

УДК 574.583

## СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОНА ПЕЛАГИАЛИ КОНДОПОЖСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Д. С. Коновалов\*, М. Т. Сярки

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»  
(пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185030),  
\*konovalov.daniil1998@gmail.com

На протяжении многолетнего периода (с 1929 г.) акватория одного из крупных заливов Онежского озера – Кондопожской губы – испытывает значительную антропогенную нагрузку, вызванную деятельностью Кондопожского ЦБК. В истории функционирования ЦБК выделяется несколько этапов, характеризовавшихся разным объемом и составом сточных вод. В 1980-х годах начался процесс антропогенного эвтрофирования залива в связи с поступлением биогенных элементов, вызванным введением в эксплуатацию станции биологической очистки сточных вод. В последние десятилетия появился новый фактор антропогенной биогенной нагрузки – форелевые хозяйства. Ряд исследований отмечают также потепление климата как условие, влияющее на планктонную систему Онежского озера. Анализ состояния зоопланктона Кондопожской губы выполнен на основании сетных ловов 2019–2021 гг. Пробы отбирали в период максимального развития зоопланктона (конец июля – начало августа) на трех станциях: в вершинной части залива, в центральной части и в заливе Большое Онего (в качестве фоновой). Показано, что в планктонных сообществах Кондопожской губы не произошло серьезных изменений по сравнению с их состоянием в конце XX века, однако отмечаются признаки начальных этапов нарушения стабильности планктонной системы. К ним относятся: новый многолетний максимум в обилии зоопланктона вершинной части залива; высокое обилие реликтового рачка *Limnocalanus macrurus* (Sars, 1863) в центральной части и в заливе Большое Онего; изменения в соотношении близких видов рода *Bosmina* (*Eubosmina*) Seligo, 1900 в доминантном комплексе.

Ключевые слова: антропогенное эвтрофирование; межгодовая изменчивость; сточные воды ЦБК; форелевые хозяйства; *Limnocalanus macrurus*

Для цитирования: Коновалов Д. С., Сярки М. Т. Состояние зоопланктона пелагиали Кондопожской губы Онежского озера в условиях антропогенной нагрузки и климатических изменений // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 1. С. 90–105. doi: 10.17076/eco2096

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания КарНЦ РАН (№ FMEN-2026-0011).

## D. S. Konovalov\*, M. T. Syarki. THE STATE OF ZOOPLANKTON IN THE PELAGIC ZONE OF KONDOPOGA BAY, LAKE ONEGO, UNDER HUMAN IMPACT AND CLIMATE CHANGE

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences (50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia), \*konovalov.daniil1998@gmail.com

Kondopoga Bay is one of the largest bays of Lake Onego. For many years (since 1929), the bay has been experiencing significant anthropogenic stress due to operations of the Kondopoga Pulp and Paper Mill (PPM). The PPM had gone through several stages characterized by different volumes and compositions of wastewater. In the 1980s, the influx of nutrients upon the commissioning of a biological wastewater treatment plant triggered anthropogenic eutrophication of the bay. In recent decades, there appeared yet another source of nutrient pollution – trout farms. A number of studies highlight climate warming as a new factor affecting the plankton system of Lake Onego. The dataset for analyzing the state of zooplankton in Kondopoga Bay was formed by netting performed in 2019–2021. Samples were collected during zooplankton development peaks (late July – early August) at three stations: in the bay top, in its central part, and in Bolshoe Onego Bay (for reference). The studies show that no major changes have occurred in the plankton communities of Kondopoga Bay compared to their state late in the 20th century. However, there are signs of early-stage destabilization of the bay's plankton system, such as a new multi-annual maximum in zooplankton abundance in the Kondopoga Bay top, high abundance of the relict crustacean *Limnocalanus macrurus* (Sars, 1863) in the central part of Kondopoga Bay and in Bolshoe Onego Bay, changes in the ratio of closely related species of the genus *Bosmina* (*Eubosmina*) Seligo, 1900 among the dominants.

Keywords: anthropogenic eutrophication; interannual variability; wastewater from pulp and paper mill; trout farms; *Limnocalanus macrurus*

For citation: Konovalov D. S., Syarki M. T. The state of zooplankton in the pelagic zone of Kondopoga Bay, Lake Onego, under human impact and climate change. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 1. P. 90–105. doi: 10.17076/eco2096

Funding. The study was carried out under state assignment to KarRC RAS (#FMEN-2026-0011).

