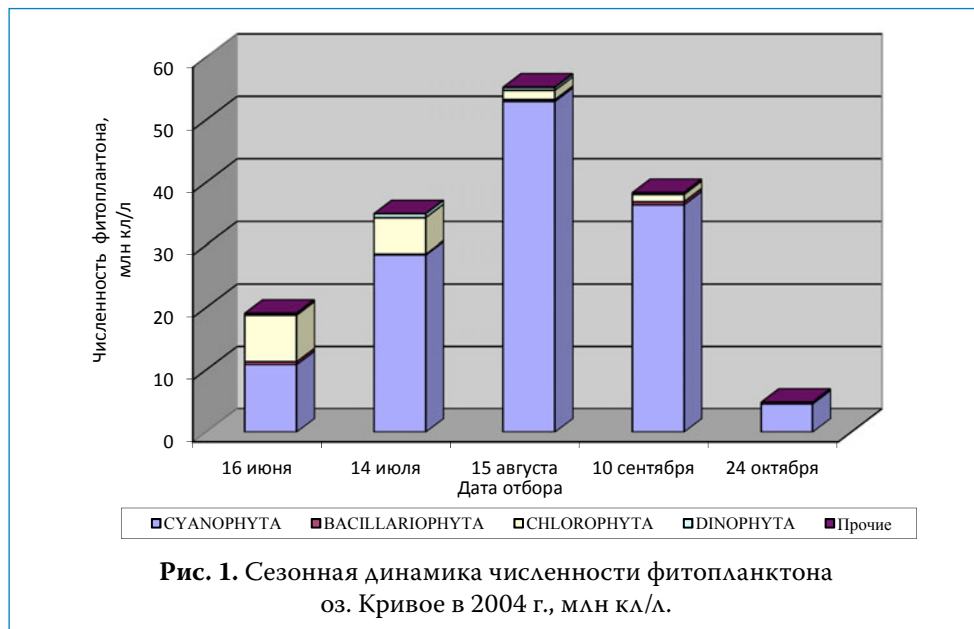
Таблица 2. Соотношение таксономических рангов альгофлор оз. Кривое

Коэффициенты насыщенности	Cyanophyta	Chrysophyta	Bacillariophyta	Xanthophyta	Cryptophyta	Dinophyta	Euglenophyta	Chlorophyta	Streptophyta	Общий состав
Родовая насыщенность	1,85	1,00	2,86	2,00	5,00	2,00	6,40	2,24	5,67	2,57
Видовая насыщенность	0,03	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,23	0,05	0,21	0,08
Семейственная насыщенность	4,63	1,00	4,29	4,00	15,00	3,60	32,00	6,31	8,50	5,54

Степень сходства видового состава сообществ планктона на различных станциях отбора, оцененная с помощью коэффициента Серенсена, была достаточно высокой и варьировала от 73 % до 90 %. Комплекс планктонных форм преобладал над остальными экологическими группами – 68 % от общего числа видов, разновидностей и форм, для которых известно их местоположение. Вторую позицию занимали обитатели литорали (19 %), бентосно-эпифитных и эпибионтных видов выявлено значительно меньше. Подавляющее большинство обнаруженных водорослей относятся к широко распространенным пресноводным формам, обитающим в нейтральных или слабощелочных водах. Доминирующие виды в основном относились к

β -мезосапробам, приуроченным к умеренно загрязненным водам, способным к миксотрофному питанию в богатой биогенами воде.

Сезонная динамика численности фитопланктона характеризовалась одновершинной кривой, абсолютный максимум приходился на август и составлял 55,23 млн кл/л. Средняя летне-осенняя численность 30,48 млн кл/л (рис. 1). В течение всего периода наблюдения отмечено массовое развитие синезеленых водорослей.



Доминирующий комплекс представлен синезелеными водорослями. Среди них наиболее значимы *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. et Gronb. и представители нитчатых безгетероцистных форм, ранее относимых к роду *Oscillatoria*: *Geitlerinema amphibium* (Ag. ex Gom.) Anag., *Pseudoanabaena limnetica* (Lemm.) Kom., *Limnotrix planctonica* (Wolosz.) Meff. и *Limnotrix redekei* (Van Goor) Meff., которые традиционно считаются возбудителями так называемой «осцилляториевой болезни» [32–34]. Комплекс доминант на различных станциях дополняли в июне синезеленая водоросль *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Vreb, зеленая водоросль *Dictyosphaerium subsolitarium* von Goor; в июле – зеленая водоросль *Monoraphidium contortum* (Thurn.) Kom.-Legn., синезеленая водоросль *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz.

