

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-2-201-214>

УДК 574.5



Гидробиоценозы малого арктического озера в условиях урбанизации

Е.С. Савосин✉, Я.А. Кучко, Д.С. Савосин

*Институт биологии Карельского научного центра Российской академии наук,
Петрозаводск, Россия*

✉ esavosin@krc.karelia.ru

 ЕСС, 0000-0003-0650-1829; ЯАЛ, 0000-0003-1221-2740; ДСС, 0000-0003-1350-2766

Аннотация. Проблема сохранения и изучения малых урбанизированных водоемов в арктических регионах России стоит достаточно остро, так как они имеют хозяйственное, биологическое и рекреационное значение. Как правило, городские водоемы являются излюбленным местом отдыха жителей, служат местом обитания различных животных и растений, играют значительную роль в сохранении биоразнообразия. Статья посвящена изучению гидробиологических особенностей озера Контокки, на восточном берегу которого расположен моногород Костомукша (северная Карелия), главное промышленное предприятие которого — Костомукшский горно-обогатительный комбинат — вносит значительный вклад в экономическое развитие Республики Карелия и Северо-Запада России. Для решения поставленной задачи в вегетационный период 2024 г. было проведено исследование современного состояния сообществ зоопланктона, макрозообентоса и ихтиофауны водоема. Основные динамические факторы воздействия на экосистему водоема связаны с ростом населения и расширяющейся городской инфраструктурой. К ним можно отнести возрастающую рекреационную нагрузку, а также увеличение коммунальных, ливневых стоков и талых вод с территории города. По уровню количественного развития зоопланктона и макрозообентоса озеро Контокки характеризуется как олиготрофный водоем. Биомасса зоопланктона колеблется в пределах 0,6–0,8 г/м³, бентоса — 0,6–2,0 г/м². Сообщество зоопланктона сформировано представителями двух доминирующих групп (коловатки, ракообразные), которые в равных долях формируют видовое богатство (44 таксона). Более 70 % таксонов макробеспозвоночных в составе бентоса представлено личинками насекомых (Ephemeroptera, Diptera, Trichoptera). По видовому составу ихтиофауны (8 видов) озеро относится к водоемам первой рыбохозяйственной категории. Полученные результаты могут дать дополнительную информацию при проведении комплексного экологического мониторинга урбанизированных водоемов северных регионов таежной зоны.

Ключевые слова: урбанизированный водоем, зоопланктон, макрозообентос, ихтиофауна, эвтрофикация, арктические экосистемы, антропогенные факторы, моногород Костомукша

Для цитирования: Савосин Е.С., Кучко Я.А., Савосин Д.С. Гидробиоценозы малого арктического озера в условиях урбанизации. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2025;71(2):201–214. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-2-201-214>

Поступила 18.03.2025

После переработки 26.05.2025

Принята 09.06.2025

© Авторы, 2025

© Authors, 2025

Hydrobiocenoses of a small arctic lake under urbanization conditions

Evgeny S. Savosin✉, Yaroslav A. Kuchko, Denis S. Savosin

*Institute of Biology, Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, Russia*

✉esavosin@krc.karelia.ru

 ESS, 0000-0003-0650-1829; YAK, 0000-0003-1221-2740; DSS, 0000-0003-1350-2766

Abstract. The problem of conservation and study of small urbanized water bodies in the Arctic regions of Russia is quite acute, given their economic, biological and recreational significance. The article is devoted to the study of the hydrobiological features of Lake Kontokki, on the eastern coast of which the single-industry town of Kostomuksha (northern Karelia) is located, the main industrial enterprise of which, the Kostomuksha Mining and Processing Plant, makes a significant contribution to the economic development of the Republic of Karelia and north-west Russia. To solve the problem, a study of the current state of zooplankton communities, macrozoobenthos and ichthyofauna of the reservoir was conducted in 2024. The main dynamic factors affecting the ecosystem of the reservoir are associated with population growth and expanding urban infrastructure. These include increasing recreational load, as well as an increase in municipal, storm water runoff and melt water from the city. The object of the study is a small urban reservoir located within the Arctic zone of Russia. To achieve the goal, comprehensive hydrobiological studies were conducted using generally accepted laboratory techniques. The quantitative characteristics and species composition of the planktofauna, benthofauna and ichthyofauna of the reservoir under modern conditions were determined. Features of the development of the plankton fauna and macrozoobenthos of Lake Kontokki are primarily due to the geographical location of the object, its hydrological features, and the influence of anthropogenic factors. According to the level of quantitative development of zooplankton and macrozoobenthos, Lake Kontokki is characterized as an oligotrophic reservoir. The zooplankton biomass fluctuates within 0.6–0.8 g/m³, benthos 0.6–2.0 g/m². The zooplankton community is formed by representatives of two dominant groups (rotifers, crustaceans), which in equal shares form the species richness (44 taxa). A significant number of oligochaetes and chironomid larvae tolerant to habitat conditions were found in the lake sediments. More than 70 % of the macroinvertebrate taxa in the benthos are represented by insect larvae (Ephemeroptera, Diptera, Trichoptera). According to the species composition of the ichthyofauna (8 species), the lake belongs to the water bodies of the first fishery category. The results obtained can provide additional information for complex environmental monitoring of urbanized water bodies in the northern regions of the taiga zone.

