научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ
http://ecopri.ru

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
http://petrsu.ru

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

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

http://ecopri/ru

№ 3 (61). Сентябрь, 2026

Главный редактор
А. В. Коросов

Редакционный совет
В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

Редакционная коллегия
Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugołek
В. Н. Якимов
А. В. Сонина

Службы поддержки
Н. А. Марфицына
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

12+

© ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»

научный электронный журнал
ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ
http://ecopri.ru

ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
http://petrsu.ru

УДК 574.583

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СООБЩЕСТВ ЗООПЛАНКТОНА ШУВАЛОВСКОГО КАНАЛА НИЖНЕГО НОВГОРОДА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ РЕКУЛЬТИВИРОВАННОГО ПОЛИГОНА ТКО

БУБНОВ Виктор Андреевич — *ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 603022, Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23, viktor.bubnov03@mail.ru*

ГАВРИЛКО Дмитрий Евгеньевич — *кандидат биологических наук, ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 603022, Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23, dima_gavrilko@mail.ru*

СТАРЦЕВА Наталья Александровна — *кандидат биологических наук, ФГАОУ ВО Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, 603022, Нижний Новгород, проспект Гагарина, 23, startseva@bio.unn.ru*

Ключевые слова:
коловратки
ракообразные
сезонная сукцессия
видовое разнообразие
функциональное разнообразие
анализ избыточности

Аннотация: В условиях городской среды водные объекты подвергаются комплексному антропогенному загрязнению. Полигоны твердых коммунальных отходов (ТКО) обладают широким спектром воздействия на водные экосистемы, поскольку содержат большое количество органических и неорганических загрязняющих веществ. Однако отклик гидробиоценозов на данное влияние изучен крайне слабо. В работе дана характеристика видовой и функциональной структуры сообществ зоопланктона участка Шуваловского канала, находящегося под воздействием рекультивированного полигона ТКО. Отбор проб проводили с июня по сентябрь 2023 г. на двух участках канала, выше и ниже полигона. Установлено, что на участке ниже полигона повышены значения хлорофилла а, общей минерализации, концентрации общего железа и марганца и снижена прозрачность воды. Показаны различия в сезонной сукцессии сообществ зоопланктона между двумя участками канала. Под влиянием полигона в сообществе зоопланктона снижалось видовое богатство и разнообразие, наблюдалось угнетение кладоцер и сдвиг функциональной структуры в сторону хищников при снижении общего функционального разнообразия. Высокие значения индекса отношения биомассы Cyclopoida к Calanoida на участке ниже полигона в течение сезона свидетельствуют о сильном эвтрофировании. Продолжающееся воздействие рекультивированного полигона демонстрирует необходимость проведения мониторинговых исследований за состоянием экосистемы водотока.

© Петрозаводский государственный университет
©Бубнов В. А., Гаврилко Д. Е., Старцева Н. А.

Получена: 02 июля 2026 года **Подписана к печати**: 27 сентября 2026 года

Введение

Загрязнение водных экосистем вызывает глубокие структурные и функциональные нарушения гидробиоценозов. Накопление токсичных веществ, включая тяжелые металлы и ксенобиотики, приводит к деградации трофических цепей, снижению биоразнообразия, нарушению биохимических процессов и отклонениям в работе репродуктивных функций у гидробионтов (Андроникова, 1996; Деревенская, Мингазова, 1998; Stamenković et al., 2021). Опасность представляют также антропогенное эвтрофирование, вызванное избытком азота и фосфора (Smith, Schindler, 2009), и накопление стойких органических загрязнителей, способных к биоаккумуляции в трофических цепях (Морозов и др., 2022). Эти процессы могут сопровождаться образованием токсичных донных отложений и развитием гипоксии (Тищенко и др., 2020; Павленко и др., 2022).

Полигоны твердых коммунальных отходов служат постоянными источниками комплексного загрязнения водных объектов. Одним из главных факторов негативного влияния свалок отходов на окружающую среду является выделение жидкой фракции и вымывание растворимых веществ атмосферными осадками в поверхностные и подземные водные объекты (Василискова и др., 2023; Гудкова и др., 2024). Свалочный фильтрат содержит широкий спектр опасных соединений: от тяжелых металлов и органических веществ до микропластика и фармацевтических препаратов (Kjeldsen et al., 2002; Przydatek et al., 2025). Даже после рекультивации сохраняется риск длительного загрязнения грунтовых вод, особенно в условиях влажного климата, поскольку фильтрат полигонов ТКО может сохранять высокую токсичность десятилетиями, вызывая хроническое загрязнение прилегающих водоемов (Karlsson et al., 2021).

Организмы зоопланктона демонстрируют высокую чувствительность к загрязнению, что делает их ценными биоиндикаторами (Вандыш, 2004; Cabral et al., 2020; Li et al., 2025). Тяжелые металлы и токсичные органические соединения угнетают репродуктивную функцию коловраток и кладоцер, снижая их численность и видовое богатство (Брагинский, 2003; Черкашин, 2005). Кислотные стоки (pH < 5) вызывают гибель чувствительных видов и нарушение трофических связей. Хроническое воздействие приводит к доминированию толерантных видов, упрощению структуры сообществ и снижению их устойчивости (Алимов, 1994; Андроникова, 2011). При этом данные о влиянии рекультивированных полигонов ТКО на сообщества зоопланктона в научной литературе практически отсутствуют.

Шуваловский канал, расположенный в Ленинском районе г. Нижнего Новгорода, является искусственным водотоком – притоком второго порядка р. Оки, созданным на месте бывшей озерной системы путем соединения озер между собой. В прилегающей к верхнему течению канала промзоне с 1970-х по 2016 год функционировал полигон твердых коммунальных отходов площадью 17.9 га с накопленным объемом отходов 916.5 тыс. м^3, который в 2022 г. был рекультивирован посредством сепарации свалочных масс, химической обработки рекультивационного грунта с доведением до 5-го класса опасности и укладки 20-сантиметрового растительного слоя (Рекультивация…, 2021). Исследования зоопланктона Шуваловского канала начались в рамках создания экологических паспортов водных объектов в 2000 г. (Гелашвили и др., 2005). Однако участок рядом с полигоном ТКО паспортизацией затронут не был. Поэтому отсутствуют сведения о том, как рекультивация полигона повлияла на сообщества зоопланктона.

Целью работы была характеристика видовой и функциональной структуры сообществ зоопланктона Шуваловского канала в зоне влияния рекультивированного полигона ТКО.

Материалы

Исследования зоопланктона проводили на двух участках Шуваловского канала, расположенных выше (станции 1–4) и ниже (станции 5–7) по течению относительно рекультивированного полигона ТКО. Отбор проб проводили при единовременных съемках в июне, июле, августе и сентябре 2023 г. (рис. 1).

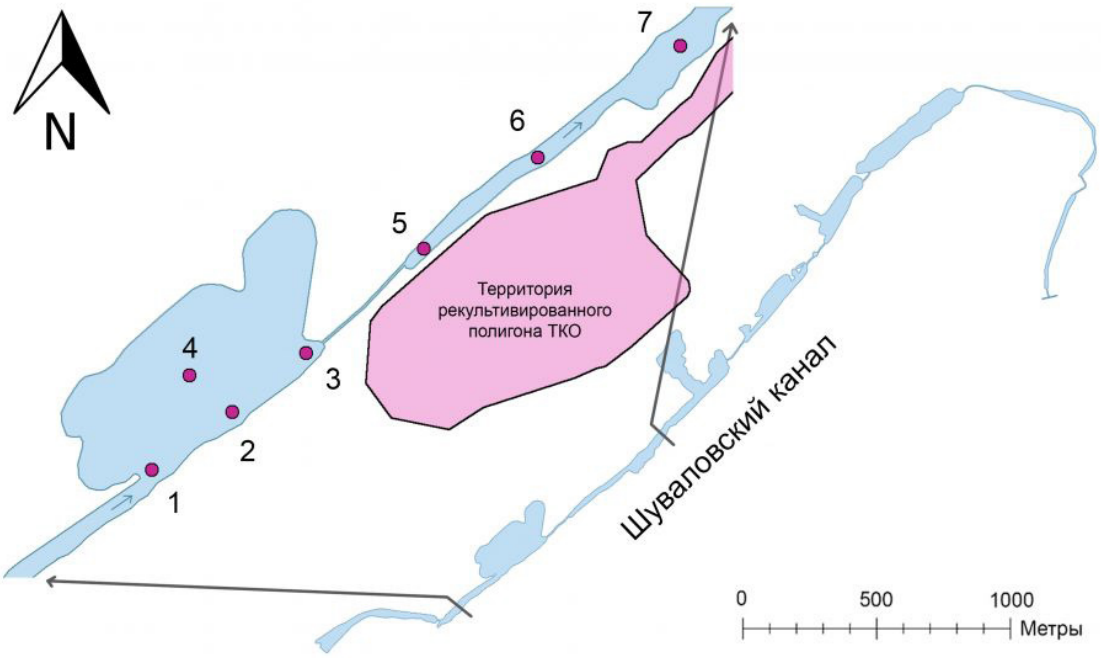


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб зоопланктона на исследованном участке Шуваловского канала

Fig. 1.Layout of zooplankton sampling stations on the studied section of the Shuvalovsky Canal

Методы

Отбор проб проводили стандартной сетью Джеди (размер ячеи 70 мкм) путем вертикального траления в водной толще от дна до поверхности. Пробы фиксировали 40 % раствором формалина с доведением до 4 % концентрации в пробе. Обработку проб зоопланктона проводили в соответствии с общепринятым в практике гидробиологических исследований счетно-весовым методом (Методы..., 2024). Идентификацию видов зоопланктона осуществляли с использованием определителей (Определитель…, 2010; Коровчинский и др., 2021). Всего было собрано и обработано 28 пелагических проб.