### Введение

Онежское озеро – одно из великих озер Европы и имеет большое природное и хозяйственное значение. Эффективное распоряжение водными ресурсами Онежского озера – проблема общегосударственного масштаба. Согласно Государственному докладу о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2020 году [2021], объем использованной воды Онежского озера составил 105,6 млн м<sup>3</sup>. На территории водосбора в 2022 году зарегистрировано 125 официальных источников водопользования. Объем сброшенных в Онежское озеро сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, в 2022 году составил 162,2 млн м<sup>3</sup>. Основные источники водопользования расположены на территории крупных заливов – Петрозаводской губы, Кондопожской губы и Повенецкого залива.

Среди них залив Кондопожская губа традиционно выделяется как объект мониторинговых исследований в связи со значительной

антропогенной нагрузкой [Калинкина и др., 2021; Зобкова, 2024]. В вершинной части залива расположен целлюлозно-бумажный комбинат, сточные воды которого проходят биологическую очистку и сбрасываются в залив; а в центральной части – 11 форелевых хозяйств с общей мощностью в 3870 т/год [Смирнова и др., 2024]. Кроме того, по сравнению с другими крупными заливами в Кондопожской губе водообмен с открытым плесом более ограничен [Галахина, Зобков, 2022], а период условного водообмена составляет 1,03 года [Лозовик и др., 2019].

Помимо антропогенной нагрузки в последнее время актуальной становится проблема изменения климата [Филатов и др., 2012а, б; Смирнова, 2022; Назарова и др., 2024]. Одним из физических последствий климатических изменений является нарушение гидротермического режима озер: более ранний сход льда [Филатов и др., 2024], увеличение продолжительности периода летней стратификации

и повышение температуры поверхности воды в летний период [Здоровеннова и др., 2017].

Зоопланктон, как следующий за фитопланктоном элемент озерных трофических сетей, также реагирует на внешние факторы. При увеличении биогенной нагрузки наблюдается более интенсивное развитие зоопланктона [Тимакова и др., 2014; Сярки, Фомина, 2019б; Фомина и др., 2019]. Климатические изменения влияют на гидротермический режим и синхронизированные с ним фенологические фазы развития зоопланктона: их сроки наступления и продолжительность [Фомина, Сярки, 2018; Сярки, Фомина, 2019а].

Совокупность особенностей морфометрии Кондопожской губы, сниженного водообмена с основным плесом, интенсивной хозяйственной деятельности на акватории и климатических изменений, а также стратегическое значение Онежского озера обостряют необходимость постоянных мониторинговых наблюдений за экологическим состоянием этого водного объекта. Целью настоящей работы является оценка состояния зоопланктона Кондопожской губы Онежского озера в контексте многолетних изменений.

## Материалы и методы

Кондопожская губа – крупный узкий залив Онежского озера с площадью зеркала 223 км<sup>2</sup> и средней глубиной 21 м [Крупнейшие..., 2015]. Акватория залива по трофическим условиям (уровню развития фито- и бактериопланктона), глубинам, температурному режиму и

характеристикам водообмена условно разделяется на три части: вершинную, центральную и открытую. На акватории Кондопожской губы расположены стандартные мониторинговые станции (рис. 1). Функционирование сообществ зоопланктона глубоководных станций залива (К6, К7) традиционно сравнивается с заливом Большое Онего (ст. В1).

Основной источник формирования химического состава воды в заливе – речной сток, который обеспечивается третьим по величине притоком Онежского озера – р. Суна со среднегодовым расходом воды 2,3 км<sup>3</sup>/год [Балаганский и др., 2015]. Среди антропогенных источников формирования химического состава воды залива выделяется расположенный здесь целлюлозно-бумажный комбинат, сточные воды которого сбрасываются в вершинной части залива [Сабылина, 2015; Galakhina et al., 2022]. С начала 1990-х годов по настоящее время фосфорная нагрузка сточных вод значительно сократилась – с 109 до 12 т/год [Литвинова и др., 2021]. С 2000-х годов по настоящее время в прибрежной зоне центральной части залива расположено 11 форелевых хозяйств с общей мощностью ~ 3900 т/год, что послужило увеличению антропогенной нагрузки [Теканова и др., 2019; Galakhina et al., 2022]. Залив Большое Онего характеризуется большими глубинами (~100 м), свободным водообменом с центральным плесом Онежского озера, естественным олиготрофным статусом, высоким качеством воды и низким ( $P_{\text{общ}} 12$  мкг/л) содержанием биогенов [Сабылина и др., 2010].