Keywords: urbanized water body, zooplankton, macrozoobenthos, ichthyofauna, eutrophication, arctic ecosystems, anthropogenic factors, single-industry town Kostomuksha

For citation: Savosin E.S., Kuchko Ya.A., Savosin D.S. Hydrobiocenoses of a small arctic lake under urbanization conditions. *Arctic and Antarctic Research*. 2025;71(2):201–214. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-2-201-214>

Received 18.03.2025

Revised 26.05.2025

Accepted 09.06.2025

Введение

Город Костомукша расположен в северотаежной подзоне Карелии на восточном берегу озера Контотки вблизи границы России и Финляндии. Он основан в 1977 г. в связи с разработкой железорудного месторождения. В 1982 году введен в строй крупный промышленный объект — Костомукшский горно-обогатительный комбинат (ГОК), который стал градообразующим предприятием. Промышленная площадка комбината находится на расстоянии в 10 км к северо-востоку от города [1]. Население города, по оценке Росстата, на 1 января 2024 г. составляло 25878 человек.

В силу своей повышенной уязвимости экосистемы Арктики, подвергающиеся антропогенному загрязнению, при незначительных колебаниях воздействующих факторов отвечают значительными изменениями биоты и абиотических характеристик [2–5].

В арктических регионах небольшие водоемы служат местами обитания различных организмов. Процесс урбанизации привносит загрязняющие, токсические вещества, увеличивает приток биогенов, что приводит к изменениям в гидрологическом и гидрохимическом режимах водоема [6].

Изучение городских водоемов является актуальным и имеет практическое применение, особенно в условиях увеличения урбанизированных территорий как одного из результатов деятельности человека [7, 8]. Главные источники антропогенного влияния на исследованный водный объект — промышленность, транспорт и сельское хозяйство [9, 10].

Основным загрязнителем района исследования является МКП «Горводоканал Костомукшского городского округа» (г. Костомукша). Так, за период с 2016 по 2022 г., в соответствии с государственными докладами о состоянии окружающей среды Республики Карелия, объем сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, варьировал от 4,399 млн м³ (2016) до 4,977 млн м³ (2022).

Наиболее уязвимыми природными объектами для антропогенного влияния являются водоемы и водотоки урбанизированной среды. В результате процессов эвтрофирования и химического загрязнения поверхностные воды городских территорий, как правило, относятся к категории вод низкого качества. Данная проблема исследуется в разных субъектах России, имеется множество работ, посвященных городским водоемам [11–13].

Цель данного исследования — оценить особенности современного состояния гидробиоценозов озера Контокки в условиях влияния антропогенного фактора.

Район и объекты исследования

На территории Костомукшского городского округа основой промышленности является добыча железной руды, что, как известно, приводит к повышенной техногенной нагрузке на окружающую среду [14–19].

Контокки — озеро на территории Костомукшского городского округа Республики Карелия. Исследования проводились в подверженных загрязнению районах, ввиду присутствия в прибрежной зоне строительного сектора и туристических объектов. На картосхеме представлены точки отбора проб (рис. 1).

Водоем принадлежит к бассейну Белого моря, расположен на водосборе реки Кеми, в верховье реки Контокки, которая связывает водоем с озером Лувозеро. Высота над уровнем моря — 202 м. Координаты центра озера: 64°35' с. ш., 30°34' в. д. Общая площадь зеркала озера — 5,2 км², длина береговой линии — 13,3 км. Длина озера — 3,8 км, ширина — 2,5 км, средняя глубина — 3,5 м, максимальная — 5 м [20]. Форма озера лопастная. Берега изрезанные, каменисто-песчаные. Площадь водосбора — 26,1 км². Общая площадь островов — 0,02 км². Контокки — мелководный, хорошо прогреваемый проточный водоем, показатель условного водообмена составляет 0,72.

Вода озера Контокки характеризуется слабокислой реакцией (рН — 6,6), имеет цветность 23–66°, перманганатную окисляемость — от 6,0 до 10,2 мг О₂/л, содержание кислорода варьирует от 46 до 100 % (в среднем 85). По химическому составу воды относится к сульфатно-гидрокарбонатному классу группы Са. Минерализация

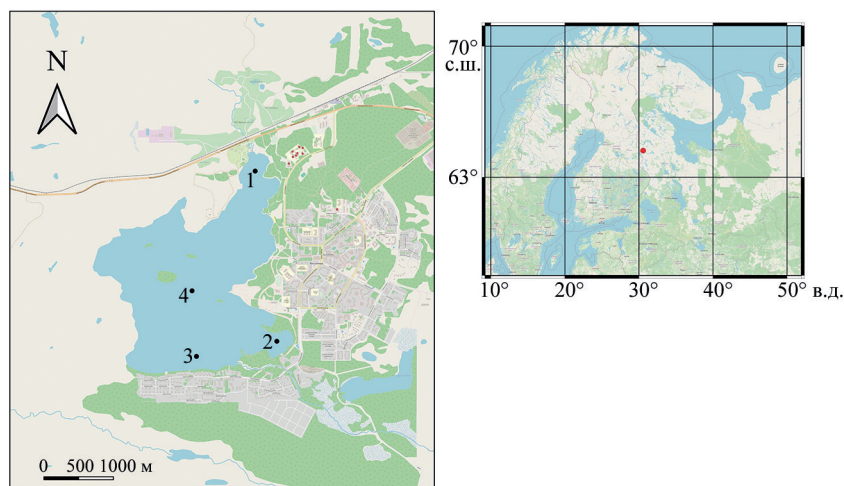


Рис. 1. Картограмма района исследования (оз. Контокки, Карелия) с точками отбора проб

Fig. 1. Map of the study area (Lake Kontokki, Karelia) with sampling points

воды невысокая, по многолетним данным, колеблется в пределах 14,5–23,4 мг/л. Содержание биогенных элементов незначительное: концентрация минерального фосфора составляет 0,002–0,003 мгР/л, органического азота — 0,45–0,52 мгN/л [20, 21].

