



DOI: <https://doi.org/10.23859/estr-250906>

EDN: <https://elibrary.ru/ayuwug>

УДК 574.52

Научная статья

**Экологическое состояние молодых водоемов
карьерного происхождения (на примере
карьеров у поселков Нивы и Ушаково,
Калининградская область)**

В.В. Моисеенко^{1, 2*} , Н.А. Цупикова¹ , Е.А. Масюткина¹ ,
Е.А. Севостьянова¹ 

¹ Калининградский государственный технический университет, 236022, Россия, г. Калининград, Советский проспект, д. 1

² Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («АтлантНИРО»), 236022, Россия, г. Калининград, ул. Дмитрия Донского, д. 5

*moiseenko@atlant.vniro.ru

Аннотация. Приводятся результаты исследования современного экологического состояния двух молодых обводненных карьеров Калининградской области возле поселков Нивы и Ушаково. Отбор гидрохимических и гидробиологических проб проводился в весенне-летний период 2023 г. Установлено, что экосистемы исследуемых водоемов находятся на ранних этапах сукцессионного ряда и продолжают свое формирование. Содержание растворенного кислорода и биогенных элементов в обоих карьерах сходное, величина перманганатной окисляемости выше в обводненном карьере возле пос. Ушаково. Сообщества фитопланктона, зоопланктона и зообентоса карьеров представлены широко распространенными видами, однако видовое сходство между водоемами низкое. В карьере Ушаково наблюдаются сообщества гидробионтов, характеризующиеся более высоким видовым разнообразием, более сложной и более выровненной структурой, в которой представлено большее количество трофических групп. Анализ комплекса гидрохимических и гидробиологических показателей позволяет оценить качество вод рассматриваемых карьеров как переходное от чистого к умеренно-загрязненному.

Ключевые слова: техногенный водоем, гидрохимия, водная экосистема, фитопланктон, зоопланктон, зообентос

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Росрыболовства № 125022702954-5.

ORCID:

В.В. Моисеенко, <https://orcid.org/0009-0006-4645-0551>

Н.А. Цупикова, <https://orcid.org/0009-0006-9823-5810>

Е.А. Масюткина, <https://orcid.org/0009-0009-3080-7693>

Е.А. Севостьянова, <https://orcid.org/0000-0002-3917-1953>

Для цитирования: Моисеенко, В.В. и др., 2026. Экологическое состояние молодых водоемов карьерного происхождения (на примере карьеров у поселков Нивы и Ушаково, Калининградская область). *Трансформация экосистем* 9 (4), 33–59. <https://doi.org/10.23859/estr-250906>

Поступила в редакцию: 06.09.2025

Принята к печати: 12.11.2025

Опубликована онлайн: 09.10.2026

DOI: <https://doi.org/10.23859/estr-250906>

EDN: <https://elibrary.ru/ayuwug>

UDC 574.52

Article

Ecological status of recently formed quarry-origin water bodies: a case study of the Nivy and Ushakovo quarries, Kaliningrad Region

V.V. Moiseenko^{1, 2*} , N.A. Tsupikova¹ , E.A. Masyutkina¹ ,
E.A. Sevostyanova¹ 

¹ Kaliningrad State Technical University, Sovetsky Prospekt 1, Kaliningrad, 236022 Russia

² Atlantic Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography («AtlantNIRO»), Dmitry Donskoy St. 5, Kaliningrad, 236022 Russia

*moiseenko@atlant.vniro.ru

Abstract. This paper presents the results of an assessment of the current ecological status of two young flooded quarry lakes located in the Kaliningrad Region, near the settlements of Nivy and Ushakovo. The findings indicate that the ecosystems of both water bodies are at the early stages of succession and are still undergoing active formation. While dissolved oxygen and nutrient concentrations were highly similar across two water bodies, the permanganate index was significantly higher in the Ushakovo quarry lake. Phytoplankton, zooplankton, and zoobenthos communities in both lakes were composed of widely distributed species, though taxonomic similarity between the two water bodies remained low. The Ushakovo quarry supported aquatic communities with higher species diversity, a more complex, and more even structure, with a wider range of trophic groups. A comprehensive analysis of hydrochemical and hydrobiological parameters suggests that the water quality in both quarry lakes is currently transitional between clean and moderately polluted.

Keywords: man-made water body, hydrochemistry, aquatic ecosystem, phytoplankton, zooplankton, zoobenthos

Funding. This study was funded by the Federal Agency for Fisheries (Rosrybolovstvo) under State Assignment No. 125022702954-5.

ORCID:V.V. Moiseenko, <https://orcid.org/0009-0006-4645-0551>N.A. Tsupikova, <https://orcid.org/0009-0006-9823-5810>E.A. Masyutkina, <https://orcid.org/0009-0009-3080-7693>E.A. Sevostyanova, <https://orcid.org/0000-0002-3917-1953>

To cite this article: Moiseenko, V.V. et al., 2026. Ecological status of recently formed quarry-origin water bodies: a case study of the Nivy and Ushakovo quarries, Kaliningrad Region. *Ecosystem Transformation* 9 (4), 33–59. <https://doi.org/10.23859/estr-250906>

Received: 06.09.2025

Accepted: 12.11.2025

Published online: 09.10.2026

Введение

В последние десятилетия по всему миру значительно возрастает число антропогенных водоемов, образующихся в результате добычи строительных материалов, в том числе песчано-гравийных смесей. Эти водоемы, как правило, характеризуются изолированностью, значительной глубиной и специфическими гидрологическими и гидрохимическими условиями, отличающими их от естественных озер и прудов (Mironova et al., 2022; Seelen et al., 2021a). В Калининградской области, как и в других регионах, растет потребность в песчано-гравийном материале (ПГМ) и продуктах его переработки. Объемы добычи и переработки наращиваются: в настоящий момент на территории региона в разработке находятся 18 месторождений ПГМ и 29 месторождений строительного песка¹. Многие карьеры по добыче полезных ископаемых уже выработаны и заполнились водой, в результате чего образовались поверхностные водные объекты, именуемые обводненными карьерами (Выпханова и др., 2014). Такие водоемы активно используются для купания, отдыха, любительского рыболовства, некоторые – для рыбоводства (Seelen et al., 2021a, 2021b; Søndergaard et al., 2018). Однако несмотря на их широкое распространение, экосистемные процессы и закономерности сукцессии в обводненных карьерах остаются недостаточно изученными, особенно в контексте региональных особенностей их местоположения и глобальных изменений окружающей среды (Blanchette and Lund, 2016; Seelen et al., 2021a).

Карьерные и другие искусственные водоемы могут обладать высокой экологической ценностью, способствуя поддержанию биоразнообразия, предоставлению уникальных экосистемных услуг и даже восстановлению утраченных природных функций водно-болотных угодий. Например, в бассейне реки По (Италия) и в странах Западной Европы такие водоемы рассматриваются как перспективные объекты для реабилитации ландшафтов и улучшения качества водных экосистем (Ghirardi et al., 2023; Seelen et al., 2021a, 2021b). В то же время исследования в Восточной Европе и России подчеркивают важность учета локальных гидрологических, гидрохимических и биологических особенностей, а также влияния антропогенных и климатических факторов на динамику сукцессии (Домнин и др., 2023; Shelyuk and Astahova, 2021; Sienkiewicz and Gąsiorowski, 2016).

Понимание закономерностей развития экосистем молодых антропогенных водоемов необходимо для оценки их роли в сохранении регионального биоразнообразия (Tropek et al., 2010), разработки эффективных стратегий управления и восстановления водных объектов, включая предотвращение эвтрофикации и поддержание благоприятного гидрохимического режима (Napiórkowska-Krzebietke et al., 2023; Sienkiewicz and Gąsiorowski, 2016), прогнозирования последствий климатических и антропогенных изменений для водных экосистем (Seelen et al., 2021a, 2021b), обеспечения устойчивого использования водоемов для рекреации, рыбоводства и водоснабжения (Домнин и др., 2023; Lund and Blanchette, 2023; Seelen et al., 2021a, b).

Особенно актуально комплексное изучение молодых водоемов карьерного происхождения в Калининградской области, где отмечены специфические процессы взаимодействия с морскими и подземными водами, влияющие на минерализацию и экологическое состояние (Домнин и др., 2023). В

¹ Природные ресурсы. Правительство Калининградской области. Интернет-ресурс. URL: <https://gov39.ru/press/region/prirodnye-resursy/> (дата обращения: 23.04.2026).

то же время исследования в других регионах России (Ленинградская область, Западная Сибирь) и мира (Польша, Германия, Китай, США) подчеркивают, что малый возраст, ограниченная площадь водосбора, отсутствие развитой прибрежной зоны и особенности гидрохимии формируют уникальные условия для сукцессии карьеров (Dmitrakova et al., 2018; Sienkiewicz and Gąsiorowski, 2016; Stephan and Hubbard, 2022; Sumina and Koptseva, 2019; Xu et al., 2020). Новообразованные техногенные водные экосистемы, несмотря на небольшие размеры, вносят крупный вклад в региональное разнообразие за счет различий своего расположения и специфических условий (De Meester et al., 2005).

Целью данного исследования стал комплексный анализ экологического состояния двух молодых карьерных водоемов Калининградской области на начальной стадии формирования с учетом интегральной оценки гидрохимических и гидробиологических показателей. Такой подход позволяет выявить ранние этапы становления экосистем, определить факторы, лимитирующие развитие биоразнообразия.

Материалы и методы

Изучаемые водные объекты расположены в западной части Калининградской области и являются бывшими карьерами по добыче песчано-гравийного материала (Рис. 1). Оба водоема – новообразованные, их возраст не превышает пяти лет. Так, добыча песка в карьере возле п. Нивы (далее – карьер Нивы) велась с 2014 г. по 2020 г.; в 2022 г. котловина карьера наполнилась водой (Моисеенко и Цупикова, 2023). Разработка карьера возле п. Ушаково (далее – карьер Ушаково) началась в 2017 г., а в 2020 г. произошло заполнение бывшего карьера грунтовыми водами. В настоящее время на данном водном объекте ведется разведение молоди сиговых рыб в садках (Моисеенко и др., 2023). Для окружающей водоемы местности характерен однообразный выровненный рельеф, представленный моренными равнинами с бурыми лесными и дерново-слабоподзолистыми глееватыми и глеевыми почвами с высотой около 9 м н.у.м. (в районе карьера Нивы) и плоскими озерными и болотными низинными равнинами с дерново-слабоподзолистыми и аллювиальными почвами с высотой не более 2 м н.у.м. (вблизи карьера Ушаково).

Морфометрические параметры исследуемых обводненных карьеров рассчитывались с помощью нанесения контуров водоемов на электронную карту, основанную на спутниковых снимках. В качестве базового ресурса использовались различные картографические сервисы; предпочтение отдавалось платформам, на которых присутствовали спутниковые снимки, обеспечивающие достаточное качество изображения для большей части территории Калининградской области.

Материалы для исследования были собраны в весенне-летний период 2023 г. Отбор проб осуществлялся на трех станциях, расположенных в северной, центральной и южной частях каждого водного объекта. Такой выбор обеспечил охват пространственной изменчивости экосистем и видового разнообразия гидробионтов. Координаты станций отбора проб представлены в Табл. 1.

Поверхностный сток в изучаемые водные объекты рассчитывался согласно общепринятой методике².

Анализ гидрохимических проб осуществлялся в гидрохимической лаборатории ФГБОУ ВО «КГТУ» по стандартным методикам для объемных и колориметрических методов³ для растворенного кислорода, перманганатной окисляемости и биогенных элементов (азота аммонийного, нитритов и общего фосфора), являющихся наиболее характерными индикаторами экологического состояния водоемов.

Пробы фитопланктона, зоопланктона и зообентоса отбирали одновременно с гидрохимическими пробами с использованием плавсредства: в карьере Нивы в течение вегетационного периода (май–август), в карьере Ушаково – только в летний период. В период проведения отбора материалов в карьере Нивы систематически отмечалось повышение уровня воды, что указывает на нестабильность его гидрологических условий; в карьере Ушаково уровень воды не менялся.

Образцы фитопланктона были собраны из фотического слоя с последующей фиксацией раствором Люголя с добавлением формалина и ледяной уксусной кислоты и концентрацией путем прямой фильтрации. Пробы зоопланктона отбирали путем тотального облова сетью Джели (раз-

² Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты, 2015. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Москва, Россия, 146 с.