В период отбора проб зоопланктона проводили измерения ряда параметров среды. Прозрачность воды определяли по белому диску Секки, температуру, pH, содержание растворенного кислорода, общую минерализацию и содержание хлорофилла *a* в воде измеряли с использованием мультипараметрического зонда Aquaread AP-2000. Также батометром отбирали интегральные пробы воды для проведения гидрохимического анализа. Определение содержания карбонат-ионов, сульфат-ионов, ионов кремния и тяжелых металлов ($Fe^{2+/3+}$, Mn^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}, Pb^{2+}, Hg^{2+}) было проведено в аккредитованной лаборатории НИИ Химии ННГУ им. Н. И. Лобачевского.

Доминирующие виды зоопланктона выделяли согласно индексу Палия – Ковнацки (Шитиков и др., 2003). В качестве структурного показателя, отражающего степень эвтрофирования, рассчитывали соотношение биомасс веслоногих ракообразных Cyclopoida к Calanoida (Weglenska et al., 1983). Сравнение видовой структуры сообществ с учетом сезонных изменений проводили с помощью многомерного дисперсионного анализа методом перестановок (PERMANOVA) (Anderson, 2001). Разнообразие сообществ оценивали с помощью индексов Шеннона (Margalef, 1957) и Пиелу (Pielou, 1966). Влияние факторов среды на видовую структуру сообществ определяли посредством анализа избыточности (RDA) (Legendre, Legendre, 2012; Шитиков, Розенберг, 2013). Для выделения функциональных групп зоопланктона использовали базу функциональных признаков (Гаврилко и др., 2020). Функциональное разнообразие оценивали с помощью индексов функционального богатства (FRic), выравненности (FEve) и дивергенции (FDiv) (Cornwell et al., 2006; Villeger et al., 2008).

Для определения отклонений от нормального распределения использовали тесты Шапиро – Уилка, Андерсона – Дарлинга и Лиллиефорса. Однородность дисперсий оценивали с помощью теста Левена. Для определения значимости различий анализируемых параметров применяли тест Вилкок-

сона, t-тест Уэлча и тест Тьюки с поправкой Вестфолла – Янга (Legendre, Legendre, 2012). Общая численность, биомасса и численности таксономических групп зоопланктона перед анализом были логарифмированы для соответствия нормальному распределению. Статистическую обработку материала проводили в среде R (пакеты «car», «multcomp», «mvtnorm», «nortest», «readxl», «vegan») (R Core Team, 2026).

Результаты

Сравнительный анализ гидрофизических и гидрохимических показателей на исследуемых участках, расположенных выше и ниже полигона по течению, продемонстрировал наличие статистически значимых различий между ними. Верхний участок канала характеризовался более высокими значениями прозрачности воды и водородного показателя (pH). В то же время вниз по течению от полигона зарегистрированы повышенные значения общей минерализации и концентрации хлорофилла *a* (рис. 2).

Гидрохимический анализ воды показал, что основную часть растворенных солей составляли гидрокарбонаты, при этом зафиксированы значительные превышения ПДК для водных объектов культурно-бытового назначения по марганцу (до 2 ПДК выше полигона и до 22 ПДК ниже полигона в августе – сентябре) и железу (до 35 ПДК ниже полигона в тот же период). Концентрации прочих тяжелых металлов были ниже порога их обнаружения.

В ходе исследования в зоопланктоне Шуваловского канала было зарегистрировано 111 видов, из них 62 вида коловраток (Rotifera), 33 – ветвистоусых (Cladocera) и 16 – веслоногих (Copepoda) ракообразных. Среди идентифицированных видов присутствовали и чужеродные: североамериканская коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) и солоноватоводный рачок *Eurytemora velox* (Lilljeborg, 1853). Кроме того, впервые для водных объектов Нижегородской области был зафиксирован веслоногий рачок *Cyclops bohater* Kozminski, 1933.

Для выделения сообществ зоопланктона и оценки воздействия факторов среды применяли анализ избыточности (RDA) с учетом следующих параметров: глубина, прозрач-

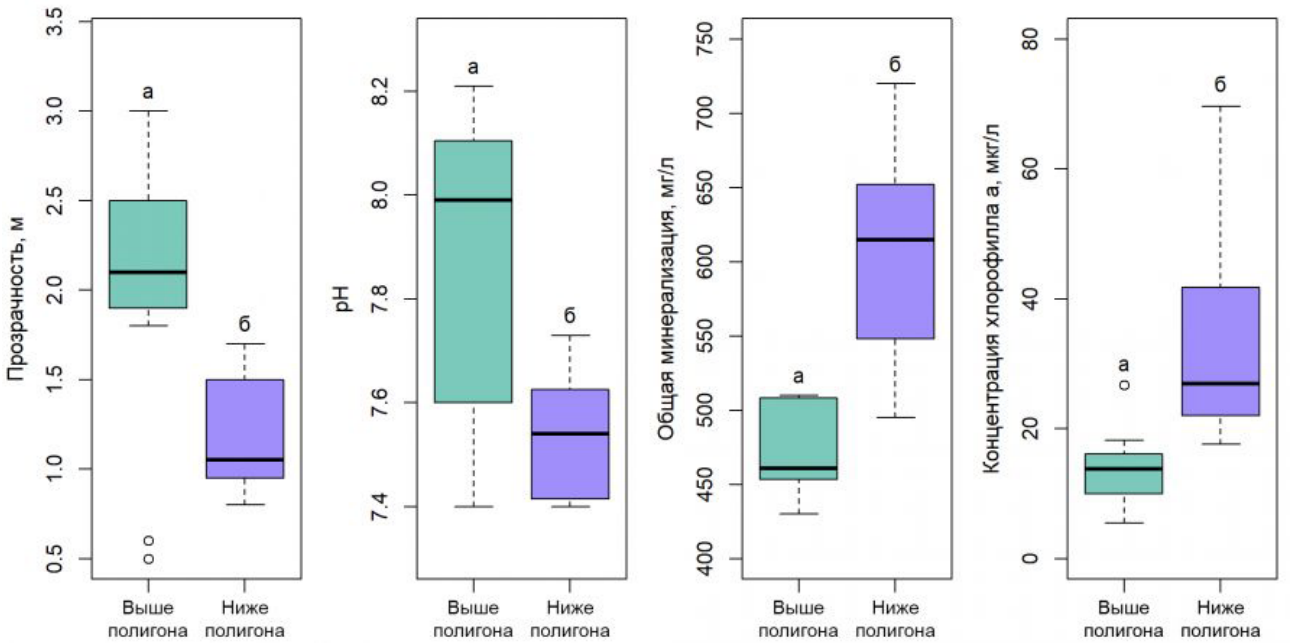


Рис. 2. Диаграммы размаха гидрофизических и гидрохимических параметров на исследованных участках Шуваловского канала. Для обозначения статистически значимых различий добавлены компактные буквенные обозначения

Fig. 2. Diagrams showing the range of hydrophysical and hydrochemical parameters in the studied sections of the Shuvalovsky Canal. Compact letter designations was added to indicate statistically significant differences.

ность воды, температура, pH, концентрация растворенного кислорода, общая минерализация, содержание карбонат-ионов, сульфат-ионов, ионов кремния и тяжелых металлов. Статистический анализ частных моделей показал значимое влияние на структуру зоопланктонных сообществ восьми факторов (табл. 1). Полная модель RDA объясняла 56.4 % ($p < 0.001$) от общей дисперсии видовой структуры сообществ зоопланктона. Статистически значимыми в модели были первые 3 оси.

Таблица 1. Статистический анализ значимости объяснения изменчивости видовой структуры для каждого отдельного фактора Шуваловского канала

Фактор	Скорректированная доля объясняемой дисперсии, %	Значение критерия Фишера, *F*	*p*-значение
Прозрачность	15.6	5.99	0.001
Концентрация HCO_3^-	15.4	5.91	0.001
Концентрация кислорода	15.1	5.83	0.001
Концентрация $Fe^{2+/3+}$	13.8	5.32	0.002
Концентрация Mn^{2+}	13.8	5.35	0.002
Концентрация SO_4^{2-}	13.4	5.18	0.002
Температура	12.9	5.02	0.001
pH	11.4	4.49	0.002
Общая минерализация	8.4	3.50	0.012

Результаты ординации показали пространственно-временную дифференциацию сообществ зоопланктона. Станции 5–7, расположенные ниже полигона, и станции 1–4, расположенные выше полигона, сгруппировались соответственно месту и месяцу отбора (рис. 3). Исключение составила станция 4 в июне, которая существенно отличалась от других станций того же участка (выше полигона) по видовой структуре сообщества зоопланктона. Остальные июньские станции демонстрировали сходную видовую структуру и на ординационной диаграмме расположились в сторону увеличения температуры воды. При этом станции, находящиеся ниже полигона, дополнительно смещались вдоль вектора возрастающей минерализации.