Высшая водная растительность водоема развита слабо и представлена ежеголовником, рдестом плавающим, кубышкой, кувшинкой и лютиком водным.

В составе ихтиофауны отмечено 8 видов рыб, относящихся к четырем фаунистическим комплексам: сиг, ряпушка, окунь, плотва, щука, лещ, язь и голянь. По числу видов доминирует бореальный равнинный комплекс — 50,0 % (щука, язь, плотва, окунь). На арктический пресноводный комплекс приходится 25 % (сиг, ряпушка), по 12,5 % — на бореальный предгорный (обыкновенный голянь) и понтический пресноводный комплексы (лещ).

Ихтиофауна водоема не отличается большим разнообразием, однако позволяет отнести Контокки к высшей рыбохозяйственной категории, так как в нем обитают ценные виды рыб (ряпушка и сиг). Сиговые рыбы одними из первых реагируют на изменения в водных экосистемах и могут служить индикаторами их современного состояния. Сиг в водоеме представлен среднетычинковой формой (30–34 жаберных тычинок), отличающейся малыми размерами (средняя длина не превышает 17 см), замедленным ростом и относительно ранним созреванием (в возрасте 2+) [22]. По срокам нереста в водоеме представлены осенне-нерестующие и весенне-летне-нерестующие виды рыб.

Промысловое значение в нисходящем порядке имеют следующие виды: ряпушка, сиг, окунь, щука, плотва, лещ, язь и голянь. Практически все виды в составе рыбного населения водоема характеризуются более низкими показателями линейно-весового роста по сравнению с популяциями из водоемов, расположенных южнее [22]. Это, по-видимому, обусловлено кратковременностью вегетационного периода и ограниченностью кормовых ресурсов в условиях северных широт.

В настоящее время озеро Контокки, расположенное в границах г. Костомукши, используется для любительского рыболовства.

Материалы и методы

Изучение гидробиоценозов озера Контокки проводилось в рамках комплексного исследования сотрудниками Института биологии Карельского научного центра Российской академии наук летом 2024 г. по программе биологического мониторинга водных объектов Республики Карелия. Отбор проб в середине июля и августа проводился на комплексных гидробиологических станциях (№ 1–4), расположенных в центральной и прибрежной частях водоема. Глубина варьировала от 1–3 м (литоральная зона) до 7 м в зоне профундали, температура воды достигала 13–15 °С. Для отбора проб зоопланктона использовался 2-литровый батометр Руттнера. Облавливались все слои воды с интервалом 1 м с 3-кратной повторностью. Комплексные пробы (поверхность–дно) фильтровались через газ № 70, концентрировались до 100 мм³ и фиксировались 4 % формалином. Пробы обрабатывались в соответствии со стандартными методами [23, 24]. Биомасса определялась расчетным методом. Для анализа структуры зоопланктоценоза использовались следующие индексы: V_{crus}/V_{rot} , N_{clad}/N_{cop} и V_{cycl}/V_{cal} . Также рассчитывались индексы видового разнообразия Шеннона и сапробности Пантле–Букка [25]. Трофический статус вод оценивался по шкале С.П. Китаева [26]. Таксономия коловраток и низших ракообразных приводится согласно «Определителю зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России» [27]. Для количественного отбора проб зообентоса использовался дночерпатель Экмана–Берджа (площадь захвата 0,025 м²). Грунт промывался через сито (размер ячеек 0,5 мм) и фиксировался в 8%-ном растворе формалина. Камеральные процедуры проводились в лаборатории с использованием бинокулярного микроскопа Micromed MC-2-ZOOM, беспозвоночные сортировались по таксономическим группам и взвешивались на весах DA-124C (BEL Engineering) с точностью до 0,1 мг. Виды классифицировались в соответствии с последними рекомендациями [28, 29]. Названия видов были приведены на основе базы данных Global Biodiversity Information Facility (GBIF.org) и Fauna Europea [30]. Трофический статус водоема определялся по шкале С.П. Китаева [26]. Оценка качества вод и степени органического загрязнения проводилась с использованием олигохетного индекса Гуднайта–Уитлея и индекса сапробности Пантле–Букка. Видовое разнообразие на станциях изучалось с помощью индекса Шеннона (H), рассчитанного по формуле: $H = -\sum(p_i \cdot \ln p_i)$, где p_i — доля особей i -го вида [25, 31, 32]. Расчеты проводились с помощью программы PAST 3.18 [33].

Ихтиофауну оз. Контокки изучали на основе сетных уловов, осуществлявшихся на различных глубинах. Ихтиологический материал обрабатывали по общепринятым методикам [34–37]. Видовой состав рыб (русские и латинские названия) приводится по книге «Атлас пресноводных рыб России» [38].

Для интерпретации результатов и их анализа также привлекались архивные данные за предыдущие периоды исследования водоема.

Результаты исследований

Список организмов зоопланктона, отмеченных нами в 2024 г., насчитывает 44 вида. Из них коловратки (Rotifera) — 15 (34 %), ветвистоусые ракообразные (Cladocera) — 17 (39 %), веслоногие ракообразные Copepoda — 12 (27 %) (Calaniformes — 2, Cyclopiformes — 9, Harpacticiformes — 1). Таким образом, видовое разнообразие достигается за счет 3 основных групп в примерно одинаковых соотношениях. В составе планктонной фауны преобладают о- и оβ-мезосапробные организмы, которые являются доминантами и превалируют над β-мезосапробами.