³ Характеристики загрязняющих веществ из раздела «II. Для водных объектов» «Перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды», 2016. ФГБУ УралНИИ «Экология», Екатеринбург, Россия, 296 с.

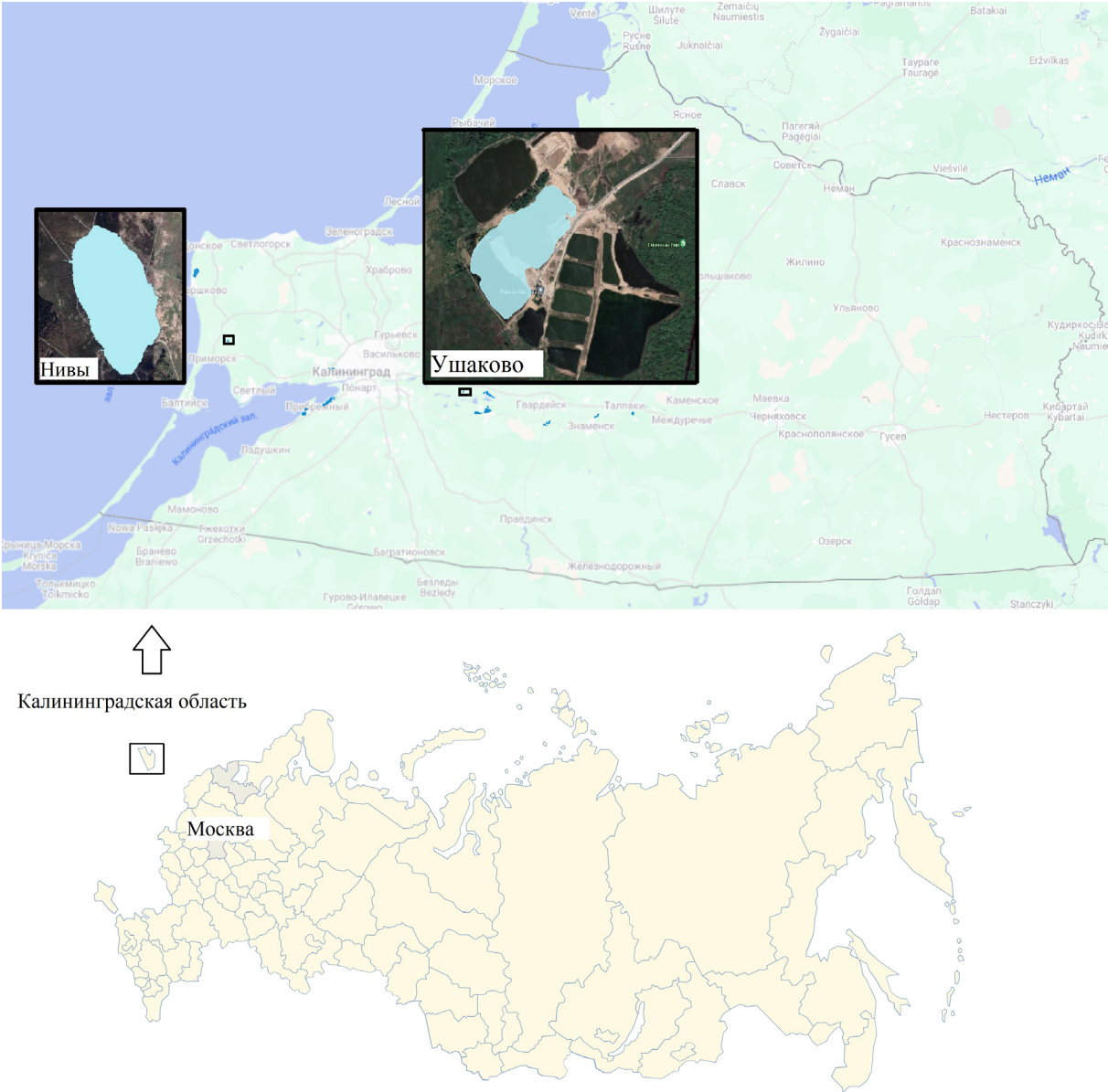


Рис. 1. Расположение обводненных карьеров возле п. Нивы и возле п. Ушаково.

Табл. 1. Координаты станций отбора проб.

Координаты	Водоем	
	Нивы	Ушаково
Станция 1 (север)	N 54.76677 E 20.05174	N 54.67534 E 20.81644
Станция 2 (центр)	N 54.76513 E 20.05299	N 54.67429 E 20.81524
Станция 3 (юг)	N 54.76345 E 20.05425	N 54.67323 E 20.81332

мер ячеек 99 мкм) с последующей фиксацией 40% раствором формалина до конечной концентрации в пробе 2–4%. Пробы зообентоса отбирали в прибрежной части водоемов скребком с длиной режущей стороны 0.24 м и фиксированной длиной пролонгации для получения проб грунта с равной площади облова. Пробы зообентоса фиксировали 4% раствором формальдегида.

Камеральную обработку собранного биологического материала проводили в лаборатории водной экологии КГТУ по соответствующим методикам (Крылов и др., 2024). Видовую идентификацию биологического материала и подсчет организмов осуществляли под стереомикроскопом Motic-Z171 (Motic China Group Co., Китай) и лабораторным микроскопом Motic-BA310 (Motic China Group Co., Китай) с использованием комплексных и специализированных определителей (Белякова и др., 2006; Медведева и Никулина, 2014; Определитель зоопланктона и зообентоса..., 2010, 2016). Для оценки разнообразия микроводорослей использовали число таксонов рангом на уровне рода и ниже.

Численность фитопланктона и зоопланктона определяли счетным методом. Для определения биомассы фитопланктона применяли счетно-объемный стереометрический метод. Для оценки размерной структуры фитопланктона использовали соотношение численность (N)/биомасса (B). Биомассу зоопланктона рассчитывали по уравнениям зависимости массы особей и длины тела (Крылов и др., 2024). Численность зообентоса устанавливали путем прямого подсчета, биомассу – взвешиванием на аналитических весах AND HR-250AZG (A&D Co. LTD, Япония). Для определения доминирующих видов использовали индекс Палия-Ковнацки (Шитиков и др., 2003); к доминирующим относили виды со значением индекса более десяти.

Степень сходства видового состава сообществ гидробионтов определяли при помощи показателя Сёренсена-Чекановского (Sorensen, 1948). Видовое разнообразие сообществ оценивали по индексу Шеннона, рассчитанному по численности (Shannon, 1949).

На основе анализа видового состава и количественного развития сообществ гидробионтов был определен трофический статус водоемов по И.Н. Андрониковой (1996). Оценка экологического состояния водоемов проведена по гидрохимическим показателям в соответствии с ГОСТ 17.1.2.04-77⁴, а также по комплексу гидробиологических показателей: по характеристикам фитопланктона по шкале У. Мишке, индексу сапробности Пантиле и Букка в модификации Сладечека, хирономидному индексу Балушкиной и олигохетному индексу (Методы гидробиологических исследований..., 2024; Шитиков, 2003; Mischke et al., 2002). Кормовую ценность водоемов определяли по зоопланктону и зообентосу в соответствии с классификацией ГосНИОРХ (Пидгайко и др., 1968).

Результаты исследования

Изучаемые обводненные карьеры, имея аналогичное техногенное происхождение и геолого-геоморфологические особенности, обладают схожими морфометрическими характеристиками. Однако по форме акватории они немного отличаются: так, карьер Нивы имеет в целом более округлые очертания при более изрезанной береговой линии. Заключенный в нем объем вод превышает вместимость котловины карьера Ушакова более чем в 1.7 раза (Табл. 2).

Особенности морфологии и морфометрии котловин обводненных карьеров (большая крутизна подводного склона, малая площадь мелководий) обуславливают устойчивую летнюю стратификацию водной массы, которая проявляется сильнее, чем в водоемах природного происхождения (Суховило и Романчук, 2018). Более глубокие водоемы способны обеспечить полную циркуляцию воды во время весенней и осенней конвекции, что сильно влияет на качество воды. Глубина 10–15 м оптимальна для формирования таких зон и снижения уязвимости водоема к эвтрофикации (Szatylowicz, 2015).

Площадь водосборных бассейнов обоих карьеров существенно меньше площади их акватории, что является следствием происхождения этих водоемов (Рис. 2). Годовой сток атмосферных осадков с поверхности водосбора⁵ составляет около 17.1 тыс. м³ в карьер Нивы и 25.4 тыс. м³ в карьер Ушакова. Таким образом, поверхностный сток в данные водоемы суммарно с атмосферными осадками, выпадающими непосредственно над акваторией карьеров, обеспечивает поступление соответственно не более 8 и 13% от общего объема их вод, то есть не может служить основным фактором наблюдавшегося столь быстрого заполнения данных карьеров водой; их пи-

⁴ ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов.

⁵ Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты, 2015. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Москва, Россия, 146 с.

Табл. 2. Морфометрические показатели обводненных карьеров Нивы и Ушаково.

Показатель	Водоем	
	Нивы	Ушаково
Площадь водного зеркала, га	12.6	10.9
Длина береговой линии, км	1.87	3.14
Длина, км	0.55	0.25
Средняя ширина, км	0.27	0.22
Максимальная ширина, км	0.29	0.25
Глубина наибольшая, м	~12	15
Объем вод, млн. м ³	≤1.51	0.86
Форма котловины	Эллипсоид	Параболоид
Коэффициент изрезанности береговой линии	1.9	1.3
Площадь водосборного бассейна, га	2.7	4.9

тание осуществляется в основном за счет подземных вод. В карьере Ушаково этому способствует его низинное положение, а в карьере Нивы у юго-восточного берега водоема на глубине менее 0.5 м обнаружен выход вод неизвестного происхождения, вероятным источником которых могут быть старые дренажные коммуникации.

На картах градостроительного зонирования и границ зон с особыми условиями использования территорий карьеры не отмечены как водные объекты и для них не установлены водоохранные зоны⁶. В настоящее время территория водосборного бассейна карьера Нивы относится к землям лесного фонда, отдельный земельный участок под водный объект не выделен, там располагаются лесовосстановительные посадки.

Водосборная территория карьера Ушаково, согласно Публичной кадастровой карте Калининградской области⁷, располагается в производственной зоне и зоне сельскохозяйственного использования. Окружающая местность изрезана разветвленной сетью мелиоративных каналов; немного южнее, на правом берегу р. Преголи, расположен ряд водонасосных станций.

Поскольку все пробы отбирались с поверхности, значения большинства рассматриваемых гидрохимических показателей на всех станциях обоих карьеров достаточно близки, за исключением перманганатной окисляемости. Прозрачность вод составляет 2–3 м, кислородные условия практически совпадают и являются благоприятными, насыщение воды в течение вегетационного периода близко к 100%. Количество легкоокисляемых органических веществ различается: величина перманганатной окисляемости в карьере Нивы по классификации О.А. Алекина (1970) оценивается как очень малая, в карьере Ушаково – средняя. Наличие в воде большого количества легкоокисляемой органики обусловлено наличием на карьере Ушаково функционирующего рыбоводного хозяйства.

Содержание растворенного кислорода, биогенных элементов и значение величины БПК₅ не превышают ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения, установленных Прика-

⁶ Правила землепользования и застройки муниципальных образований. Министерство градостроительной политики Калининградской области.. URL: <https://mingrad.gov39.ru/activity/pzz/#kld> (дата обращения: 22.04.2026).

⁷ Публичная кадастровая карта. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии. Интернет-ресурс. URL: <https://pkk.rosreestr.ru/> (дата обращения: 22.04.2026).

