



DOI 10.23859/estr-230515

EDN EUISKI

УДК 574.583

Научная статья

Изменение зоопланктона водоемов г. Казани после проведения мероприятий по экорееабилитации

О.Ю. Деревенская 

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Россия, г. Казань,
ул. Кремлевская, д. 18*

oderevenskaya@mail.ru

Аннотация. Мероприятия по экорееабилитации водоемов Комсомольское и Марьино были проведены в г. Казани (Россия) в 2019–2020 гг. В ходе работ из водных объектов были извлечены донные отложения при помощи технологии «Геотьюб», удалены погруженные макрофиты, благоустроена прибрежная зона. В оз. Марьино дополнительно были установлены аэраторы воды. В обоих случаях после проведенных мероприятий наблюдалось снижение трофического статуса водоемов. Число выявленных видов зоопланктона в пруду Комсомольском увеличилось с 30 до 48, преобладали коловратки и ветвистоусые ракообразные. В оз. Марьино число видов увеличилось с 41 до 52, преобладали коловратки. В первый год после завершения мероприятий наблюдалась частая смена доминирующих видов зоопланктона, монодоминирование. В последующие годы доминировали два–три вида. Наименьшие значения численности и биомассы наблюдались в период проведения работ по экорееабилитации, в последующие годы эти показатели увеличались. В период проведения мероприятий по экорееабилитации и непосредственно после их завершения наблюдалась наибольшая изменчивость численности и биомассы зоопланктона на протяжении вегетационного периода и наибольшая вариабельность биомассы. По прошествии времени размах колебаний снизился, сообщества стали более стабильными. В трофических цепях зоопланктона оз. Марьино отсутствуют облигатные хищники, а в пруду Комсомольском они встречаются единично, не внося существенного вклада в трансформацию энергии. Основные потоки энергии проходят через звенья ветвистоусых и коловраток. После проведенных работ увеличилась продукция сообществ зоопланктона.

Ключевые слова: озеро, восстановление, сообщество, эвтрофирование, биоиндикация, трофические сети, качество воды, загрязнение

ORCID:

О.Ю. Деревенская, <https://orcid.org/0000-0001-9473-4352>

Для цитирования: Деревенская, О.Ю., 2025. Изменение зоопланктона водоемов г. Казани после проведения мероприятий по экорееабилитации. *Трансформация экосистем* 8 (1), 161–184. <https://doi.org/10.23859/estr-230515>

Поступила в редакцию: 15.05.2023

Принята к печати: 08.08.2023

Опубликована онлайн: 07.03.2025

DOI 10.23859/estr-230515

EDN EUISKI

UDC 574.583

Article

Changes in zooplankton communities in Kazan city waterbodies after remediation activities

O.Yu. Derevenskaya 

Kazan Federal University, Kremlevskaya St. 18, Kazan, 420008 Russia

oderevenskaya@mail.ru

Abstract. In 2019–2020, remediation activities in the Komsomolsky pond and Lake Maryino were carried out in the Kazan city (Volga River, Russia). During these works, bottom sediments were extracted using the Geotube® technology, submerged macrophytes were removed, and the coastal zone was developed. Water aerators were additionally installed in Lake Maryino. In both waterbodies, a decrease in their trophic status was observed after the activities performed. The zooplankton diversity in the Komsomolsky pond increased from 30 to 48 species, rotifers and cladocerans prevailed. In Lake Maryino, the number of species increased from 41 to 52, rotifers prevailed. After the activities were completed, frequent changes in the dominant zooplankton species and dominating of a single species were observed during the first year. In subsequent years, two or three species dominated. The lowest abundance and biomass were registered during the remediation period; these indicators have increased in subsequent years. During the remediation period and immediately after it, the greatest variability of zooplankton abundance and biomass throughout the vegetation period was noted. Over time, the fluctuation range has decreased, and the communities became more stable. No obligate predators were found in zooplankton trophic chains of Lake Maryino; in the Komsomolsky pond, they were registered singly, without making a significant contribution to the energy transformation. Cladocerans and rotifers contributed the most to the energy flows. After the remediation activities, the production of zooplankton communities increased.

Keywords: lake, remediation, community, eutrophication, bioindication, food webs, water quality, pollution

ORCID:

O.Yu. Derevenskaya, <https://orcid.org/0000-0001-9473-4352>

To cite this article: Derevenskaya, O.Yu., 2025. Changes in zooplankton communities in Kazan city waterbodies after remediation activities. *Ecosystem Transformation* 8 (1), 161–184. <https://doi.org/10.23859/estr-230515>

Received: 15.05.2023

Accepted: 08.08.2023

Published online: 07.03.2025

Введение

Водные объекты, расположенные на урбанизированных территориях, испытывают последствия антропогенного воздействия, что приводит к ухудшению качества воды, нарушению структуры сообществ гидробионтов, снижению их рекреационной ценности. Развитие городов в ряде случаев сопровождается освоением новых территорий, засыпкой водных объектов или, наоборот, выкопанные котлованы заполняются водой, становясь малыми водоемами (Мингазова и др., 2014). Малые озера обладают небольшим объемом воды и весьма подвержены внешнему воздействию, в частности действию загрязняющих веществ, поступающих с ливневыми, аварийными сточными водами, поверхностным стоком, для них характерны непредсказуемый режим перемешивания и быстрое реагирование на изменение условий окружающей среды (Mansfield et al, 2014). В водных объектах искусственного происхождения состав воды определяется в первую очередь антропогенными факторами (Мингазова и др., 2008).

Водные объекты урботерриторий являются важными элементами ландшафтов, создают мозаику мест обитания, способствуют сохранению биоразнообразия водных и околководных организмов в условиях преобразованной городской среды (Bolduc et al., 2016; Celewicz-Goodyn and Kuczyńska-Kippen, 2017; Cereghino et al., 2008a). Водоемы и водотоки являются местами притяжения местных жителей, которые используют их для отдыха, рыбной ловли и прогулок (Cereghino et al., 2008b; Kuczyńska-Kippen and Joniak, 2016; Pinel-Alloul and Mimouni, 2013; Stefanidis and Papastergiadou, 2010). В связи с интенсивным антропогенным воздействием на природные территории актуальной становится проблема восстановления загрязненных, сильно трансформированных водоемов, включение их в состав создаваемых рекреационных зон. В последние годы в России большое внимание уделяется созданию комфортной городской среды, реализуются финансируемые из бюджета программы. Неотъемлемым элементом этой среды являются благоустроенные зеленые зоны, набережные, водные объекты. Но, как показывает анализ ряда уже осуществленных проектов, они редко учитывают экологические особенности территорий, а также воздействие работ по благоустройству на природные объекты. Нередко проведенные мероприятия приводят к ухудшению экологического состояния природных территорий, усилению воздействия на них. Успешные примеры восстановления загрязненных или исчезнувших водных объектов, к сожалению, остаются единичными (Герасимов и Шабанова, 2018; Деревенская и Галлямова, 2021; Деревенская и Уразаева, 2020), а сукцессии в экосистемах таких водоемов изучены недостаточно. В связи с этим исследования сукцессий сообществ зоопланктона восстанавливаемых озер является актуальными.

Мероприятия по экореабилитации были проведены на двух малых мелководных водоемах Комсомольское и Марьино, расположенных в г. Казани (Россия, Республика Татарстан). Водный объект «озеро Комсомольское» имеет искусственное происхождение, представляет собой котлован, заполненный грунтовой водой. Постоянный уровень воды поддерживается благодаря искусственной подаче грунтовых вод (в летнее время). Водоем невелик по размерам, мелководный (Табл. 1).

С северо-восточной стороны пруда был организован пляж, пользующийся большой популярностью у местных жителей. Постепенно водоем заилился, глубина уменьшилась, качество воды ухудшилось. В последние годы из-за неудовлетворительных санитарно-микробиологических показателей купание в пруду было запрещено. По многочисленным просьбам местных жителей был разработан проект экологической реабилитации этого водоема и благоустройства его прибрежной зоны. В ходе реализации проекта экореабилитации уровень воды в пруду понизили, затем донные отложения были частично изъятые при помощи малых земснарядов. Для изъятия илов была использована технология «Геотьюб». По этой технологии откачиваемая пульпа помещается в специальные контейнеры из плотной ткани, пропускающей воду, но не пропускающей взвешенные частицы. После того, как вода стекала, извлеченные донные отложения вывозили и утилизировали. В прибрежной зоне была выполнена отсыпка привезенным песком и организована пляжная зона, прилегающая территория была благоустроена. Работы по благоустройству выполнялись в июне–августе 2019 г., после чего уровень воды в пруду вновь повысили.

Табл. 1. Морфометрические характеристики исследованных водоемов.

Водоем	Площадь, га	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м	Длина, м	Ширина, м
Комсомольское	1.76	3.7	0.8	313.0	67.0
Марьино	0.9	1.6	0.5	184.1	64.2

Озеро Марьино расположено на месте бывшего болотного массива, который к настоящему времени почти полностью осушили, засыпали и застроили многоэтажными домами. Оз. Марьино имеет небольшие размеры (Табл. 1), питание озера происходит за счет грунтовых вод и поверхностного стока. На дне озера был накоплен довольно большой слой органических остатков, разложение которых приводило к дефициту кислорода в воде, образованию сероводорода, поверхность озера в летнее время покрывалась толстым слоем нитчатых водорослей. В придонных слоях отмечалось повышенное содержание биогенных элементов. Озеро со всех сторон окружено многоэтажными зданиями, является центральным элементом экопарка «Марьино». Для улучшения эстетических свойств водоема, создания благоустроенной природной зоны в районе с крайне недостаточным озеленением был разработан и осуществлен проект экореконструкции оз. Марьино. Проект предусматривал изъятие части донных отложений при помощи технологии «Геотьюб», удаление излишней биомассы высших водных растений, установку системы аэрации, благоустройство прибрежной парковой зоны. Работы выполнялись в апреле–августе 2020 г.

Таким образом, на двух малых водных объектах в г. Казани был выполнен сходный комплекс восстановительных мероприятий. После завершения мероприятий по экореконструкции начался новый этап сукцессии сообществ гидробионтов. Достижение такого состояния водной экосистемы, при котором восстанавливаются как минимум эстетические качества, уже позволяет расценивать проведенные мероприятия как успешные. Для того чтобы оценить изменения, происходящие с экосистемой, необходимо использовать представителей различных трофических уровней. Сообщества зоопланктона представляют собой организованные биологические системы, которые тесно связаны с другими компонентами экосистем. Поэтому какое-либо воздействие на экосистему озера влечет за собой изменение видового состава, количественных характеристик, соотношений таксономических групп и других показателей структурной организации зоопланктона, что делает его объективным индикатором качества воды как среды обитания. Кроме того, сообщество зоопланктона включает представителей различных трофических уровней, что позволяет проследить изменение трофической структуры сообществ в период проведения восстановительных мероприятий и после их завершения (Anton-Pardo et al, 2013). Поэтому для оценки изменений, происходящих с водоемами, было выбрано сообщество зоопланктона.

Цель работы – оценить изменения, происходящие в сообществах зоопланктона в период проведения восстановительных мероприятий и после их завершения на примере водоемов города Казани (Комсомольское и Марьино).

Материалы и методы

Проведенные исследования охватывают три периода, различающиеся по интенсивности воздействия на исследованные водоемы:

1) Период до осуществления мероприятий. Исследования проводились в августе 2007 г. и июне 2014 г. на Комсомольском пруду и на протяжении вегетационного периода (с мая по сентябрь) 2019 г. на оз. Марьино. Антропогенное воздействие на водные объекты оказывалось в основном при их рекреационном использовании, также, возможно, поступал загрязненный поверхностный сток; весьма существенным было воздействие от накопленных донных отложений.

