

Издатель

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»
Российская Федерация, г.Петрозаводск, пр.Ленина,33

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<http://ecopri.ru>

№ 2 (40). Июнь, 2021

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов

Редакционная коллегия

Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
А. М. Макаров
А. Ю. Мейгал
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов
A. Gugolek B.
J. B. Jakovlev
R. Krasnov
J. P. Kurhinen

Службы поддержки

А. А. Зорина
А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г.Петрозаводск, пр. Ленина, 33. Каб. 453

E-mail: ecopri@psu.karelia.ru

<http://ecopri.ru>





УДК 574.633

ОЦЕНКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ СООБЩЕСТВА ЗООПЛАНКТОНА ОЗЕРА ЧИШМЯЛЕ ПОСЛЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭКОРЕАБИЛИТАЦИИ

ДЕРЕВЕНСКАЯ
Ольга Юрьевна

кандидат биологических наук, Казанский (Приволжский) федеральный университет, oderevenskaya@mail.ru

ГАЛЛЯМОВА
Резеда Радиковна

Казанский (Приволжский) федеральный университет, rezeda1604@mail.ru

Ключевые слова:
экореконструкция
озеро
зоопланктон
урбоземосистемы
биоиндикация

Аннотация: Озеро Чишмяле расположено в г. Казани, в районе с многоэтажной жилой застройкой. В 2010-х гг. озеро было полностью засыпано в связи с планируемой застройкой территории. Однако работы были прекращены, на участке наблюдалась аккумуляция поверхностных вод, что привело к повторному формированию малого водоема. В 2015 г. было принято решение восстановить озеро и создать сквер. Мероприятия по экореконструкции включали восстановление озера в прежних границах, создание искусственной подпитки водоема, укрепление берега с помощью габионов. Цель работы – оценить восстановление сообщества зоопланктона после осуществления мероприятий по экореконструкции. На протяжении вегетационных периодов 2016–2018 гг. измеряли физико-химические показатели воды, отбирали пробы зоопланктона. Полученные данные сравнивали с результатами исследований, выполненных до восстановления. Анализ космоснимков показал, что площадь вновь созданного водоема меньше ранее существовавшего на 46 %. Вода в озере имеет среднюю минерализацию, среда нейтральная. Выявлен дефицит растворенного кислорода в воде, развивающийся в июле – августе. В зоопланктоне за послереконструкционный период обнаружен 51 вид. Среднее число видов в пробе увеличилось с 4.8 ± 0.7 в 2016 г. до 7.9 ± 0.8 в 2018 г. Сравнение видового богатства до и после восстановления демонстрирует статистически значимое увеличение этого параметра. Количественные показатели зоопланктона в постреструктурный период были низкими, средняя за вегетационный период численность изменялась по годам от 10.59 ± 3.15 до 40.24 ± 24.56 тыс. экз./м³, а биомасса – от 0.031 ± 0.010 до 0.098 ± 0.050 г/м³. Величины индекса видового разнообразия Шеннона были невысокими. Значения индекса сапробности соответствовали β-мезосапробной зоне. Таким образом, несмотря на положительные моменты, связанные с восстановлением озера и благоустройством прибрежной зоны, сообщества зоопланктона все еще отличаются невысоким видовым богатством, низкими количественными показателями.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 04 июля 2020 года

Подписана к печати: 31 мая 2021 года

Введение

Процесс урбанизации существенно преобразует окружающую природную среду. Городские районы характеризуются более высоким загрязнением почв и поверхностных вод, повышенным шумом и обычно имеют низкое общее качество среды обитания (Mansfield et al., 2014). Озера, расположенные на урбанизированных территориях, также испытывают сильное антропогенное воздействие, которое приводит к их загрязнению, эвтрофированию, а иногда и полному уничтожению (Мингазова и др., 2005).

Малые водные объекты, расположенные в черте городов, выполняют важные экосистемные функции: способствуют увеличению не только местного, но и регионального биоразнообразия, являются местом обитания редких, эндемичных видов (Stefanidis, Papastergiadou, 2010; Kuczyn'ska-Kippen, Joniak, 2016; Celewicz-Gořdyn, Kuczyńska-Kippen, 2017). Социальная значимость водных экосистем в черте городов связана с выполнением рекреационных функций, они создают мозаику мест обитания, могут являться элементами зеленого каркаса городов (Cereghino et al., 2008a; Cereghino et al., 2008b; Pinel-Alloul, Mimouni, 2013; Celewicz-Gořdyn, Kuczyńska-Kippen, 2017). В связи с этим становится актуальной проблема экореабилитации загрязненных или деградировавших водных объектов.

Примеры экореабилитации водоемов в нашей стране все еще остаются немногочисленными, нередко принимаются ошибочные решения, не позволяющие достигнуть желаемого результата, а процесс восстановления водных экосистем и их отдельных компонентов до сих пор остается слабо изученным. Поэтому исследование компонентов водных экосистем после проведенных мероприятий по экореабилитации является актуальным и позволяет выработать подходящую для данного случая стратегию управления. Одним из примеров экореабилитации является восстановление и благоустройство озера Чишмяле (г. Казань).

Хорошим индикатором экологических условий, сложившихся в водоеме, является сообщество зоопланктона. Эти организмы имеют короткие жизненные циклы и особенно быстро реагируют на изменения окружающей среды. По изменениям состава и структуры сообществ зоопланктона можно сделать вывод о направленности происходящих процессов (Derevenskaya, Urazaeva,

2018). Индексы, основанные на показателях структуры сообществ зоопланктона, позволяют оценить уровень загрязнения, трофический статус, а также прогнозировать развитие других компонентов и экосистемы в целом (Алимов и др., 2013; Ejsmont-Karabin, Karabin, 2013; Haberman, Haldna, 2014; Opochocka, Pasztaleniec, 2016; Derevenskaya et al., 2017).

Целью работы было оценить восстановление сообщества зоопланктона озера Чишмяле после осуществления мероприятий по экореабилитации.

Материалы

Озеро Чишмяле (г. Казань) расположено в районе с многоэтажной жилой застройкой. До начала освоения данной территории на исследуемом участке находился природный водоем. В 2010-х гг. озеро было полностью засыпано с целью строительства на данном участке автозаправочной станции. Однако по требованию местных жителей работы были прекращены. На бывшем строительном участке наблюдалась аккумуляция поверхностных вод, что привело к повторному формированию малого водоема. В 2015 г. было принято решение восстановить озеро и создать сквер (Derevenskaya, Galieva, 2018).