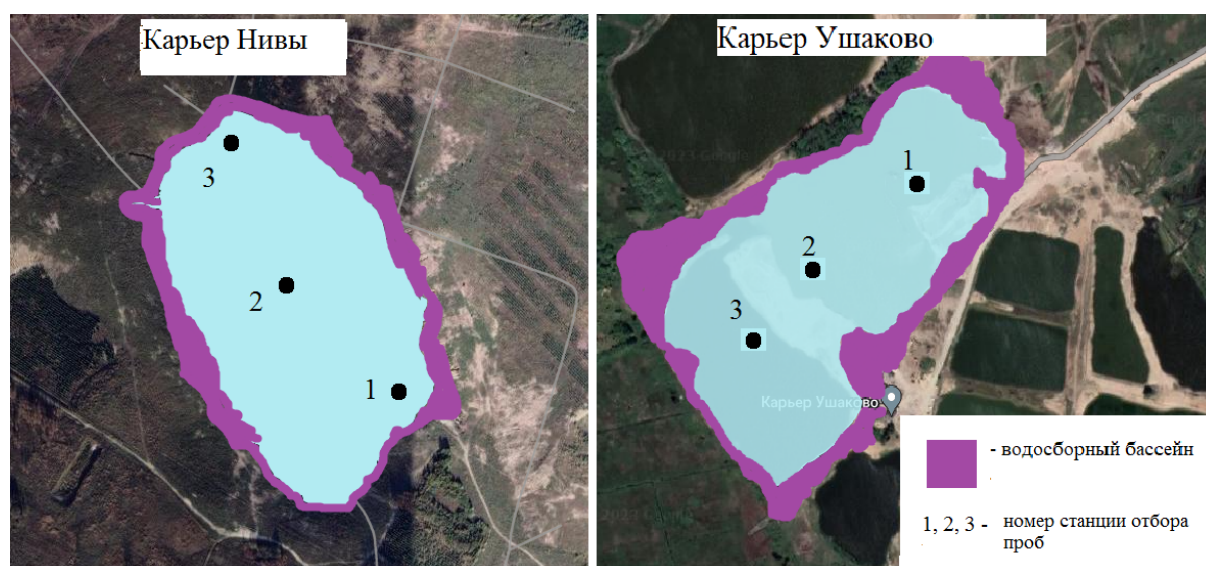


Рис. 2. Водосборные бассейны обводненных карьеров.

зом Минсельхоза⁸, исключение составляет лишь концентрация фосфатов в карьере Нивы. Повышенные по сравнению с Ушаковским карьером уровни БПК₅ и содержания фосфатов в карьере Нивы могут быть связаны с поступлением сельскохозяйственных стоков с расположенных вокруг полей, в том числе через дренажную систему.

В целом оба обводненных карьера по качеству вод можно отнести к классу олигосапробных (Табл. 3).

Альгофлора рассматриваемых водоемов отличалась по качественным и количественным показателям, причем в карьере Нивы она была значительно беднее. Фитопланктон обводненного карьера Ушаково насчитывал 45 таксонов из восьми отделов водорослей, в карьере Нивы – 32 таксона из семи отделов. Наибольшим видовым составом в обоих водоемах отличались отделы зеленых и диатомовых. В карьере Ушаково в меньшей степени были представлены криптофитовые, золотистые и стрептофитовые. В видовом богатстве карьера Нивы также выделялись эвгленовые и криптофитовые; цианопрокарियोты и динофитовые имели скудный видовой список (Табл. 4).

Для количественного развития фитопланктона в исследуемых водоемах характерна пространственная неоднородность. В карьере Ушаково численность и биомасса снижались по мере увеличения глубины станции (Рис. 3). Выраженное доминирование по численности на всех станциях, по биомассе на первой и второй станции демонстрировали цианопрокарियोтические водоросли (в среднем 86% численности, 39% биомассы). Численно лидировал вид *Dolichospermum planctonicum* (Brunnthal) Wacklin, L.Hoffmann & Komárek, часто массово встречающийся в летних ценозах как водоемов, так и водотоков (Горохова, 2018; Кулизин, 2023). Большую роль в значении биомассы также вносили динофитовые и эвгленовые водоросли (в сумме более 40%). Это согласуется с литературными данными, согласно которым отсутствие динамики водных масс, стратификация водоемов, а также повышение температуры воды могут приводить к ослаблению развития диатомовых водорослей и преобладанию крупноклеточных видов динофитовых (Горохова, 2017; Трифонова, 1990).

В карьере Ушаково отмечалась средняя корреляционная зависимость между содержанием азота аммонийного, БПК₅ и биомассой фитопланктона по станциям (значения r от 0.35 до 0.47), высокая – между кислородом и биомассой ($r = 0.63$). Связь между остальными изучаемыми параметрами выстраивалась слабая и очень слабая.

В карьере Нивы связь распределения численности и биомассы с глубиной станции прослеживалась не так явно. Численность фитопланктона слабо изменялась по сезонам (в среднем по

⁸ Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения. Приложение к приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. N 552 (с изменениями от 12 октября 2018 г., 10 марта 2020 г., 22 августа 2023 г.)

Табл. 3. Сапробность вод карьеров Нивы и Ушаково по ГОСТ 17.1.2.04-77⁹.

Показатель	Водоем			
	Нивы		Ушаково	
Перманганатная окисляемость, мгО/л	1.25 ±	Ксеносапробный	5.75 ±	Ксеносапробный
Растворенный кислород, %	100 ±	Олигосапробный	100 ±	Олигосапробный
Нитриты, мл/г	0.001	Ксеносапробный	0.001	Ксеносапробный
Фосфаты, мг/л	0.20 ±	Альфамезосапробный	0.025 ±	Олигосапробный
Азот аммонийный, мг/л	0.4 ±	Бетамезосапробный	0.20 ±	Бетамезосапробный
БПК ₅ , мгО ₂ /л	3.5 ±	Альфамезосапробный	2.5 ±	Бетамезосапробный

Табл. 4. Таксономический состав фитопланктона.

Отдел	Водоем			
	Нивы		Ушаково	
	Число таксонов	Доля, %	Число таксонов	Доля, %
Bacillariophyta	11	34.38	6	13.33
Chlorophyta	7	21.88	17	37.78
Chrysophyta	0	0.00	1	2.22
Cryptophyta	3	9.38	4	8.89
Цианопрокариоты	2	6.25	6	13.33
Dinophyta	2	6.25	5	11.11
Euglenophyta	5	15.63	5	11.11
Streptophyta	2	6.25	1	2.22
Всего	32	100	45	100

⁹ ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов.

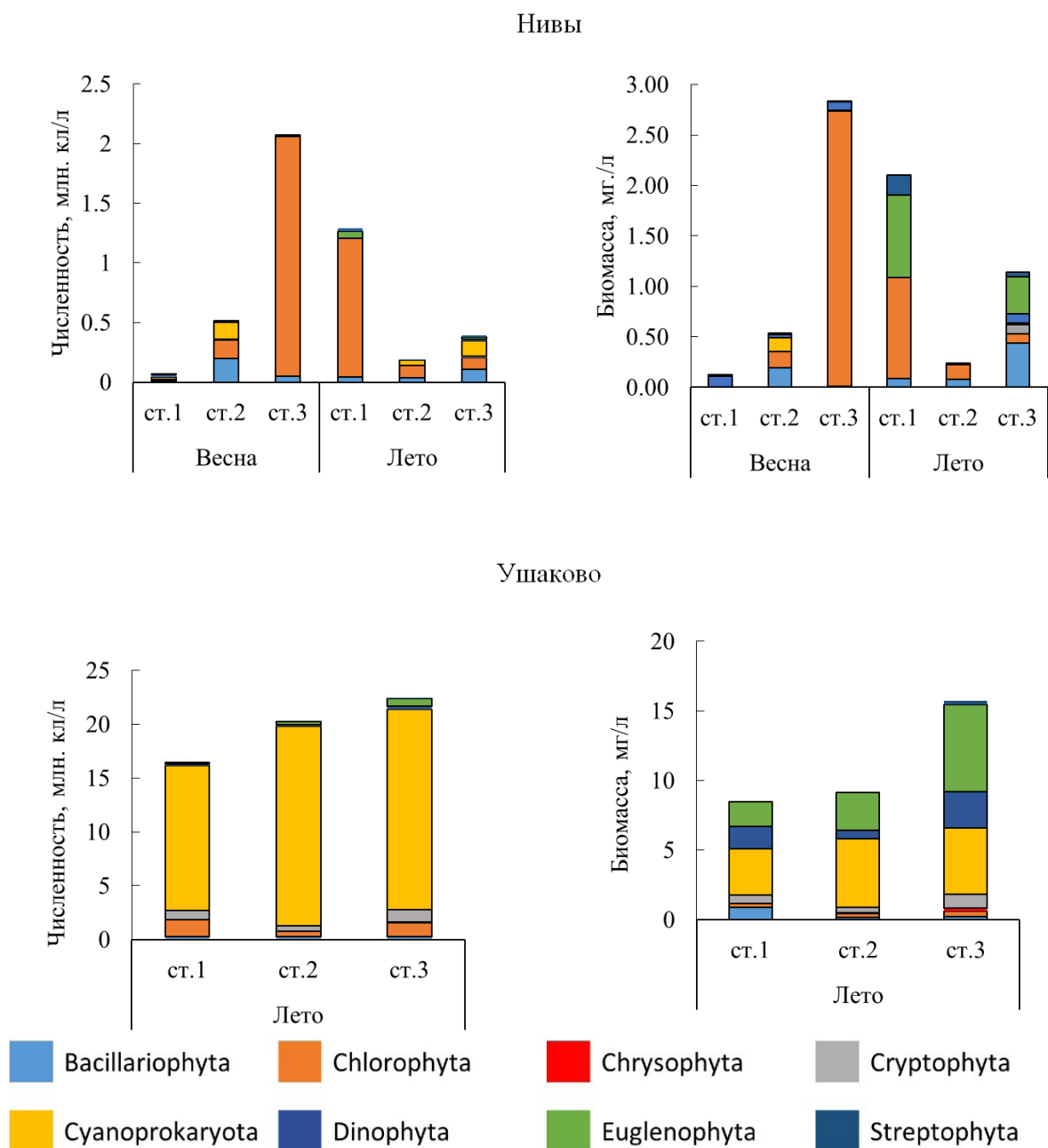


Рис. 3. Численность и биомасса фитопланктона исследуемых обводненных карьеров.

водоему в пределах 0.6–0.9 млн. кл/л), колебания биомассы также были невелики (1.1–1.2 мг/л), что соответствует среднему развитию фитопланктона согласно шкале М.Л. Пидгайко (1969). По станциям различия были более заметны. Максимальные значения численности и биомассы среди станций изменялись по сезонам: весной максимум отмечался на мелководье в северо-восточной части карьера, летом – на станции около юго-западного берега. В оба сезона ведущая роль на станциях с наибольшим развитием численности принадлежала зеленым водорослям (в среднем по водоему 79%). По сравнению с карьером Ушаково доля цианопрокариот в карьере Нивы значительно ниже (6–9%). Здесь обнаруживались средняя ($r = 0.57$, Ушаково) и высокая ($r = 0.73$, Нивы) связи между содержанием кислорода и развитием фитопланктона. Кроме того, весной была ярко выражена высокая и очень высокая связь биомассы фитопланктона ($r > 0.7$) с изменением величин БПК₅ и перманганатной окисляемости. В летний период связь с БПК₅ утрачивалась, что может свидетельствовать о возрастании роли других параметров.

Табл. 5. Видовой состав зоопланктона обводненных карьеров Ушаково и Нивы.

Группа	Таксон	Водоем		Индивидуальная сапробность (Kolkwitz and Marsson, 1902)
		Нивы	Ушаково	
Cladocera	<i>Biapertura affinis</i> (Leydig, 1860)		+	о-β
	<i>Bosmina longirostris</i> (Müller, 1785)	+	+	о-β
	<i>Coronatella rectangula</i> (Sars, 1862)	+		о-β
	<i>Chydorus sphaericus</i> (Müller, 1785)		+	β-о
	<i>Daphnia longispina</i> (Müller, 1776)	+		β
	<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)		+	β-о
	<i>Monoculus aduncus</i> (Jurine, 1820)		+	о-β
	Всего	3	5	
Copepoda	<i>Cyclops</i> sp.	+		–
	<i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus, 1857)		+	о
	<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)	+	+	о-β
	<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	+		о-β
	<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)	+	+	о
	Всего	4	3	
Rotifera	<i>Asplanhna priodonta</i> (Gosse, 1850)		+	β
	<i>Brachionus quadridentatus</i> (Hermann, 1783)	+		β
	<i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg, 1832)		+	β-о
	<i>Filinia terminalis</i> (Plate, 1886)		+	–
	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	+	+	о-β
	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)		+	о-β
	<i>K. quadrata</i> (Müller, 1785)	+	+	β-о
	<i>Polyarthra major</i> (Burckhardt 1900)		+	о-β
	<i>Trichocerca</i> sp.		+	β-о
	Всего	3	8	
Прочие	<i>Conchostraca</i> sp.		+	–
	Итого	10	17	

В ходе исследования карьеров Нивы и Ушаково обнаружено 22 вида зоопланктона (Табл. 5), в том числе 7 видов ветвистоусых ракообразных (Cladocera), 5 видов веслоногих ракообразных (Copepoda), 9 видов коловраток (Rotifera) и 1 вид ракушковых ракообразных (Conchostraca). Среди ветвистоусых ракообразных наиболее широко представлено семейство Chydoridae, среди коловраток – сем. Brachionidae, а среди веслоногих ракообразных – сем. Cyclopidae. Все обнаруженные виды неоднократно встречались нами в водных объектах Калининградской области (Шибаета и др., 2013; Shibaeva et al., 2018). Около 63% обнаруженных видов являются космополитами, порядка 26% составляют виды приуроченные к палеоарктической области и 11% – к голарктической. В карьерах слабо представлена высшая водная растительность, что связано с большой крутизной подводного склона и малой площадью мелководий. В результате в рассматриваемых водоемах формируется преимущественно пелагический комплекс видов зоопланктона; при этом он представлен в основном мирными формами.