В июле наблюдалась выраженная дифференциация зоопланктонных сообществ по градиенту минерализации. Станции, расположенные ниже полигона, на ординационной диаграмме сместились в сторону увеличения значений минерализации, в то же время станции участка выше полигона демонстрировали противоположную динамику, смещаясь в зону пониженной минерализации. В августе станции нижнего течения сгруппировались в зоне повышенной минерализации и высоких концентраций растворенных ионов (Mn^{2+}, $Fe^{2+/3+}$), тогда как станции верхнего участка ассоциировались с повышенными температурными значениями. В сентябре станции участка ниже полигона расположились по направлению векторов увеличения содержания растворенного кислорода, причем значительно дальше от центра, чем в других месяцах. Станции участка выше полигона сместились в сторону уменьшения минерализации.

Многомерный дисперсионный анализ методом перестановок (PERMANOVA) подтвердил статистически значимые различия ($p < 0.001$) в структуре зоопланктонных сообществ между участками, расположенными выше и ниже полигона, что согласуется с результатами анализа избыточности и свидетельствует об устойчивом пространственном разделении сообществ.

Сезонная динамика (месяц отбора проб) оказалась наиболее значимым фактором, объясняющим 28.6 % ($p < 0.001$) общей дисперсии видовой структуры зоопланктонных сообществ. Локализация сообщества относительно полигона (выше или ниже по течению) определяла 12 % ($p < 0.001$) дисперсии видовой структуры. При этом взаимодействие пространственного и временного факторов (расположения и месяца отбора проб) вносило существенный дополнительный вклад – 18.5 % ($p < 0.001$) объясняемой дисперсии, что указывает на различия в сезонной динамике сообществ выше и ниже полигона.

Выделенные зоопланктонные сообщества во все месяца различались между собой по видовой структуре (табл. 2). На верхнем участке в июне обособилось сообщество станции 4 с доминированием ветвисто-

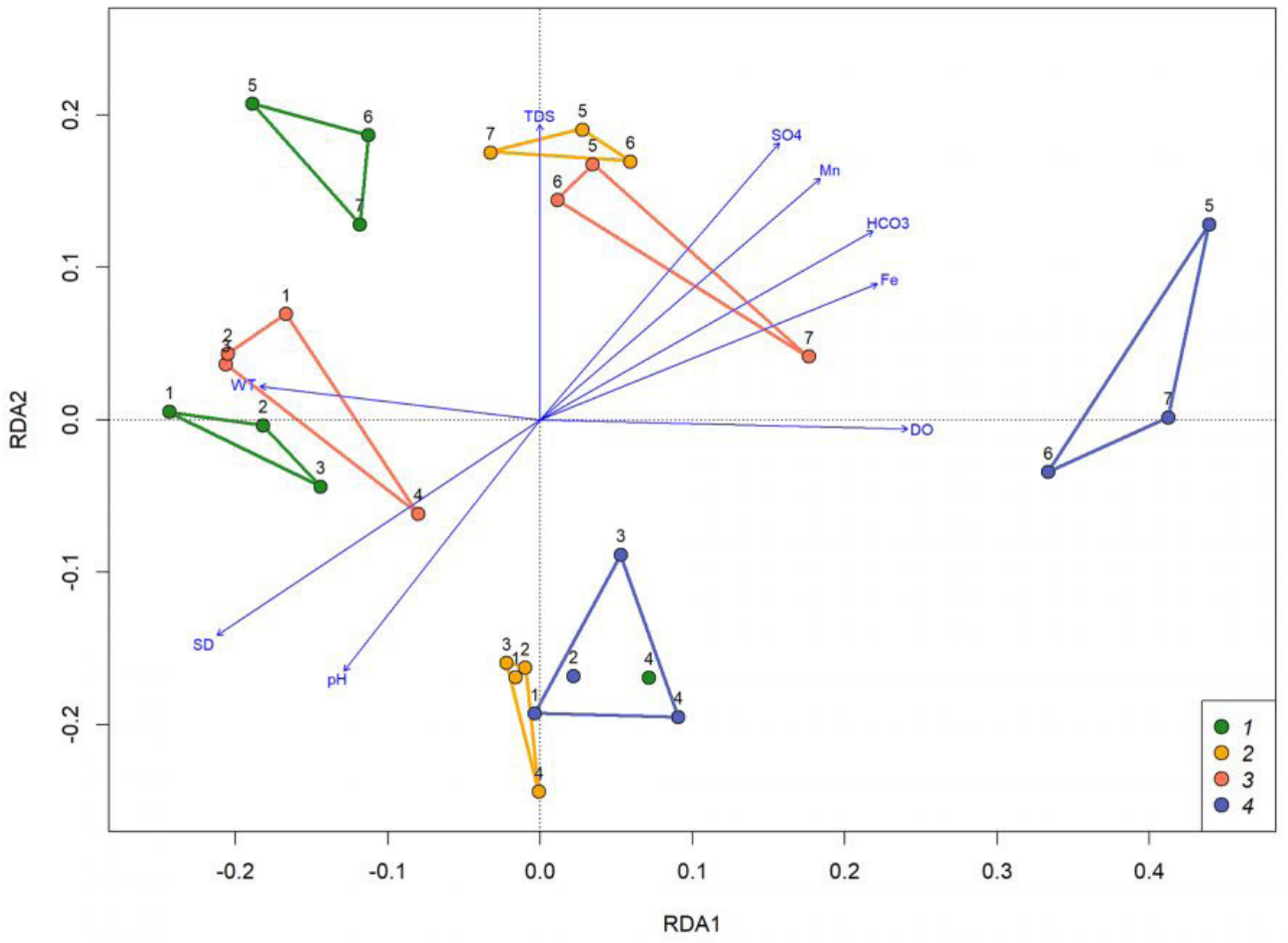


Рис. 3. Ординационная диаграмма, построенная по результатам анализа избыточности для станций отбора проб зоопланктона Шуваловского канала. WT – температура, SD – прозрачность, pH – водородный показатель, DO – концентрация кислорода, TDS – общая минерализация, Mn – концентрация ионов Mn^{2+}, SO4 – концентрация ионов SO_4^{2-}, HCO3 – концентрация ионов HCO_3^-, Fe – концентрация ионов $Fe^{2+/3+}$; 1 – июнь, 2 – июль, 3 – август, 4 – сентябрь

Fig. 3. Ordination diagram constructed based on the results of an analysis of redundancy (RDA) for the zooplankton sampling stations in the Shuvalovsky Canal. WT – temperature, SD – transparency, pH – hydrogen index, DO – dissolved oxygen concentration, TDS – total dissolved solids, Mn – Mn^{2+} concentration, SO4 – SO_4^{2-} concentration, HCO3 – HCO_3^- concentration, Fe – $Fe^{2+}/^{3+}$ concentration; 1 – June, 2 – July, 3 – August, 4 – September

усых ракообразных *Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1785), *Daphnia cucullata* (Sars, 1862) *u Keratella quadrata* (O. F. Muller, 1786), в отличие от сообщества станций 1–3, где первенство доминирования имели науплиальные стадии веслоногих ракообразных. В июле и августе науплии сохраняли доминирующие позиции в видовой структуре. Однако в июле высокую долю в сообществе имела *D. cucullata*, а в августе в состав доминантов вошли копеподитные стадии веслоногих ракообразных. В сентябре в зоопланктоне лидировали коловратки *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850 и *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834).

Зоопланктоценоз нижнего участка характеризовался преобладанием веслоногого рачка *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863), который входил в состав доминантов в течение всех месяцев с наибольшей долей в июле (см. табл. 2). Также в летние месяцы доминировали науплиальные стадии веслоногих рачков. В августе на первое место вышла коловратка *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), которая была заменена в сентябре на *Keratella testudo* (Ehrenberg, 1832).

Зоопланктоценозы разных участков канала различались между собой по видовому богатству, разнообразию и количественному развитию. Общее видовое богатство, богатство отдельных таксономических групп и индекс Шеннона были статистически значимо больше на участке выше полигона в июне, июле и сентябре (рис. 4). В июне и

Таблица 2. Значения индекса доминирования Палия – Ковнацки для наиболее многочисленных видов зоопланктона Шуваловского канала

Месяц отбора проб	Выше полигона		Ниже полигона	
	Вид	D	Вид	D
Июнь	Nauplii Copepoda	37.19	Nauplii Copepoda	66.25
	Keratella quadrata	15.90	*Thermocyclops oithonoides*	13.73
	Bosmina longirostris	6.16	*Bosmina longirostris*	5.21
Июль	Nauplii Copepoda	22.42	*Thermocyclops oithonoides*	31.81
	Daphnia cucullata	18.47	Nauplii Copepoda	19.57
	Keratella quadrata	13.36	*Bosmina longirostris*	17.18
Август	Nauplii Copepoda	64.56	*Keratella cochlearis*	36.52
	Copepodit Cyclopoida	11.10	Nauplii Copepoda	21.45
	Keratella cochlearis	9.92	*Thermocyclops oithonoides*	11.59
Сентябрь	*Asplanchna priodonta*	16.52	*Keratella testudo*	46.31
	Nauplii Copepoda	14.04	*Thermocyclops oithonoides*	24.70
	Filinia longiseta	13.92	*Keratella cochlearis*	17.35

июле наблюдалось снижение биомассы кладоцер, численности и биомассы коловраток на участке ниже полигона. Однако с августа численность кладоцер на участке ниже полигона стала больше, чем на участке выше полигона. В сентябре также возросла численность коловраток на участке ниже полигона по сравнению с соседним участком.