К массовым видам коловраток относятся *Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina*, *Conochilus unicornis*; *Keratella cochlearis* и *Bipalpus hudsoni*. Основу группы пелагических планктонных ракообразных составляет бореальная фауна, широко распространенная в карельских озерах (*Holopedium gibberum*, *Daphnia cristata*, *Bosmina coregoni*, *Eudiaptomus gracilis*, *Heterocope appendiculata*, *Thermocyclops oitonoides*, *Cyclops scutifer*) и ряд эвритопных организмов (*D. longispina*, *B. longirostris*, *Mesocyclops leuckarti*). Зарослево-литоральный планктонный комплекс представлен *Sida crystallina*, *Acroperus harpae*, *Chydorus sphaericus*, *Megacyclops viridis*. Межгодовые различия в видовом составе планктона незначительны и обусловлены редкими видами.

В таблице 1 приводятся общие показатели развития планктонной фауны и ряд структурных индексов, отражающих количественное соотношение основных групп в сообществе за все периоды изучения.

Таблица 1

Общая характеристика зоопланктона оз. Контокки за периоды исследований

Table 1

General characteristics of zooplankton of Lake Kontokki for the periods of research

Показатель	1970*	1972*	1984*	1997*	2024**
Число видов	30	20	41	42	44
N, численность, т. экз./м ³	17,6	28,9	20,0	11,8	24,6
B, биомасса, г/м ³	0,660	0,667	0,764	0,610	0,759
$B_{\text{crus}}/B_{\text{rot}}$	99,0	11,5	32,3	19,0	4,4
$N_{\text{clad}}/N_{\text{cop}}$	0,78	1,16	0,56	3,42	1,91
$B_{\text{cycl}}/B_{\text{cal}}$	2,57	0,67	0,70	0,10	3,92
Индекс Шеннона	—	—	—	—	2,1
Индекс сапробности	1,18	1,42	—	—	1,48
Доминирующие виды	<i>H. gibberum</i> , <i>Bosmina spp.</i> , <i>D. cristata</i>	<i>E. gracilis</i> , <i>H. gibberum</i> , <i>A. priodonta</i>	<i>Bosmina spp.</i> , <i>Daphnia spp.</i> , <i>E. gracilis</i>	<i>E. gracilis</i> , <i>H. gibberum</i> , <i>Bosmina spp.</i>	<i>Bosmina spp.</i> , <i>A. priodonta</i> , <i>Daphnia spp.</i>

Примечание. * — по [44]; ** — наши данные.

Note. * — by [44]; ** — our data.

Исследования донной фауны озера Контокки проводились начиная с 1970-х гг., по результатам этих работ озеро было отнесено к мезотрофному типу с богатой и разнообразной фауной, в последующие годы (1984, 1994) значительных изменений в бентоценозах не произошло [39]. Донные отложения представлены коричневыми илами.

По итогам исследования в донном сообществе были отмечены 19 таксонов надвидового и видового ранга водных беспозвоночных. Из них Oligochaeta — 5, Chironomidae — 7 (табл. 2).

Значения биомассы (B) исследованных районов озера варьировали от 0,02 г/м² до 0,23 г/м², численности (N) — от 420 до 760 экз/м². В составе зообентоса озера также отмечены представители моллюсков (Gastropoda, Bivalvia) на песчаных биотопах литорали и профундали. Более 70 % таксонов макробеспозвоночных в составе бентоса представлено личинками насекомых (Ephemeroptera, Diptera, Trichoptera).

Таблица 2

Таксономический состав макрозообентоса оз. Контотки

Table 2

Taxonomic composition of the macrozoobenthos of Lake Kontokki

Таксоны	Виды
Nematoda	<i>Nematoda</i> sp.
Oligochaeta	<i>Tubifex newaensis</i> (Michaelson, 1903), <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> (Claparede, 1862), <i>Cognettia glandulosa</i> (Michaelson, 1888), <i>Spirosperma ferox</i> (Eisen, 1879), <i>Lumbriculus variegatus</i> (Müller, 1774)
Hirudinea	<i>Glossiphonia complanata</i> (Linnaeus, 1758)
Gastropoda	<i>Lymnaea</i> sp.
Bivalvia	<i>Pisidium</i> sp.
Insecta	
Ephemeroptera	<i>Ephemera vulgata</i> (Linnaeus, 1758)
Trichoptera	<i>Stenophylax</i> sp.
Diptera	
Ceratopogonidae	<i>Bezzia</i> sp.
Chironomidae	<i>Demicyptochironomus vulneratus</i> (Zetterstedt, 1838), <i>Cladotanytarsus mancus</i> (Walker, 1856), <i>Chironomus plumosus</i> (Linnaeus, 1758), <i>Stictochironomus crassiforceps</i> (Kieffer, 1922), <i>Pseudochironomus prasinatus</i> (Staeger, 1839), <i>Psectrocladius septentrionalis</i> (Chernovsky, 1949), <i>Procladius</i> sp.

Таблица 3

Макрозообентос оз. Контотки за многолетний период

Table 3

Macrozoobenthos of Lake Kontokki over a long period

Таксоны	1970*		1972*		1984*		1994*		2024**	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
Oligochaeta	177	0,20	248	0,31	218	0,12	90	0,15	387	0,28
Mollusca	114	0,21	173	0,23	93	0,06	90	0,09	82	0,07
Chironomidae	1057	0,57	748	0,74	752	0,15	260	0,42	270	0,12
Прочие	39	0,34	64	0,68	57	0,42	—	—	60	0,11
Всего	1387	1,32	1233	1,96	1120	0,75	440	0,75	799	0,58

Примечание. * — по [20]; ** — наши данные; N — численность, экз./м²; B — биомасса, г/м².
Note. * — by [20]; ** — our data; N — sample size, copies/m²; B — biomass, g/m².