В составе зоопланктона карьера Ушаково обнаружено 17 видов (Табл. 5), среди которых наиболее широко представлены коловратки – 8 видов. Разнообразие ветвистоусых и веслоногих ракообразных несколько меньше. Кроме того, в составе зоопланктона были отмечены пред-

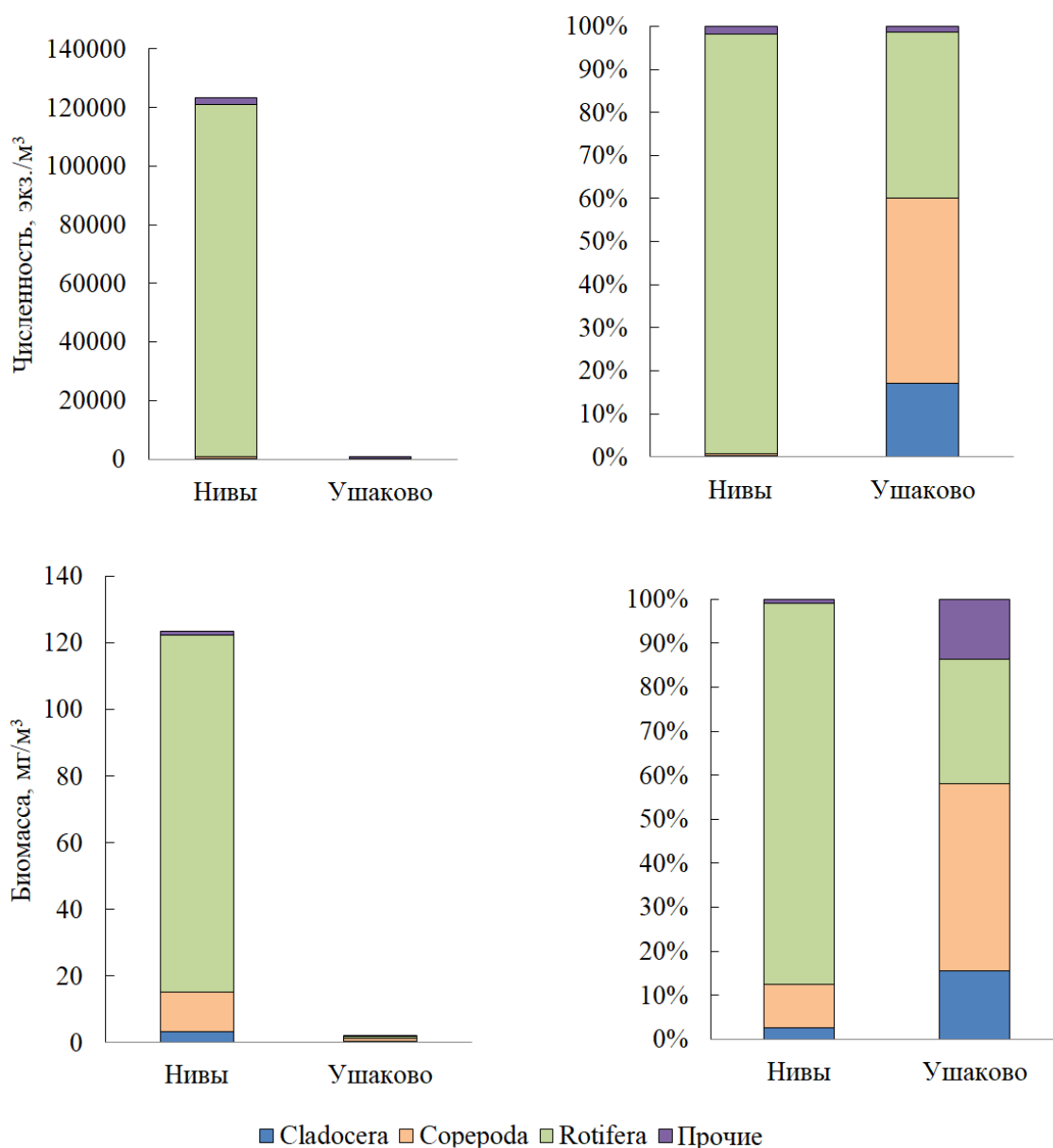


Рис. 4. Численность и биомасса зоопланктона исследуемых обводненных карьеров.

ставители ракушковых ракообразных. На всех исследуемых станциях найдены ветвистоусые ракообразные *Bosmina longirostris* и *Chydorus sphaericus*, веслоногие ракообразные *Diacyclops bicuspidatus*, *Eudiaptomus gracilis* и *Thermocyclops oithonoides*, а также коловратки *Asplanchna priodonta*, *Filinia terminalis* и *Keratella cochlearis*.

Зоопланктон карьера у п. Нивы значительно беднее и насчитывает всего 10 видов: 4 вида копепод и по 3 вида кладоцер и коловраток (Табл. 5). Зоопланктон карьера сформирован преимущественно мелкими видами. На всех исследуемых станциях как весной, так и летом обнаружен вид коловраток *Brachionus quadridentatus*. Ветвистоусый рачок *Bosmina longirostris* и коловратка *Keratella cochlearis* встречались реже (в 60% случаев).

Сходство видового состава зоопланктона между карьерами низкое: индекс видового сходства Чекановского-Серенсена составляет 0.27. Общими для обоих водоемов являются всего 5 видов.

Основу численности и биомассы в карьере Ушаково составляли веслоногие ракообразные и коловратки. В целом преобладание веслоногих по численности и биомассе над другими группами зоопланктона характерно для малых озер Калининградской области (Shibaeva et al., 2018). В карьере среди веслоногих по численности доминировали науплии и копеподиты, среди коловраток – *A. priodonta* и *F. terminalis*. Наибольшую долю биомассы формировали крупные веслоногие ракообразные *E. gracilis* и коловратки *A. priodonta*, что может являться следствием их большего размера относительно других видов. По способу захвата пищи в зооценозе по численности доминировали вертикаторы, хищные виды и первичные фильтраторы.

Численность зоопланктона карьера Нивы на 99% сформирована коловратками *Brachionus quadridentatus* (Рис. 4). На остальные виды приходится менее 1% от общей численности. При этом преобладание данного вида (с долей более 90%) наблюдалось на всех станциях как весной, так и летом. По биомассе этот вид также доминировал, однако свой вклад вносили и более крупные виды: *E. gracilis* и *D. longispina*.

Некоторые исследователи отмечают, что массовое развитие коловраток рода *Brachionus* свидетельствует об эвтрофном статусе водоема (Андроникова, 1996; Деревенская и др., 2019). В то же время стоит учитывать, что *B. quadridentatus* представляет собой мелкий эврибионтный вид с широкой экологической валентностью, обладающий высокой скоростью размножения и коротким жизненным циклом. По способу питания представители рода *Brachionus* принадлежат к вертикаторам, т.е. в процессе фильтрации воды через коловращательный аппарат улавливают фитопланктон, бактерии и частички детрита. В карьере Нивы в фауне фитопланктона преобладают зеленые водоросли, которые хорошо усваиваются коловратками *B. quadridentatus* (Heerkloß and Hlawka, 1995). Все это способствует быстрому размножению и расселению вида при отсутствии достаточного количества хищников. Кроме того, явление монодоминирования наблюдается в водоемах после проведения мероприятий по экореабилитации, а также в первые годы после образования новых водоемов (Деревенская, 2025).

В исследованных карьерах обнаружено 23 таксона зообентоса (рангом ниже рода), которые широко распространены в Палеарктике и неоднократно встречались в водоемах Калининградской области. Наибольшее разнообразие (11 таксонов) наблюдалось среди личинок комаров-звонцов (Табл. 6), что характерно и для других водоемов региона (Масюткина и др., 2014; Shibaeva et al., 2018).

Индекс Чекановского-Серенсена по зообентосу составляет 0.08, то есть видовое сходство между водными объектами практически отсутствует. Общими для обоих карьеров являются только водяные клопы *Sigara* sp.

В карьере Ушаково идентифицировано 15 таксонов зообентоса, в том числе: личинки комаров-звонцов, вислоккрылки, брюхоногие моллюски, малощетинковые черви, пиявки, водяные жуки и водяные клопы. Таким образом, в карьере обитают амфибионты, а также первичноводные организмы, видовой состав которых свидетельствует о наличии хотя бы непродолжительной гидрологической связи карьера с другими водными объектами (например, с мелиоративными каналами). Другой причиной сложившегося видового разнообразия донной фауны может являться вселение некоторых видов зообентоса (например, пиявок) при зарыблении карьера.

Зообентос карьера Нивы менее разнообразен (9 таксонов) и сформирован преимущественно амфибионтами: личинками хирономид, стрекоз, ручейников, вислоккрылок и водяными клопами. Это связано с непродолжительным периодом существования и гидрологической изолированностью карьера от других водоемов.

Основу численности зообентоса в карьере Ушаково формируют личинки комаров-звонцов, водяные жуки, моллюски и олигохеты. К доминирующим по численности видам относятся личинки

Табл. 6. Видовой состав зообентоса карьеров Нивы и Ушаково. Прочерк означает отсутствие данных.

Группа	Таксон	Водоем		Индивидуальная сапробность (Kolkwitz and Marsson, 1902)
		Нивы	Ушаково	
Chironomidae	<i>Chironomus plumosus</i> (L., 1758)	+		ρ
	<i>Chironomus</i> sp.		+	α-ρ
	<i>Cladotanytarsus mancus</i> (Walk., 1856)		+	–
	<i>Corynoneura</i> sp.	+		–
	<i>Cricotopus</i> sp.		+	–
	<i>Cryptochironomus defectus</i> (Kief., 1913)		+	α
	<i>Endochironomus albipennis</i> (Meig., 1830)		+	β
	<i>Polypedilum convictum</i> (Walk., 1856)	+		β-α
	<i>P. nubeculosum</i> (Meig., 1804)		+	β-α
Crustacea	<i>Procladius choreus</i> (Meig., 1804)	+		β-α
	<i>Tanytarsus</i> sp.	+		–
Hirudinea	<i>Asellus aquaticus</i> (L., 1758)		+	α
Mollusca	<i>Piscicola geometra</i> (L., 1758)		+	β
	<i>Radix auricularia</i> (L., 1758)		+	β-α
Odonata	<i>Lymnaea stagnalis</i> (L., 1758)		+	β
	<i>Cordulia aenea</i> (L., 1758)	+		–
Oligochaeta	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (Clap., 1862)		+	α-ρ
	<i>Ophidonais serpentina</i> (Müller, 1773)		+	–
Trichoptera	<i>Ecnomus tenellus</i> (Rambur, 1842)	+		–
Прочие	<i>Dytiscidae</i> (иммаго)		+	–
	<i>Dytiscidae</i> (личинка)		+	–
	<i>Sialis lutaria</i> (L., 1758)	+		β-α
	<i>Sigara</i> sp.	+	+	β
Итого	23	9	15	