Анализ соотношения биомасс Cyclopoida к Calanoida выявил статистически значимые различия: участок ниже полигона характеризовался более высокими показателями этого индекса (повышенным уровнем эвтрофирования) в июне и июле по сравнению с участком выше полигона (рис. 5). При этом наблюдался естественный рост значений индекса на участке выше полигона в течение лета, а затем снижение в сентябре.

В функциональной структуре зоопланктона выявлено 10 функциональных групп, различающихся типом питания, при этом максимальное видовое богатство отмечено среди вертикаторов (33 вида коловраток). Группы первичных и вторичных фильтраторов, представленные ветвистоусыми и веслоногими ракообразными, демонстрировали близкие показатели видового богатства (15 и 16 видов соответственно). Всасыватели включали 15 видов коловраток, тогда как облигатные хищники насчитывали 11 видов (2 вида Cladocera и 9 видов Copepoda). Смешанные трофические группы характеризовались меньшим видовым богатством: вертикаторы-всасыватели (9 видов), хищники-собиратели (6 видов), хищники-всасыватели (5 видов) и хищники-первичные фильтраторы (3 вида). Наименьшая представленность отмечена у собирателей – 1 вид.

Сравнительный анализ функциональной структуры зоопланктонных сообществ выявил различия между двумя участками. На участке ниже полигона на протяжении всего периода исследований отмечено снижение доли первичных фильтраторов как по численности, так и по биомассе при одновременном статистически значимом увеличении биомассы хищников (рис. 6).

Динамика функциональной структуры зоопланктонных сообществ демонстрировала сходные тенденции на обоих исследуемых участках: в период с июня по сентябрь наблюдалось снижение доли фильтраторов при одновременном увеличении доли хищников. Однако на участке ниже полигона хищники доминировали в течение всего сезона, достигая к сентябрю 80 % от общей биомассы, тогда как выше полигона на протяжении лета преобладали первичные фильтраторы.

Анализ функционального разнообразия выявил статистически значимые различия между зоопланктонными сообществами: участок выше полигона характеризовался более высоким функциональным богатством (рис. 7). Значения функциональной выравненности изменялись в диапазоне 0.10–0.48 выше полигона, 0.08–0.33 ниже полигона, а функциональной дивергенции в диапазоне 0.57–0.93 выше полигона, 0.71–0.90 ниже полигона, однако различия не были статистически значимыми.

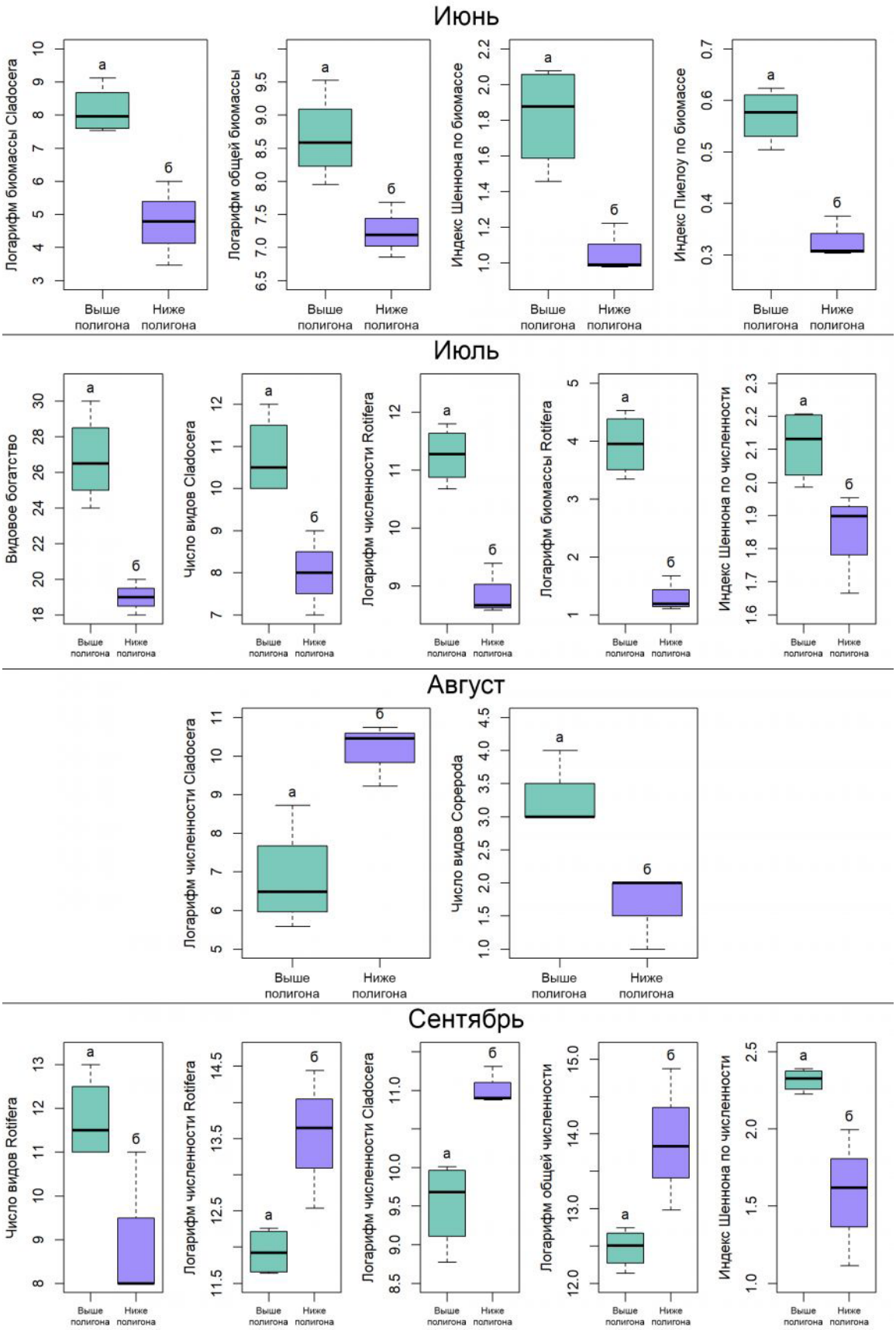


Рис. 4. Диаграммы размаха ценотических параметров сообществ зоопланктона на исследованных участках Шуваловского канала

Fig. 4. Diagrams showing the range of coenotic parameters of zooplankton communities in the studied sections of the Shuvalovsky Canal

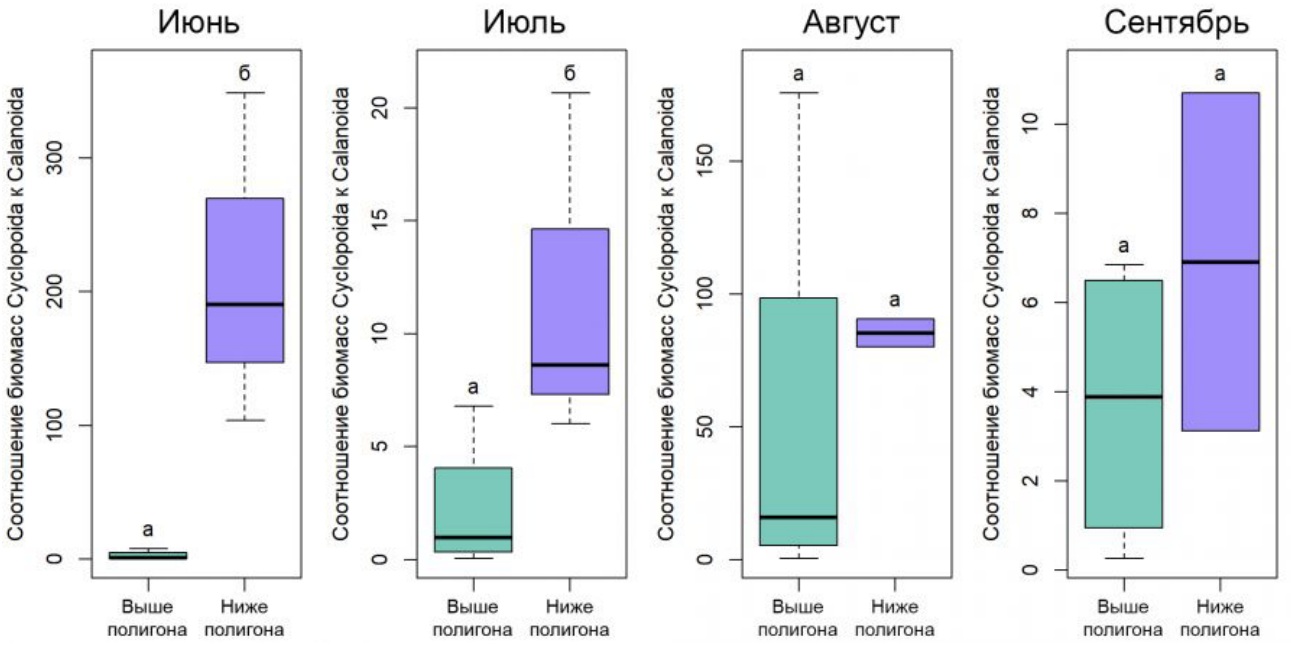


Рис. 5. Диаграммы размаха соотношения биомасс Cyclopoida к Calanoida на исследованных участках Шуваловского канала