2) Период проведения мероприятий по экореконструкции и благоустройству. На пруду Комсомольском мероприятия осуществлялись в июне–августе 2020 г., а на оз. Марьино – в апреле–августе 2021 г. Изъятие донных отложений, являющееся частью работ, оказало значительное влияние на все компоненты экосистемы: механическое воздействие от работы земснарядов, взмучивание донных отложений, поступление из донных отложений в воду накопленных загрязняющих веществ и биогенных элементов.

3) Период после завершения мероприятий. Исследования проводились на протяжении вегетационных периодов 2020–2022 гг. на пруду Комсомольском и вегетационных периодов 2021–2022 гг. на оз. Марьино.

Исследования озер включали измерение физико-химических показателей воды и отбор проб зоопланктона. Температуру воды, содержание растворенного кислорода измеряли при помощи кислородомера «Марк 302э», электропроводность – кондуктометром DIST HI 98312 (Hanna, Румыния), рН – портативным кондуктометром рНер+ HI 98108 (Hanna, Румыния). Гидрохимический анализ выполнялся в аккредитованных лабораториях по общепринятым методикам. Оценка качества воды по физико-химическим показателям выполнена путем сравнения с предельно допустимыми концентрациями, установленными для рыбохозяйственных водоемов (ПДК_{рх}), а также по эколого-санитарной классификации качества поверхностных вод (Романенко и др., 1990).

Пробы зоопланктона отбирали в литоральной зоне озер путем процеживания 50 л воды через сеть Апштейна (размер ячеек – 100 мкм). Периодичность отбора проб – один раз в 10–14 дней на протяжении вегетационного периода (с мая по октябрь). Для каждой станции рассчитывали численность и биомассу зоопланктона. Вес зоопланктонных организмов рассчитывали по степенным уравнениям, связывающим их длину с массой (Методические..., 1982). Оценка структуры сообществ и видового разнообразия зоопланктона выполнена по индексу Шеннона (H) (по численности и биомассе) (Shannon and Weaver, 1949). Для оценки качества воды рассчитывали индекс сапробности (S) по Пантле и Букк в модификации Сладечека (Sladeček, 1973). Сходство видового состава зоопланктона озер в различные периоды исследований находили по индексу сходства Сёренсена (Sørensen, 1948).

Для выявления трофической структуры зоопланктона все встреченные виды относили к тому или иному трофическому звену. За основу брали спектры питания видов, которые устанавливали по литературным данным (Гутельмахер и др., 1988; Иванова, 1999; Крылов, 1989; Кутикова, 1970; Монаков, 1998). После этого составляли предполагаемые трофические цепи в сообществах зоопланктона исследованных озер в разные периоды и отслеживали их изменение. Выделяли следующие группы зоопланктонных организмов: «мирные» коловратки, «мирные» ветвистоусые и веслоногие ракообразные (представители семейств Sididae, Daphniida, Chydoridae, Bosminidae, а также науплиальные и копеподитные стадии Cyclopoida), коловратки (р. *Asplanchna*), факультативные хищники (веслоногие ракообразные, кроме науплиальных и копеподитных стадий Cyclopoida), хищные ракообразные (*Leptodora kindtii* (Focke, 1844), *Polyphemus pediculus* (Linnaeus, 1761)). «Мирные» коловратки и «мирные» ракообразные относятся к одному трофическому уровню, но их относили к разным группам, так как существенно различаются размеры потребляемых ими организмов или частиц, а они, в свою очередь поедаются разными хищниками. В отдельную группу выделяли коловраток рода *Asplanchna*, которые являются факультативными хищниками и потребляют как растительную пищу, так и мелких коловраток.

Для оценки изменения продуктивности экосистем после проведенных работ по экореабилитации рассчитывали продукцию зоопланктонного сообщества при помощи «физиологического» метода по следующей формуле (Методические..., 1982):

$$P = R \times k_2 / (1 - k_2),$$

где P – продукция, кал/(м³×сут), R – траты на обмен, кал/(м³×сут), k₂ – коэффициент эффективности использования ассимилированной энергии пищи на образование продукции.

Траты на обмен рассчитывали по формуле

$$Q = a \times w^{a/b},$$

где Q – скорость потребления кислорода при 20 °С, млО₂/экз. ×ч, w – средняя масса тела в граммах сырого веса, г, a и a/b – средние значения констант (Методические..., 1982).

Среднюю скорость потребления кислорода находили умножением Q на 24 ч., среднюю массу тела зоопланктона – путем деления биомассы на численность популяции. Оксикалорийный коэф-

фициент принимали равным 4.86 кал/млO_2 . При отклонении температуры воды в водоеме в момент отбора проб от $20 \text{ }^\circ\text{C}$ вводили температурную поправку, которую рассчитывали по формуле

$$q = 2.3^{0.1(t-20)},$$

где t – реальная температура воды, $^\circ\text{C}$.

Продукцию и траты на обмен рассчитывали первоначально для отдельных видов зоопланктона, образующих сообщества, а затем для трофических групп, к которым эти виды были отнесены. Продукцию всего сообщества и отдельных трофических групп, а также траты на обмен за вегетационный период рассчитывали по методу трапеций.

Для оценки статистической значимости полученных результатов вычисляли средние значения численности и биомассы зоопланктона, биотических индексов в выделенные периоды исследований, находили ошибки средней, стандартные отклонения. Для оценки устойчивости сообществ использовали коэффициент вариации (CV) численности и биомассы зоопланктона по годам исследований.

Результаты

Исследования физико-химических показателей воды, выполненные в июле и августе 2007 г. и июне 2014 г. на пруду Комсомольском, показали высокое насыщение воды кислородом ($10.7\text{--}17.3 \text{ мг/дм}^3$ в поверхностных слоях воды и $7.1\text{--}3.6 \text{ мг/дм}^3$ – в придонных). Вода в пруду была нейтральной, относилась к гидрокарбонатно-кальциевому типу с преобладанием среди катионов кальция, а анионов – сульфатов. Пруд пополнялся грунтовыми водами с высоким содержанием сульфатов, что вызывало превышения ПДК_{рх}¹ по этому показателю в 6.7 раз. Электропроводность составляла $1209\text{--}1430 \text{ мкСм/см}$. Сумма ионов изменялась от 953 до 1402 мг/дм^3 . По этому показателю воду в пруду Комсомольском можно отнести к слабоминерализованной (ГОСТ Р 54316–2011²). Вода «очень жесткая» ($12.20\text{--}15.30 \text{ мг-экв./дм}^3$). Выявлено многократное превышение ПДК_{рх} по ионам аммония (до 3.3 ПДК). Концентрации других соединений азота, а также фосфатов были невысокими и не превышали допустимых пределов. Содержание легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) было повышенным, составляло $2.7\text{--}6.2 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$. Из загрязняющих веществ выявлено повышенное содержание нефтепродуктов в воде (до 1.9 ПДК). Таким образом, анализ физико-химических показателей воды в пруду Комсомольском до проведения работ по экореконструкции выявил его загрязнение соединениями биогенных элементов, органическими веществами, нефтепродуктами, что может быть следствием рекреационного использования, а также поступления загрязненного поверхностного стока.

В период проведения мероприятий по экореконструкции на пруду Комсомольском наблюдалось снижение содержания кислорода в воде ниже допустимых нормативов, что может быть связано с поступлением органических веществ из состава донных отложений и их последующим окислением. После завершения мероприятий содержание кислорода вновь увеличилось (Рис. 1А). Повышенная электропроводность и минерализация воды в пруду обусловлены поступлением грунтовых вод. В период проведения мероприятий грунтовые воды не направлялись в пруд, что вызвало снижение электропроводности (Рис. 1Б).

Результаты гидрохимических исследований воды оз. Марьино, выполненных в 2005, 2007, 2012, 2018 гг., показали относительное постоянство минерального состава воды озера. Преобладающими анионами были гидрокарбонаты, катионами – либо натрий, либо натрий с кальцием. Значения жесткости соответствовали «умеренно жесткой» воде. Электропроводность воды колебалась от 460 до 670 мкСм/см . Минерализация воды «повышенная», изменялась в пределах $500\text{--}613 \text{ мг/дм}^3$. В оз. Марьино, также как и в пруду Комсомольском, выявлены превышения ПДК_{рх} содержания ионов аммония (в 6 раз), легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) в 5.2 раза. Концентрации некоторых тяжелых металлов также были повышены: уровень меди превышал допустимые концентрации в 7.8 раза, цинка – в 8.4 раза, марганца – в 1.6 раза. Качество воды в озере можно было охарактеризовать как «слабо загрязненная». В воде отмечался дефицит кислорода, его концентра-

¹ Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов».

² ГОСТ Р 54316–2011. Воды минеральные природные питьевые.

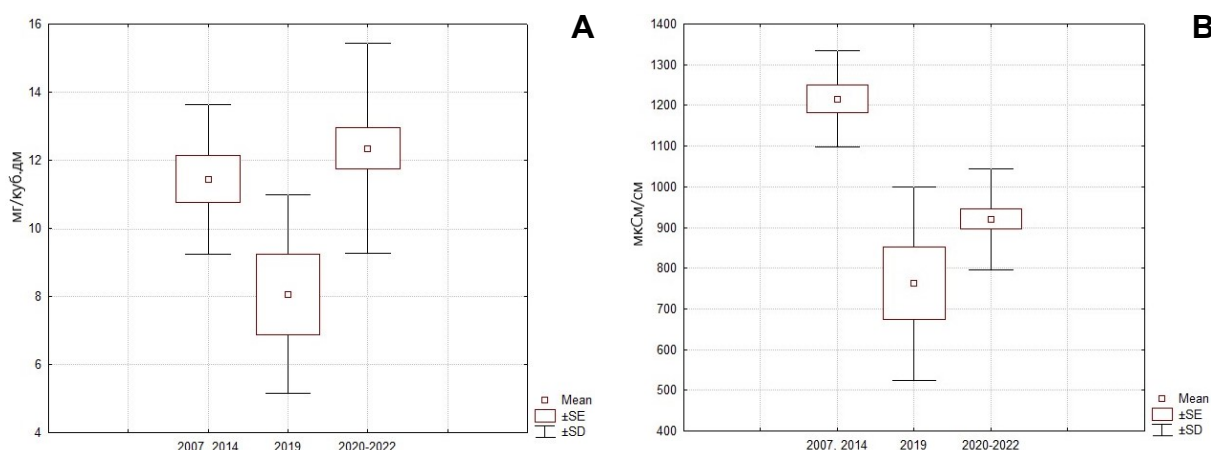


Рис. 1. Средние значения концентраций растворенного в воде кислорода (мг/дм^3) (А) и электропроводности (мкСм/см) (В) в разные периоды исследования пруда Комсомольского.

ция в летнее время опускалась до 3.55 мг/дм^3 , присутствовал сероводород. Вода имела щелочную реакцию, значения рН поднимались до 9.4. Такие высокие значения рН были следствием активного фотосинтеза нитчатых водорослей, массово развивающихся в озере (Табл. 2).

В период проведения мероприятий по экорееабилитации (2020 г.) содержание кислорода опустилось до 4 мг/дм^3 , что может быть связано с разложением органики, поступившей в воду из взмученных донных отложений. После завершения работ в озере были установлены аэраторы, что позволило увеличить содержание кислорода в воде, также снизилась электропроводность воды (Табл. 2).