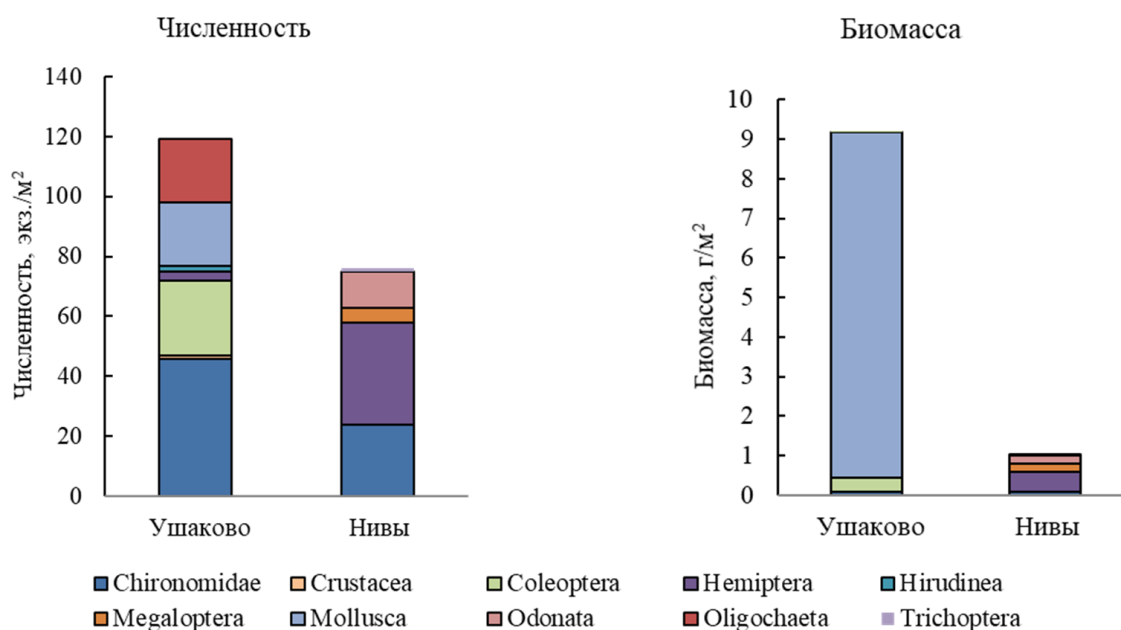


Рис. 5. Численность и биомасса зообентоса исследуемых обводненных карьеров.

хирономид *Polypedium nubeculosum*, моллюски *Radix auricularia* и водяные жуки сем. Dytiscidae, которые обитают в водоемах различных типов. По биомассе доминируют брюхоногие моллюски *R. auricularia* и *L. stagnalis*. В карьере Нивы по биомассе и численности доминируют водяные клопы *Sigara* sp. и личинки хирономид *Procladius choreus* (Рис. 5).

Доминирующий комплекс видов по биомассе составляют водяные клопы *Sigara* sp, вислокрылки *Sialis lutaria* и личинки стрекоз *Cordulia aenea*.

Обсуждение результатов

Общий генезис исследованных водоемов, которые сформировались вследствие обводнения карьеров, ранее использовавшихся для добычи песчано-гравийных материалов, обусловил их схожие морфометрические, а также некоторые гидрохимические характеристики. Для обоих водоемов характерно слабое развитие высшей водной растительности. Сообщества фитопланктона, зоопланктона и зообентоса карьеров включают широко распространенные виды, но существенно различаются как по видовому составу, так и по структуре.

Для новообразованных водоемов с несформировавшейся экосистемой характерны монодоминатные сообщества гидробионтов с видами, наиболее устойчивыми к экстремальным условиям среды. В частности, для зоопланктона это, например, коловратки из семейства Brachionidae (De Meester et al., 2005; Tavernini et al., 2009), что характерно и для карьера Нивы. На формирование сообществ гидробионтов в водоемах антропогенного происхождения могут влиять абиотические показатели, биотические взаимодействия (конкуренция, хищничество, паразитизм, мутуализм), а также факторы, непосредственно влияющие на вероятность того, что отдельные особи или виды достигнут данной среды обитания (обилие исходных местообитаний, характеристики регионального биоразнообразия) (De Meester et al., 2005). Так, карьере Ушаково свойствен ряд особенностей по сравнению с карьером Нивы: наличие эпизодической гидрологической связи с р. Преголя; зарыбление карьера и, как следствие, интродукция сопутствующих организмов из других водоемов; на два года более раннее заполнение карьера водой. Эти факторы могут являться причиной различий в биоразнообразии гидробионтов между обводненными карьерами Нивы и Ушаково.

Фитопланктон, имея более короткий жизненный цикл, может мгновенно реагировать на увеличение вариативности условий водной среды (Девяткин, 1983; Сахарова и Корнева, 2018). Вследствие этого для фитопланктона в обоих исследуемых водоемах более явно по сравнению с зоопланктоном и зообентосом прослеживались как пространственные, так и временные различия между станциями отбора проб.

Табл. 7. Показатели, отражающие трофический статус и экологическое состояние водоемов по структурно-функциональным параметрам сообществ фитопланктона, зоопланктона и зообентоса. N – численность, В – биомасса.

Показатель		Водоем	
		Карьер Нивы	Карьер Ушаково
Фитопланктон	Трофический статус по численности фитопланктона	Олиготрофный	Мезотрофный
	Трофический статус по биомассе фитопланктона	Мезотрофный	Эвтрофный
	Состояние по шкале У. Мишке	Хорошее	Удовлетворительное
	Индекс сапробности	2.0	1.9
	Индекс трофности Милиуса	Олиго-мезотрофный	Эвтрофный
		Индекс Шеннона	2.01
Отношение биомассы зоопланктона к фитопланктону		0.200	0.001
Зоопланктон	Nclad/Ncop	0.52 (Олиготрофный)	0.40 (Олиготрофный)
	Bclad/Bcop	0.28 (Олиготрофный)	0.35 (Олиготрофный)
	Bcusr/Brot	0.132	2.02
	Всред, мг	0.00097 (эвтрофный-гиперэвтрофный)	0.020 (олиго-мезотрофный)
	Трофический статус по биомассе зоопланктона	Олиготрофный	Олиготрофный
	Уровень кормности по биомассе зоопланктона	Малокоормный	Малокоормный
	Индекс Мязметса (E)	0.64 (Олиготрофный)	5 (Гиперэвтрофный)
	Индекс сапробности	1.55 (β-мезосапробный)	1.46 (олигосапробный)
	Индекс Шеннона	0.35	3.29
	Индекс сапробности	1.99 (β-мезосапробный)	2.21 (β-мезосапробный)
Зообентос	Индекс Шеннона	1.39	2.02
	Хирономидный индекс Балушкиной	4.84 (умеренно-загрязненный)	1.5 (умеренно-загрязненный)
	Олигохетный индекс	–	17 (чистый)
	Уровень кормности по биомассе зообентоса	Малокоормный	Малокоормный

Для оценки разнообразия применяли индекс Шеннона, который учитывает видовое разнообразие и численность каждого вида. Среднее значение индекса для карьера Ушаково было выше как по фитопланктону, так и по зоопланктону, что указывает на более высокую выровненность структуры планктона в этом карьере (Табл. 7). Очень низкие значения индекса Шеннона характерны для эвтрофных водоемов.

Биомасса фитопланктона является информативным и широко используемым критерием для оценки продуктивности водоемов. На ее основе разработана система количественных индикаторов, позволяющих дифференцировать водоемы по уровню трофности. В карьере Ушаково были зарегистрированы значения, соответствующие умеренно высокой интенсивности цветения и сильному развитию фитопланктона. Индекс трофности для этого водоема варьировал в диапазоне, характерном для эвтрофных вод. Этот вывод подтверждается анализом размерной структуры фитопланктона, для которой характерно преобладание мелкоклеточных форм водорослей (Корнева и др., 2021), а также сопоставлением биомассы с экологической шкалой состояния водоемов, предложенной У. Мишке (Mischke et al., 2002). В то же время в карьере Нивы значения биомассы и рассчитанные по ним индексы были более типичны для слабозрелых фитопланктонных сообществ (Китаев, 2007; Оксик и Стольберг, 1986; Пидгайко, 1969).

Дополнительное подтверждение этому можно найти при анализе соотношения биомассы зоо- и фитопланктона (Деревенская и др., 2012; Жданова и др., 2024). В олиготрофных водоемах биомасса зоопланктона превышает биомассу фитопланктона, что указывает на более эффективное потребление последнего и свидетельствует о сбалансированной экосистеме. При эвтрофировании соотношение меняется на обратное. В эвтрофных водных объектах усиливаются детритные пищевые цепи и ослабевают пастбищные. В результате доля бактерий и детрита в питании зоопланктона составляет значительно большую часть по сравнению с фитопланктоном. Среди зоопланктона в карьере Нивы преобладают организмы, потребляющие фитопланктон. В свою очередь, в карьере Ушаково добавляются хищные формы, в том числе облигатные, что указывает на более сложную трофическую структуру в данном водоеме. Таким образом, в исследованных водоемах шире представлены пастбищные пищевые цепи. По биомассе в обоих карьерах существенно преобладает фитопланктон (Табл. 7), что, по нашему мнению, связано не столько с эвтрофированием, сколько с недостатком зоопланктона, который может быть обусловлен как потреблением его более крупными формами гидробионтов, так и ранней стадией развития водоемов. Абсолютные значения биомассы зоопланктона в обоих карьерах очень низкие (менее 0.5 г/м^3), что характерно для олиготрофных водоемов.

Анализ структуры фитопланктона свидетельствует о переходном характере трофического статуса исследованных карьерных водоемов. Водоем у пос. Нивы – олиготрофно-мезотрофный, что проявляется в значительной доле зеленых и диатомовых водорослей при ограниченном развитии цианобактерий. Последние, напротив, многократно превосходили долю других отделов в карьере у пос. Ушаково, из-за чего зеленые и диатомовые были представлены в численности очень слабо; это соответствует мезотрофно-эвтрофному типу.

Фаунистический индекс Мязметса (E) учитывает присутствие видов-индикаторов эвтрофных и олиготрофных вод (Андроникова, 1996). В карьере Ушаково отсутствовали индикаторы олиготрофных, но присутствовали индикаторы эвтрофных вод; в результате состояние вод по индексу Мязметса соответствует гиперэвтрофному статусу. В карьере Нивы, оцененном как олиготрофный, также найдены виды-индикаторы эвтрофных вод и присутствовал один вид-индикатор олиготрофных водоемов. В обоих карьерах видами-индикаторами трофности являются всего 6 видов из обнаруженных 22. На наш взгляд, из рассматриваемых показателей фаунистический индекс Мязметса наименее достоверен, поскольку исследуемые карьеры можно назвать «молодыми»: они заполнены водой за 1–3 года до проведения исследований, и в них еще не сформировано климаксное сообщество гидробионтов. Кроме того, эпизодические исследования не позволяют идентифицировать весь комплекс видов, населяющих карьеры.

Проследить дальнейшее изменение трофического уровня позволит индекс трофности, основанный на соотношении биомасс крупных таксонов ($B_{\text{crust}}/B_{\text{rot}}$); в процессе эвтрофикации этот показатель снижается. В рамках текущих исследований более высокие значения данного индекса отмечены в карьере Ушаково.

Изменение трофического статуса также можно отследить по размерной структуре зоопланктона. При эвтрофикации отмечается тенденция замены крупных видов более мелкими. Зоопланктонное сообщество карьера Нивы сформировано преимущественно мелкими особями коловраток *B. quadridentatus*. В данном водоеме присутствуют более крупные виды кладоцер (*D. longispina*) и ко-

пепод (*E. gracilis*), но их численность незначительна. В состав зоопланктона карьера Ушаково, помимо мелких видов коловраток (*K. longispina*, *P. major*) и ветвистоусых ракообразных (*B. longirostris*), входят также и крупные виды коловраток (*A. priodonta*), ветвистоусых (*L. kindtii*) и веслоногих (*E. gracilis*) ракообразных. Таким образом, средняя масса особи зоопланктона в карьере Ушаково составляет 0.020 мг, что характерно для олиготрофных-мезотрофных водоемов. В карьере Нивы средняя масса особей зоопланктона не превышает 0.001 мг. Такие мелкие особи распространены в эвтрофных-гиперэвтрофных водоемах (Андроникова, 1996; Aubakirova et al., 2021; Haberman and Haldna, 2014).

Кормовая база водных экосистем, представленная зоопланктоном и зообентосом, является фундаментальным фактором, определяющим рыбопродуктивность водоемов. Изученные карьерные водоемы относятся к малокормным по рыбохозяйственной шкале.