Мероприятия по экореабилитации включали восстановление озера в прежних границах, искусственную подпитку водоема из «родника», стекающего в озеро каскадным ручьем и обеспечивающего пополнение озера водой в летнее время, укрепление берегов габионами. На прилегающей к озеру территории был создан сквер в виде террас разного уровня с использованием габионов (рис. 1). Работы по благоустройству территории были закончены к 30 августа 2015 г.

Методы

Отбор проб зоопланктона проводился в три разных периода: 1) до начала восстановления (в августе 2007 г. и в мае 2015 г.); 2) непосредственно после завершения работ (28 сентября 2015 г.); 3) в течение трех последующих лет (с мая по сентябрь 2016–2018 гг. с периодичностью один раз в 10–14 дней). В эти же даты проводилось измерение физико-химических показателей воды.

Пробы отбирали с двух станций в литоральной зоне с поверхности, т. к. глубина озера небольшая и оно интенсивно перемешивается ветром. Количественные пробы зоопланктона отбирали путем процеживания 50 л воды через сеть Апштейна, фиксируя

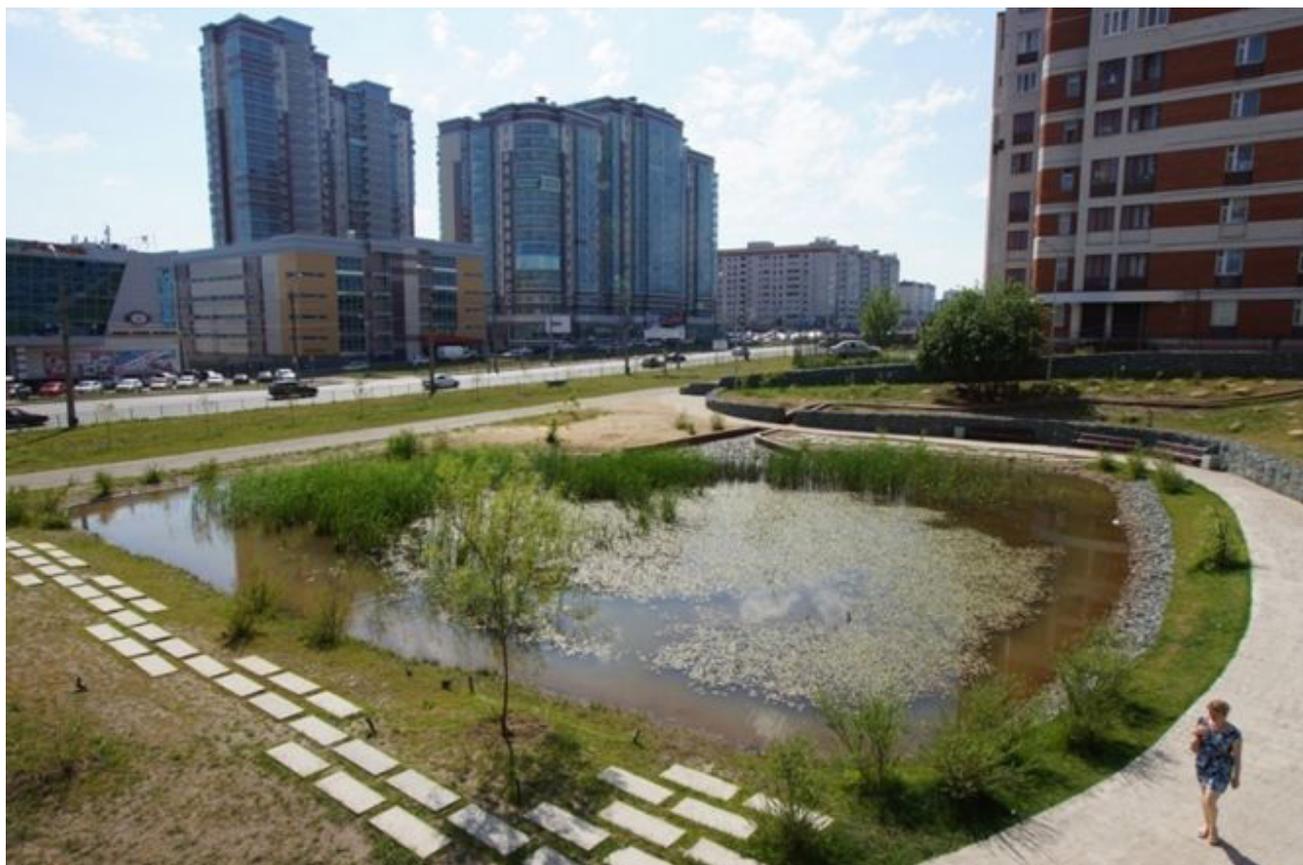


Рис. 1. Современный вид сквера с озером по ул. Чишмяле
Fig. 1. The modern view of the park with a lake on Chishmyale street

ли 4 % формалином. Организмы определяли до вида и подсчитывали под микроскопом. Биомассу рассчитывали по степенным уравнениям, связывающим длину организмов с их массой (Методические..., 1982).

Видовое разнообразие зоопланктона оценивали по индексу Шеннона (H) (по численности и биомассе) (Shannon, Weaver, 1949). Оценку качества воды проводили по индексу сапробности Пантле и Букка (S) в модификации Сладечека (Sladeček, 1973).

Одновременно с отбором проб зоопланктона измеряли температуру воды и содержание кислорода оксиметром «Марк 302», электропроводность – кондуктометром Hanna, pH воды – портативным pH-метром Hanna. Оценка качества воды по физико-химическим показателям выполнена путем сравнения с ПДК (для рыбохозяйственных водоемов) и по величине среднего рангового показателя (РП), рассчитанного с использованием эколого-санитарной классификации качества поверхностных вод (Романенко и др., 1990).

Площадь озера в разные периоды его существования, а также его морфометрические характеристики измеряли в програм-

ме Google Earth.

Статистическая обработка данных включала расчет средних значений, ошибки средней, выполнена в MS Excel.

Результаты

Морфометрические показатели. До начала освоения данной территории под строительство на исследуемом участке находился природный водоем. Пополнение озера осуществлялось за счет поступления поверхностного стока и атмосферных осадков, а также, вероятно, существовала и подпитка от родников. В 2009–2011 гг. вода была откачана, илы изъяты, растительность удалена, и озеро перестало существовать. После принятия решения о восстановлении озера Чишмяле котлован был незначительно углублен и заполнен водой. Водоупором являются уплотненные глины. Основной тип питания – искусственное, а также поверхностный сток и атмосферные осадки. Анализ космоснимков показал, что площадь вновь созданного водоема меньше ранее существовавшего на 46 % (табл. 1), изменилась форма озера, существенно сократилась длина. Максимальная глубина водоема составляет около 1.5 м в центральной части.