Структура сообщества зоопланктона пруда Комсомольского

Исследования, проведенные в 2007 и в 2014 гг., выявили 25 видов, но отметим, что это были однократные отборы проб. В период проведения мероприятий по экорееабилитации (2019 г.) было выявлено 30 видов, в последующие годы число видов увеличивалось и составляло 34 вида в 2020 г., 48 и 46 видов в 2021 г. и 2022 г. соответственно. Из таксономических групп зоопланктона до начала мероприятий по экорееабилитации, а также после их завершения преобладали коловратки, составляя от 41% до 56% от встреченного числа видов. В период проведения мероприятий преобладали ветвистоусые ракообразные (47%).

Видовой состав зоопланктона показывает наибольшее сходство в период после завершения восстановительных мероприятий (2020–2022 гг.) (Рис. 2).

Еще одним показателем, с помощью которого можно охарактеризовать изменение видового богатства зоопланктона, является среднее число видов, приходящихся на одну пробу. Достоинством этого показателя является то, что он не зависит от количества отобранных проб. В исследованиях пруда Комсомольского самые низкие значения этого показателя были до начала мероприятий и в период их проведения (Рис. 3).

В 2007 и 2014 гг. доминантами по численности были коловратки *Asplanchna girodi* de Guerne, 1888, *Brachionus angularis* Gosse, 1851, *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), ветвистоусые ракообразные *Bosmina longirostris* (O.F. Muller, 1785), по биомассе – веслоногие ракообразные *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863), *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863) и их ювенильные стадии, коловратки *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850 и *A. girodi*. В ходе проведения работ по экорееабилитации постоянного комплекса доминирующих видов не образовывалось. Можно отметить, что чаще других видов на протяжении вегетационного периода по численности доминировали коловратки со смешанным типом питания – *A. girodi*, а по биомассе – *A. girodi* и «мирные» веслоногие рачки *E. gracilis*. В последующий период число доминирующих видов существенно увеличилось. По численности преобладали *A. priodonta*, *A. girodi*, *Keratella quadrata* (Müller, 1786), *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834), *Synchaeta stylata* Wierzejskii, 1893, а также науплиальные и копеподитные стадии циклопов. По биомассе доминировали факультативные хищники *A. priodonta*, веслоногие рачки *E. gracilis*, *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), науплиальные и копеподитные стадии циклопов.

Табл. 2. Физико-химические показатели воды оз. Марьино в различные периоды исследований. $M \pm m$ – среднее значение и ошибка средней, min–max – максимальное и минимальное значения.

Показатель		Год			
		2019	2020	2021	2022
Температура, °С	$M \pm m$	15.2 ± 1.3	19.5 ± 1.3	21.7 ± 1.6	18.7 ± 1.8
	min–max	8.7–19.6	13.0–27.5	8.9–28.0	11.9–25.9
Кислород, мг/дм ³	$M \pm m$	7.3 ± 1.3	9.1 ± 1.0	11.0 ± 0.9	9.6 ± 1.1
	min–max	3.5–10.6	4.5–14.5	6.9–15.8	6.0–16.1
Электропроводность, мкСм/см	$M \pm m$	668 ± 30	657 ± 9	600 ± 12	626 ± 16
	min–max	610–840	610–720	540–690	560–700
рН, ед.	$M \pm m$	7.3 ± 0.3	7.4 ± 0.1	7.4 ± 0.2	7.6 ± 0.2
	min–max	6.8–9.4	7.0–7.8	6.9–8.6	7.2–8.2

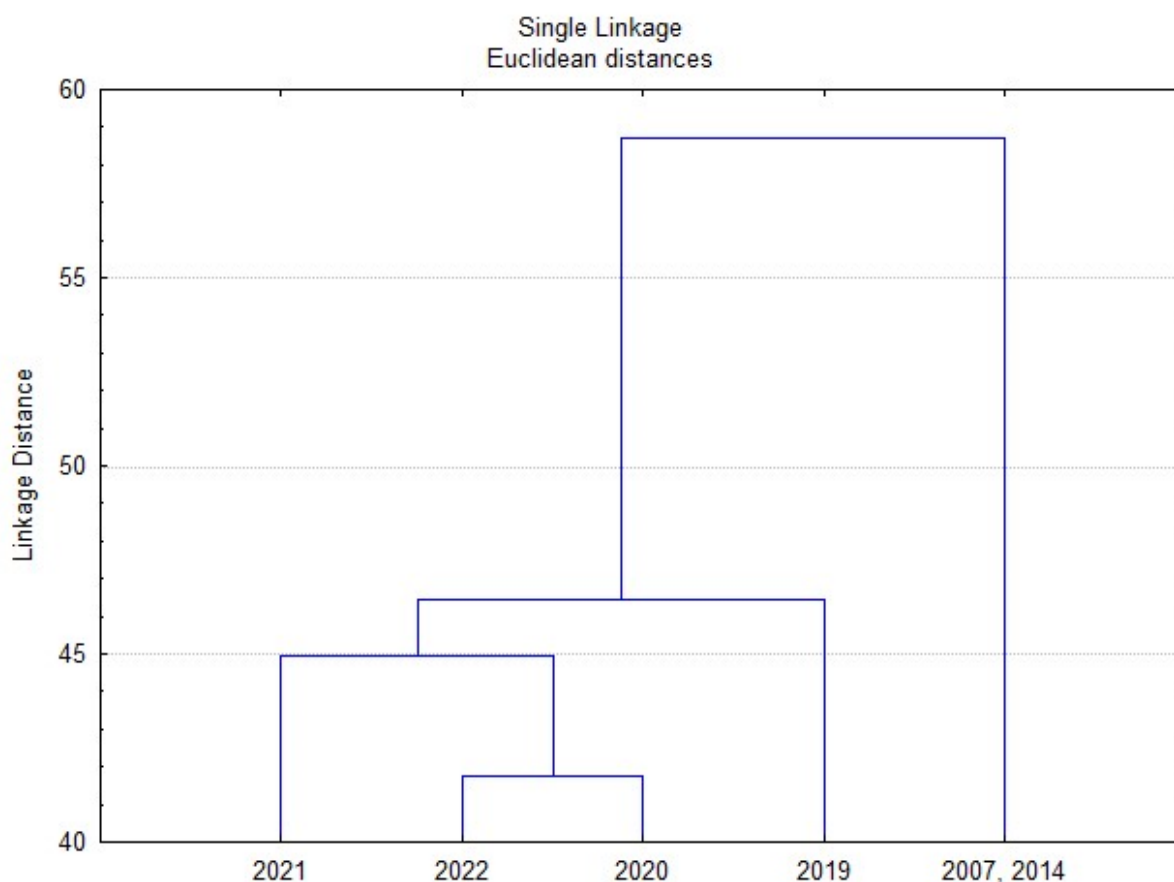


Рис. 2. Дендрограмма сходства видового состава зоопланктона пруда Комсомольского в 2007–2022 гг.

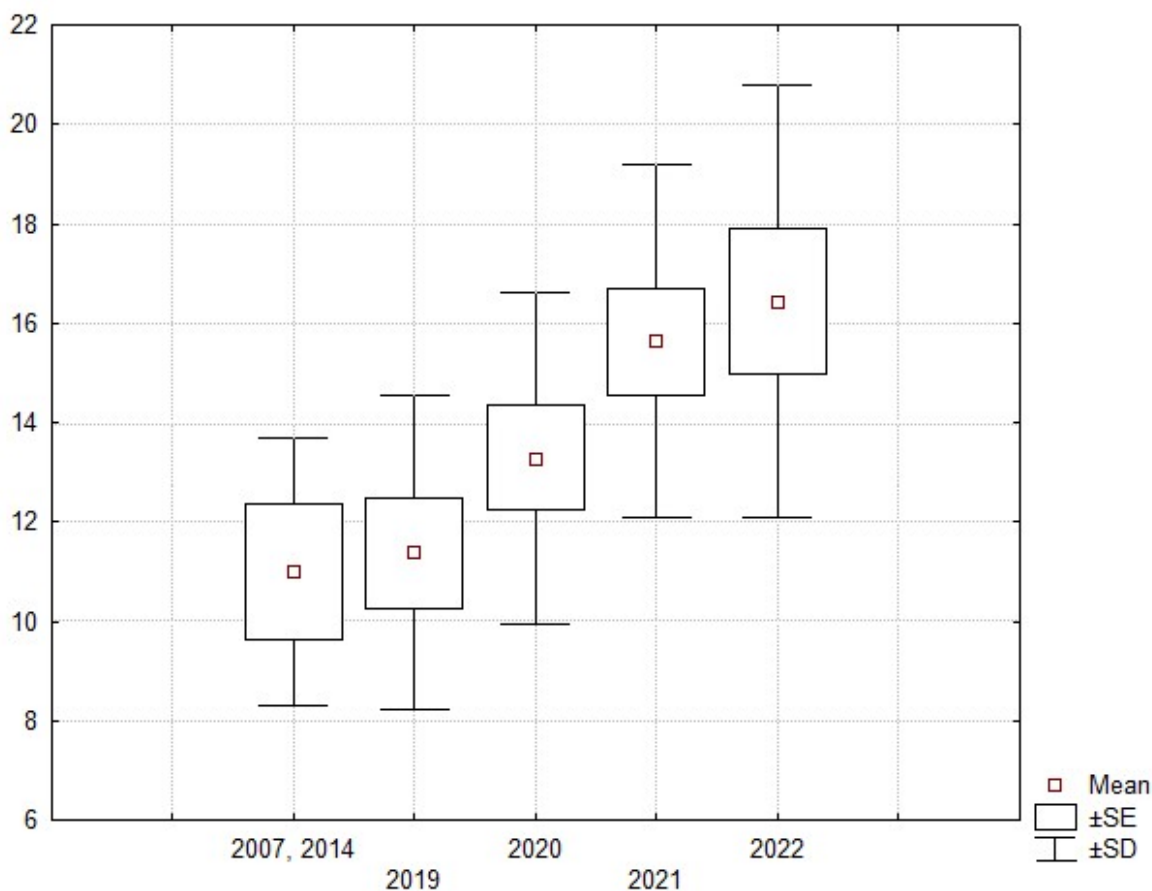


Рис. 3. Среднее число видов в пробе зоопланктона пруда Комсомольского в 2007–2022 гг.

Количественные показатели зоопланктона на протяжении исследованных периодов также не были постоянными. Средние значения численности зоопланктона в период проведения мероприятий по экореконструкции снизились с 273.56 ± 60.70 тыс. экз./м³ до 217.59 ± 91.49 тыс. экз./м³, а биомассы – с 2.18 ± 1.13 г/м³ до 0.82 ± 0.28 г/м³ (Табл. 3). Из таксономических групп зоопланктона по численности и биомассе в 2007 и 2014 гг. преобладали коловратки, а в 2019 г. – ветвистоусые ракообразные. В 2020 г. значения численности и биомассы зоопланктона были низкими и составляли 58.67 ± 15.47 тыс. экз./м³ и 0.48 ± 0.27 г/м³ соответственно (Рис. 4); вероятно, сказались последствия воздействия, оказанного в период проведения работ. В последующие годы количественные показатели существенно увеличились, что может свидетельствовать о постепенном восстановлении сообщества. В период проведения работ наибольший вклад в общую численность и биомассу зоопланктона вносили Cladocera и Copepoda, после их завершения – коловратки.

Структура системы изменяется под воздействием факторов окружающей среды. При этом система тем стабильнее, чем меньше диапазон колебания ее показателей в ответ на изменения внешних воздействий. В относительно простых системах по сравнению с более сложными амплитуда колебаний структурных и функциональных показателей возрастает. Таким образом, изменение диапазона колебаний количественных показателей можно использовать для характеристики степени сложности структуры сообщества и устойчивости системы в целом (Алимов и др., 2013). В качестве такого показателя ранее было предложено использовать вариабельность биомассы (отношение минимальной за вегетационный период биомассы к максимальной (B_{\min}/B_{\max})) (Алимов и др., 2013). Исследования зоопланктона Комсомольского пруда показали, что наибольшая вариабельность биомассы отмечалась в первый год после завершения мероприятий по экореконструкции (Табл. 4). В последующие годы размах колебаний биомассы на протяжении вегетационного периода уменьшился, что говорит об увеличении стабильности системы.