Особенности сезонной динамики биомассы (рис. 2) сопряжены с массовой вегетацией динофитовых водорослей с максимумом в июле (12,89 мг/л),

обусловленным преобладанием *Peridiniopsis quadridens* (Stein) Bourrelly, *P. penardii* (Lemm.) Bourrelly, *Peridinium cinctum* (Müll.) Ehr., *Ceratium hirundinella* (O.F.M.) Scrank. Средняя за период исследования биомасса этих водорослей составила 2,41 мг/л, а максимальная в июле достигала 9,68 мг/л. Средняя общая биомасса за весь период исследования равнялась 8,56 мг/л.

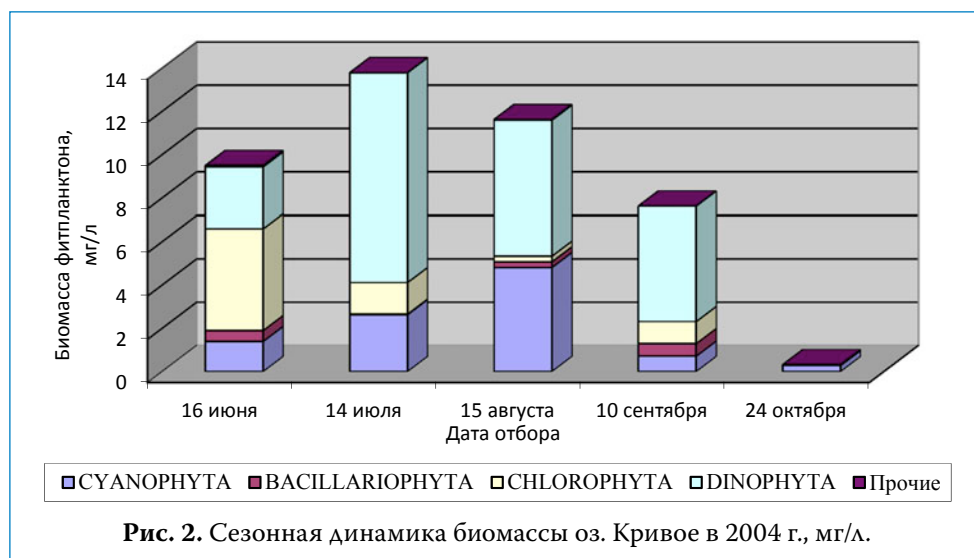


Рис. 2. Сезонная динамика биомассы оз. Кривое в 2004 г., мг/л.

Кроме вышеперечисленных, в состав доминирующих по биомассе видов входили: в июне – зеленые водоросли *Dictyosphaerium subsolitarium*, *Coelastrum microporum* Näg. in A. Br.; в июле, августе – *Geitlerinema amphibium*, *Limnotrix planctonica*. Следует отметить, что по литературным материалам в 1962 г. «цветение» воды в озере наблюдалось за счет активной вегетации видов р. *Microcystis*, *Gomphosphaeria*, *Aphanizomenon*, *Anabaena*, т. е. к 2004 г. произошли существенные изменения как в составе доминирующего комплекса, так и собственно в комплексе цианопрокариот. Возможно, это связано с изменениями соотношения доступного азота к фосфору, а также изменением форм азота, преобладающих в общем запасе биогенов [35]. В свою очередь, эти изменения могли быть спровоцированы усилением антропогенной нагрузки на экосистему оз. Кривое за счет поступления значительной массы биогенных элементов от свалок снега и сельскохозяйственной деятельности. Известно, что таким образом в озеро может поступать огромное количество биогенных элементов в концентрациях, способных вызвать эвтрофирование водоема [1, 6, 31, 35, 36]. Для того чтобы говорить об этом с полной уверенностью, требуется проведение дополнительных исследований.

Индексы Шеннона и Пиелу изменялись в оз. Кривое в пределах 1,77–3,2 и 0,17–0,48 соответственно. Средние за вегетационный период индексы были не слишком высокими – 2,48 и 0,33 и указывали на значительное доминирование отдельных видов в составе фитопланктона.