Таблица 1. Изменение морфометрических показателей озера Чижмяле (по данным космоснимков Google Earth)

Дата	Длина, м	Ширина, м	Длина береговой линии, м	Площадь, м ²
20.05.07	51	36	164	1673
15.06.15	30	27	109	729
17.06.18	31	28	116	900

Озеро сильно зарастает высшими водными растениями (рогоз узколистный *Typha angustifolia* L., тростник обыкновенный *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., рдесты, элодея *Elodea canadensis* Michx.), площадь зарастания составляет около 60 %.

Гидрохимические показатели. Результаты исследований гидрохимических показателей, выполненных до проведения мероприятий по экореконструкции (август 2007 г.), показали низкое содержание растворенного в воде кислорода (4.2 мг/дм³), что соответствовало всего 52.8 % насыщения. Сероводород содержался в концентрации 0.005 мг/л, т. е. находился на уровне ПДК. Из анионов преобладали гидрокарбонаты, из катионов – кальций и натрий в сумме с калием. Сумма ионов составила 532 мг/дм³, что характеризовало минерализацию воды как повышенную, электропроводность была 490 мкСм/см. Значение жесткости достигало 3.7 мг. экв/л, вода «умеренно жесткая». Из соединений биогенных элементов аммоний существенно превышал ПДКр.х. (16 ПДК). Отмечалось повышенное содержание органических соединений, БПК₅ составляло 5.4 мг О/дм³ (2.7 ПДК), перманганатная окисляемость – 26.7 мгО/л. В воде озера были обнаружены превышения ПДК тяжелых металлов: меди – в 8.3 раза, цинка – в 2.1 раза, марганца – в 4.1 раза. Оценка по эколого-санитарной классификации качества поверхностных вод показала, что вода в озере соответствует разряду «слабо загрязненная» (РП = 4.9). Таким образом, вода в озере до мероприятий по экореконструкции была относительно невысокого качества, с высоким содержанием органических веществ, соединений биогенных элементов, низким содержанием кислорода.

Аналогичные исследования, выполненные непосредственно после завершения мероприятий по экореконструкции (в сентябре 2015 г.), показали, что среда в озере нейтральная, электропроводность равна 440 мкСм/см (снизилась), содержание растворенного кислорода высокое. Из иссле-

дуемых показателей содержание аммония (почти в 3 раза) и фосфаты превышали допустимые концентрации, что вероятно, было связано со взмучиванием донных отложений в период проведения работ, а также с преобладанием процессов деструкции в осеннее время. Загрязняющих веществ выявлено не было. Средний ранговый показатель составлял 3.4, разряд качества воды – «достаточно чистая».

В 2016–2018 гг. (после экореконструкции) вода в оз. Чижмяле имела среднюю минерализацию, в 2017–2018 гг. электропроводность изменялась в нешироких пределах – от 490 до 580 мкСм/см (табл. 2). Величина рН изменялась от 7.2 до 7.5, что соответствует нейтральным водам. В 2018 г. в начале вегетационного периода содержание растворенного кислорода было в пределах нормы, но в июле – августе его содержание снизилось. Причиной может быть ускорение деструкционных процессов вследствие повышения температуры воды, вызвавшее усиленное потребление кислорода.

Зоопланктон. Исследованиями, выполненными до начала восстановления (в августе 2007 г.), в составе зоопланктона было выявлено всего 4 вида: *Rotaria sp.*, *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863), *Ceriodaphnia rotunda* Sars, 1862 и *Mesocyclops leuckartii* (Claus, 1857), а также личиночные стадии циклопов. Повторными исследованиями, выполненными 12 мая 2015 г., было выявлено 4 вида: *Euchlanis triquetra* Ehrenberg, 1838, *Moina brachiata* (Jurine, 1820), *Acanthocyclops vernalis* (Fischer, 1853), *Cyclops vicinus* Uljanin, 1875, а также ювенильные стадии циклопов. Таким образом, до мероприятий по восстановлению зоопланктон оз. Чижмяле был представлен малым числом видов. Один из них, для которого условия были благоприятными, массово развивался, что характерно для временных водоемов, луж. В сентябре 2015 г. зоопланктон состоял из 4 видов: *Alona rectangula* G. O. Sars, 1862, *Chydorus sphaericus* (O. F. Muller, 1785), *Macrotrix laticornis* (Jurine, 1820), *M. leuckartii*, а также

Таблица 2. Средние ($M \pm m$), максимальные и минимальные значения (min-max) значения физико-химических показателей воды озера Чижмяле

Показатель		2016	2017	2018
Температура, С	$M \pm m$	21.1 ± 1.7	16.6 ± 1.8	19.7 ± 0.9
	min-max	14.0–26.6	9.5–25.4	13.6–23.9
Кислород, мг/л	$M \pm m$	–	8.9 ± 0.9	7.1 ± 1.3
	min-max	–	6.1–13.1	1.0–15.1
Электропроводность, мкСм/см	$M \pm m$	632 ± 69	540 ± 9	528 ± 11
	min-max	380–770	510–580	490–580
рН, ед.	$M \pm m$	–	–	7.3 ± 0.1
	min-max	–	–	7.2–7.5

Примечание. – нет данных.

ювенильных стадий циклопов.

За период, прошедший после проведения восстановительных мероприятий (2016–2018 гг.), в составе зоопланктона был выявлен 51 вид, в том числе коловраток 23 (45 %), ветвистоусых 20 (39 %), веслоногих 8 (16 %). По числу видов преобладали ветви-

стоусые ракообразные и коловратки. Число выявленных видов изменялось по годам от 30 до 32 (табл. 3), многие из них встречались в пробах в единичных экземплярах. Число видов, встреченных в пробе, в среднем составляло в 2016 г. 4.8 ± 0.7 , в 2017 г. – 6.5 ± 0.6 , в 2018 г. – 7.9 ± 0.8 .

Таблица 3. Изменение числа видов (n) в зоопланктоне оз. Чижмяле в 2016–2018 гг.

Таксономические группы	2016		2017		2018		2016–2018	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Rotifera	12	40	12	40	13	41	23	45
Cladocera	15	50	14	47	14	44	20	39
Copepoda	3	10	4	13	5	16	8	16
Всего	30	100	30	100	32	100	51	100

Сравнение видового богатства за совпадающие месяцы отбора проб до и после восстановления демонстрирует статистически значимое увеличение этого параметра во временном аспекте (рис. 2).

Комплекс доминирующих видов был неодинаков в разные даты отбора, особенно в 2016 г., что, вероятно, было связано с заселением зоопланктоном реконструированного водоема. Наиболее часто по численности доминировали *Brachionus quadridentatus* Hermann, 1783, *Bosmina longirostris* (O. F. Muller, 1785), *C. sphaericus*, а по биомассе, кроме вышеперечисленных видов, еще *M. leuckarti* и *Diaphanosoma brachyurum* (Lieven, 1848).