Табл. 3. Средние значения численности и биомассы зоопланктона пруда Комсомольского в 2007–2022 гг.

Таксономическая группа	Год				
	2007, 2014	2019	2020	2021	2022
Численность, тыс. экз./м ³					
Rotifera	199.32 ± 54.91	44.38 ± 18.13	31.12 ± 9.15	55.84 ± 15.03	72.14 ± 30.30
Cladocera	19.52 ± 18.71	105.91 ± 98.22	14.78 ± 7.18	31.05 ± 16.77	10.64 ± 6.43
Copepoda	54.72 ± 19.04	67.31 ± 24.09	12.76 ± 3.37	64.76 ± 22.53	52.59 ± 19.16
Всего	273.56 ± 60.70	217.59 ± 91.49	58.67 ± 15.47	151.66 ± 39.66	135.37 ± 46.85
Биомасса, г/м ³					
Rotifera	1.71 ± 1.15	0.18 ± 0.11	0.12 ± 0.07	0.60 ± 0.22	0.45 ± 0.17
Cladocera	0.05 ± 0.05	0.33 ± 0.28	0.32 ± 0.27	0.33 ± 0.19	0.09 ± 0.04
Copepoda	0.41 ± 0.13	0.32 ± 0.10	0.04 ± 0.01	0.53 ± 0.41	0.22 ± 0.08
Всего	2.18 ± 1.13	0.82 ± 0.28	0.48 ± 0.27	1.47 ± 0.59	0.75 ± 0.20

Табл. 4. Вариабельность биомассы (В min/max) и коэффициент вариации, рассчитанный по численности (CV_N) и биомассе (CV_B) зоопланктона пруда Комсомольского в 2019–2022 гг.

Показатель	Год			
	2019	2020	2021	2022
В min/max	0.036	0.005	0.010	0.022
CV_N , %	119	83	87	104
CV_B , %	97	178	132	81

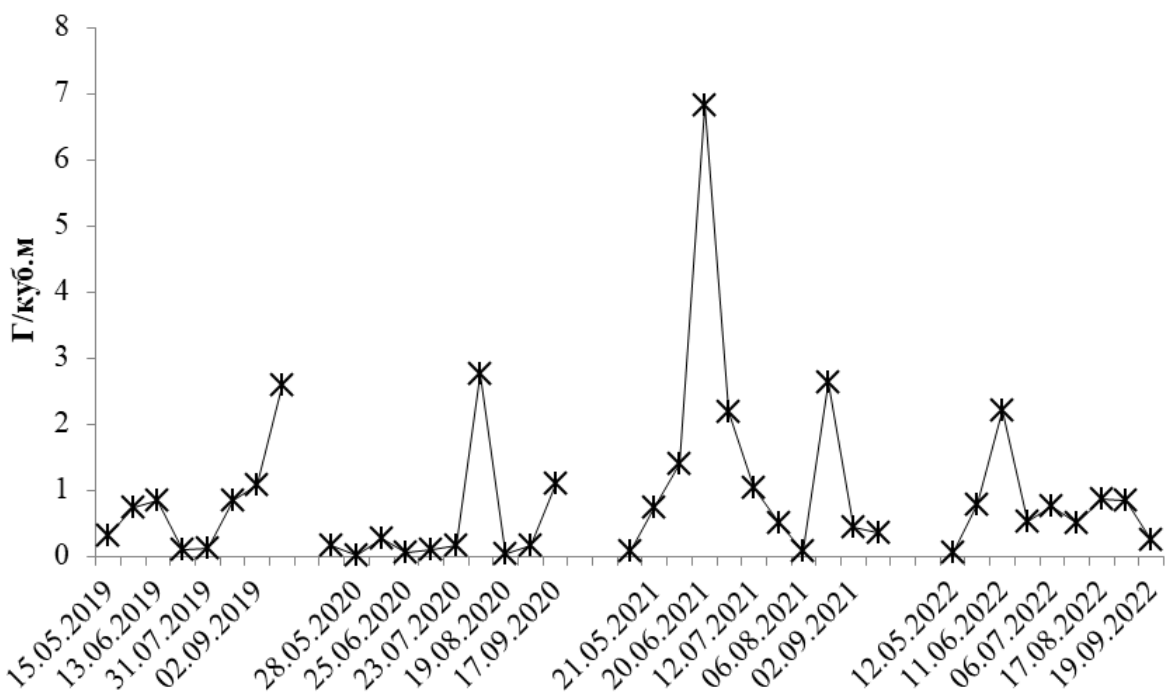
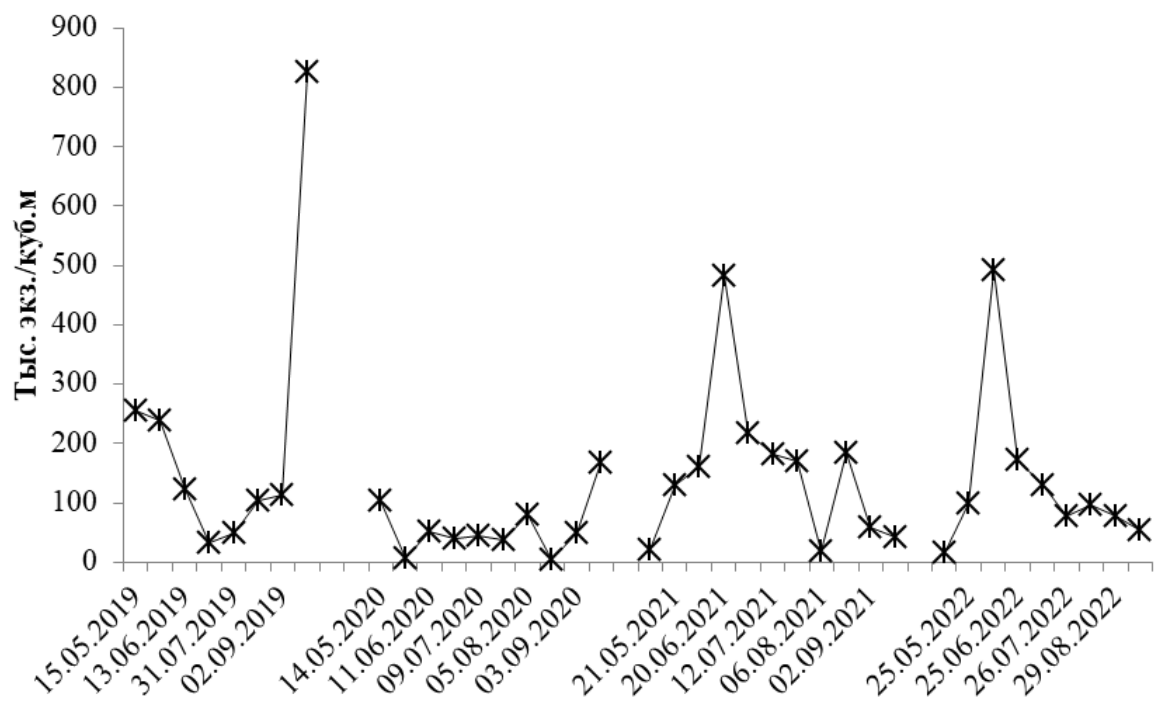


Рис. 4. Численность (тыс. экз./м³) (А) и биомасса (г/м³) (В) зоопланктона в пруду Комсомольском в 2019–2022 гг.

Для оценки изменчивости численности и биомассы зоопланктона был рассчитан коэффициент вариации (CV). В пруду Комсомольском наибольшая изменчивость численности зоопланктона отмечалась в период проведения мероприятий, а биомассы – сразу после их завершения (Табл. 4), что отражало процесс восстановления зоопланктона после оказанного воздействия.

Для оценки сложности структуры сообщества зоопланктона был использован индекс Шеннона. В Комсомольском пруду самые низкие средние значения индекса были до начала и в период проведения мероприятий, причем как по численности (H_N), так и по биомассе (H_B) (Рис. 5). После завершения работ значения индексов увеличились. Средние значения индекса Шеннона соответствовали эвтрофным водоемам (Андроникова, 1996).

Значения индекса сапробности, характеризующие уровень органического загрязнения озера, изменялись от 1.76 ± 0.04 в 2014 г. до 1.63 ± 0.04 в 2022 г., что соответствует β -мезосапробной зоне (III класс качества вод).

Сообщества зоопланктона включают представителей разных систематических групп, и организмы зоопланктона могут принадлежать к нескольким трофическим уровням. Большинство видов коловраток и ветвистоусых ракообразных потребляют пищу растительного происхождения, детрит, бактерий. Многие веслоногие ракообразные относятся к факультативным хищникам, употребляют как животную, так и растительную пищу. Среди планктонных организмов есть и облигатные хищники (Монаков, 1998). Различные виды антропогенного воздействия изменяют структуру сообществ, в том числе и трофическую структуру, что приводит к упрощению трофических сетей, изменению всей экосистемы (Реймерс, 1994). Поэтому по изменениям, происходящим в трофических сетях сообществ зоопланктона в условиях различных воздействий или при их отсутствии, можно косвенно судить о процессах, происходящих в водоеме.

В пруду Комсомольском основные потоки энергии проходят через ветвистоусых ракообразных, но в 2022 г. возросла роль коловраток (Рис. 6). Продукция факультативных хищников-ракообразных невелика, гораздо выше продукция коловраток р. *Asplanchna*, способных питаться как животной, так и растительной пищей. Они утилизируют биомассу, образуемую мелкими коловратками, простейшими и водорослями. Облигатные хищники *L. kindtii* встречались единично, а в первый год после завершения мероприятий не наблюдались. Общая продукция сообщества зоопланктона значительно увеличилась на следующий год, после реализации программы экореконструкции, но через год снова снизилась.

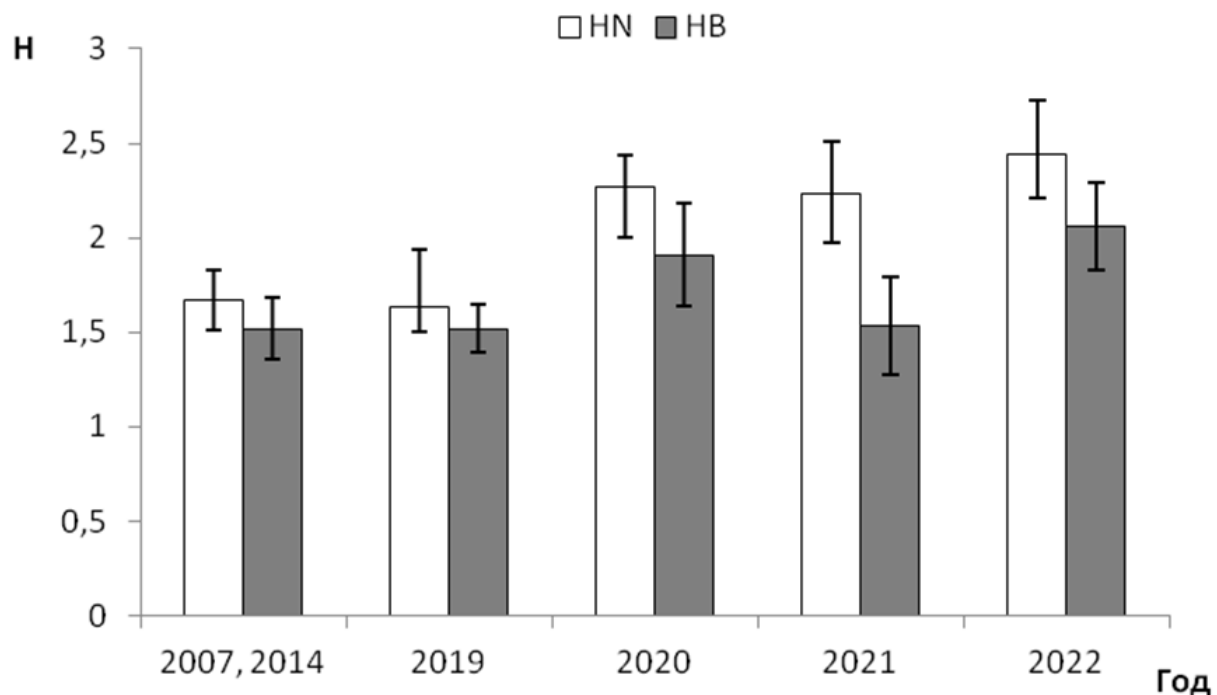


Рис. 5. Средние значения индекса Шеннона, рассчитанные по численности (H_N) и биомассе (H_B) зоопланктона пруда Комсомольского в 2007–2022 гг.