Fig. 5. Diagram showing the range of the ratio of Cyclopoida to Calanoida biomass in the studied sections of the Shuvalovsky Canal

Обсуждение

Выявленные статистически значимые различия в гидрохимическом режиме между участками, расположенными выше и ниже полигона, а именно, повышенные значения общей минерализации, концентраций хлорофилла *a*, марганца и железа ниже по течению, указывают на сохраняющееся воздействие полигона посредством фильтрационного стока, несмотря на проведенные рекультивационные мероприятия. Существенное превышение ПДК по марганцу (до 22 ПДК) и железу (до 35 ПДК) ниже полигона в августе – сентябре свидетельствует о выраженном негативном воздействии на качество воды, которое усиливается к концу вегетационного сезона. Это согласуется с данными других исследований, подтверждающими, что фильтрат полигонов ТКО может сохранять высокий потенциал загрязнения в течение длительного времени после их закрытия (Slack et al., 2005; Karlsson et al., 2021; Przydatek et al., 2025). Увеличение концентрации железа в воде приводит к его накоплению на дне и угнетению донных беспозвоночных (Теканова и др., 2020). В период весеннего перемешивания воды железо со дна поднимается в толщу воды и воздействует на планктонные сообщества. Поэтому его нахождение в водотоке может иметь долгосрочные последствия. Подтверждением эвтрофирующего влияния полигона служат пониженные значения прозрачности, повышенное содержание хлорофилла *a* и рост доли циклопов относительно каляноид на участке ниже по течению. Последний показатель сохранял устойчиво повышенные значения в течение всего вегетационного сезона, что свидетельствует о продолжающемся поступлении биогенов.

Полученные результаты демонстрируют выраженное пространственно-временное разграничение структуры зоопланктонных сообществ Шуваловского канала, находящихся под влиянием рекультивированного полигона ТКО. Статистический анализ однозначно подтвердил формирование двух экологически обособленных зоопланктонных сообществ на участках выше и ниже полигона. Пространственная дифференциация, хотя и уступала по силе влияния сезонной динамике, оказалась устойчивым и статистически значимым фактором. Ординация проб выявила четкое смещение сообществ нижнего течения вдоль градиента возрастающей минерализации и концентраций тяжелых металлов (Mn^{2+}, $Fe^{2+}/^{3+}$). Это позволяет рассматривать минерализацию в качестве ключевого лимитирующего фактора, структурирующего сообщества ниже полигона. Важно отметить, что взаимодействие факторов «расположение : месяц» внесло существенный вклад, что указывает на неодинаковый характер сезонной сукцессии в сообществах

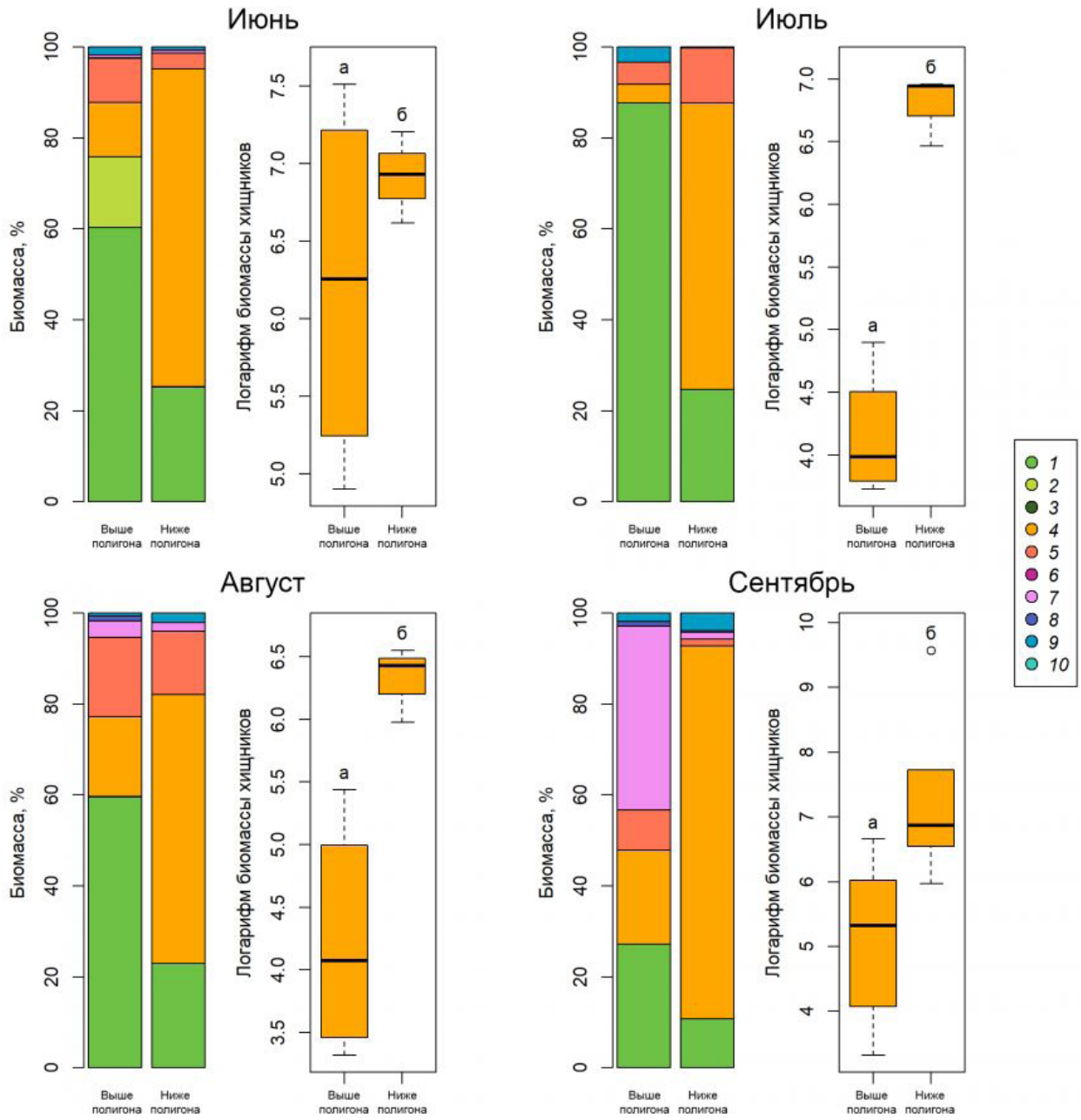


Рис. 6. Распределение биомассы между функциональными группами и диаграммы размаха биомассы хищников на разных участках по месяцам. 1 – первичные фильтраторы, 2 – вторичные фильтраторы, 3 – собиратели, 4 – хищники, 5 – хищники + первичные фильтраторы, 6 – хищники + собиратели, 7 – хищники + всасыватели, 8 – всасыватели, 9 – вертикаторы, 10 – вертикаторы + всасыватели

Fig. 6. Biomass distribution among functional groups and predator biomass range charts for different areas by month. 1 – primary filters, 2 – secondary filters, 3 – grazers, 4 – predators, 5 – predators + primary filters , 6 – predators + grazers, 7 – predators + suspension feeders, 8 – suction feeders, 9 – vertical feeders, 10 – verticators + suction feeders

выше и ниже полигона. На участке выше канала сезонная сукцессия зоопланктоценоза шла по классическому сценарию: переход от весеннего доминирования коловраток к босминам в июне, затем преобладание дафний в июле и переход к осеннему доминированию коловраток (Sommer et al., 1986; Gliwicz, Pijanowska, 1989). На участке ниже канала на протяжении всего сезона доминировал веслоногий рачок *T. oithonoides*, что говорит о нарушении естественного хода сезонной сукцессии под воздействием полигона ТКО.