Дополнительным критерием для оценки трофического статуса водоемов служит наличие и соотношение видов-индикаторов трофности в планктонных сообществах. Преобладание в составе фитопланктона карьеров водорослей-индикаторов β -мезосапробной зоны свидетельствует об их умеренном загрязнении. В карьере Ушаково преобладают олигосапробные виды; индекс сапробности соответствует чистой воде. В карьере Нивы немного выше численность β -мезосапробных видов, и по показателю сапробности воду в карьере можно оценить как умеренно загрязненную. При этом оба водоема демонстрируют показатели сапробности, находящиеся в переходной зоне от олигосапробной к β -мезосапробной.

Зообентос карьеров представлен β -мезосапробными и α -мезосапробными видами, причем численность β -мезосапробных видов несколько выше. Таким образом, воду в обоих карьерах можно охарактеризовать как умеренно-загрязненную или β -мезосапробную. Зообентос характеризует воду в придонном горизонте, где всегда присутствует некоторое количество органических веществ (Безматерных, 2007), поэтому значения индекса сапробности, рассчитанные по зообентосу, несколько выше, чем по зоопланктону.

Личинки комаров-звонцов были обнаружены в обоих карьерах, при этом среди хирономид наблюдалось наибольшее разнообразие видов, что позволило провести оценку качества воды по хирономидному индексу Балушкиной. Значение данного показателя несколько выше в карьере Нивы, но все равно не выходит за рамки умеренного загрязнения. Аналогичного качества также вода и в карьере Ушаково.

Олигохеты являются индикаторами качества воды только для карьера Ушаково, поскольку в карьере Нивы они не обнаружены. Доля олигохет в карьере Ушаково составляет около 17%, что свидетельствует о чистой воде.

Заключение

Оба исследованных обводненных карьера обладают малой площадью водосборного бассейна, преимущественно грунтовым питанием и глубинами более 10 м, способствующими устойчивой стратификации вод. В водоемах складываются благоприятные кислородные условия, прозрачность воды составляет 2–3 м, содержание биогенных элементов и величина БПК₅ не превышают ПДК для водных объектов рыбохозяйственного назначения. По ряду гидрохимических показателей оба карьера можно отнести к олигосапробным, что соответствует категории чистых вод. Однако по индикаторным характеристикам зоопланктона и зообентоса качество воды карьеров оценивается как переходное от чистого к умеренно-загрязненному, по показателям фитопланктона – как более загрязненное.

Сообщества гидробионтов (фитопланктона, зоопланктона и зообентоса) в обоих карьерах представлены широко распространенными видами, но видовое сходство между водоемами низкое (обнаружен лишь один общий вид). Разнообразие фито-, зоопланктона и зообентоса карьера Нивы беднее по сравнению с карьером Ушаково, где отмечается более высокое видовое богатство, сложная и выровненная структура сообществ. Это обусловлено более ранним заполнением карьера Ушаково водой, эпизодическими гидрологическими связями с другими водными объектами и зарыблением. Зообентос карьера Нивы сформирован амфибионтами, в то время как в карьере Ушаково обитают и первичноводные виды. Биомасса зоопланктона и зообентоса в обоих водоемах соответствует малокормным водоемам по рыбохозяйственной шкале ГосНИОРХ.

Экосистемы исследуемых водоемов находятся на ранних этапах сукцессии и продолжают формироваться. Анализ структурных показателей сообщества зоопланктона свидетельствует о преимущественно олиготрофном статусе обоих карьеров.

В альгофлоре карьера Нивы ведущая роль по численности и биомассе принадлежала зеленым водорослям, в то время как в карьере Ушаково преобладали цианопрокариоты. Наблюдающаяся пространственная и временная неоднородность фитопланктона, а также доминирование цианопрокариот в карьере Ушаково могут быть связаны с зависимостью альгофлоры от биогенной нагрузки, возрастающей на водоемах, используемых в рыбохозяйственных целях. В карьере Ушаково максимальные значения численности и биомассы фитопланктона приурочены к относительно мелководным участкам с более пологим склоном. В карьере Нивы, несмотря на более высокие уровни биогенных веществ, установлены более низкие количественные характеристики фитопланктона как по численности, так и по биомассе.

В фауне зоопланктона карьера Нивы на всех станциях наблюдалось массовое развитие коловраток *Brachionus quadridentatus*. Основу численности и биомассы зоопланктона карьера Ушаково составляли ветвистоусые ракообразные и коловратки.

Таким образом, к характерным особенностям молодых водоемов карьерного происхождения в Калининградской области относятся высокая прозрачность воды, ограниченное распространение макрофитной растительности, высокое содержание растворенного кислорода при его интенсивном биохимическом потреблении. Для оценки трофического статуса подобных водоемов целесообразно использовать показатели биомассы зоопланктона и зообентоса, поскольку видовой состав гидробионтов на начальных этапах сукцессии может формироваться наиболее толерантными видами. Это явление обусловлено высокой жесткостью подземных вод гидрокарбонатного магниево-кальциевого типа, первоначально заполняющих вновь образованные котловины. Фитопланктон – более динамичный во времени объект исследования, что затрудняет его использование для оценки экологического состояния в рамках рейдовых наблюдений.

Эксплуатация обводненных карьеров для целей аквакультуры может опосредованно способствовать изменению видового состава и увеличению видового разнообразия планктонных сообществ через усложнение трофической структуры, которое в карьере Ушаково проявлялось в увеличении доли хищных форм зоопланктона и соответственно усилении детритных пищевых цепей.

Список литературы

- Алекин, О.А., 1970. Основы гидрохимии. Гидрометеиздат, Ленинград, СССР, 443 с.
- Андроникова, И.Н., 1996. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. Наука, Санкт-Петербург, СССР, 189 с.
- Белякова, Р.Н., Волошко, Л.Н., Гаврилова, О.В., Гогорев, Р.М., Макарова, И.В., Окологков, Ю.Б., Рундина, Л.А., 2006. Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов Северо-Запада России. Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 369 с.
- Безматерных, Д.М., 2007. Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири. Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения РАН, Институт водных и экологических проблем, Новосибирск, Россия, 87 с.
- Выпханова, Г.В., Ершова, И.В., Шпаковский, Ю.Г., Агафонов, В.Б., 2014. Природоресурсное законодательство в условиях модернизации экономики России: современные проблемы. Норма: НИЦ ИНФРА-М, Москва, Россия, 160 с.
- Горохова, О.Г., 2017. Водоросли планктона малых водоемов юга лесостепного Поволжья (Количественная характеристика фитопланктона). *Известия Самарского научного центра Российской академии наук* 19 (5), 192–199.
- Горохова, О.Г., 2018. Состав массовых видов и структура альгоценозов при «цветении» воды в малых водоемах юга лесостепного Поволжья. *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки* 160 (2), 276–291.
- Девяткин, В.Г., 1983. Состав и продуктивность фитопланктона в прибрежной зоне Рыбинского водохранилища. В: Монаков, А.В. (ред.), *Пресноводные гидробионты и их биология*. Наука, Ленинград, СССР, 52–70.

- Деревенская, О.Ю., 2025. Изменение зоопланктона водоемов г. Казани после проведения мероприятий по экореабилитации. *Трансформация экосистем* 8 (1), 161–184. <https://doi.org/10.23859/estr-230515>
- Деревенская, О.Ю., Палагушкина, О.В., Мингазова, Н.М., 2012. Трофические взаимоотношения фито- и зоопланктона в карстовых озерах. *Теоретическая и прикладная экология* 3, 84–89.
- Деревенская, О.Ю., Мингазова, Н.М., Унковская, Е.Н., 2019. Изменение структуры сообществ зоопланктона в процессе эвтрофирования озер Среднего Поволжья. *Экосистемы* 20, 92–104.
- Домнин, Д.А., Михневич, Г.С., Вершинин, Д.С., Карманов, К.В., Гмыря, Е.И., 2023. Условия взаимодействия морских и пресных вод в системе прибрежных обводненных карьеров Юго-Восточной Балтики. *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки* 165 (3), 467–485. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.3.467-485>
- Жданова, С.М., Пряничникова, Е.Г., Семенова, А.С., Сиделев, С.И., Беляков, Е.А., Соколова, А.С., 2024. Фитопланктон, зоопланктон и макрозообентос некоторых малых озер (Ярославская область, Россия). *Трансформация экосистем* 7 (1), 85–119. <https://doi.org/10.23859/estr-220802>
- Китаев, С.П., 2007. Основы лимнологии для гидробионтов и ихтиологов. Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, Россия, 395 с.
- Корнева, Л.Г., Митропольская, И.В., Макаренкова, Н.Н., Цветков, А.И., 2021. Структура и динамика фитопланктона больших мелководных зарастающих озер (Воже и Лача, Вологодская и Архангельская области, Россия). *Труды ИБВВ РАН* 94 (97), 17–29.
- Крылов, А.В., Березина, Н.А., Воронин, Л.В., Барышев, И.А., Безматерных, Д.М., Герасимова, А.А., 2024. Методы гидробиологических исследований внутренних вод. Филигрань, Ярославль, Россия, 592 с.
- Кулизин, П.В., 2023. Состав, структура и сукцессия фитопланктона водотоков Юга таежной зоны в пределах водосбора Средней Волги. *Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук*. Нижний Новгород, Россия, 24 с.
- Масюткина, Е.А., Шибаева, М.Н., Матвеева, Е.П., 2014. Комары-звонцы сем. Chironomidae как показатель качества воды малых водоемов Калининградской области. *Известия КГТУ* 32, 54–62.
- Медведева, Л.А., Никулина, Т.В., 2014. Каталог пресноводных водорослей юга Дальнего Востока России. Дальнаука, Владивосток, Россия, 271 с.
- Моисеенко, В.В., Цупикова, Н.А., 2023. Рыбоводно-экологическая характеристика обводненного карьера возле п. Нивы (Калининградская область). *Сборник статей II международной научно-практической конференции «Актуальные экологические проблемы и экологическая безопасность в современных условиях», Саратов, 25.10.2023*. Саратов, Россия, 292–300.
- Моисеенко, В.В., Цупикова, Н.А., Шибаев, С.В., 2023. Исследование экологического состояния обводненного карьера возле п. Ушаково. *Материалы XI Международного Балтийского морского форума, Калининград, 25–30.09.2023*. Калининград, Россия, 192–198.
- Оксиюк, О.П., Стольберг, Ф.В., 1986. Управление качеством воды в каналах. Наукова думка, Киев, СССР, 176 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон, 2010. Алексеев, В.Р., Цалолихин, С.Я. (ред.). Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 495 с.

- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос, 2016. Алексеев, В.Р., Цалолихин, С.Я. (ред.). Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 457 с.
- Пидгайко, М.Л., 1969. Прибрежный зоопланктон в условиях «цветения» воды в Кременчугском водохранилище. *Гидробиологический журнал* **26** (5), 26–32.
- Пидгайко, М.Л., Александров, Б.М., Иоффе, Ц.И., Максимова, Л.П., Петров, В.В., Саватеева, Е.Б., Салазкин, А.А., 1968. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов СевероЗапада СССР. *Известия ГосНИОРХ* **67**, 205–228.
- Сахарова, Е.Г., Корнева, Л.Г., 2018. Фитопланктон литорали и пелагиали Рыбинского водохранилища в годы с разными температурным и уровнем режимами. *Биология внутренних вод* **1**, 11–18. <https://doi.org/10.7868/S0320965218010023>
- Суховило, Н.Ю., Романчук А.И., 2018. Термодинамические и гидрохимические особенности малых озер и меловых карьерных водоемов Беларуси и Польши. *Материалы VI Международной конференции «Актуальные вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств»*. Гомель, Беларусь, 42–47.
- Трифонов, И.С., 1990. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Наука, Ленинград, СССР, 184 с.
- Шиббаева, М.Н., Масюткина, Е.А., Матвеева, Е.П., Охупкина, А.А., 2013. Видовое разнообразие зоопланктона как показатель экологического состояния водоемов Калининградской области. *Известия Калининградского государственного технического университета* **28**, 153–163.
- Шитиков, В.К., Розенберг, Г.С., Зинченко, Т.Д., 2003. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. ИЭВБ РАН, Тольятти, Россия, 463 с.
- Aubakirova, M., Krupa, E., Mazhibayeva, Z., Isbekov, K., Assylbekova, S., 2021. The role of external factors in the variability of the structure of the zooplankton community of small lakes (south-east Kazakhstan). *Water* **13** (7), 1–20. <https://doi.org/10.3390/w13070962>
- Blanchette, M., Lund, M., 2016. Pit lakes are a global legacy of mining: an integrated approach to achieving sustainable ecosystems and value for communities. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **23**, 28–34. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2016.11.012>
- De Meester, L., Declerck, S., Stoks, R., Louette, G., Van De Meutter, F. et al., 2005. Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. *Aquatic Conservation* **15**, 715–725.
- Dmitrakova, Y., Rodina, O., Alekseev, I., Polyakov, V., Petrova, A. et al., 2018. Restoration of soil-vegetation cover and soil microbial community at the Pechurki limestone quarry (Leningrad region, Russia). *Soil Science Annual* **69**, 272–286. <https://doi.org/10.2478/ssa-2018-0028>
- Ghirardi, N., Bresciani, M., Pinardi, M., Nizzoli, D., Viaroli, P., 2023. Pit lakes from gravel and sand quarrying in the Po River basin: An opportunity for riverscape rehabilitation and ecosystem services improvement. *Ecological Engineering* **196**, 107103. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107103>
- Haberman, J., Haldna, M., 2014. Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Võrtsjärv. *Journal of Limnology* **73** (2), 263–273. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2014.828>
- Heerkloß, R., Hlawka, S., 1995. Feeding biology of two brachionid rotifers: *Brachionus quadridentatus* and *Brachionus plicatilis*. *Hydrobiologia* **313**, 219–221. <https://doi.org/10.1007/BF00025954>