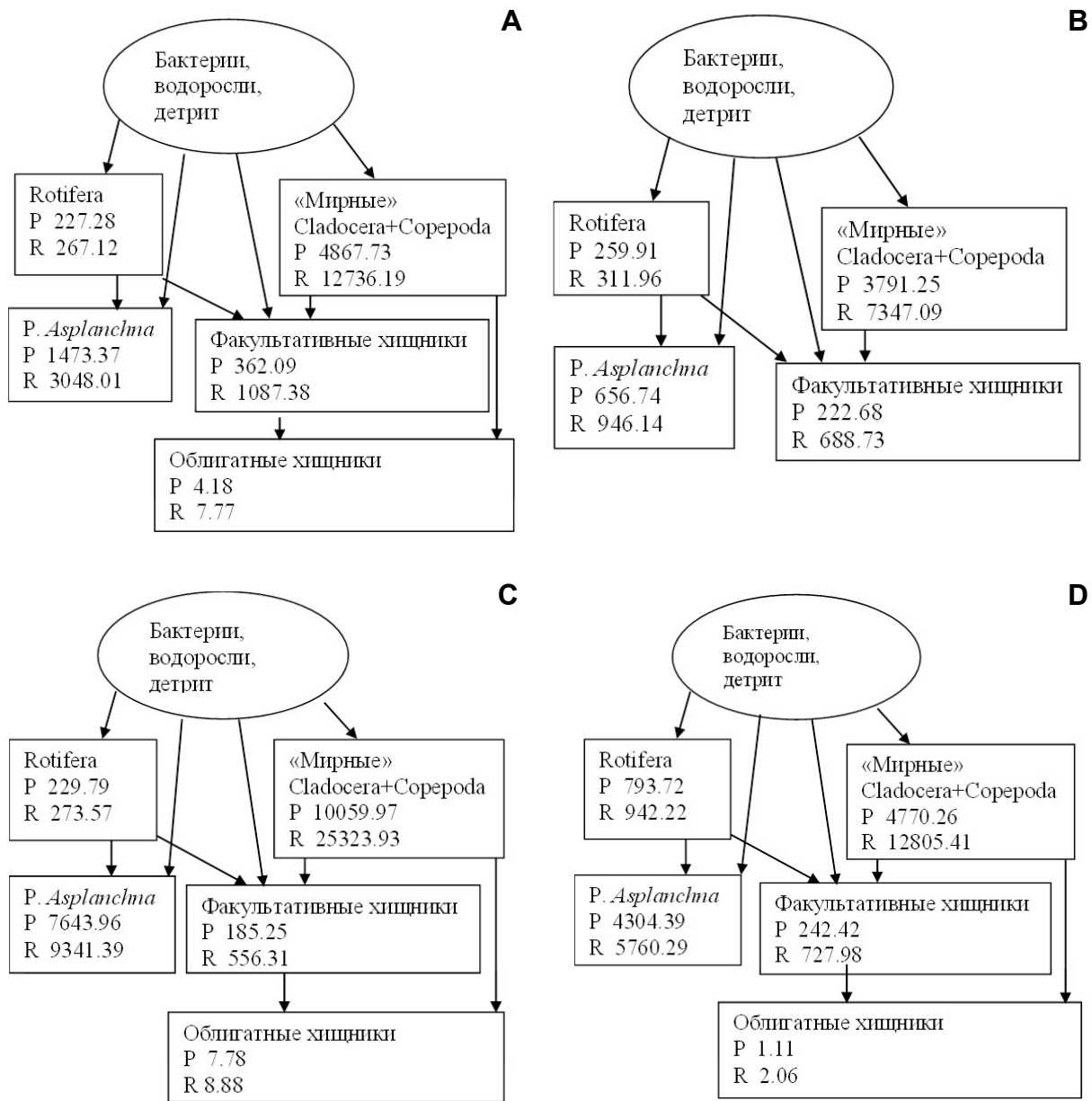


Рис. 6. Схемы трофических сетей в сообществах планктонных коловраток и ракообразных пруда Комсомольского: **A** – в 2019 г., **B** – в 2020 г., **C** – в 2021 г., **D** – в 2022 г. P – продукция за вегетационный период (кал/м³), R – траты на обмен за вегетационный период (кал/м³).

Структура сообщества зоопланктона озера Марьино

В результате исследований зоопланктона оз. Марьино, выполненных до начала мероприятий по экореабилитации (в 2019 г.), был обнаружен 41 вид зоопланктона; после завершения работ это число увеличилось (Табл. 5), преобладали коловратки.

До начала мероприятий среднее число видов, приходящееся на одну пробу, составляло 14.4 ± 1.2 , через год после их завершения – уже 17.1 ± 1.3 (Рис. 7).

Зоопланктонное сообщество, сформировавшееся после завершения мероприятий, было сходно по составу с существовавшим здесь ранее. Индекс сходства составлял 63–69% (Рис. 8).

До начала мероприятий по экореабилитации в озере доминировали науплиальные и копеподитные стадии циклопов, периодически в состав доминирующих входили еще 1–2 вида. Во время проведения работ в состав доминирующего комплекса видов помимо науплиусов и копеподитов входили *B. longirostris* и *Ceriodaphnia pulchella* G.O. Sars, 1862. После завершения мероприятий также доминировали ювенильные стадии циклопов, *C. pulchella* и *K. quadrata*. Значения индекса Шеннона снизились в период проведения мероприятий по экореабилитации, что говорит об упрощении структуры сообщества, в последующие два года его значения увеличились (Рис. 9), хотя различия не всегда были статистически значимыми.

Оз. Марьино до проведения работ отличалось невысокими количественными показателями зоопланктона: его численность составляла 46 ± 12 тыс. экз./м³, а биомасса – 0.004 ± 0.001 г/м³ (Рис. 10), преобладали ветвистоусые ракообразные. В период проведения мероприятий количественные показатели увеличились, средняя численность за вегетационный периода составляла 327.8 ± 145.1 тыс. экз./м³, а биомасса – 3.64 ± 2.59 г/м³.

Максимальные значения численности и биомассы зоопланктона были отмечены 25 июля 2020 г. и достигали 1472 тыс. экз./м³ и 26.6 г/м³ соответственно (Рис. 11). Наибольший вклад вносил один вид – *B. longirostris*, его численность составляла 84% от общей численности, а биомасса – 91% от общей биомассы зоопланктона. В последующие годы летние пики численности и биомассы зоопланктона были существенно ниже, в зоопланктоне преобладали ветвистоусые рачки *C. pulchella*.

Коэффициенты вариации численности и биомассы были самыми высокими в период проведения мероприятий по экореабилитации (Табл. 6). В последующие годы значения этого коэффициента снизились, следовательно, система стала более стабильной.

Значения индекса сапробности изменялись от 1.56 ± 0.03 в 2019 г. до 1.54 ± 0.02 в 2022 г. По величине этого индекса водоем соответствовал β-мезосапробной зоне.

В трофической структуре оз. Марьино, как и в пруду Комсомольском, основные потоки энергии проходят через звено ветвистоусых ракообразных (Рис. 12). Факультативные хищники-ракообразные трансформировали почти вдвое больше энергии по сравнению с коловратками р. *Asplanchna*. Величины продукции и трат на обмен факультативных хищников-ракообразных были существенно выше, чем в пруду Комсомольском. Это может быть связано с высокой степенью

Табл. 5. Число видов (n) в зоопланктоне оз. Марьино в 2019–2022 гг.

Таксономическая группа	Год							
	2019		2020		2021		2022	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Rotifera	17	42	27	55	21	50	27	52
Cladocera	14	34	16	33	14	33	18	35
Copepoda	10	24	6	12	7	17	7	13
Всего	41	100	49	100	42	100	52	100

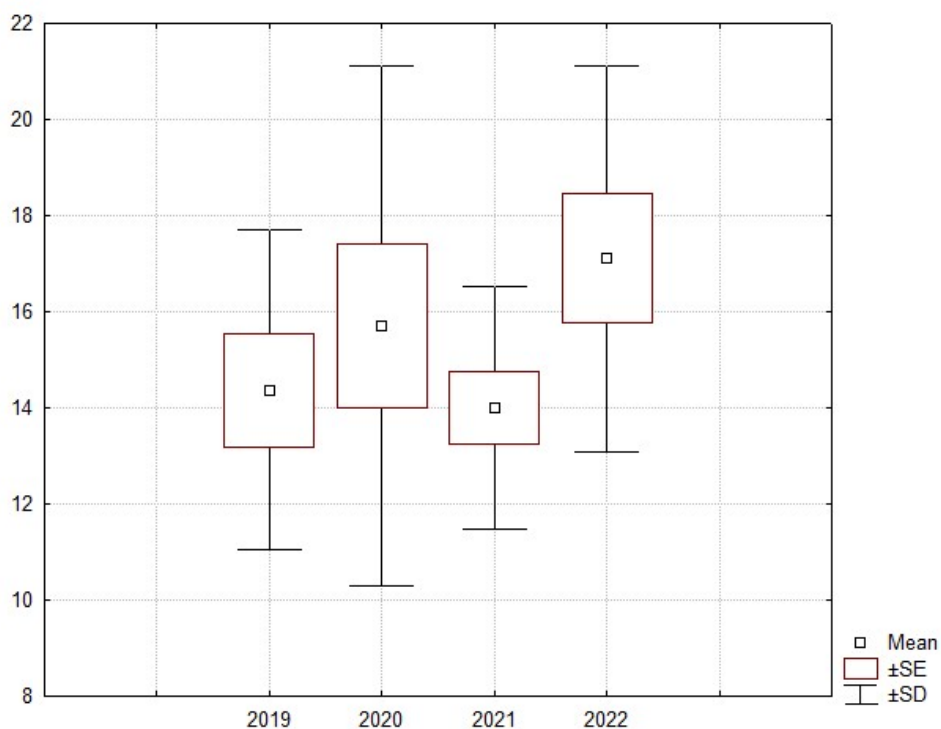


Рис. 7. Среднее число видов зоопланктона на одну пробу в оз. Марьино в разные периоды исследований.