До начала восстановления (август 2007 г.) численность зоопланктона была довольно высокой и составляла 390.0 тыс. экз./м³, биомасса – 1.5 г/м³, но 77 % от общей чис-

ленности составляли ювенильные стадии циклопов (Nauplii). По количественным показателям преобладали веслоногие рачки, индекс видового разнообразия был равен 1.21. В мае 2015 г. по численности и биомассе доминировали ветвистоусые рачки *Moina brachiata* (99 % от общей численности и биомассы). Массовым развитием этого крупного рачка объясняются высокие значения количественных показателей (122.66 тыс. экз./м³ и 4.1 г/м³) в этот период. Значения индекса видового разнообразия были низкими (0.05), что характеризует структуру как несбалансированную. В сентябре 2015 г. численность зоопланктона составляла 6.4 тыс. экз./м³ при биомассе 0.019 г/м³, преобладали веслоногие рачки.

В 2016–2018 гг. количественные показатели зоопланктона на протяжении периода исследований были низкими (табл. 4), сред-

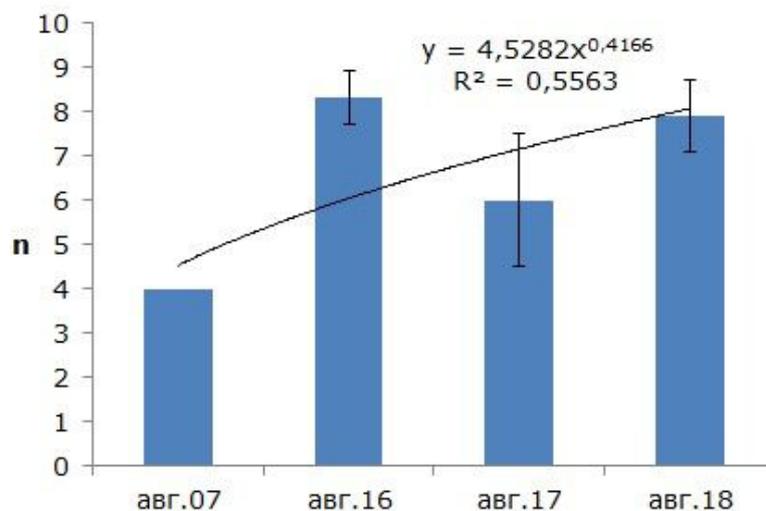


Рис. 2. Число видов таксономических групп зоопланктона в пробах из оз. Чишмяле в разные периоды исследований

Fig. 2. The number of species of taxonomic groups of zooplankton in samples from Lake Chishmale in different periods of research

няя за вегетационный период численность ± 24.56 тыс. экз./м³, а биомасса – от 0.031 ± 0.010 до 0.098 ± 0.050 г/м³.

Таблица 4. Средняя численность (тыс. экз./м³) и биомасса (г/м³) зоопланктона озера Чишмяле

Виды	2016	2017	2018
Численность			
Rotifera	1.79 ± 0.48	1.04 ± 0.46	4.01 ± 2.53
Cladocera	4.28 ± 3.31	2.48 ± 1.29	1.93 ± 0.71
Copepoda	34.17 ± 24.66	10.78 ± 7.42	4.65 ± 1.79
Всего	40.24 ± 24.56	14.30 ± 8.87	10.59 ± 3.15
Биомасса			
Rotifera	0.005 ± 0.003	0.001 ± 0.001	0.004 ± 0.002
Cladocera	0.036 ± 0.029	0.016 ± 0.008	0.009 ± 0.002
Copepoda	0.058 ± 0.043	0.021 ± 0.009	0.019 ± 0.009
Всего	0.098 ± 0.050	0.039 ± 0.017	0.031 ± 0.010

В 2016–2017 гг. наибольшие значения численности и биомассы зоопланктона наблюдались в конце мая – начале июня, при этом наибольший вклад вносили веслоногие рачки (рис. 3–4). Наблюдаемые вариации численности и биомассы зоопланктона определялись циклическими изменениями условий окружающей среды и физико-химических параметров воды. На протяжении

вегетационного периода основу численности образовывали разные таксономические группы зоопланктона, но чаще – веслоногие ракообразные и их личиночные стадии.

Сравнение с ранее проведенными исследованиями (до экореконструкции) показало снижение количественных показателей зоопланктона (рис. 5).

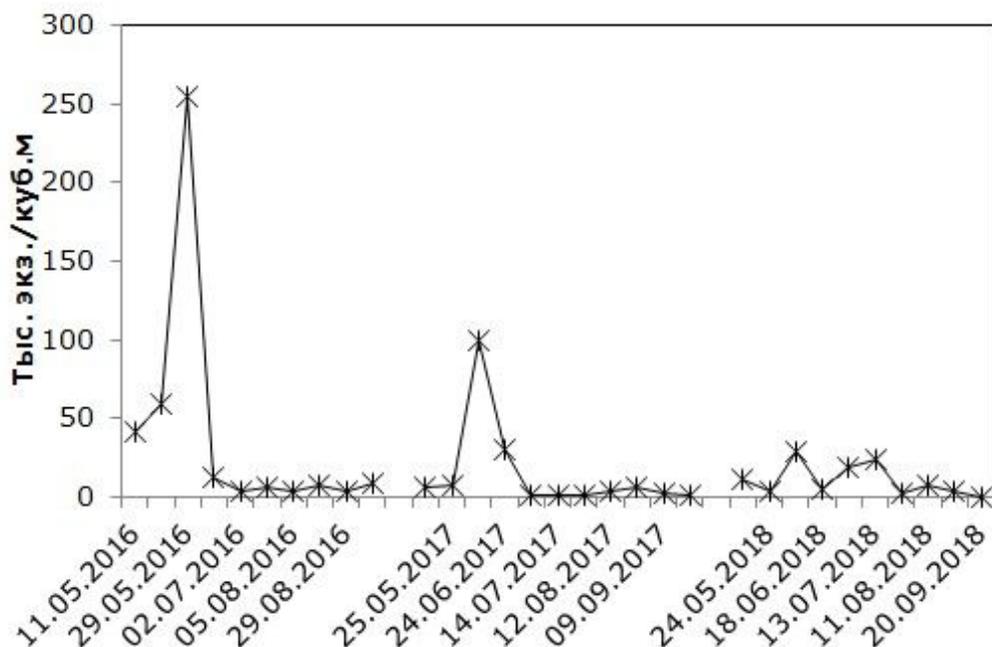


Рис. 3. Динамика численности (N , тыс. экз./ m^3) зоопланктона оз. Чишмяле
Fig. 3. Dynamics of the abundance (N , thousand ind./ m^3) of zooplankton in Lake Chishmale