- Kolkwitz, R., Marsson, M., 1902. Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. *Mitteilungen der Königlichen Prüfanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung* **1**, 33–72. (In German).
- Lund, M., Blanchette, M., 2023. Closing pit lakes as aquatic ecosystems: Risk, reality, and future uses. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* **10** (4), e1648. <https://doi.org/10.1002/wat2.1648>
- Mironova, N., Mateyuk, O., Biletska, H., Shevchenko, S., Kazimirova, L. et al., 2022. Parametric assessment of macrophytes ecological niches in solving problems of sand quarry lakes phytomelioration. *Journal of Human, Earth, and Future* **3** (4), 215–224. <https://doi.org/10.28991/hef-2022-03-04-02>
- Mischke, U., Nixdorf, B., Hoehn, E., Riedmüller, U., 2002. Möglichkeiten zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons. Aktueller Stand in Deutschland. In: Deneke, R., Nixdorf, B. (eds.), *Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. Aktuelle Reihe*. Eigenverlag der BTU, Cottbus, Germany, 25–37. (In German).
- Napiórkowska-Krzebietke, A., Skrzypczak, A., Kicińska, A., 2023. Abiotic–biotic interrelations in the context of stabilized ecological potential of post-mining waters. *Water* **15** (19), 3328. <https://doi.org/10.3390/w15193328>
- Seelen, L., Teurlincx, S., Armstrong, M., Lüring, M., Van Donk, E., De Senerpont Domis, L., 2021a. Serving many masters at once: a framework for assessing ecosystem services delivered by quarry lakes. *Inland Waters* **12**, 121–137. <https://doi.org/10.1080/20442041.2021.1944765>
- Seelen, L., Teurlincx, S., Bruinsma, J., Huijsmans, T., Van Donk, E., Lüring, M., De Senerpont Domis, L., 2021b. The value of novel ecosystems: Disclosing the ecological quality of quarry lakes. *The Science Of the Total Environment* **769**, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144294>
- Shannon, C.E., 1949. The mathematical theory of communication. *University of Illinois Press*, Urbana, USA, 117 p.
- Shelyuk, Y.S., Astahova, L.Y., 2021. Phytoplankton succession in the anthropogenic and climate ecological transformation of freshwater ecosystems. *Biosystems Diversity* **29** (2), 119–128.
- Shibaeva, M.N., Masyutkina, E.A., Shibaev, S.V., 2018. Hydrobiological characteristics of water bodies in the Kaliningrad Region. *The Handbook of Environmental Chemistry* **65**, 285–316. https://doi.org/10.1007/698_2017_99
- Sienkiewicz, E., Gąsiorowski, M., 2016. The evolution of a mining lake – From acidity to natural neutralization. *The Science Of the Total Environment* **557-558**, 343–354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.088>
- Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Johansson, L.S., Jeppesen, E., 2018. Gravel pit lakes in Denmark: chemical and biological state. *The Science Of the Total Environment* **612** (9), 17.
- 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.
- Stephan, K., Hubbart, J., 2022. Plant community, soil and microclimate attributes after 70 Years of natural recovery of an abandoned limestone quarry. *Land* **12** (1), 117. <https://doi.org/10.3390/land12010117>
- Sumina, O., Koptseva E., 2019. Vegetation monitoring on quarries in the Russian Far North as a basis for creating models and analyzing trends of landscape processes. Current trends in landscape

research. In: Mueller, L., Eulenstein, F. (eds.), *Innovations in landscape research*. Springer Nature, Cham, Germany, 559–578. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30069-2_25

Szatyłowicz, E., Matulewicz, D., Skoczko, I., 2015. Assessment of susceptibility to degradation by Schindler factor of selected reservoirs in Podlaskie. *Journal of Ecological Engineering* 16 (4), 81–88.

Tavernini, S., Viaroli, P., Rossetti, G., 2009. Zooplankton community structure and inter-annual dynamics in two sand-pit lakes with different dredging impact. *International Review of Hydrobiology* 94 (3), 290–307. <https://doi.org/10.1002/iroh.200811124>

Tropek, R., Kadlec, T., Karešová, P., Spitzer, L., Kočárek, P. et al., 2010. Spontaneous succession in limestone quarries as an effective restoration tool for endangered arthropods and plants. *Journal of Applied Ecology* 47, 139–147. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2664.2009.01746.X>

Xu, J., Yin, P., Hu, W., Fu, L., Zhao, H., 2020. Assessing the ecological regime and spatial spillover effects of a reclaimed mining subsided lake: A case study of the Pan'an Lake wetland in Xuzhou. *PLoS ONE* 15 (8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238243>

References

Alekin, O.A., 1970. *Osnovy gidrokhimii* [Fundamentals of hydrochemistry]. Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR, 443 p. (In Russian).

Andronikova, I.N., 1996. *Strukturno-funkcional'naiia organizatsiia zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipov* [Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of various trophic types]. Nauka, Saint-Petersburg, SSSR, 189 p. (In Russian).

Aubakirova, M., Krupa, E., Mazhibayeva, Z., Isbekov, K., Assylbekova, S., 2021. The role of external factors in the variability of the structure of the zooplankton community of small lakes (south-east Kazakhstan). *Water* 13 (7), 1–20. <https://doi.org/10.3390/w13070962>

Beliakova, R.N., Voloshko, L.N., Gavrilova, O.V., Gogorev, R.M., Makarova, I.V., Okolodkov, Yu.B., Rundina, L.A., 2006. *Vodorosli, vyzyvaiushhie «cvetenie» vodoemov na Severo-zapade Rossii* [Algae causing «blooming» of water bodies in Northwestern Russia]. KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 369 p. (In Russian).

Bezmaternykh, D.M., 2007. *Zoobentos kak indikator ekologicheskogo sostoiianiia vodnykh ekosistem Zapadnoi Sibiri* [Zoobenthos as an indicator of the ecological status of aquatic ecosystems in Western Siberia]. State Public Scientific and Technical Library of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Institute of Water and Environmental Problems, Novosibirsk, Russia, 87 p. (In Russian).

Blanchette, M., Lund, M., 2016. Pit lakes are a global legacy of mining: an integrated approach to achieving sustainable ecosystems and value for communities. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 23, 28–34. <https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2016.11.012>

De Meester, L., Declerck, S., Stoks, R., Louette, G., Van De Meutter, F. et al., 2005. Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. *Aquatic Conservation* 15, 715–725.

Derevenskaya, O.Yu., 2025. Changes in zooplankton in Kazan reservoirs after the implementation of ecorehabilitation measures]. *Ecosystem Transformation* 8 (1), 161–184. <https://doi.org/10.23859/estr-230515>

Derevenskaya, O.Yu., Palagushkina, O.V., Mingazova, N.M., 2012. *Troficheskie vzaimootnosheniia fito- i zooplanktona v karstovykh ozerakh* [Trophic relationships of phyto- and zooplankton in karst lakes]. *Teoreticheskaiia i prikladnaia ekologiia* [Theoretical and Applied Ecology] 3, 84–89. (In Russian).

- Derevenskaya, O.Yu., Mingazova, N.M., Unkovskaia, E.N., 2019. Izmenenie struktury soobshhestv zooplanktona v processe eutrofirovaniia ozer Srednego Povolzh'ia [Changes in the structure of zooplankton communities during the eutrophication of lakes in the Middle Volga region]. *Ekosistemy [Ecosystems]* **20**, 92–104. (In Russian).
- Deviatkin, V.G., 1983. Sostav i produktivnost' fitoplanktona v pribrezhnoi zone Rybinskogo vodohranilishcha [Phytoplankton composition and productivity in the coastal zone of the Rybinsk reservoir]. In: Monajkov, A.V. (ed.), *Presnovodnye gidrobionty i ikh biologiya [Freshwater aquatic organisms and their biology]*. Nauka, Leningrad, USSR, 52–70. (In Russian).
- Dmitrakova, Y., Rodina, O., Alekseev, I., Polyakov, V., Petrova, A. et al., 2018. Restoration of soil-vegetation cover and soil microbial community at the Pechurki limestone quarry (Leningrad region, Russia). *Soil Science Annual* **69**, 272–286. <https://doi.org/10.2478/ssa-2018-0028>
- Domnin, D.A., Mikhnevich, G.S., Vershinin, D.S., Karmanov, K.V., Gmyria, E.I., 2023. Usloviia vzaimodeistviia morskikh i presnykh vod v sisteme pribrezhnykh obvodnennykh kar'erov lugo-Vostochnoi Baltiki [Conditions of interaction between marine and fresh waters in the system of coastal flooded quarries in the South-Eastern Baltic Sea]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki [Scientific Notes of Kazan University. Series Natural Sciences]* **165** (3), 467–485. (In Russian). <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.3.467-485>
- Ghirardi, N., Bresciani, M., Pinardi, M., Nizzoli, D., Viaroli, P., 2023. Pit lakes from gravel and sand quarrying in the Po River basin: An opportunity for riverscape rehabilitation and ecosystem services improvement. *Ecological Engineering* **196**, 107103. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.107103>
- Gorokhova, O.G., 2017. Vodorosli planktona malykh vodoemov iuga lesostepnogo Povolzh'ia (Kolichestvennaia kharakteristika fitoplanktona) [Algae of plankton of small reservoirs in the south of the forest-steppe Volga region (Quantitative characteristics of phytoplankton)]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]* **19** (5), 192–199. (In Russian).
- Gorokhova, O.G., 2018. Sostav massovykh vidov i struktura al'gotsenozov pri «tsvetenii» vody v malykh vodoemakh iuga lesostepnogo Povolzh'ia [The composition of mass species and the structure of algocenoses during the «flowering» of water in small reservoirs in the south of the forest-steppe Volga region]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Estestvennye nauki [Scientific Notes of Kazan University. Series Natural Sciences]* **160** (2), 276–291. (In Russian).
- Haberman, J., Haldna, M., 2014. Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Vörtsjärv. *Journal of Limnology* **73** (2), 263–273. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2014.828>
- Heerkloß, R., Hlawa, S., 1995. Feeding biology of two brachionid rotifers: *Brachionus quadridentatus* and *Brachionus plicatilis*. *Hydrobiologia* **313**, 219–221. <https://doi.org/10.1007/BF00025954>
- Haberman, J., Haldna, M., 2014. Indices of zooplankton community as valuable tools in assessing the trophic state and water quality of eutrophic lakes: long term study of Lake Vörtsjärv. *Journal of Limnology* **73** (2), 263–273. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2014.828>
- Heerkloß, R., Hlawa, S., 1995. Feeding biology of two brachionid rotifers: *Brachionus quadridentatus* and *Brachionus plicatilis*. *Hydrobiologia* **313**, 219–221. <https://doi.org/10.1007/BF00025954>
- Kitaev, S.P., 2007. Osnovy limnologii dlia gidrobiontov i ihtologov [Fundamentals of limnology for aquatic biologists and ichthyologists]. Karelian Scientific Center RAS, Petrozavodsk, Russia, 395 p. (In Russian).