Индекс видового разнообразия Шеннона (H) для исследованного водоема варьировал от 0,99 на профундали до 1,61 в прибрежной зоне, в среднем он составил 1,27, что свидетельствует о незначительном видовом обилии донных организмов и сложившейся структуре доминирующих таксонов. Олигохетный индекс Гуднайта–Уитлея (OI = 75,9 %), основанный на соотношении численности олигохет

и общей численности всех организмов макрозообентоса, позволяет отнести водоем к 4–5 классу качества вод. Максимальных значений индекс Гуднайта–Уитлея достигал на станции № 1 в заиленной литорали. Согласно показателю индекса сапробности Пантле–Букка ($S = 2,93$), полученному с использованием 7 таксонов макрозообентоса (видов-индикаторов), водоем относится к α -мезосапробному типу.

В табл. 3 приводятся общие количественные показатели развития донной фауны, охватывающие периоды изучения оз. Контокки.

Обсуждение

По мнению ряда авторов, видовой состав зоопланктона является одним из консервативных признаков и может сохранять относительную стабильность в течение десятилетий даже в условиях эвтрофирования [40–43]. Анализ полученных нами материалов свидетельствует в пользу этой точки зрения.

Сравнение полученных результатов показывает значительное сходство качественного состава, структуры и количественных показателей зоопланктона с 1970 г. [44]. Доминирующий комплекс видов практически не изменился и состоит из бореальной фауны и космополитных видов, распространенных в большинстве озер северной Карелии. Это подтверждается значением индекса сапробности, который отражает количественное соотношение организмов-индикаторов и характеризует воды озера как слабо загрязненные (табл. 1.).

По значениям численности и биомассы зоопланктона озеро Контокки относится к олиготрофным водоемам [26].

Для сообществ макробентоса малых арктических и субарктических озер характерно отсутствие многих таксонов, что приводит к снижению общего разнообразия, а также низким показателям общей биомассы ввиду малой представленности или полного отсутствия крупных моллюсков. Кроме того, в таких водоемах, как правило, слабо развита водная растительность, что дополнительно уменьшает количество видов, которые могли быть обнаружены в составе зарослевых сообществ. Закономерно, что роль сем. Chironomidae и мелких двустворчатых моллюсков (семейств Pisidiidae и Sphaeriidae) значительно возрастает [45].

В озере Контокки прослеживается сходная тенденция, низкая минерализация не способствует развитию фауны ракообразных и крупных моллюсков, основу макрозообентоса водоема формируют личинки амфибиотических насекомых (более 70 % от всех обнаруженных таксонов).

Как правило, промышленность часто играет значительную роль в экономике города, а зоопланктон и макрозообентос городских озер отражают ее негативное воздействие на природную среду. В случае с оз. Контокки одним из дополнительных факторов может служить наличие Костомукшского горно-обогатительного комбината, хотя прямого воздействия на водоем он не оказывает [46]. Однако такие случаи нередки. Так, исследование озер Мурманской области вблизи медно-никелевого металлургического комбината выявило снижение видового разнообразия сообществ и ряда других показателей [47]. Последние исследования водоемов в черте г. Мурманска показали, что органическое загрязнение и загрязнение тяжелыми металлами находятся в тесном взаимодействии, вызывая кумулятивный эффект [48].

В исследуемом районе в разные годы проводились комплексные работы по оценке качества и состояния поверхностных вод: до строительства города и комбината (1970–1976 гг.), в период наращивания мощности комбината и функционирования

города (1982–1993 гг.) и в период аварийных сбросов воды из хвостохранилища Костомукшского ГОКа (1994–2004 гг.). Обобщенные результаты были опубликованы в монографии «Природные воды района Костомукшского железорудного месторождения», в ней отмечалось, что во второй период произошли изменения в химическом составе воды системы реки Контолки под влиянием сброса хозяйственно-бытовых сточных вод города [49].

По результатам анализа данных установлено, что на протяжении длительного периода (более 50 лет) состав доминирующих групп бентофауны не претерпел существенных изменений [20, 39]. По результатам ранних исследований (1970–1972, 1984–1994) численность зообентоса была не более чем в 1,5–2 раза выше по сравнению с нашими данными, биомассы — в 3,3 раза соответственно (табл. 3), что согласуется с аналогичными исследованиями небольших арктических водоемов [50]. По итогам проведенных нами исследований озеро Контолки относится к ультраолиготрофному типу.

О необходимости мониторинга состояния арктических пресноводных объектов, подверженных воздействию загрязняющих веществ, связанному с воздействием сбросов сточных вод, промышленными, сельскохозяйственными, коммунально-бытовыми и иными предприятиями, а также аэротехногенным переносом, указывают недавние публикации [51–53].

Учитывая, что в Арктическую зону РФ в настоящее время входит около 40 % территории Республики Карелия, существует множество неисследованных водоемов, которые нуждаются в изучении.

Заключение

Арктическая зона РФ богата значительным количеством водных объектов и длительное время находится в состоянии промышленного освоения. Ввиду слабой изученности водоемов, особенно малых, расположенных на урбанизированных и техногенно преобразованных местностях, существует риск катастрофических изменений пресноводных биоценозов.