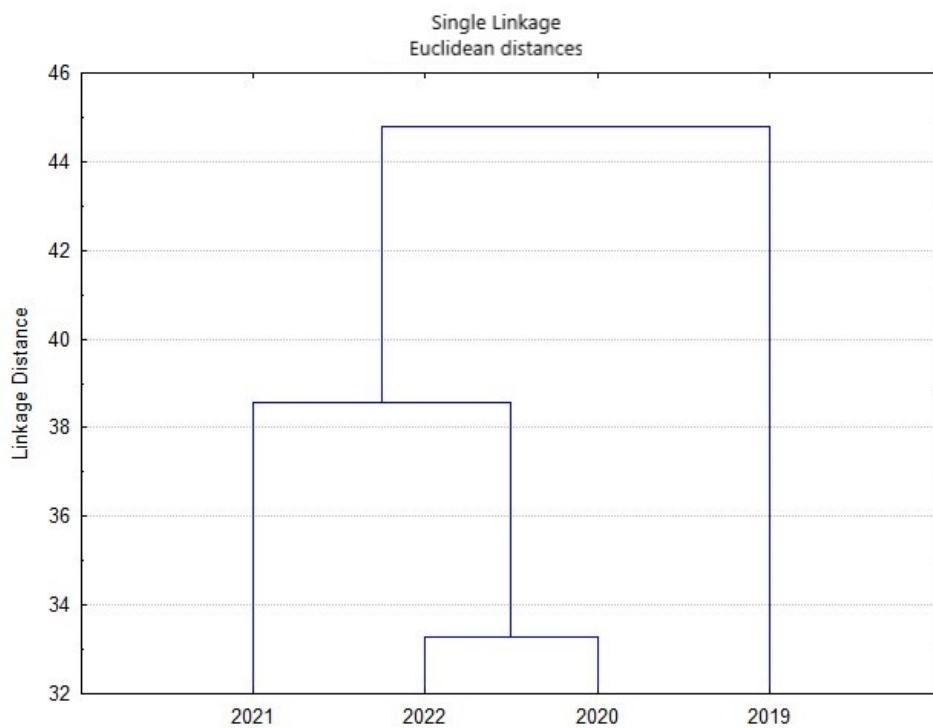


Рис. 8. Дендрограмма сходства видового состава зоопланктона оз. Марьино в 2019–2022 гг.

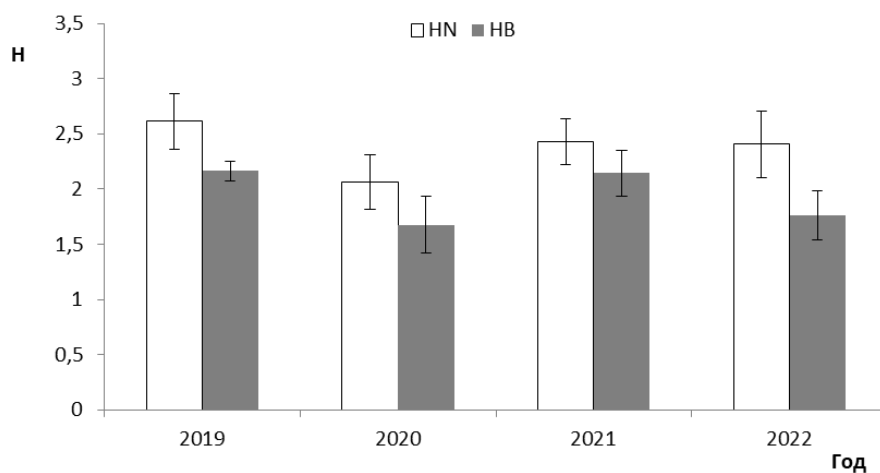


Рис. 9. Значения индекса Шеннона, рассчитанные по численности (H_N) и биомассе (H_B) зоопланктона оз. Марьино в разные годы.

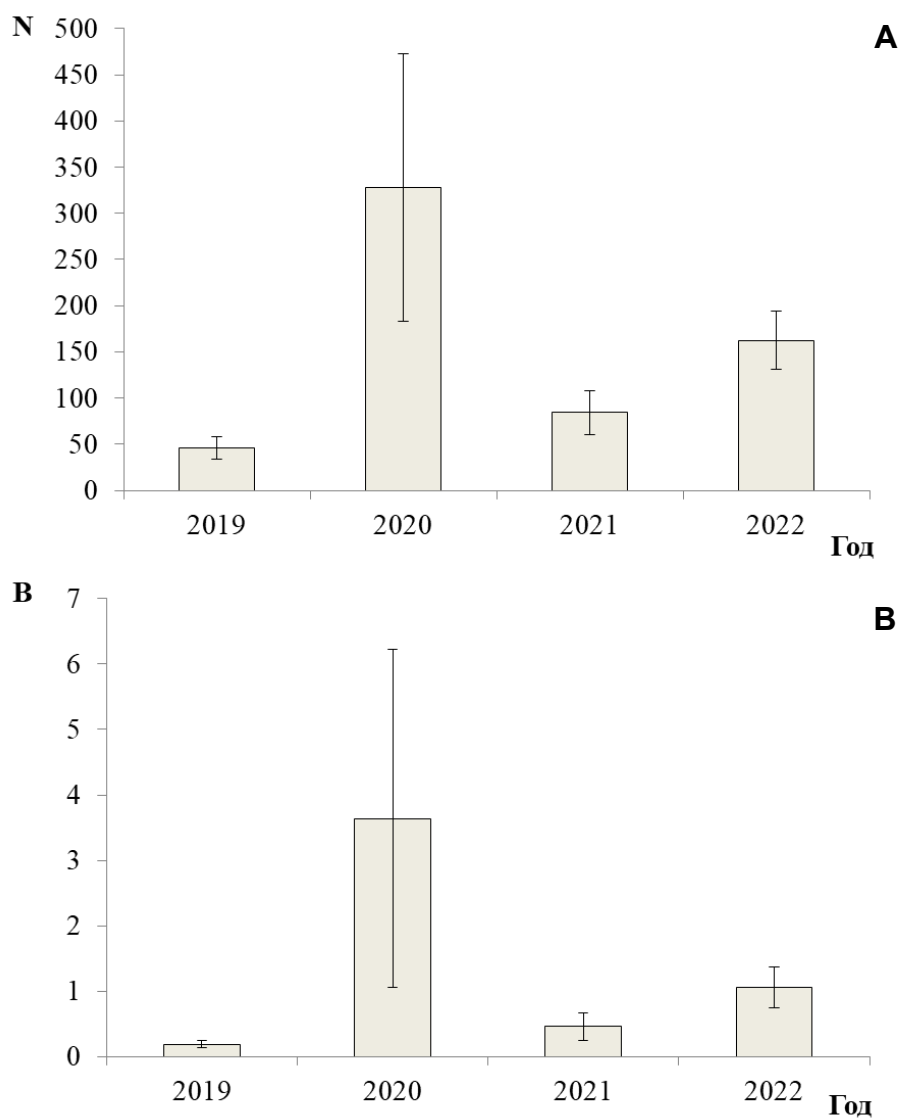


Рис. 10. Средняя численность (N , тыс. экз./м³) (А) и биомасса (B , г/м³) (В) зоопланктона в оз. Марьино в разные годы.

Табл. 6. Вариабельность биомассы ($B_{\min/\max}$) и коэффициент вариации, рассчитанный по численности (CV_N) и биомассе (CV_B) зоопланктона оз. Марьино.

Показатель	Год			
	2019	2020	2021	2022
$B_{\min/\max}$	0.08	0.003	0.016	0.036
CV_N , %	75	140	95	59
CV_B , %	88	225	155	88

зарастания оз. Марьино высшими водными растениями и существенно меньшим развитием фитопланктона по сравнению с Комсомольским прудом. Облигатные хищники в оз. Марьино отсутствовали. В период проведения мероприятий и последующие годы количество трансформируемой зоопланктоном энергии увеличилось.

Обсуждение результатов

Различные виды антропогенного воздействия и вызываемые ими эвтрофирование, загрязнение или acidификация водных объектов обычно приводят к упрощению структуры экосистем в целом и сообществ зоопланктона в частности (Деревенская, 2017; Лазарева, 1994). Снижение трофического статуса водоема обычно приводит к возрастанию биоразнообразия, усложнению структуры сообществ, увеличению числа экосистемных связей. Примеры усложнения экосистем вследствие антропогенного воздействия немногочисленны: это, например, биоманипуляция, а также экореконструкция водных объектов. Если в ходе экореконструкции происходит снижение трофического статуса водоема, то экосистема возвращается к более ранним этапам развития.

С точки зрения общеэкологических законов и принципов биосфера стремится к восстановлению экологического равновесия, а экосистемы – к достижению терминальных или стабильных климаксовых состояний. Теоретически климаксовое сообщество поддерживает само себя неопределенно долго, все внутренние его компоненты уравновешены друг с другом и оно находится в равновесии с физической средой (Одум, 1986). Однако если антропогенные изменения среды превышают возможности восстановления, возвращение в исходное состояние становится невозможным, о чем гласит закон необратимости взаимодействия «человек-биосфера» (Реймерс, 1994). В соответствии с этим же законом происходит и экореконструкция водных объектов. Антропогенное воздействие, которое оказывается на водную экосистему в ходе экореконструкции, изменяет направленность процессов, и экосистема приобретает иные структурные и функциональные характеристики, обычно соответствующие тем, которые были на более ранних этапах ее развития. При осуществлении проектов восстановления водных объектов необходимо не только понизить трофический статус или снизить количество поступающих в водоемы загрязняющих веществ, но и добиться устойчивости экосистемы в новых измененных условиях.

Исследования водоемов города Казани, на которых проводились мероприятия по экореконструкции, показали, что в обоих случаях наблюдалось снижение трофического статуса водоемов. Проведенные работы вызвали серьезные изменения в экосистемах этих водоемов, что отразилось на видовой структуре сообществ зоопланктона; его видовое богатство увеличилось. Исследования показали, что прежний видовой состав восстанавливается, но не в полном объеме. Восстановление зоопланктонных сообществ в водоемах, для которых проводится экореконструкция, происходит за счет поступления покоящихся стадий организмов с территории водосбора, заноса водоплавающими птицами, выхода из донных отложений. В первый год после завершения мероприятий наблюдалась частая смена доминирующих видов, монодоминирование. В последующие годы уже образуются комплексы из доминирующих видов, два–три вида доминируют более-менее длительное время или периодически возвращаются в состав доминирующих. Количественные показатели зоопланктона увеличились незначительно или не изменились. Отмечался большой размах колебаний количе-