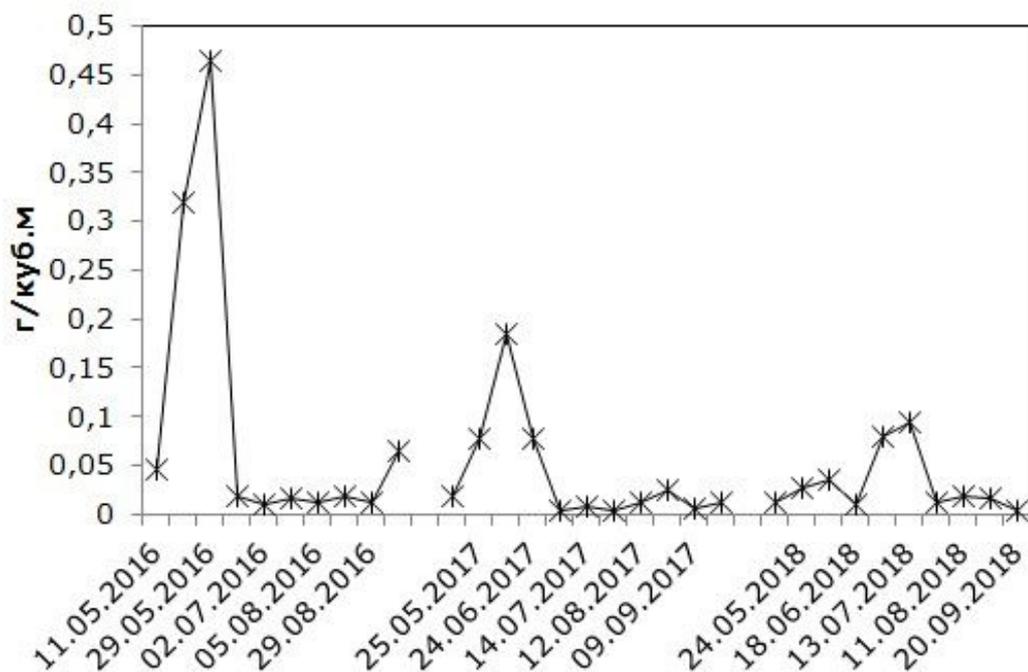


Рис. 4. Динамика биомассы (B , г/ m^3) зоопланктона оз. Чишмяле
Fig. 4. Dynamics of biomass (B , g/ m^3) of zooplankton in Lake Chishmale

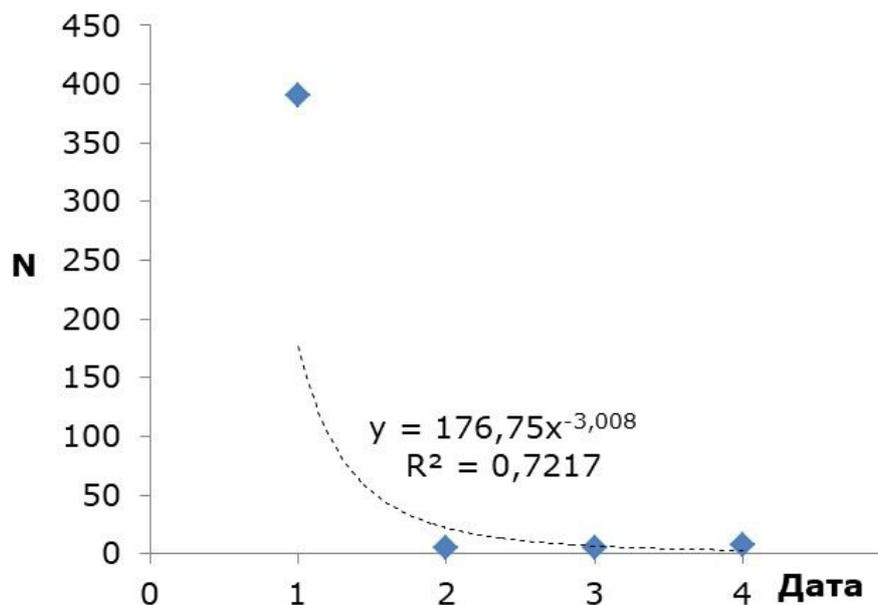


Рис. 5. Изменение численности (N , тыс. экз./м³) зоопланктона оз. Чижмяле до и после экореконструкции (1 – август 2007 г., 2 – август 2016 г., 3 – август 2017 г., 4 – август 2018 г.)

Fig. 5. Changes in the abundance (N , thousand ind./m³) of zooplankton in Lake Chishmale before and after ecorehabilitation (1 – August 2007, 2 – August 2016, 3 – August 2017, 4 – August 2018)

Значения индекса видового разнообразия Шеннона, рассчитанные как по численности (H_n), так и по биомассе (H_b), были относительно низкими (табл. 5). Это связано с невысоким видовым богатством зооплан-

ктона, преобладанием отдельных видов по численности или биомассе, хотя значения индексов выше аналогичных результатов, полученных до мероприятий по экореконструкции.

Таблица 5. Значения индекса сапробности (S) и индекса Шеннона, рассчитанного по численности (H_n) и биомассе (H_b) зоопланктона

Индекс	2016	2017	2018
S	1.76 ± 0.04	1.65 ± 0.03	1.74 ± 0.06
H_n	1.67 ± 0.16	1.95 ± 0.12	1.55 ± 0.18
H_b	1.52 ± 0.16	1.52 ± 0.13	1.84 ± 0.18

Индекс сапробности (S) соответствовал β -мезосапробной зоне (умеренно загрязненная вода, III класс качества вод). Для сравнения: в августе 2007 г. значения этого индекса составляли 1.64, что сопоставимо с современными данными, в мае 2015 г. был значительно выше (2.17), а водоем относился к β -мезосапробной зоне, III класс качества вод.

Обсуждение

Успех восстановления часто оценивают путем сравнения результатов, полученных до и после экореконструкции, но, к сожалению, они не всегда доступны в требуемом объеме. Однако, как показали ранее проведенные исследования, для оценки качества воды и восстановления экосистемы в целом

можно использовать сообщество зоопланктона (Paturej, Bowszys, 2005; Paturej, 2008). Многими исследователями доказано, что зоопланктон реагирует на изменение условий существования снижением или увеличением видового богатства, численности и биомассы, а также других показателей видовой структуры, что делает его хорошим индикатором (Андроникова, 1996; Anton-Pardo et al., 2013; Ejsmont-Karabin, Karabin, 2013; Haberman, Haldna, 2014 и др.).