Получены данные о современном состоянии экосистемы малого урбанизированного арктического водоема в условиях хозяйственного использования. Рассмотрены основные структурно-функциональные показатели сообществ гидробионтов (зоопланктон, зообентос, ихтиофауна) спустя длительный период после научного изучения водного объекта. Установлено, что сообщество зоопланктона характеризуется присутствием в доминирующем комплексе широко распространенных видов, относящихся к группе о- и оβ-мезосапробных организмов, по уровню количественного развития планктона озеро является олиготрофным. В составе макрозообентоса отмечены виды-индикаторы олиготрофии, а также, согласно индексам, основанным на таксономическом составе, сделан вывод о соответствии оз. Контолки α-мезосапробным водам (4–5 класса качества). За период, предшествовавший настоящим исследованиям, общая численность макрозообентоса уменьшилась в 1,5 раза, биомасса — в 3,3 раза.

В связи с активными строительными процессами по берегам оз. Контолки и растущим антропогенным влиянием в результате рекреационного освоения территории мониторинговые исследования целесообразно продолжить.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств госбюджетной темы Института биологии Карельского научного центра РАН № FMEN-2022-2007 «Структурно-функциональная организация сообществ гидробионтов разнотипных водоемов Северо-Запада России».

Благодарности. Авторы благодарят всех сотрудников лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных ИБ КарНЦ РАН (г. Петрозаводск), участвовавших в экспедиционных работах.

Вклад авторов. Авторы внесли равные вклады в исследование и публикацию. Авторами сформулированы цель исследования; проведена подготовка гидробиологических проб к их анализу; получены и интерпретированы результаты определения качественного и количественного состава сообществ зоопланктона (Я.А. Кучко) и макрозообентоса (Е.С. Савосин) и ихтиофауны (Д.С. Савосин). Все авторы участвовали в обсуждении результатов исследования, а также написании, оформлении/форматировании и пересмотре текста статьи.

Competing interests. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The work was carried out with the funding of the state budget theme of the Institute of Biology of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences No. FMEN-2022-2007 “Structural and functional organization of hydrobiont communities of different types of reservoirs in the North-West of Russia”.

Acknowledgments. The authors thank all the staff of the Laboratory of Ecology of Fish and Aquatic Invertebrates of the Institute of Biology of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences (Petrozavodsk) who participated in the expedition work.

Authors contribution. The authors made equal contributions to the study and publication. The authors formulated the aim of the study; prepared hydrobiological samples for their analysis; obtained and interpreted the results of determining the qualitative and quantitative composition of zooplankton (Ya.A. Kuchko) and macrozoobenthos (E.S. Savosin) communities and ichthyofauna (D.S. Savosin). All authors participated in the discussion of the study results, as well as in writing, designing/formatting and revising the text of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Кравченко А.В., Гнатюк Е.П., Крышень А.М. Основные тенденции формирования флоры молодого таежного города (на примере г. Костомукши, Республика Карелия). *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2003;4:59–74.
Kravchenko A.V., Gnatyuk E.P., Kryshen A.M. Main trends in the formation of flora of a young taiga town (using the town of Kostomuksha, Republic of Karelia as an example). *Transactions of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2003;4:59–74. (In Russ.).
2. Roberts K.E., Lamoureux S.F., Kyser K., Muir D.C.G., Lafrenière M.J., Iqaluk D., Pieńkowski A.J., Normandeau A. Climate and permafrost effects on the chemistry and ecosystems of high Arctic Lakes. *Scientific Reports*. 2017;7:13292. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13658-9>
3. Meltofte H. (Ed.) *Arctic biodiversity assessment, status and trends in Arctic biodiversity*. Iceland: Conservation of Arctic Flora and Fauna; 2013. 128 p.
4. Яковлев В.А. *Пресноводный зообентос Северной Фенноскандии (разнообразие и антропогенная динамика)*. Апатиты: КНЦ РАН; 2005. Ч. 1. 161 с.
5. Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Скуфьина Т.П., Котельников В.А. Устойчивое водопользование в Арктике. Новые подходы и решения. *Арктика: экология и экономика*. 2018;4(32):15–29. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2018-4-15-29>
Kashulin N.A., Dauvalter V.A., Skufina T.P., Kotelnikov V.A. Sustainable water use in the Arctic. New approaches and solutions. *Arctic: ecology and economy*. 2018;4(32):15–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2018-4-15-29>
6. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А., Дину М.И. Распределение форм металлов и оценка их биодоступности в водах суши Арктического региона (предложения к нормативам качества вод). *Геохимия*. 2021;66:630–645. <https://doi.org/10.31857/S0016752521070050>
Moiseenko T.I., Gashkina N.A., Dinu M.I. Distribution of metal forms and assessment of their bioavailability in land waters of the Arctic region (proposals for water quality standards). *Geochemistry*. 2021;66:630–645. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0016752521070050>