Также был рассмотрен такой важный показатель морфофункциональной структуры сообществ гидробионтов, как размерные характеристики клеток. Средние объемы клеток водорослей в оз. Кривое 2204 ± 214 мкм³. В качестве критерия сложности размерной структуры альгофлоры планктона использована величина информационного индекса H_w . Для оз. Кривое $H_w = 3,19 \pm 0,11$. Такое значение данного индекса указывает на достаточно высокую крупноклеточность видов, что может являться откликом экосистемы водоема на эвтрофирование [36].

Данные сапробиологического анализа показали, что индексы сапробности, вычисленные по численности и биомассе, изменялись от 1,89 до 2,42. Средний вегетационный индекс сапробности (2,01) позволяет охарактеризовать оз. Кривое как β -мезосапробный водоем, умеренно загрязненный с III классом качества вод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ таксономического состава и показателей количественного развития фитопланктона оз. Кривое позволил отнести данный водоем к категории β -мезосапробных водоемов с умеренным уровнем загрязнения (III класс качества вод). Уровень видового богатства на данном этапе исследования можно охарактеризовать как умеренный. Альгофлора водоема характеризуется как зелено-диатомовая с заметным участием синезеленых водорослей. Использование некоторых флористических коэффициентов для анализа таксономической структуры фитопланктона выявило невысокий уровень насыщенности таксонов различного ранга. Также отмечено преобладание в альгофлоре в основном моно- и дитипических родов. Это указывает на жесткие условия существования в системе и является косвенным признаком повышения трофии вод.

Показатели количественного развития водорослей были весьма значительны. По численности в течение всего вегетационного сезона преобладали синезеленые водоросли, уровень доминирования которых в отдельных случаях более 80 %. Основу комплекса водорослей, доминирующих по численности, составляли нитчатые безгетероцистные формы цианопроката, что существенно отличает экосистему водоема 2004 г. от той, что была описана в 1962 г. По значению средневегетационного уровня развития биомассы водоем можно отнести к мезотрофно-эвтрофной группе.

Таким образом, в 2004 г. в экосистеме оз. Кривое явно прослеживались признаки прогрессирующего антропогенного эвтрофирования озе-

ра, которое в значительной степени связано с сельскохозяйственной нагрузкой, а также с активным использованием водоема как места отдыха в весенне-летний период. Поскольку подобные процессы могут привести к необратимой деградации экосистемы, крайне важно проводить мониторинг ее состояния и на основе собранных данных выработать комплекс мер, который будет способствовать процессам очистки и восстановления системы водоема.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Старцева Н.А., Охалкин А.Г.* Состав и структура фитопланктона некоторых пойменных озер культурного ландшафта (на примере г. Нижнего Новгорода) // Биология внутренних вод. 2003. № 4. С. 35–42.
2. *Иванова М.Б.* К вопросу об определении состояния озерных экосистем при антропогенном воздействии // Биология внутренних вод. 1997. № 1. С. 5–12.
3. *Кривина Е.С., Тарасова Н.Г.* Фитопланктон урбанизированного водоема (на примере оз. Восьмерка, г. Тольятти, Самарская область) I. Флористический анализ и эколого-географическая характеристика // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 5 (5). С. 1758–1764.
4. *Кривина Е.С., Тарасова Н.Г.* Фитопланктон урбанизированного водоема (на примере оз. Восьмерка, г. Тольятти, Самарская область) II. Количественное развитие, доминирующие виды оценка качества воды // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 4. С. 203–209.
5. *Кривина Е.С.* Таксономическая структура фитопланктона техногенного водоема (на примере оз. Отстойник, г. Тольятти, Самарская область) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2016 г. Т. 25. № 2. С. 161–171.
6. *Трифонов И.С.* Закономерности изменения фитопланктонных сообществ при эвтрофировании озер: автореф. дис. ... д-ра биол. наук в форме научного доклада. СПб. 1994. 77 с.
7. *Воронихин Н.Н.* Водоросли минерализованных водоемов Кулундинской степи. // Новосибирск: СО АН СССР, 1964. 200 с.
8. Водоросли и грибы Западной Сибири. Ч. 1. / Труды центрального Сибирского ботанического сада. Вып. 8. Новосибирск: СО АН СССР, 1964. 204 с.
9. Новосибирская область. Атлас (масштаб 1:200000 и 1:500000)/ Федеральная служба геодезии и картографии России (Роскартография). Новосибирск: Инж-геодезия. ФГУП «Новосибирская картографическая фабрика», 2006. 128 с.
10. Методика изучения биоценозов внутренних водоемов. М. 1975. 240 с.
11. *Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И.* Синезеленые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. М.: Советская наука, 1953. 651 с.
12. *Дедусенко-Щеголева Н.Т., Матвиенко А.М., Шкорбатов Ф.Ф.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып.8. Зеленые водоросли. Класс Вольвоксовые (Chlorophyta; Volvocineae). М.; Л., 1959. 230 с.

13. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 2. Л.: Наука, 1988. Вып. 1. 116 с.
14. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. 2. Вып. 2. СПб.: Наука, 1992. 125 с.
15. *Забелина М.М., Киселев И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 4. Диатомовые водоросли. М., 1951. 619 с.
16. *Киселев И.А.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 6. Пирофитовые водоросли. М. 1954. 212 с.
17. *Кондратьева Н.В.* Визначник прісноводних водоростей Української РСР. I. Синьо-зелені водорості – Суанопхута. Ч. 2. Класс Гормогонієві – Hormogoniophyceae. Київ. 1968. 523 с.
18. *Паламарь-Мордвинцева Г.М.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 11(2). Зеленые водоросли. Класс Конъюгаты. Порядок Десмидиевые. Chlorophyta. Conjugatophyceae. Desmidiaceae (2). Л., 1982. 624 с.
19. *Попова Т.Г.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 7. Эвгленовые водоросли. М. 1955. 281 с.
20. *Komarek J., Anagnostidi K.* Cyanoprocariota. Teil 1. Chroococcales // Susswasserflora von Mitteleuropa, Jena; Stuttgart. 2000. 643 p.
21. *Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1986. 876 p.
22. *Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena, 1988. 596 p.
23. *Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena. 1991. 576 p.
24. *Krammer K., Lange-Bertalot H.* Bacillariophyceae 4. Teil: Achnantheaceae, Kritische Ergänzung zu Navicula (Lieolatae) und Gomphonema. Geamliteraturverzeichnis // Susswasserflora von Mitteleuropa. Jena. 1991. 437 p.
25. *Мегарран Э.* Экологическое разнообразие и его измерение. М.: Мир, 1992. 184 с.
26. *Барينوва С.С., Медведева Л.А.* Атлас водорослей-индикаторов сапробности (Российский Дальний Восток). Владивосток: Дальнаука, 1996. 364 с.
27. *Барينوва С.С. Медведева Л.А., Анисимова О.В.* Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив. 2006. 498 с.
28. *Sládeček V.* System of water quality from the biological point of view // *Erebn. der Limnol.* 1973. Bd. 7. P. 1–218.
29. *Sládeček V.* Diatoms as indicators of organic pollution // *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 1986. Vol. 14. No. 5. P. 555–566.
30. *Wegl R.* Index für die Limnosaprobität // *Wasser und Abwasser.* 1983. Bd 26. P. 1–175.
31. *Охапкин А.Г.* Структура и сукцессия фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и ее притоков): автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб. 1997.

32. *Gliwicz Z.M.* Metalimnetic gradients and trophic state of lake epilimnia // Mem. Ist. Ital. Hidrobiol., 1979. Vol. 37. P. 121–143.
33. Nitrogen limitation of phytoplankton in a Spanish karst lake with a deep chlorophyll maximum: a nutrient enrichment bioassay approach / A. Carmacho, W. A. Wurtsbaugh, M. R. Miracle et al. // J. of Plancton Research. 2003. No. 502. P. 111–121.
34. *Reynolds C.S.* The ecology of phytoplankton. L.: Cambridge Univ. Press, 2006. 536 p.
35. *Никулина В.Н.* Сезонная динамика фитопланктона мелководного района восточной части Финского залива при антропогенном воздействии // Биология внутренних вод. 2003. № 4. С. 43–50.
36. *Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я.* «Цветение» воды и эвтрофирование». Киев: Наукова думка, 1978. 231 с.
37. *Трифонов И. С.* Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990. 183 с.

Сведения об авторе:

Кривина Елена Сергеевна, младший научный сотрудник, лаборатория экологии простейших и микроорганизмов, ФГБУН «Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук», Россия, 445010, Самарская область, ул. Комзина, 10; e-mail: pepelisa@yandex.ru