В Шуваловском канале на обоих участках в состав доминантов входили обычные толерантные виды, характерные для водотоков и прудов Нижнего Новгорода (Шурганова и др., 2015; Гаврилко и др., 2017). При этом полученные данные показывают, что ответ зо-

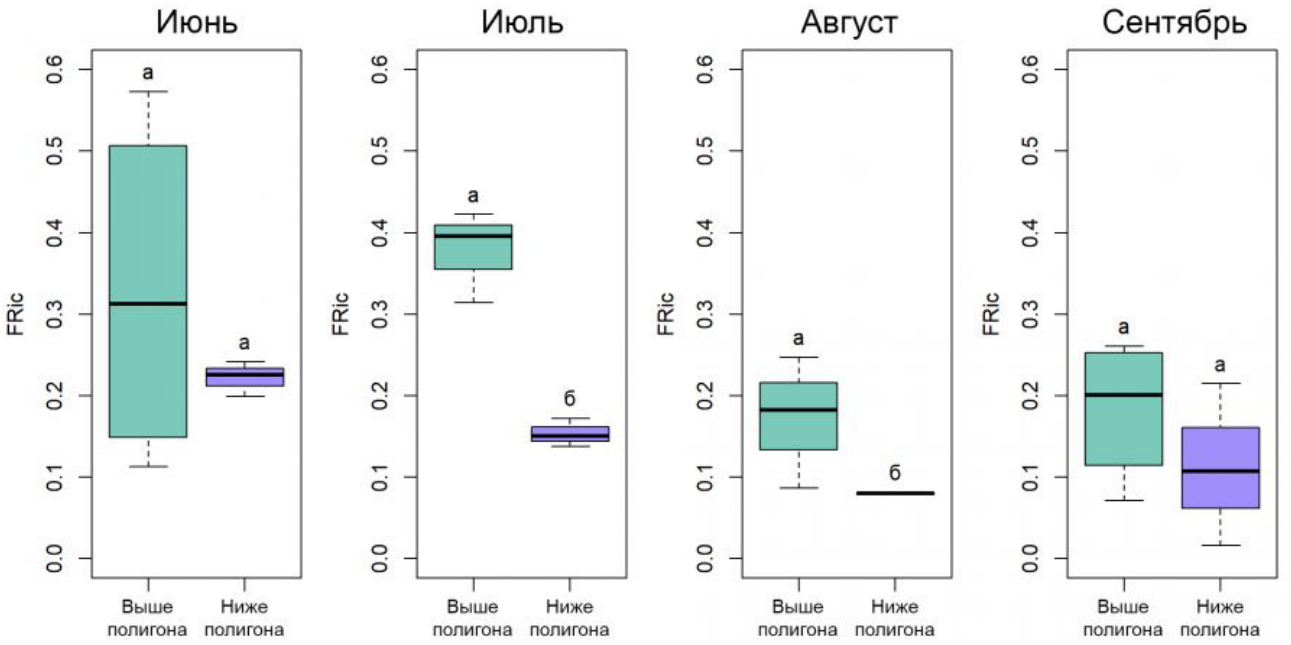


Рис. 7. Диаграммы размаха индекса функционального богатства (FRic) сообществ зоопланктона на исследованных участках Шуваловского канала

Fig. 7. Diagrams showing the range of the functional richness index (FRic) of zooplankton communities in the studied sections of the Shuvalovsky Canal

опланктонных сообществ на антропогенное воздействие проявляется как в обеднении видового состава, так и в перестройке видовой структуры и изменении количественных показателей развития зоопланктоценозов, что согласуется с представлениями о зоопланктоне как чувствительном индикаторе. Наиболее четко под воздействием полигона ТКО снижалось общее видовое богатство и разнообразие, а также видовое богатство и биомасса кладоцер в период их естественного массового развития.

Одним из наиболее значимых последствий антропогенного воздействия явилась трансформация функциональной структуры сообществ зоопланктона. Выявленная сезонная тенденция (снижение доли фильтраторов и рост хищников к сентябрю) наблюдалась на обоих участках, что отражает типичную сукцессию зоопланктона в эвтрофных водоемах, где к концу вегетации усиливается роль хищных циклопов и коловраток. Однако на участке ниже полигона эта тенденция была выражена значительно сильнее: здесь хищники доминировали на протяжении всего сезона, а их относительная биомасса к сентябрю достигала 80 %, тогда как первичные фильтраторы (ветвистоусые и веслоногие) были устойчиво угнетены. Подобный сдвиг свидетельствует о постоянном стрессовом воздействии, связанном с влиянием полигона ТКО, и является типичной реакцией на химический стресс: фильтраторы более уязвимы к токсикантам (Gama-Flores et al., 2007; Литвинчук, 2019), тогда как хищники, особенно Cyclopoida, обладают большей толерантностью и получают преимущество после подавления чувствительных групп (Gerhardt et al., 2005). Таким образом, функциональная перестройка сообщества в сторону хищников может служить дополнительным индикатором антропогенной нагрузки, наряду со структурными сдвигами.

Другой аспект той же трансформации – снижение функционального богатства на участке ниже полигона, особенно выраженное в июле и августе (в периоде максимального развития сообществ), что свидетельствует о функциональном обеднении экосистемы. Это означает, что под влиянием стресса сообщество теряет часть экологических стратегий, представленных в ненарушенных условиях, что снижает его устойчивость и способность к компенсации возмущений.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что рекультивированный полигон ТКО продолжает оказывать значимое воздействие на экосистему Шуваловского канала, вызывая устойчивые изменения гидрохи-

мического режима и структуры зоопланктоценоза. Под действием полигона отмечаются обеднение видового богатства и разнообразия сообщества зоопланктона, угнетение кладоцер и сдвиг функциональной структуры в сторону хищников при снижении общего функционального разнообразия. Наблюдается нетипичный характер сезонной сукцессии зоопланктоценоза. Снижение доли фильтраторов в зоопланктоне приводит к уменьшению общей самоочистительной способности экосистемы. Таким образом, зоопланктон выступает чувствительным индикатором долгосрочных пострекультивационных эффектов. Полученные результаты обосновывают необходимость гидробиологического мониторинга водных объектов в зонах влияния закрытых полигонов ТКО для своевременной оценки эффективности восстановительных мероприятий.

Библиография

Алимов А. Ф. Разнообразие в сообществах животных и его сохранение // Успехи современной биологии. 1994. Т. 113, вып. 6. С. 652–658.

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов . СПб.: Наука, 1996. 189 с.

Андроникова И. Н. Использование показателей зоопланктона в оценке экологического состояния прибрежной зоны Ладожского озера // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем II: Сборник материалов международной конференции. СПб.: Любавич, 2011. С. 168–174.

Брагинский Л. П. К методике токсикологического эксперимента с тяжелыми металлами на гидробионтах // Гидробиологический журнал. 2003. Т. 39, № 1. С. 92–104. DOI:10.1615/HydrobJ.v39.i3.80

Вандыш О. И. Зоопланктон как индикатор состояния озерных экосистем Кольского полуострова при действии стоков горно-промышленных предприятий // Экология. 2004. № 2. С. 134–140.

Василискова А. В., Кондратенко С. В., Меньшенин А. С. Геоэкологическая характеристика водного объекта без названия, расположенного вблизи рекультивированного полигона твердых коммунальных отходов Калининградской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 46. С. 16–34. DOI:10.26516/2073-3402.2023.46.16

Гаврилко Д. Е., Шурганова Г. В., Зазнобина Н. И. Характеристика сезонных изменений видовой структуры зоопланктонных сообществ зарослей высшей водной растительности (на примере малых водотоков г. Нижний Новгород) // Вода: химия и экология. 2017. № 8. С. 19–26.

Гаврилко Д. Е., Шурганова Г. В., Кудрин И. А., Якимов В. Н. Выявление функциональных групп пресноводного зоопланктона на основе функциональных признаков видов // Поволжский экологический журнал. № 3. С. 290–306. DOI: 10.35885/1684-7318-2020-3-290-306

Гелашвили Д. Б., Охапкин А. Г., Доронина А. И., Колкутин В. И., Иванов Е. Ф. Экологическое состояние водных объектов Нижнего Новгорода . Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. 414 с.

Гудкова Н. К., Горбунова Т. Л., Матова Н. И. Влияние полигонов ТКО на деградацию биогеоценозов прибрежных зон водотоков и Черного моря // Природообустройство. 2021. № 5. С. 117–124. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-117-124

Деревенская О. Ю., Мингазова Н. М. Сообщества зоопланктона озер при их загрязнении и восстановлении // Гидробиологический журнал. 1998. Т. 34, № 4. С. 50–55.

Коровчинский Н. М., Котов А. А., Синёв А. Ю., Неретина А. Н., Гарибян П. Г. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. II . М.: Товарищество научных изданий КМК, 2021. 544 с.

Литвинчук Л. Ф. Особенности зоопланктонного сообщества верхнего течения реки Ижора (бассейн Балтийского моря) в условиях длительного антропогенного воздействия // Принципы экологии. 2019. № 1. С. 47–62. DOI: 10.15393/j1.art.2019.8522

Методы гидробиологических исследований внутренних вод / А. В. Крылов, И. А. Барышев, Д. М. Безматерных ; Под ред. А. В. Крылова. Борок: ИБВВ РАН; Ярославль: Филигрань, 2024. 592 с. DOI: 10.47021/monography-670cd0a47a4437.24064368

Морозов С. В., Ширапова Г. С., Ермолаева О. А., Черняк Е. И., Ткачева Н. И., Батоев В. Б., Могнонов Д. М. Изучение поведения стойких органических загрязнителей в Байкал-Селенгинской экосистеме как элемент выполнения Стокгольмской конвенции // Химия в интересах устойчивого развития. 2022. № 6. С. 620–631. DOI: 10.15372/KhUR2022423

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / Под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.

Павленко Л. Ф., Кораблина И. В., Барабашин Т. О., Экилик В. С. Приоритетные токсиканты в элементах экосистемы Нижнего Дона // Водные ресурсы. Т. 49, № 3. С. 298–304. DOI: 10.31857/S0321059622030117

Рекультивация земельного участка, занятого свалкой промышленных бытовых отходов, располо-

женных за кладбищем «Красная Этна» на территории Шуваловской промзоны в Ленинском районе города Нижнего Новгорода // Государственное бюджетное учреждение Нижегородской области «Экология региона»: Сайт. 2021. URL: https://ecolog-region.nobl.ru/activity/5903/ (дата обращения: 06.06.2026).