7. Алимов А.Ф., Иванова М.Б. (ред.) *Закономерности гидробиологического режима водоемов разного типа*. М.: Научный мир; 2004. 296 с.
8. Persson J. Urban lakes and ponds. In: Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. (Eds.). *Encyclopedia of lakes and reservoirs. Encyclopedia of Earth sciences series*. Dordrecht: Springer; 2012. P. 836–839.
9. Mecray E.L., King J.W., Appleby P.G., Hunt A.S. Historical trace metal accumulation in the sediments of an urbanized region of the Lake Champlain watershed, Burlington, Vermont. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2001;125:201–230. <https://doi.org/10.1023/A:1005224425075>
10. Zhu Y.Z., He T.R., Gao Z., Guo Y.N. Distribution of heavy metals in sediment and its impact on zoobenthos community of Lake Caohai in Guizhou. *China Environmental Science*. 2016;36(6):1859–1866.
11. Ахмедова Г.А., Расулова М.М. Состояние малых озер в урбанизированных ландшафтах и их защита в условиях антропогенной нагрузки (на примере озер Ак-Гель и Большое Турали). *Юг России: экология, развитие*. 2009;4(4):157–161. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2009-4-157-161>
Akhmedova G.A., Rasulova M.M. The condition of small lakes in urban landscapes and their protection in conditions of anthropogenic load (by the example of the lakes Ak-Gel and Bolshoe Turali). *South of Russia: ecology, development*. 2009;4(4):157–161. (In Russ.). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2009-4-157-161>
12. Ромашкова Ю.А. Малые озера урбанизированных территорий г. Тольятти: таксономический состав, структура донных сообществ. *Самарская Лука: Проблемы региональной и глобальной экологии*. 2015;24(4):32–47. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2015-4-32-47>
Romashkova Yu.A. Small lakes of urbanized areas of Tolyatti: taxonomic composition, structure of bottom communities. *Samarskaya Luka: Problems of regional and global ecology*. 2015;24(4):32–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2015-4-32-47>
13. Беляков В.П., Бажора А.И., Сотников И.В. Мониторинг экологического состояния городских водоемов Санкт-Петербурга по показателям зообентоса. *Известия Самарского научного центра РАН*. 2015;17(6):51–56.
14. Юркевич Н.В., Ельцов И.Н., Гуреев В.Н., Мазов Н.А., Юркевич Н.В., Еделев А.В. Техногенное воздействие на окружающую среду в Российской Арктике на примере Норильского промышленного района. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021;332(12):230–249.
Yurkevich N.V., Eltsov I.N., Gureev V.N., Mazov N.A., Yurkevich N.V., Edelev A.V. Man-made impact on the environment in the Russian Arctic on the example of the Norilsk industrial region. *Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering*. 2021;332(12):230–249. (In Russ.).
15. Соколов Ю.И. Арктика: к проблеме накопленного экологического ущерба. *Арктика: экология и экономика*. 2013;2(10):18–27.
Sokolov Yu.I. Arctic: on the problem of accumulated environmental damage. *Arctic: ecology and economics*. 2013;2(10):18–27. (In Russ.).
16. Lukman L. Anthropogenic impact on Lake ecosystem In: Assani A. (ed.) *Science of lakes — multidisciplinary approach*. [Internet]. Environmental Sciences. IntechOpen; 2024. Available at: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.112179> (accessed 26.05.2025).
17. Шишелова Т.И., Щербаков А.А., Янулевич А.С. Влияние БЦБК на Байкал. *Успехи современного естествознания*. 2010;10:63–64.
Shishelova T.I., Shcherbakov A.A., Yanulevich A.S. Influence of the Baikal pulp and paper mill on Lake Baikal. *Advances in Modern Natural Science*. 2010;10:63–64. (In Russ.).

18. Ульрих Д.В. Экологическая нагрузка на окружающую среду предприятиями по добыче и переработке меди в Южно-Уральском регионе. XXI век. *Техносферная безопасность*. 2016;1(1):49–59.
Ulrich D.V. Ecological burden on the environment by copper mining and processing enterprises in the South Ural region. XXI century. *Technosphere safety*. 2016;1(1):49–59. (In Russ.).
19. Новиков С.Г. Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почв г. Кондопога и г. Костомукша (Республика Карелия). *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2022;111:157–184. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-111-157-184>
Novikov S.G. Assessment of the level of heavy metal pollution of soils in Kondopoga and Kostomuksha (Republic of Karelia). *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2022;111:157–184. (In Russ.). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2022-111-157-184>
20. *Озера Карелии*. Филатов Н.Н., Кухарев В.И. (ред.). Петрозаводск: КарНЦ РАН; 2013. 464 с.
21. *Биологические ресурсы водоемов бассейна реки Каменной*. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР; 1986. 183 с.
22. Первозванский В.Я. *Рыбы водоемов района Костомукшского железорудного месторождения (экология, воспроизводство, использование)*. Петрозаводск: Карелия; 1986. 216 с.
23. Sardet C. *Plankton: Wonders of the drifting world*. Chicago: University of Chicago Press; 2015. 224 p. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226265346.001.0001>
24. Кучко Я.А., Ильмаст Н.В., Кучко Т.Ю. *Методы сбора и обработки проб зоопланктона на пресноводных водоемах: учебное пособие для студентов эколого-биологического и агро-технического факультетов*. Петрозаводск: ПетрГУ; 2016. 28 с.
25. Мэггаран Э. *Экологическое разнообразие и его измерение*. М.: Мир; 1992. 181 с.
26. Китаев С.П. *Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов*. Петрозаводск: КарНЦ РАН; 2007. 390 с.
27. *Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России*. Т. 1. Зоопланктон. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2010. 495 с.
28. Timm T. A guide to the freshwater Oligochaeta and Polychaeta of Northern and Central Europe. *Lauterbornia*. 2009;66:1–235.
29. *Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России*. Т. 2. Зообентос. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2016. 457 с.
30. De Jong Y., Verbeek M., Michelsen V., Bjørn P.P., Los W., Steeman F., Bailly N., Basire C., Chylarecki P., Stloukal E., Hagedorn G., Wetzel F.T., Glöckler F., Kroupa A., Korb G., Hoffmann A., Häuser C., Kohlbecker A., Müller A., Güntsch A., Stoev P., Penevet L. Fauna Europaea — all European animal species on the web. *Biodiversity Data Journal*. 2014;2:e4034. <https://doi.org/10.3897/BDJ.2.e4034>
31. *Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем*. Под ред. В.А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат; 1992. 318 с.
32. Вшивкова Т.С., Иваненко Н.В., Якименко Л.В., Дроздов К.А. *Введение в биомониторинг пресных вод*. Владивосток: Изд-во ВГУЭС; 2019. 240 с.
33. Hammer Ø., Harper D., Ryan P. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1.
34. Дребуадзе Ю.Ю., Чернова О.Ф. *Чешуя костистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура*. М.: КМК; 2009. 313 с.
35. Минна М.В. *Задачи и методы изучения роста рыб в природных условиях. Современные проблемы ихтиологии*. М.: Наука; 1981. С.177–195.
36. Правдин И.Ф. *Руководство по изучению рыб*. М.: Пищ. пром-сть; 1966. 376 с.