- Kolkwitz, R., Marsson, M., 1902. Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. *Mitteilungen der Königlichen Prüfanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung* 1, 33–72. (In German).
- Korneva, L.G., Mitropol'skaia, I.V., Makarenkova, N.N., Tsvetkov, A.I., 2021. Struktura i dinamika fitoplanktona bol'shikh melkovodnykh zarastaiushchikh ozer (Vozhe i Lacha, Vologodskaya i Arhangel'skaya oblasti, Rossiya) [The structure and dynamics of phytoplankton of large shallow overgrown lakes (Vozha and Lacha, Vologda and Arkhangelsk regions, Russia)]. *Trudy IBVV RAN [Proceedings of the Institute for Biology of Inland Waters RAS]* 94 (97), 17–29. (In Russian).
- Krylov, A.V., Berezina, N.A., Voronin, L.V., Baryshev, I.A., Bezmaternykh, D.M., Gerasimova, A.A., 2024. Metody gidrobiologicheskikh issledovaniy vnutrennih vod [Methods of hydrobiological studies of inland waters]. Filigran', Yaroslavl', Russia, 592 p. (In Russian).
- Kulizin, P.V., 2023. Sostav, struktura i sukcesiya fitoplanktona vodotokov Yuga taezhnoi zony v predelakh vodosbora Srednei Volgi. [Composition, structure and succession of phytoplankton in the streams of the Southern taiga zone within the catchment area of the Middle Volga]. PhD in Biology thesis abstract. Nizhnii Novgorod, Russia, 251 p. (In Russian).
- Lund, M., Blanchette, M., 2023. Closing pit lakes as aquatic ecosystems: Risk, reality, and future uses. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 10 (4), e1648. <https://doi.org/10.1002/wat2.1648>
- Masiutkina, E.A., Shibaeva, M.N., Matveeva, E.P., 2014. Komary-zvontsy sem. Chironomidae kak pokazatel' kachestva vody malyykh vodoemov Kaliningradskoi [Chironomidae as a representative of the family of small water bodies of the Kaliningrad region]. *Izvestiya KGTU [Proceedings of the Kaliningrad State Technical University]* 32, 54–62. (In Russian).
- Medvedeva, L.A., Nikulina, T.V., 2014. Katalog presnovodnykh vodoroslei iuga Dal'nego Vostoka Rossii [Catalog of freshwater algae of the Southern Far East of Russia]. Dalnauka, Vladivostok, Russia, 271 p. (In Russian).
- Mironova, N., Mateyuk, O., Biletska, H., Shevchenko, S., Kazimirova, L. et al., 2022. Parametric assessment of macrophytes ecological niches in solving problems of sand quarry lakes phytomelioration. *Journal of Human, Earth, and Future* 3 (4), 215–224. <https://doi.org/10.28991/hef-2022-03-04-02>
- Mischke, U., Nixdorf, B., Hoehn, E., Riedmüller, U., 2002. Möglichkeiten zur Bewertung von Seen anhand des Phytoplanktons. Aktueller Stand in Deutschland. In: Deneke, R., Nixdorf, B. (eds.), *Implementierung der EU-Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland: Ausgewählte Bewertungsmethoden und Defizite. Aktuelle Reihe*. Eigenverlag der BTU, Cottbus, Germany, 25–37. (In German).
- Moiseenko, V.V., Tsupikova, N.A., 2023. Rybovodno-ekologicheskaya kharakteristika obvodnennogo kar'era voze p. Nivy (Kaliningradskaya oblast') [Fish farming and ecological characteristics of a flooded quarry near the village of Niva (Kaliningrad region)]. *Sbornik statei II mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye ekologicheskie problemy i ekologicheskaya bezopasnost' v sovremennykh usloviyakh» [Current environmental problems and environmental safety in modern conditions: Collection of articles of the second scientific and practical international conference]*, Saratov, 21.10.2025. Saratov, Russia, 292–300. (In Russian).
- Moiseenko, V.V., Tsupikova, N.A., Shibaev, S.V. 2023. Izuchenie ekologicheskogo sostoyaniya obvodnennogo kar'era voze p. Ushakovo [Study of the Ecological State of the Flooded Quarry near Ushakovo]. *Materialy XI Mezhdunarodnogo Baltiiskogo morskogo foruma, Baltiiskii morskoi forum [Proceedings of the XI International Baltic Maritime Forum]*, Kaliningrad, 25–30.09.2023. Kaliningrad, Russia, 192–198. (In Russian).

- Napiórkowska-Krzebietke, A., Skrzypczak, A., Kicińska, A., 2023. Abiotic–biotic interrelations in the context of stabilized ecological potential of post-mining waters. *Water* **15** (19), 3328. <https://doi.org/10.3390/w15193328>
- Oksiiuk, O.P., Stol'berg F.V., 1986. Upravlenie kachestvom vody v kanalakh [Water quality management in canals]. Naukova dumka, Kiev, USSR, 176 p. (In Russian).
- Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii. T. 1. Zooplankton [Key of zooplankton and zoobenthos in freshwater of European Russia. Vol. 1. Zooplankton], 2010. Alekseev, V.R., Tsalolikhin, S.Ya. (eds.). KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 495 p. (In Russian).
- Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii. T. 2. Zoobentos [Key of zooplankton and zoobenthos in freshwater of European Russia. Vol. 2. Zoobenthos], 2016. Alekseev, V.R., Tsalolikhin, S.Ya. (eds.). KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 457 p. (In Russian).
- Pidgaiko, M.L., 1969. Pribrezhnyi zooplankton v usloviakh «tsveteniia» vody v Kremenchugskom vodohranilishche [Coastal zooplankton in the conditions of «blooming» water in the Kremenchug reservoir]. *Gidrobiologicheskii zhurnal [Hydrobiological Journal]* **26** (5), 26–32. (In Russian).
- Pidgaiko, M.L., Aleksandrov, B.M., Ioffe, C.I., Maksimova, L.P., Petrov, V.V., Savateeva, E.B., Salazkin, A.A., 1968. Kratkaia biologo-produkcionnaia kharakteristika vodoemov Severo-Zapada SSSR [Brief biological and productive characteristics of reservoirs in the Northwest of the USSR]. *Izvestiia GosNIORH [Proceedings of State Research Institute of Lake and River Fisheries]* **67**, 205–228. (In Russian).
- Sakharova, E.G., Korneva L.G., 2018. Fitoplankton litorali i pelagiali Rybinskogo vodohranilishcha v gody s raznymi temperaturnym i urovennym rezhimami [Phytoplankton of the littoral and pelagial of the Rybinsk reservoir in years with different temperature and level regimes]. *Biologiya vnutrennikh vod [Biology of Inland Waters]* **1**, 11–18. (In Russian). <https://doi.org/10.7868/S0320965218010023>
- Seelen, L., Teurlincx, S., Armstrong, M., Lürling, M., Van Donk, E., De Senerpont Domis, L., 2021a. Serving many masters at once: a framework for assessing ecosystem services delivered by quarry lakes. *Inland Waters* **12**, 121–137. <https://doi.org/10.1080/20442041.2021.1944765>
- Seelen, L., Teurlincx, S., Bruinsma, J., Huijsmans, T., Van Donk, E., Lürling, M., De Senerpont Domis, L., 2021b. The value of novel ecosystems: Disclosing the ecological quality of quarry lakes. *The Science Of the Total Environment* **769**, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144294>
- Shannon, C.E., 1949. The mathematical theory of communication. *University of Illinois Press*, Urbana, USA, 117 p.
- Shelyuk, Y.S., Astahova, L.Y., 2021. Phytoplankton succession in the anthropogenic and climate ecological transformation of freshwater ecosystems. *Biosystems Diversity* **29** (2), 119–128.
- Shibaeva, M.N., Masiutkina, E.A., Matveeva, E.P., Okhapkina, A.A., 2013. Vidovoe raznoobrazie zooplanktona kak pokazatel' ekologicheskogo sostoianiia vodoemov Kaliningradskoi oblasti [The species diversity of zooplankton as an indicator of the ecological status of reservoirs in the Kaliningrad region]. *Izvestiia Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Proceedings of the Kaliningrad State Technical University]* **28**, 153–163. (In Russian).
- Shibaeva, M.N., Masyutkina, E.A., Shibaev, S.V., 2018. Hydrobiological characteristics of water bodies in the Kaliningrad Region. *The Handbook of Environmental Chemistry* **65**, 285–316. https://doi.org/10.1007/698_2017_99
- Shitikov, V.K., Rozenberg, G.S., Zinchenko, T.D., 2003. Kolichestvennaia gidroekologiya: metody sistemnoi identifikatsii [Quantitative hydroecology: methods of system identification]. Institute of Ecology of the Volga Basin RAS, Togliatti, Russia, 463 p. (In Russian).

- Sienkiewicz, E., Gąsiorowski, M., 2016. The evolution of a mining lake – From acidity to natural neutralization. *The Science Of the Total Environment* **557-558**, 343–354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.088>
- Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Johansson, L.S., Jeppesen, E., 2018. Gravel pit lakes in Denmark: chemical and biological state. *The Science Of the Total Environment* **612** (9), 17.
- 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.
- Stephan, K., Hubbart, J., 2022. Plant community, soil and microclimate attributes after 70 Years of natural recovery of an abandoned limestone quarry. *Land* **12** (1), 117. <https://doi.org/10.3390/land12010117>
- Suhovilo, N.Yu., Romanchuk A.I., 2018. Termodinamicheskie i gidrohimicheskie osobennosti malykh ozer i melovykh kar'ernykh vodoemov Belarusi i Pol'shi [Thermodynamic and hydrochemical features of small lakes and chalk quarries in Belarus and Poland]. *Materialy VI Mezhdunarodnoi konferentsii «Aktual'nye voprosy nauk o Zemle v kontseptsii ustoychivogo razvitiia Belarusi i sopredel'nykh gosudarstv»* [Materials of the VI International conference «Current issues of Earth sciences in the concept of sustainable development of Belarus and adjacent states»]. Gomel', Belarus', 42–47. (In Russian).
- Sumina, O., Koptseva E., 2019. Vegetation monitoring on quarries in the Russian Far North as a basis for creating models and analyzing trends of landscape processes. Current trends in landscape research. In: Mueller, L., Eulenstein, F. (eds.), *Innovations in landscape research*. Springer Nature, Cham, Germany, 559–578. https://doi.org/10.1007/978-3-030-30069-2_25
- Szatyłowicz, E., Matulewicz, D., Skoczko, I., 2015. Assessment of susceptibility to degradation by Schindler factor of selected reservoirs in Podlaskie. *Journal of Ecological Engineering* **16** (4), 81–88.
- Tavernini, S., Viaroli, P., Rossetti, G., 2009. Zooplankton community structure and inter-annual dynamics in two sand-pit lakes with different dredging impact. *International Review of Hydrobiology* **94** (3), 290–307. <https://doi.org/10.1002/iroh.200811124>
- Trifonova, I.S., 1990. Ekologiya i sukcesiya ozernogo fitoplanktona [Ecology and succession of lake phytoplankton]. Nauka, Leningrad, USSR, 184 p. (In Russian).
- Tropek, R., Kadlec, T., Karešová, P., Spitzer, L., Kočárek, P. et al., 2010. Spontaneous succession in limestone quarries as an effective restoration tool for endangered arthropods and plants. *Journal of Applied Ecology* **47**, 139–147. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2664.2009.01746.X>
- Vypkhanova, G.V., Ershova, I.V., Shpakovskiy, Yu.G., Agafonov, V.B., 2014. Prirodoresursnoe zakonodatel'stvo v usloviyakh modernizatsii ekonomiki Rossii: sovremennye problem [Natural resource legislation in the context of modernization of the Russian economy: Modern problems]. Norma: INFRA-M, Moscow, Russia, 160 p. (In Russian).
- Xu, J., Yin, P., Hu, W., Fu, L., Zhao, H., 2020. Assessing the ecological regime and spatial spillover effects of a reclaimed mining subsided lake: A case study of the Pan'an Lake wetland in Xuzhou. *PLoS ONE* **15** (8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238243>
- Zhdanova, S.M., Prianichnikova, E.G., Semenova, A.S., Sidelev, S.I., Beliakov, E.A., Sokolova, A.S., 2024. Phytoplankton, zooplankton, and macrozoobenthos of some small lakes (Yaroslavl region, Russia). *Ecosystem Transformation* **7** (1), 85–119. <https://doi.org/10.23859/estr-220802>