Если восстановление качества воды можно спрогнозировать, основываясь на данных о преимущественных источниках питания водоема, то восстановление сообществ гидробионтов предсказать чрезвычайно сложно или невозможно. Особенно это актуально для изолированных озер, к которым

относится и озеро Чишмяле. Естественное расселение пресноводной фауны многоклеточных животных – это случайный процесс, зависящий от подходящего вектора (птицы, насекомые, млекопитающие), с помощью которого яйца или другие покоящиеся стадии пассивно переносятся с одного участка на другой (Anton-Pardo et al., 2013). Успешное создание новой популяции зависит также от размера поступающего генетического материала, а конечная судьба вселенца – от абиотических условий и биотических взаимодействий на новом участке (Kohout, Fott, 2006; Anton-Pardo et al., 2013).

Как показали наши исследования, озеро Чишмяле довольно успешно заселяется зоопланктоном. Число видов увеличилось, сообщество стало более выровненным, что отразило более высокие значения биотических индексов по сравнению с результатами ранее проведенных исследований. На озере гнездятся утки, встречаются чайки, что является важным вектором расселения водных беспозвоночных. В котловине озера Чишмяле могли остаться донные отложения, содержащие эфиппии или покоящиеся яйца, которые явились источником заселения озера зоопланктоном. Полученные результаты подтверждают ранее проведенные исследования восстановления небольшого пруда после мероприятий по увеличению его площади, глубины и высадки макрофитов. Сообщество зоопланктона также быстро отреагировало на проведенные мероприятия (через год после их завершения) увеличением видового богатства и разнообразия (Anton-Pardo et al., 2013).

Состав видов зоопланктона тесно связан с трофическим статусом водоема, снижение нагрузки биогенными элементами, поступающими в озеро в результате различного рода мероприятий, приводит к изменениям в структуре сообщества, снижению количества коловраток и появлению видов-индикаторов условий низкой трофности (Zhang et al., 2010; Dorak, Temel, 2015). В ходе наших исследований выявлено, что количественные показатели зоопланктона в оз. Чишмяле после осуществления мероприятий по экореконструкции существенно уменьшились, что указывает на снижение трофического статуса водоема. Однако в составе зоопланктона было выявлено много видов, являющихся индикаторами эвтрофных вод (коловратки родов *Brachionus*, *Trichocerca*, *Keratella*, ветвистоусые *B. longirostris*, *C. sphaericus*, *D. brachyurum*) (Paturej, 2008), некоторые из

них доминируют. Вероятно, это связано с высокой устойчивостью этих видов, высокой скоростью размножения, что позволяет быстро осваивать новые местообитания.

Снижение трофического статуса озер и следующее за ним изменение видового состава, численности и биомассы, появление индикаторов мезотрофных вод неоднократно наблюдались в восстанавливаемых озерах при снижении внешней и внутренней биогенной нагрузки. Показатели зоопланктона в этих исследованиях являлись хорошими индикаторами, позволяющими отследить направленность процесса (Paturej, Bowszys, 2005; Paturej, 2008).

Важную роль в восстановлении сообщества зоопланктона озера Чишмяле играют заросли макрофитов. Макрофиты создают среду обитания, богатую пищевыми ресурсами, увеличивают неоднородность пространства, предоставляют надежное укрытие от хищников. Таким образом, покрытая макрофитами литоральная зона увеличивает разнообразие зоопланктона и других беспозвоночных (Špoljar et al., 2018). Озеро Чишмяле отличается высокой степенью зарастания воздушно-водными (тростник обыкновенный, рогоз узколистный) и погруженными (рдесты, элодея) растениями. Вероятно, это обстоятельство благоприятно сказалось на увеличении разнообразия зоопланктона. Однако избыточная биомасса растений в процессе разложения может снизить содержание кислорода в воде, привести к его дефициту (Anton-Pardo et al., 2013). Этот процесс наблюдался и в оз. Чишмяле. Именно в конце июля – начале августа, когда вода максимально прогрета, нами отмечались самые низкие значения численности и биомассы зоопланктона. Температура воды также существенно влияет на пространственное распределение зоопланктона, на их рост и развитие. Постепенное повышение температуры создает оптимальные условия для их развития (Paturej, Bowszys, 2005). Более высокая плотность зоопланктона оз. Чишмяле отмечена в мае и июне, во время медленного повышения температуры воды, по сравнению с августом, когда температура воды была наиболее высокой.

Заключение

За период исследований, выполненных после проведения мероприятий по экореконструкции, в озере был выявлен 51 вид зоопланктона, по годам их число изменялось от 30 до 32. По численности наиболее часто доминировали *B. quadridentatus*, *B. longirostris*,

C. sphaericus, а по биомассе, кроме вышеперечисленных видов, еще *M. leuckarti* и *D. Brachyurum*, однако в сообществе преобладали виды-индикаторы эвтрофных условий. Количественные показатели зоопланктона на протяжении периода исследований были низкими, средняя за вегетационный период численность изменялась по годам от 10.59 ± 3.15 до 40.24 ± 24.56 тыс. экз./м³, а биомасса – от 0.031 ± 0.010 до 0.098 ± 0.050 г/м³. Индекс сапробности соответствовал β -мезосапробной зоне (умеренно загрязненная вода, III класс качества вод). Значения индекса видового разнообразия Шеннона, рассчитанные как по численности, так и по биомассе, были относительно низкими.

Таким образом, несмотря на положительные моменты, связанные с восстановлением озера и благоустройством прибрежной зоны, сообщества зоопланктона все еще отличаются невысоким видовым богатством, низкими количественными показателями.

По результатам проведенных исследований в целях поддержания качества воды и сохранения эстетических свойств водоема можно рекомендовать следующие практические мероприятия: 1) при угрозе возникновения дефицита кислорода проводить аэрацию воды; 2) в конце вегетационного периода извлекать из воды и удалять с территории водосбора биомассу водных растений для предотвращения зарастания озера.