37. Решетников Ю.С. *Экология и систематика сиговых рыб*. М.: Наука; 1980. 300 с.
38. *Атлас пресноводных рыб России*. В 2 т. Решетников Ю.С. (ред.). М.: Наука; 2002.
39. *Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН; 1998. 188 с.
40. Андроникова И.Н. Изменения в сообществе зоопланктона в связи с процессом эвтрофирования. В: *Эвтрофирование мезотрофного озера*. Л.: Наука; 1980. С. 78–99.
41. Андроникова И.Н. *Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов*. СПб.: Наука; 1996. 189 с.
42. Леонова Г.А., Бобров В.А. *Геохимическая роль планктона континентальных водоемов Сибири в концентрировании и биоседиментации микроэлементов*. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео»; 2012. 314 с.
43. Li Y., Geng M., Yu J., Du Y., Xu M., Zhang W., Wang J., Su H., Wang R., Chen F. Eutrophication decreases compositional dissimilarity in freshwater plankton communities. *Science of The Total Environment*. 2022;821:153434. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153434>
44. Куликова Т.П. *Зоопланктон водных объектов бассейна Белого моря*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН; 2010. 325 с.
45. Чертопруд М.В., Крыленко С.В., Лукиных А.И. Особенности сообществ макрозообентоса малых арктических озер Евразии. *Биология внутренних вод*. 2021;4:378–391. <https://doi.org/10.31857/S0320965221030050>
46. Лозовик П.А., Маркканен С.Л., Морозов А.К., Платонов А.В., Кравченко И.Ю., Калмыков М.В., Куринная А.А., Ефременко Н.А. *Поверхностные воды Калевальского района и территории Костомукши в условиях антропогенного воздействия*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН; 2001. 165 с.
47. Denisov D., Terentjev P., Valkova S., Kudryavtzeva L. Small lakes eco-systems under the impact of non-ferrous metallurgy (Russia, Murmansk Region). *Environments*. 2020;7(4):29. <https://doi.org/10.3390/environments7040029>
48. Guzeva A.V., Slukovskii Z.I., Dauvalter V.A., Denisov D.B., Cherepanov A.A. Trace element fractions in sediment of urbanised lakes of the arctic zone of Russia. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021;193:378. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09166-z>
49. Зобков М.Б., Сабылина А.В., Бородулина Г.С., Рыжаков А.В., Галахина Н.Е., Ефременко Н.А., Ефремова Т.А., Зобкова М.В. История развития и основные научные достижения лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН. *Труды Карельского научного центра РАН*. 2021;4:169–192. <https://doi.org/10.17076/lim1371>
Zobkov M.B., Sabylina A.V., Borodulina G.S., Ryzhakov A.V., Galakhina N.E., Efremenko N.A., Efremova T.A., Zobkova M.V. History of development and main scientific achievements of the Laboratory of Hydrochemistry and Hydrogeology of the Institute of Water Problems and Problems of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences. *Transactions of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences*. 2021;4:169–192. (In Russ.). <https://doi.org/10.17076/lim1371>
50. Maximov A.A., Berezina N.A., Maximova O.B. Interannual changes in benthic biomass under climate-induced variations in productivity of a small northern lake. *Fundamental and Applied Limnology*. 2021;194(3):187–199. <https://doi.org/10.1127/fal/2020/1291>
51. Румянцев В.А., Измайлова А.В., Крюков Л.Н. Состояние водных ресурсов озер Арктической зоны Российской Федерации. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2018;64(1):84–100. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2018-64-1-84-100>
Rumyantsev V.A., Izmailova A.V., Kryukov L.N. State of lake water resources in the Russian Arctic zone. *Problemy Arktiki i Antarktiki = Arctic and Antarctic Research*. 2018;64(1):84–100. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2018-64-1-84-100>

52. Румянцев В.А., Измайлова А.В. Районирование Арктической зоны РФ как основа разработки системы наблюдений за пресными водами. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2022;68(2):173–190. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-173-190>
Rumyantsev V.A., Izmailova A.V. Zoning of the Arctic zone of the Russian Federation as the basis for the development of a fresh water observation system. *Problemy Arktiki i Antarktiki = Arctic and Antarctic Research*. 2022;68(2):173–190. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-173-190>
53. Румянцев В.А. Концептуальные и методологические подходы к организации системы контроля поверхностных вод Арктической зоны Российской Федерации. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2024;70(2):210–221. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-2-210-221>
Rumyantsev V.A. Conceptual and methodological approaches to the organisation of a signal system for controlling the ecological state of surface fresh waters in the territory of the Arctic zone of the Russian Federation. *Problemy Arktiki i Antarktiki = Arctic and Antarctic Research*. 2024;70(2):210–221. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2024-70-2-210-221>