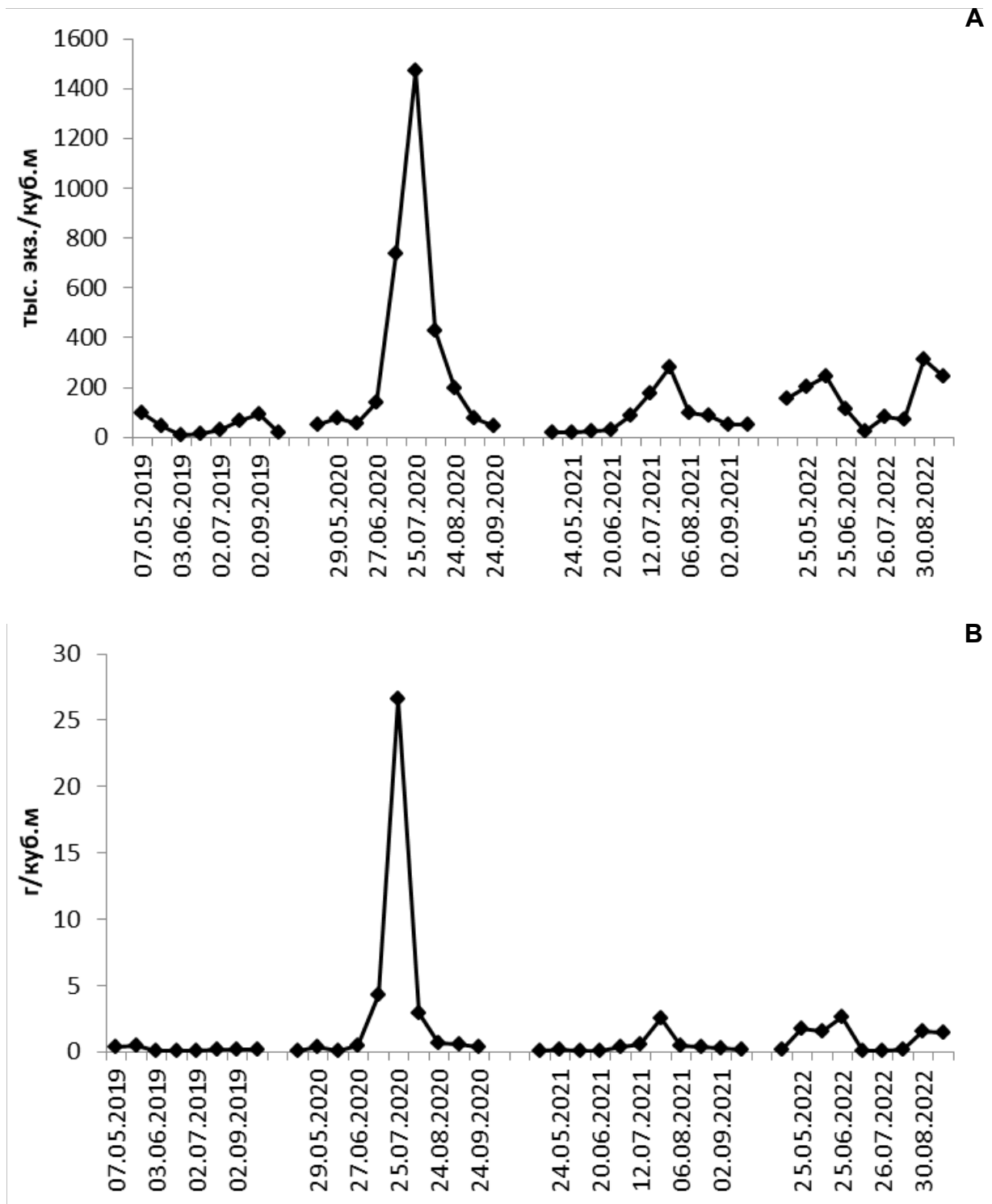


Рис. 11. Динамика численности (N, тыс. экз./м³) (A) и биомассы (B, г/м³) (B) зоопланктона оз. Марьино в 2019–2022 гг.

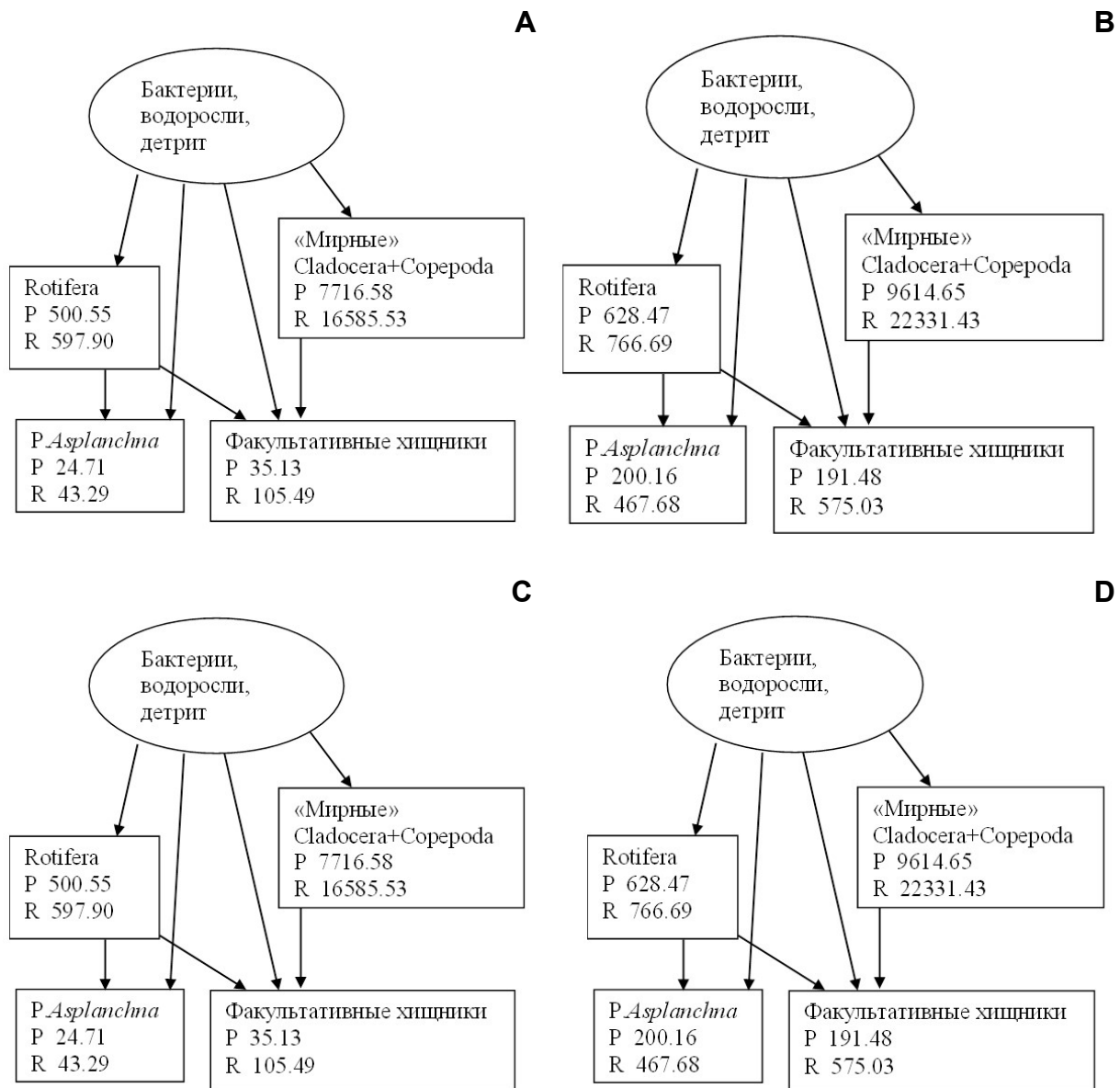


Рис. 12. Схемы трофических сетей в сообществах планктонных коловраток и ракообразных озера Марьино: **A** – в 2019 г., **B** – в 2020 г., **C** – в 2021 г., **D** – в 2022 г. P – продукция за вегетационный период (кал/м³), R – траты на обмен за вегетационный период (кал/м³).

ственных показателей на протяжении вегетационного периода и по годам, высокая вариабельность биомассы во время воздействия работ по экорееабилитации и в первый год после их завершения. Через год структура сообществ усложнилась, они стали более стабильными. После завершения мероприятий увеличился поток энергии, трансформируемый сообществами зоопланктона. Сапробный статус озер после экорееабилитации почти не изменился. Дальнейшее направление развития сообществ зависит от величины антропогенной нагрузки, поэтому необходим мониторинг текущего состояния водоемов, так как могут потребоваться дополнительные биотехнические мероприятия.

Выводы

1) После проведения работ по экорееабилитации число видов зоопланктона, выявленных в пруду Комсомольском, увеличилось с 30 до 48. По численности наиболее часто доминировали *A. girodi*, *A. priodonta*, *F. longiseta*, *K. quadrata*, по биомассе – *A. girodi*, *A. priodonta*, *E. gracilis*, *M. leuckarti*. В озере Марьино за тот же период число выявленных видов увеличилось с 41 до 52, преобладали коловратки. По численности наиболее часто доминировали *K. quadrata*, *C. pulchella*, *B. longirostris*, по биомассе – *C. pulchella*.

2) Наименьшие значения численности и биомассы зоопланктона наблюдались в период выполнения работ по экорееабилитации, в последующие годы численность и биомасса постепенно увеличивались. Выявлена флуктуация их значений по годам. Во время проведения мероприятий по экорееабилитации и непосредственно после их завершения наблюдалась наибольшая изменчивость численности и биомассы на протяжении вегетационного периода и наибольшая вариабельность биомассы. Постепенно размах колебаний снизился, сообщества стали более стабильными.

3) После завершения мероприятий по экорееабилитации увеличилось видовое разнообразие зоопланктона. По значениям индекса сапробности вода в водоемах Комсомольском и Марьино относилась к β -мезосапробной зоне.

4) В трофических цепях зоопланктона оз. Марьино отсутствуют облигатные хищники; в пруду Комсомольском они встречаются единично, существенного вклада в трансформацию энергии не вносят. Основные потоки энергии проходят через звенья ветвистоусых ракообразных и коловраток. После мероприятий по экорееабилитации произошло увеличение продукции сообществ зоопланктона.

Список литературы

- Алимов, А.Ф., Богатов, В.В., Голубков, С.М., 2013. Продукционная гидробиология. Наука, Санкт-Петербург, Россия, 339 с.
- Андроникова, И.Н., 1996. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. Наука, Санкт-Петербург, Россия, 189 с.
- Герасимов, Ю.Л., Шабанова, А.В., 2018. Ракообразные и коловратки пруда у ТЦ «Пирамида» (г. Самара) после мелиорации пруда. *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация* **1**, 64–72.
- Гутельмахер, Б.Л., Садчиков, А.П., Филиппова, Т.Г., 1988. Питание зоопланктона. *Итоги науки и техники. Серия Общая экология. Биоценология. Гидробиология* **6**, 1–156.
- Деревенская, О.Ю., 2017. Сообщество зоопланктона озера Лебяжье (г. Казань) в изменяющихся условиях. *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки* **159** (1), 108–121.
- Деревенская, О.Ю., Галлямова, Р.Р., 2021. Оценка восстановления сообщества зоопланктона озера Чишмяле после мероприятий по экорееабилитации. *Принципы экологии* **10** (2), 3–13.
- Деревенская, О.Ю., Уразаева, Н.А., 2020. Оценка восстановления сообществ зоопланктона озер системы Лебяжье после проведения мероприятий по экорееабилитации. *Экосистемы* **23**, 48–58.
- Иванова, М.Б., 1999. Изменение трофической структуры мезозоопланктона бессточных озер при воздействии антропогенных факторов. В: Алимов, А.Ф., Иванова, М.Б. (ред.), *Структурно-*

функциональная организация пресноводных экосистем разного типа (Труды Зоологического института РАН. Т. 279). ЗИН РАН, Санкт-Петербург, Россия, 179–194.

Крылов, П.И., 1989. Питание пресноводного хищного зоопланктона. *Итоги науки и техники. Серия Общая экология. Биоценология. Гидробиология* 7, 1–145.

Кутикова, Л.А., 1970. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria. Наука, Ленинград, СССР, 744 с.

Лазарева, В.И., 1994. Трансформация сообществ зоопланктона малых озер при закислении. В: Комов, В.Т. (ред.), *Структура и функционирование экосистем кислотных озер*. Наука, Санкт-Петербург, Россия, 150–169.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция, 1982. Винберг, Г.Г., Лаврентьева, Г.М. (ред.). ГосНИОРХ, Ленинград, СССР, 33 с.

Мингазова, Н.М., Деревенская, О.Ю., Палагушкина, О.В., Павлова, Л.Р., Набеева, Э.Г. и др., 2008. Биоразнообразие водных объектов г. Казани. *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки* 150 (4), 252–260.

Мингазова, Н.М., Деревенская, О.Ю., Палагушкина, О.В., Павлова, Л.Р., Набеева, Э.Г. и др., 2014. Инвентаризация и экологическая паспортизация водных объектов как способ сохранения и оптимизации их состояния. *Астраханский вестник экологического образования* 2, 32–38.