Теканова Е. В., Коросов А. В., Калинкина Н. М., Исакова К. В., Рыжаков А. В. Модель перераспределения веществ в водах Петрозаводской губы Онежского озера // Принципы экологии. 2020. № 2. С. 97–110. DOI: 10.15393/j1.art.2020.10762

Тищенко П. П., Звалинский В. И., Михайлик Т. А., Тищенко П. Я. Гипоксия залива Петра Великого // Известия ТИНРО. 2021. Т. 201, № 3. С. 600–639. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-600-639

Черкашин С. А. Отдельные аспекты влияния углеводородов нефти на рыб и ракообразных // Вестник ДВО РАН. 2005. № 3. С. 35–37.

Шитиков В. К., Розенберг Г. С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R . Тольятти: Кассандра, 2013. 314 с.

Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология . Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

Шурганова Г. В., Кудрин И. А., Гаврилко Д. Е., Макеев И. С., Ильин М. Ю., Горьков А. С. Зоопланктон малых водотоков урбанизированных территорий (на примере г. Нижний Новгород) // Вода: химия и экология. 2015. № 12. С. 48–55.

Anderson M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance // Austral Ecology. 2001. Vol. 26. No. 1. P. 32–46. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x

Cabral C. R., Diniz L. P., da Silva A. J., Fonseca G., Carneiro L. S., de Melo Junior M., Caliman A. Zooplankton species distribution, richness and composition across tropical shallow lakes: A large scale assessment by biome, lake origin, and lake habitat // Ann. Limnol. - Int. J. Lim. 2020. Vol. 56. P. 25. DOI: 10.1051/limn/2020023

Cornwell W. K., Schwilk D. W., Ackerly D. D. A trait-based test for habitat filtering: convex hull volume // Ecology. 2006. Vol. 87. P. 1465-1471. DOI: 1465–1471.1890/0012-9658(2006)872.0.co;2

Gama-Flores J. L., Sarma S. S. S., Nandini S. Effect of cadmium and chromium toxicity on the demography of *Brachionus calyciflorus* and *Brachionus patulus* (Rotifera) // Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2007. Vol. 42. No. 6. P. 727–735. DOI: 10.1080/10934520600564311

Gerhardt A., Janssens de Bisthoven L., Soares A. M. V. Evidence for the stepwise stress model: *Gambusia holbrooki* and *Daphnia magna* under acid mine drainage and acidified reference water stress // Environmental Science & Technology. 2005. Vol. 39. No. 11. P. 4150–4158. DOI: 10.1021/es048589f

Gliwicz Z. M., Pijanowska J. The role of predation in zooplankton succession // Plankton ecology: Succession in Plankton Communities / Ed. U. Sommer. Berlin: Springer-Verlag, 1989. P. 253–296. DOI: 10.1007/978-3-642-74890-5_7

Karlsson A., Medovar Y. A., Podsechin V. P., Yushmanov I. O., Yushmanova S. I. Prolonged impact of closed municipal solid waste landfills on groundwater // Vatten. 2021. Vol. 77. No. 4. P. 239–248.

Kjeldsen P., Barlaz M. A., Rooker A. P., Baun A., Ledin A., Christensen T. H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review // Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2002. Vol. 32. No. 4. P. 297–336. DOI: 10.1080/10643380290813462

Legendre P., Legendre L. Numerical Ecology. Oxford: Elsevier, 2012. 990 p.

Li X., Deng Y., Yang Z., Liu X., Chang J. A case study supporting the plankton communities as bio-indicators of water quality after lake restoration // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2025. Vol. 13, No. 6. P. 119772. DOI: 10.1016/j.jece.2025.119772

Margalef R. La teoria de la informacion en ecologia // Mem. Real. Acad. Cienc. Artes Barcelona. 1957. Vol. 32. P. 373–449.

Pielou E. The measurement of diversity in different types of biological collections // Journal of Theoretical Biology. 1966. Vol. 13. P. 131–144. DOI: 10.1016/0022-5193(66)90013-0

Przydatek G., Ciuła J., Barsan N., Mirila D., Mosnegutu E. Groundwater Quality Analysis: Assessing the Impact of a Closed Landfill – A Case Study on Physico-Chemical and Microplastic Contaminants // Applied Sciences. 2025. Vol. 15. No. 15. P. 8223. DOI: 10.3390/app15158223

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. 2026. URL: https://www.r-project.org (дата обращения: 06.06.2026).

Slack R. J., Gronow J. R., Voulvoulis N. Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate // Science of the Total Environment. 2005. Vol. 337. No. 1–3. P. 119–137. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.07.002

Smith V. H., Schindler D. W. Eutrophication science: where do we go from here? // Trends in Ecology & Evolution. 2009. Vol. 24. No. 4. P. 201–207. DOI: 10.1016/j.tree.2008.11.009

Sommer U., Gliwicz Z. M., Lampert W., Duncan A. The PEG model of a seasonal succession of planktonic events in fresh waters // Arch. Hydrobiol. 1986. Vol. 106. No. 4. P. 433–471. DOI: 10.1127/archiv-hydrobiol/106/1986/433

Stamenković O., Simić V., Stojković Piperac M. et al. Direct, water-chemistry mediated, and cascading

effects of human-impact intensification on multitrophic biodiversity in ponds // Aquatic Ecology. 2021. Vol. 55. P. 187–214. DOI: 10.1007/s10452-020-09822-5

Villeger S., Mason N. W., Mouillot D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology // Ecology. 2008. Vol. 89. P. 2290–2301. DOI: 10.1890/07-1206.1

Weglenska T., Bownik-Dylinska L., Ejsmont-Karabin J. Structure and dynamics of zooplankton // Ekol. pol. 1983. Vol. 31. № 3. P. 679–717.

Благодарности

Выражаем благодарность А. В. Митину за помощь в проведении гидрохимического анализа воды, выполненного с использованием оборудования ЦКП «Новые материалы и ресурсосберегающие технологии» НИИ Химии ННГУ им. Н. И. Лобачевского.

Bubnov, V., Gavrilko, D., Startseva, N. Structural organization of zooplankton communities in the Shuvalovsky Canal of Nizhny Novgorod in the area affected by the reclaimed MSW landfill. // Principy èkologii. 2026 № 3. P. 46–62. DOI: 10.15393/j1.art.2026.17584

STRUCTURAL ORGANIZATION OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES IN THE SHUVALOVSKY CANAL OF NIZHNY NOVGOROD IN THE AREA AFFECTED BY THE RECLAIMED MSW LANDFILL

BUBNOV Viktor Andreevich — *Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, 603022, Nizhni Novgorod, Gagarin avenue, 23, viktor.bubnov03@mail.ru*

GAVRILKO Dmitriy Evgenievich — *PhD, Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, 603022, Nizhni Novgorod, Gagarin avenue, 23, dima_gavrilko@mail.ru*

STARTSEVA Natalya Aleksandrovna — *PhD, Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, 603022, Nizhni Novgorod, Gagarin avenue, 23, startseva@bio.unn.ru*

Key words:
rotifera
crustaceans
seasonal succession
species diversity
functional diversity
redundancy analysis

Summary: In urban environments, water bodies are subject to complex anthropogenic pollution. Municipal solid waste (MSW) landfills have a wide range of impacts on aquatic ecosystems, as they contain large quantities of organic and inorganic pollutants. However, the response of aquatic biocenoses to this impact is extremely poorly studied. This paper describes the specific and functional structure of zooplankton communities in the Shuvalovsky Canal section, which is under the influence of a reclaimed MSW landfill. Sampling was conducted from June to September 2023 at two sections of the canal: upstream and downstream of the landfill. It was found that in the area downstream of the landfill the level of chlorophyll, total mineralization, and the concentrations of total iron and manganese were elevated, while the water transparency was reduced. Differences in the seasonal succession of zooplankton communities between the two sections of the canal are demonstrated. Under the influence of the landfill, the species richness and diversity of the zooplankton community decreased; cladocerans were suppressed, and the functional structure shifted towards predators, with a reduction in overall functional diversity. High values of the Cyclopoida to Calanoida biomass ratio index in the area downstream of the landfill during the season indicate severe eutrophication. The ongoing impact of the reclaimed landfill demonstrates the need for monitoring studies to assess the state of the watercourse ecosystem.

Received on: 02 Jule 2026 **Published on:** 27 September 2026

References

Alimov A. F. Diversity in animal communities and its conservation, Uspehi sovremennoy biologii. 1994. T. 113, vyp. 6. P. 652–658.

Anderson M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance, Austral Ecology. 2001. Vol. 26. No. 1. P. 32–46. DOI: 10.1111/j.1442-9993.2001.01070.pp.x

Andronikova I. N. Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types. SPb.: Nauka, 1996. 189 p.

Andronikova I. N. The use of zooplankton indicators in assessing the ecological state of the coastal zone of Ladoga Lake, Bioindikaciya v monitoringe presnovodnyh ekosistem II: Sbornik materialov mezhdunarodnoy konferencii. SPb.: Lyubavich, 2011. P. 168–174.

Braginskiy L. P. On the method of toxicological experiments with hydrobionts using heavy metals, Gidrobiologicheskiy zhurnal. 2003. T. 39, No. 1. P. 92–104. DOI:10.1615/HydrobJ.v39.i3.80

Cabral C. R., Diniz L. P., da Silva A. J., Fonseca G., Carneiro L. S., de Melo Junior M., Caliman A. Zooplankton species distribution, richness and composition across tropical shallow lakes: A large scale assessment by biome, lake origin, and lake habitat, Ann. Limnol, Int. J. Lim. 2020. Vol. 56. P. 25.