Библиография

- Алимов А. Ф., Богатов В. В., Голубков С. М. Продукционная гидробиология. СПб.: Наука, 2013. 339 с.
- Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: Зоологический ин-т АН СССР – ГосНИОРХ, 1982. 33 с.
- Мингазова Н. М., Деревенская О. Ю., Нурғалиева З. М., Палагушкина О. В., Павлова Л. Р. Озера г. Казани и проблемы малых озер // Экология города Казани. Казань: Фэн, 2005. С. 120–134.
- Романенко В. Д., Оксюк О. П., Жукинский В. Н., Стольберг Ф. В., Лаврик В. И. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты. Киев: Наукова думка, 1990. 256 с.
- Anton-Pardo M., Olmo C., Soria J. M., Armengol X. Effect of restoration on zooplankton community in a permanent interdunal pond // International Journal of Limnology. 2013. Vol. 49. P. 97–106.
- Celewicz-Goody S., Kuczyńska-Kippen N. Ecological value of macrophyte cover in creating habitat for microalgae (diatoms) and zooplankton (rotifers and crustaceans) in small field and forest water bodies // PLoS One. 2017. Vol. 12 (5). May 4. DOI: 10.1371/journal.pone.0177317
- Cereghino R., Biggs J., Oertli B., Declerck S. The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat // Hydrobiologia. 2008a. Vol. 597. P. 19–27.
- Cereghino R., Ruggiero A., Marty P., Angelibert S. Biodiversity and distribution patterns of freshwater invertebrates in farm ponds of a southwestern French agricultural landscape // Hydrobiologia. 2008b. Vol. 597. P. 43–51.
- Derevenskaya O., Galieva R. The assessment of restoration of zooplankton community of Lake Chishmyale (Kazan, Russia) after eco-rehabilitation // Drug Invention Today. 2018. Vol. 10. Special Issue 3. P. 3218–3222.
- Derevenskaya O., Unkovskaya E., Kosova M. Indices of zooplankton in assessing the ecological state of lake Ilinskoe (Russia) // Turkish Online Journal of Design Art and Communication. 2017. Vol. 7. Special Edition. P. 1787–1794.
- Derevenskaya O., Urazaeva N. Evaluation of the lake Lyabiazhie (Kazan, Russia) state by indicators of communities of hydrobionts // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 107. Issue 1. Art. 012129. DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012129
- Dorak Z., Temel M. The zooplankton community and its relationship with environmental variables in a highly polluted system, Golden Horn, Turkey // Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research. 2015. №1. P. 57–71. DOI: 10.3153/JAEFR15006
- Ejsmont-Karabin J., Karabin A. The suitability of zooplankton as lake ecosystem indicators: crustacean trophic state index // Polish Journal of Ecology (Pol. J. Ecol.). 2013. Vol. 61. № 3. P. 561–573.
- Haberman J., Haldna M. Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Vörtsjärv // Limnol. 2014. Vol. 73. №2. P. 263–273. DOI: 10.4081/jlimnol.2014.828J
- Kohout L., Fott J. Restoration of zooplankton in a small acidified mountain lake (Plešné Lake, Bohemian Forest) by reintroduction of key species // Biologia, Bratislava. 2006. Vol. 61. P. 477–483. DOI: 10.2478/s11756-007-0065-9

- Kuczyn´ska-Kippen N., Joniak T. Zooplankton diversity and macrophyte biometry in shallow water bodies of various trophic state // *Hydrobiologia*. 2016. Vol. 774. P. 39–51. DOI: 10.1007/s10750-015-2595-4
- Mansfield R., Williams A., Hendry K., White K. Drivers of change in a redeveloped urban lake: long term trends in a simplified system // *Fundam. Appl. Limnol.* 2014. Vol. 185/1. P. 91–105.
- Opochocka A., Pasztaleniec A. Sensitivity of plankton indices to lake trophic conditions // *Monit. Assess.* 2016. Vol. 188. P. 622. DOI: 10.1007/s10661-016-5634-3
- Paturej E. Assessment of the trophic state of a restored lake based on zooplankton community structure and zooplankton-related indices // *Pol. J. Natur. Sc.* 2008. Vol. 23. № 2. P. 440–449. DOI 10.2478/v10020-008-0034-y
- Paturej E., Bowszys M. Changes in the zooplankton of the restored lake Długie // *Polish Journal of Natural Sciences*. 2005. Vol. 19, № 2. P. 321–334.
- Pinel-Alloul B., Mimouni E. Are cladoceran diversity and community structure linked to spatial heterogeneity in urban landscapes and pond environments? // *Hydrobiologia*. 2013. Vol. 715. P. 195–212.
- Shannon C. E., Weaver W. *The mathematical theory of communication*. Urbana: Univ. Illinois Press, 1949. 117 p.
- Sladeček V. System of water quality from biological point of view // *Egetnisse der Limnologie*. 1973. Vol. 7. 218 p.
- Špoljar M., Dražina T., Kuczyńska-Kippen N., Zhang C., Ternjej I., Kovačević G., Lajtner J., Fressl J. Zooplankton traits in the water quality assessment and restoration of shallow lakes // 1st international conference "The Holistic Approach to Environment". September 13th–14th. Sisak, 2018. P. 1–7.
- Stefanidis K., Papastergiadou E. Influence of hydrophyte abundance on the spatial distribution of zooplankton in selected lakes in Greece // *Hydrobiologia*. 2010. Vol. 656. P. 55–65. DOI: 10.1007/s10750-010-0435-0
- Zhang S., Zhou Q., Xu D., Lin J., Cheng S., Wu Z. Effects of sediment dredging on water quality and zooplankton community structure in a shallow of eutrophic lake // *J. Environ. Sci.* 2010. Vol. 22. № 2. P. 218–224.

ASSESSMENT OF THE RESTORATION OF THE ZOOPLANKTON COMMUNITY IN LAKE CHISHMYALE AFTER ECOREHABILITATION ACTIVITIES

DEREVENSKAYA
Olga Yuryevna

PhD, Kazan Federal University, oderevenskaya@mail.ru

GALLYAMOVA
Rezeda Radikovna

Kazan Federal University, rezeda1604@mail.ru

Keywords:

ecorehabilitation
lake
zooplankton
urban ecosystems
bioindication

Summary: Lake Chishmyale is located in Kazan (Russia), in an area with multi-storey residential development. In the 2010s, the lake was completely filled up due to the planned development of this area. However, the work was stopped, because there was an accumulation of surface water on the site, which led to the re-formation of a small reservoir. In 2015, it was decided to restore the lake and create a public garden. Eco-rehabilitation measures included the restoration of the lake to its former boundaries, artificial recharge of the reservoir, and shore strengthening with gabions. The aim of this work is to assess the recovery of the zooplankton community following the implementation of eco-rehabilitation activities. During the growing seasons of 2016–2018, the physicochemical indicators of water were measured, samples of zooplankton were taken. The data obtained were compared with the results of studies performed before recovery. The analysis of satellite images showed that the area of the newly created reservoir is less than the previously existing one by 46 %. The water in the lake has an average mineralization, the environment is neutral. A deficiency of dissolved oxygen in water, developing in July–August, was revealed. During the post-rehabilitation period, 51 species were found in zooplankton. The average number of species in the sample increased from 4.8 ± 0.7 in 2016 to 7.9 ± 0.8 in 2018. Comparison of the species richness on the same dates before and after recovery demonstrates a statistically significant increase in this parameter. The quantitative indicators of zooplankton in the post-rehabilitation period were low, the average abundance over the growing season varied from 10.59 ± 3.15 to 40.24 ± 24.56 thousand ind./m³, and the biomass – from 0.031 ± 0.010 to 0.098 ± 0.050 g/m³. The values of the Shannon Species Diversity Index were not high. The saprobic index values corresponded to the β -mesosaprobic zone. Thus, despite the positive aspects associated with the restoration of the lake and the improvement of the coastal zone, the zooplankton communities are still characterized by low species richness and low quantitative indicators.