Монаков, А.В., 1998. Питание пресноводных беспозвоночных. Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия, 319 с.

Одум, Ю., 1986. Экология. Т. 1. Мир, Москва, Россия, 328 с.

Реймерс, Н.Ф., 1994. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). Россия Молодая, Москва, Россия, 367 с.

Романенко, В.Д., Оксуюк, О.П., Жукинский, В.Н., Стольберг, Ф.В., Лаврик, В.И., 1990. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты. Наукова думка, Киев, СССР, 256 с.

Anton-Pardo, M., Olmo, C., Soria, J., Armengol, X., 2013. Effect of restoration on zooplankton community in a permanent interdunal pond. *International Journal of Limnology* 49, 97–106.

Bolduc, P., Bertolo, A., Pinel-Alloul, B., 2016. Does submerged aquatic vegetation shape zooplankton community structure and functional diversity? A test with a shallow fluvial lake system. *Hydrobiologia* 778, 151–165. <http://www.doi.org/10.1007/s10750-016-2663-4>

Celewicz-Goødyn, S., Kuczyńska-Kippen, N., 2017. 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* 12 (5), e0177317. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177317>

Cereghino, R., Biggs, J., Oertli, B., Declerck, S., 2008a. The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. *Hydrobiologia* 597, 19–27.

Cereghino, R., Ruggiero, A., Marty, P., Ange´libert, S., 2008b. Biodiversity and distribution patterns of freshwater invertebrates in farm ponds of a southwestern French agricultural landscape. *Hydrobiologia* 597, 43–51.

- Kuczyńska-Kippen, N., Joniak, T., 2016. Zooplankton diversity and macrophyte biometry in shallow water bodies of various trophic state. *Hydrobiologia* **774**, 39–51. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2595-4>
- Mansfield, R., Williams, A., Hendry, K., White, K., 2014. Drivers of change in a redeveloped urban lake: long term trends in a simplified system. *Fundamental and Applied Limnology* **185** (1), 91–105.
- Pinel-Alloul, B., Mimouni, E., 2013. Are cladoceran diversity and community structure linked to spatial heterogeneity in urban landscapes and pond environments? *Hydrobiologia* **715**, 195–212.
- Shannon, C.E., Weaver, W., 1949. The mathematical theory of communication. The University of Illinois Press, Urbana, USA, 117 p.
- Sladěček, V., 1973. System of water quality from biological point of view. *Egetnishe der Limnologie* **7**, 1–218.
- Sorensen, T., 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analysis of the vegetation on Danish commons. *Det Kongelige Danske videnskabernes selskab biologiske skrifter* **5** (4), 1–34.
- Stefanidis, K., Papastergiadou, E., 2010. Influence of hydrophyte abundance on the spatial distribution of zooplankton in selected lakes in Greece. *Hydrobiologia* **656**, 55–65. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0435-0>

References

- Alimov, A.F., Bogatov, V.V., Golubkov, S.M., 2013. Produktionnaya gidrobiologiya [Production hydrobiology]. Nauka, St. Petersburg, Russia, 339 p. (In Russian).
- Andronikova, I.N., 1996. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem [Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems]. Nauka, St. Petersburg, Russia, 189 p. (In Russian).
- Anton-Pardo, M., Olmo, C., Soria, J., Armengol, X., 2013. Effect of restoration on zooplankton community in a permanent interdunal pond. *International Journal of Limnology* **49**, 97–106.
- Bolduc, P., Bertolo, A., Pinel-Alloul, B., 2016. Does submerged aquatic vegetation shape zooplankton community structure and functional diversity? A test with a shallow fluvial lake system. *Hydrobiologia* **778**, 151–165. <http://www.doi.org/10.1007/s10750-016-2663-4>
- Celewicz-Goødyn, S., Kuczyńska-Kippen, N., 2017. 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* **12** (5), e0177317. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177317>
- Cereghino, R., Biggs, J., Oertli, B., Declerck, S., 2008a. The ecology of European ponds: defining the characteristics of a neglected freshwater habitat. *Hydrobiologia* **597**, 19–27.
- Cereghino, R., Ruggiero, A., Marty, P., Ange'libert, S., 2008b. Biodiversity and distribution patterns of freshwater invertebrates in farm ponds of a southwestern French agricultural landscape. *Hydrobiologia* **597**, 43–51.
- Derevenskaya, O.Yu., 2017. Soobshchestvo zooplanktona ozera Lebiash'e (g. Kazan') v izmeniaiushchikhsia usloviakh [Zooplankton community of Lake Lebyazhye (Kazan) under changing conditions]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya estestvennye nauki [Scientific notes of Kazan University. Natural Sciences Series]* **159** (1), 108–121. (In Russian).

- Derevenskaya, O.Yu., Galliamova, R.R., 2021. Otsenka vosstanovleniia soobshchestva zooplanktona ozera Chishmyale posle meropriiati po ekoreabilitatsii [Assessment of the restoration of the zooplankton community of Lake Chishmyale after eco-rehabilitation activities]. *Printsipy ekologii [Principles of Ecology]* **10** (2), 3–13. (In Russian).
- Derevenskaya, O.Yu., Urazaeva, N.A., 2020. Otsenka vosstanovleniia soobshchestv zooplanktona ozer sistemy Lebiash'e posle provedeniia meropriiati po ekoreabilitatsii [Assessment of the restoration of zooplankton communities in lakes of the Lebyazhye system after eco-rehabilitation activities]. *Ekosistemy [Ecosystems]* **23**, 48–58. (In Russian).
- Gerasimov, Yu.L., Shabanova, A.V., 2018. Rakoobraznye i kolovratki pruda u TTs «Piramida» (g. Samara) posle melioratsii pruda [Crustaceans and rotifers of the pond near the Piramida shopping center (Samara) after pond reclamation]. *Vestnik VGU. Seriya Khimiia. Biologiya. Farmatsiia [Bulletin of Voronezh State University. Series Chemistry. Biology. Pharmacy]* **1**, 64–72. (In Russian).
- Gutel'makher, B.L., Sadchikov, A.P., Filippova, T.G., 1988. Pitanie zooplanktona [Zooplankton feeding]. *Itogi nauki i tekhniki. Seriya Obshchaia ekologiya. Biotsenologiya. Gidrobiologiya [Results of Science and Technology. Series General Ecology. Biocenology. Hydrobiology]* **6**, 1–156. (In Russian).
- Ivanova, M.B., 1999. Izmenenie troficheskoi struktury mezozooplanktona besstochnykh ozer pri vozdeistvii antropogennykh faktorov [Changes in the trophic structure of mesozooplankton in drainless lakes under the influence of anthropogenic factors]. In: Alimov, A.F., Ivanova, M.B. (eds.), *Strukturno-funktsional'naia organizatsiia presnovodnykh ekosistem raznogo tipa (Trudy Zoologicheskogo instituta RAN. T. 279) [Structural and functional organization of freshwater ecosystems of various types (Proceedings of the Zoological institute RAS. Vol. 279)]*. Zoological institute RAS, St. Petersburg, Russia, 179–194. (In Russian).
- Krylov, P.I., 1989. Pitanie presnovodnogo khishchnogo zooplanktona [Nutrition of freshwater predatory zooplankton]. *Itogi nauki i tekhniki. Seriya Obshchaia ekologiya. Biotsenologiya. Gidrobiologiya [Results of Science and Technology. Series General ecology. Biocenology. Hydrobiology]* **7**, 1–145. (In Russian).
- Kuczyńska-Kippen, N., Joniak, T., 2016. Zooplankton diversity and macrophyte biometry in shallow water bodies of various trophic state. *Hydrobiologia* **774**, 39–51. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2595-4>
- Kutikova, L.A., 1970. Rotifers of the fauna of the USSR (Rotatoria). Subclass Eurotatoria [Rotifers of the fauna of the USSR (Rotatoria). Subclass Eurotatoria]. Nauka, Leningrad, USSR, 744 p. (In Russian).
- Lazareva, V.I., 1994. Transformatsiia soobshchestv zooplanktona malyykh ozer pri zakislenii. [Transformation of zooplankton communities in small lakes during acidification]. In: Komov, V.T. (ed.), *Struktura i funkcionirovanie jekosistem acidnykh ozer [Structure and functioning of ecosystems of acid lakes]*. Nauka, St. Petersburg, Russia, 150–169. (In Russian).
- Mansfield, R., Williams, A., Hendry, K., White, K., 2014. Drivers of change in a redeveloped urban lake: long term trends in a simplified system. *Fundamental and Applied Limnology* **185** (1), 91–105.
- Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh. Zooplankton i ego produktsiia [Guidelines for the collection and processing of materials for hydrobiological studies in freshwater reservoirs. Zooplankton and its products], 1982. Vinberg, G.G., Lavrentyeva, G.M. (eds.). State Research Institute of Lake and River Fisheries (GosNIORKh), Leningrad, USSR, 33 p. (In Russian).
- Mingazova, N.M., Derevenskaya, O.Yu., Palagushkina, O.V., Pavlova, L.R., Nabeeva, E.G. et al., 2008. Bioraznoobrazie vodnykh ob'ektov g. Kazani [Biodiversity of water bodies in Kazan]. *Uchenye zapiski*

Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennyye nauki [Scientific notes of Kazan University. Series Natural Sciences] **150** (4), 252–260. (In Russian).

Mingazova, N.M., Derevenskaya, O.Yu., Palagushkina, O.V., Pavlova, L.R., Nabeeva, et al, 2014. Inventarizatsiia i ekologicheskaiia pasportizatsiia vodnykh ob'ektov kak sposob sokhraneniia i optimizatsii ikh sostoiianiia [Inventory and environmental certification of water bodies as a way to preserve and optimize their condition]. *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniia [Astrakhan Bulletin of Environmental Education]* **2**, 32–38. (In Russian).

Monakov, A.V., 1998. Pitanie presnovodnykh bespozvonochnykh [Nutrition of freshwater invertebrates]. Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia, 319 p. (In Russian).

Odum, Yu., 1986. *Ekologiya. T. 1 [Ecology. Vol. 1]*. Mir, Moscow, Russia, 328 p. (In Russian).

Pinel-Alloul, B., Mimouni, E., 2013. Are cladoceran diversity and community structure linked to spatial heterogeneity in urban landscapes and pond environments? *Hydrobiologia* **715**, 195–212.

Reimers, N.F., 1994. *Ekologiya (teorii, zakony, pravila, printsipy i gipotezy) [Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses)]*. Rossiia Molodaia, Moscow, Russia, 367 p. (In Russian).

Romanenko, V.D., Oksiyuk, O.P., Zhukinsky, V.N., Stolberg, F.V., Lavrik, V.I., 1990. *Ekologicheskaya otsenka vozdeistviia gidrotekhnicheskogo stroitel'stva na vodnye ob'ekty [Environmental assessment of the impact of hydrotechnical construction on water bodies]*. Naukova Dumka, Kiev, USSR, 256 p. (In Russian).

Shannon, C.E., Weaver, W., 1949. *The mathematical theory of communication*. The University of Illinois Press, Urbana, USA, 117 p.

Sladeček, V., 1973. System of water quality from biological point of view. *Egetnisse der Limnologie* **7**, 1–218.

Sorensen, T., 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analysis of the vegetation on Danish commons. *Det Kongelige Danske videnskabernes selskab biologiske skrifter* **5** (4), 1–34.

Stefanidis, K., Papastergiadou, E., 2010. Influence of hydrophyte abundance on the spatial distribution of zooplankton in selected lakes in Greece. *Hydrobiologia* **656**, 55–65. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0435-0>