DOI: 10.1051/limn/2020023
Cherkashin S. A. Some aspects of the influence of petroleum hydrocarbons on fish and crustaceans, Vestnik DVO RAN. 2005. No. 3. P. 35–37.
Cornwell W. K. Schwilk D. W. Ackerly D. D. 1465:attfhf2.0.co;2
Derevenskaya O. Yu. Mingazova N. M. Zooplankton communities of lakes under pollution and restoration, Gidrobiologicheskiy zhurnal. 1998. T. 34, No. 4. P. 50–55.
Gama-Flores J. L., Sarma S. S. S., Nandini S. Effect of cadmium and chromium toxicity on the demography of Brachionus calyciflorus and Brachionus patulus (Rotifera), Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2007. Vol. 42. No. 6. P. 727–735. DOI: 10.1080/10934520600564311
Gavrilko D. E. Shurganova G. V. Kudrin I. A. Yakimov V. N. Identification of freshwater zooplankton functional groups based on functional traits of species, Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal. No. 3. P. 290–306. DOI: 10.35885/1684-7318-2020-3-290-306
Gavrilko D. E. Shurganova G. V. Zaznobina N. I. Characteristics of seasonal changes in the species structure of zooplankton communities in thickets of higher aquatic vegetation (as an example of small streams in Nizhny Novgorod), Voda: himiya i ekologiya. 2017. No. 8. P. 19–26.
Gelashvili D. B. Ohapkin A. G. Doronina A. I. Kolkutin V. I. Ivanov E. F. Ecological state of water bodies of Nizhny Novgorod. N. Novgorod: Izd-vo NNGU, 2005. 414 p.
Gerhardt A., Janssens de Bisthoven L., Soares A. M. V. Evidence for the stepwise stress model: Gambusia holbrooki and Daphnia magna under acid mine drainage and acidified reference water stress, Environmental Science & Technology. 2005. Vol. 39. No. 11. P. 4150–4158. DOI: 10.1021/es048589f
Gliwicz Z. M., Pijanowska J. The role of predation in zooplankton succession, Plankton ecology: Succession in Plankton Communities, Ed. U. Sommer. Berlin: Springer-Verlag, 1989. P. 253–296. DOI: 10.1007/978-3-642-74890-5_7
Gudkova N. K. Gorbunova T. L. Matova N. I. Influense of MSW landfils on degradation of biogeocenoses of coastal zones of water courses and the Black Sea, Prirodoobustroystvo. 2021. No. 5. P. 117–124. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-5-117-124
Identification guide to zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia. Vol. 1. Zooplankton, Pod red. V. R. Alekseeva, P. Ya. Calolihina. M.: Tovarischestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2010. 495 p.
Karlsson A., Medovar Y. A., Podsechin V. P., Yushmanov I. O., Yushmanova S. I. Prolonged impact of closed municipal solid waste landfills on groundwater, Vatten. 2021. Vol. 77. No. 4. P. 239–248.
Kjeldsen P., Barlaz M. A., Rooker A. P., Baun A., Ledin A., Christensen T. H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review, Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 2002. Vol. 32. No. 4. P. 297–336. DOI: 10.1080/10643380290813462
Korovchinskiy N. M. Kotov A. A. Neretina A. N. Garibyan P. G. Cladocerans (Crustacea: Cladocera) of Northern Eurasia. Vol. II. M.: Tovarischestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2021. 544 p.
Legendre P., Legendre L. Numerical Ecology. Oxford: Elsevier, 2012. 990 p.
Li X., Deng Y., Yang Z., Liu X., Chang J. A case study supporting the plankton communities as bio-indicators of water quality after lake restoration, Journal of Environmental Chemical Engineering. 2025. Vol. 13, No. 6. R. 119772. DOI: 10.1016/j.jece.2025.119772
Litvinchuk L. F. Zooplankton community of the upper riches of the Izhora River (the Baltic Sea basin) under the long-term anthropogenic impact, Principy ekologii. 2019. No. 1. P. 47–62. DOI: 10.15393/j1.art.2019.8522
Margalef R. La teoria de la informacion en ecologia, Mem. Real. Acad. Cienc. Artes Barcelona. 1957. Vol. 32. P. 373–449.
Methods of hydrobiological studies of inland waters, A. V. Krylov, I. A. Baryshev, D. M. Bezmaternyh ; Pod red. A. V. Krylova. Borok: IBVV RAN; Yaroslavl': Filigran', 2024. 592 p. DOI: 10.47021/monography-670cd0a47a4437.24064368
Morozov S. V. Shirapova G. S. Ermolaeva O. A. Chernyak E. I. Tkacheva N. I. Batoev V. B. Mognonov D. M. Studies of the behaviour of persistent organic pollutants in the Baikal-Selenga ecosystem as an element of the implementation of the Stockholm Convention, Himiya v interesah ustoychivogo razvitiya. 2022. No. 6. P. 620–631. DOI: 10.15372/KhUR2022423
Pavlenko L. F. Korablina I. V. Barabashin T. O. Ekilik V. S. Priority toxicants in elements of Lower Don ecosystem, Vodnye resursy. T. 49, No. 3. P. 298–304. DOI: 10.31857/S0321059622030117
Pielou E. The measurement of diversity in different types of biological collections, Journal of Theoretical Biology. 1966. Vol. 13. P. 131–144. DOI: 10.1016/0022-5193(66)90013-0
Przydatek G., Ciuła J., Barsan N., Mirila D., Mosnegutu E. Groundwater Quality Analysis: Assessing the Impact of a Closed Landfill – A Case Study on Physico-Chemical and Microplastic Contaminants, Applied Sciences. 2025. Vol. 15. No. 15. R. 8223. DOI: 10.3390/app15158223
R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. 2026. URL: https://www.r-project.org (data obrascheniya: 06.06.2026).
Reclamation of a land plot occupied by an industrial and domestic waste dump located behind the Krasnaya Etna cemetery on the territory of the Shuvalovskaya industrial zone in the Leninsky

district of Nizhny Novgorod, Gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie Nizhegorodskoy oblasti «Ekologiya regiona»: Sayt. 2021. URL: https://ecolog-region.nobl.ru/activity/5903/ (data obrascheniya: 06.06.2026).

Shitikov V. K. Rozenberg G. S. Zinchenko T. D. Quantitative hydroecology. Tol'yatti: IEVB RAN, 2003. 463 p.

Shitikov V. K. Rozenberg G. S. Randomization and bootstrap: statistical analysis in biology and ecology using R. Tol'yatti: Kassandra, 2013. 314 p.

Shurganova G. V. Kudrin I. A. Gavrilko D. E. Makeev I. S. Il'in M. Yu. Gor'kov A. S. Zooplankton of small watercourses in urbanized areas (as an example of Nizhny Novgorod), Voda: himiya i ekologiya. 2015. No. 12. P. 48–55.

Slack R. J., Gronow J. R., Voulvoulis N. Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate, Science of the Total Environment. 2005. Vol. 337. No. 1–3. P. 119–137. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.07.002

Smith V. H., Schindler D. W. Eutrophication science: where do we go from here?, Trends in Ecology & Evolution. 2009. Vol. 24. No. 4. P. 201–207. DOI: 10.1016/j.tree.2008.11.009

Sommer U., Gliwicz Z. M., Lampert W., Duncan A. The PEG model of a seasonal succession of planktonic events in fresh waters, Arch. Hydrobiol. 1986. Vol. 106. No. 4. P. 433–471. DOI: 10.1127/archiv-hydrobiol/106/1986/433

Stamenković O., Simić V., Stojković Piperac M. et al. Direct, water-chemistry mediated, and cascading effects of human-impact intensification on multitrophic biodiversity in ponds, Aquatic Ecology. 2021. Vol. 55. P. 187–214. DOI: 10.1007/s10452-020-09822-5

Tekanova E. V. Korosov A. V. Kalinkina N. M. Isakova K. V. Ryzhakov A. V. The model of substances redistribution in the waters of Petrozavodsk Bay of Onega Lake, Principy ekologii. 2020. No. 2. P. 97–110. DOI: 10.15393/j1.art.2020.10762

Tischenko P. P. Zvalinskiy V. I. Mihaylik T. A. Tischenko P. Ya. Hypoxia of Peter the Great Bay, Izvestiya TINRO. 2021. T. 201, No. 3. P. 600–639. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-600-639

Vandysh O. I. Zooplankton as an indicator of the state of lake ecosystems polluted with mining wastewater in the Kola Peninsula, Ekologiya. 2004. No. 2. P. 134–140.

Vasiliskova A. V. Kondratenko S. V. Men'shenin A. S. Geoecological characteristics of an unnamed water body located in the near vicinity of the recultivated municipal solid waste landfill of the Kaliningrad region, Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle. 2023. T. 46. P. 16–34. DOI:10.26516/2073-3402.2023.46.16

Villeger S., Mason N. W., Mouillot D. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology, Ecology. 2008. Vol. 89. P. 2290–2301. DOI: 10.1890/07-1206.1

Weglenska T., Bownik-Dylinska L., Ejsmont-Karabin J. Structure and dynamics of zooplankton, Ekol. pol. 1983. Vol. 31. No. 3. R. 679–717.