Received on: 04 June 2020

Published on: 31 May 2021

References

- Špoljar M., Dražina T., Kuczyńska-Kippen N., Zhang C., Ternjej I., Kovačević G., Lajtner J., Fressl J. Zooplankton traits in the water quality assessment and restoration of shallow lakes, 1st international conference «The Holistic Approach to Environment». September 13th–14th. Sisak, 2018. P. 1–7.
- Alimov A. F. Bogatov V. V. Golubkov S. M. Production hydrobiology. SPb.: Nauka, 2013. 339 p.
- Andronikova I. N. Structural and functional organization of zooplankton of lake ecosystems of different trophic types. SPb.: Nauka, 1996. 189 p.
- Anton-Pardo M., Olmo C., Soria J. M., Armengol X. Effect of restoration on zooplankton community in a permanent interdunal pond, International Journal of Limnology. 2013. Vol. 49. P. 97–106.
- Celewicz-Goødyn S., Kuczyńska-Kippen N. Ecological value of macrophyte cover in creating habitat for microalgae (diatoms) and zooplankton (rotifers and crustaceans) in small field and forest water bodies, PLoS One. 2017. Vol. 12 (5). May 4. DOI: 10.1371/journal.pone.0177317
- Cereghino R., Biggs J., Oertli B., Declerck S. The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat, Hydrobiologia. 2008a. Vol. 597. P. 19–27.
- Cereghino R., Ruggiero A., Marty P., Angelibert S. Biodiversity and distribution patterns of freshwater

- invertebrates in farm ponds of a southwestern French agricultural landscape, *Hydrobiologia*. 2008b. Vol. 597. P. 43–51.
- Derevenskaya O., Galieva R. The assessment of restoration of zooplankton community of Lake Chishmyale (Kazan, Russia) after eco-rehabilitation, *Drug Invention Today*. 2018. Vol. 10. Special Issue 3. P. 3218–3222.
- Derevenskaya O., Unkovskaya E., Kosova M. Indices of zooplankton in assessing the ecological state of lake Ilinskoe (Russia), *Turkish Online Journal of Design Art and Communication*. 2017. Vol. 7. Special Edition. P. 1787–1794.
- Derevenskaya O., Urazaeva N. Evaluation of the lake Lyabiazhie (Kazan, Russia) state by indicators of communities of hydrobionts, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 107. Issue 1. Art. 012129. DOI: 10.1088/1755-1315/107/1/012129
- Dorak Z., Temel M. The zooplankton community and its relationship with environmental variables in a highly polluted system, Golden Horn, Turkey, *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*. 2015. No.1. P. 57–71. DOI: 10.3153/JAEFR15006
- Ejsmont-Karabin J., Karabin A. The suitability of zooplankton as lake ecosystem indicators: crustacean trophic state index, *Polish Journal of Ecology (Pol. J. Ecol.)*. 2013. Vol. 61. No. 3. P. 561–573.
- Guidelines on the collection and processing of materials in hydrobiological studies in freshwater bodies. Zooplankton and its products. L.: Zoologicheskii in-t AN SSSR – GosNIORH, 1982. 33 p.
- Haberman J., Haldna M. Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Vörtsjärv, *Limnol*. 2014. Vol. 73. No.2. P. 263–273. DOI: 10.4081/jlimnol.2014.828J
- Kohout L., Fott J. Restoration of zooplankton in a small acidified mountain lake (Plešné Lake, Bohemian Forest) by reintroduction of key species, *Biologia, Bratislava*. 2006. Vol. 61. P. 477–483. DOI: 10.2478/s11756-007-0065-9
- Kuczyn'ska-Kippen N., Joniak T. Zooplankton diversity and macrophyte biometry in shallow water bodies of various trophic state, *Hydrobiologia*. 2016. Vol. 774. P. 39–51. DOI: 10.1007/s10750-015-2595-4
- Mansfield R., Williams A., Hendry K., White K. Drivers of change in a redeveloped urban lake: long term trends in a simplified system, *Fundam. Appl. Limnol*. 2014. Vol. 185/1. R. 91–105.
- Mingazova N. M. Derevenskaya O. Yu. Nurgalieva Z. M. Palagushkina O. V. Pavlova L. R. Lakes of Kazan and problems of small lakes, *Ekologiya goroda Kazani. Kazan': Fen*, 2005. P. 120–134.
- Opochocka A., Pasztaleniec A. Sensitivity of plankton indices to lake trophic conditions, *Monit. Assess*. 2016. Vol. 188. P. 622. DOI: 10.1007/s10661-016-5634-3
- Paturej E. Assessment of the trophic state of a restored lake based on zooplankton community structure and zooplankton-related indices, *Pol. J. Natur. Sc.* 2008. Vol. 23. No. 2. P. 440–449. DOI 10.2478/v10020-008-0034-y
- Paturej E., Bowszys M. Changes in the zooplankton of the restored lake Długie, *Polish Journal of Natural Sciences*. 2005. Vol. 19, No. 2. P. 321–334.
- Pinel-Alloul B., Mimouni E. Are cladoceran diversity and community structure linked to spatial heterogeneity in urban landscapes and pond environments?, *Hydrobiologia*. 2013. Vol. 715. P. 195–212.
- Romanenko V. D. Oksiyuk O. P. Zhukinskiy V. N. Stol'berg F. V. Lavrik V. I. Environmental assessment of the impact of hydraulic engineering on water bodies. Kiev: Naukova dumka, 1990. 256 p.
- Shannon C. E., Weaver W. The mathematical theory of communication. Urbana: Univ. Illinois Press, 1949. 117 p.
- Sladeček V. System of water quality from biological point of view, *Egetnisse der Limnologie*. 1973. Vol. 7. 218 r.
- Stefanidis K., Papastergiadou E. Influence of hydrophyte abundance on the spatial distribution of zooplankton in selected lakes in Greece, *Hydrobiologia*. 2010. Vol. 656. P. 55–65. DOI: 10.1007/s10750-010-0435-0
- Zhang S., Zhou Q., Xu D., Lin J., Cheng S., Wu Z. Effects of sediment dredging on water quality and zooplankton community structure in a shallow of eutrophic lake, *J. Environ. Sci*. 2010. Vol. 22. No. 2. P. 218–224.