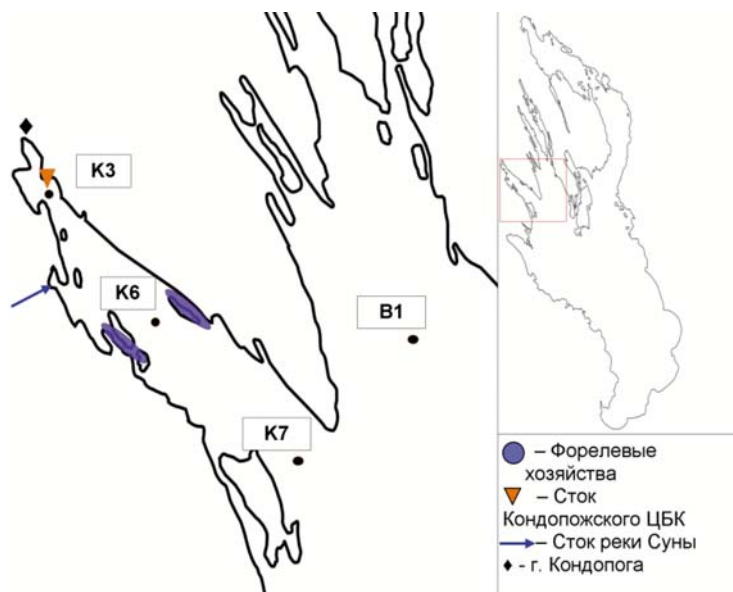


Рис. 1. Мониторинговые станции Кондопожской губы

Fig. 1. Monitoring stations in Kondopoga Bay

Гидрологический режим исследуемых акваторий является типичным для димиктических водоемов, в годовом цикле выделяются два перемешивания (весеннее и осеннее), прямая летняя температурная стратификация и обратная зимняя, а также два раза в год наблюдается явление термического бара, разделяющее акваторию на две области – стратифицированную и с изотермией [Онежское..., 2010]. Температурные условия поверхностного слоя воды в пик вегетационного периода (конец июля – начало августа) однородны по всей акватории озера. По среднемноголетним данным [Онежское..., 2010], поверхность воды прогревается к этому времени до 17 °С, отличия проявляются на глубинах более 10 м.

На протяжении многолетнего периода исследований послонные пробы зоопланктона отбирали сетью Джеди с установленным замыкателем (диаметр 19 или 25 см, сторона ячеи 100 мкм). Камеральную обработку проб выполняли по стандартной методике с учетом индивидуальных весов массовых видов Онежского озера [Куликова, Сярки, 1994; Методы..., 2024]. Идентификация зоопланктона проводилась по общепринятым определителям [Определитель..., 2010; Коровчинский и др., 2021]. Накопленные данные организованы в зарегистрированные базы данных [Сярки, Куликова, 2012; Сярки и др., 2015].

Состояние сообщества охарактеризовано на основании данных о летнем зоопланктоне (конец июля – начало августа) трех стандартных станций (табл. 1).

Проанализированы показатели обилия в м<sup>3</sup> по слоям и под м<sup>2</sup>, а также соотношение таксономических групп зоопланктона и видовой состав. За нижнюю границу доминирования принимали обилие вида выше 10 % (субдоминанты – от 5 до 10 %) от общей численности и биомассы. Видовое разнообразие оценивалось по индексу Шеннона – Уивера по станции в столбе воды, который рассчитывался по формуле:

$$H' = -\sum p_i * \text{Log}_2 p_i,$$

где H' – значение индекса, p<sub>i</sub> – доля особей i-вида.

Несмотря на отмеченную выравненность температурных условий по всей акватории озера в конце июля – начале августа, в термическом режиме существуют также и явления меньших масштабов – синоптическая изменчивость, внутренние волны и ветровое перемешивание, влияющие на вертикальное распределение температуры воды [Здоровеннов, Зимон, 2006]. Вертикальные профили температуры исследуемых станций (рис. 2) получены с помощью мультипараметрического гидрологического зонда CTD-90M [Калинкина и др., 2023].

В период исследования наблюдали выраженную межгодовую и пространственную неоднородность вертикального распределения температуры воды. Температура поверхности воды в районе исследования в целом была ниже среднемноголетних значений [Онежское..., 2010], за исключением вершинной части залива в 2021 г., когда температура соответствовала среднемноголетней. Примечательно, что в августе 2020 г. температура поверхности воды в центральной части залива была выше, чем в вершинной.

## Результаты и обсуждение

За летний период 2019–2021 гг. в зоопланктоне исследуемых районов выявлено 59 таксонов рангом рода и ниже, из них веслоногих – 15, кладоцер – 23 и коловраток – 21. Горизонтальное распределение количества видов было неоднородным на исследуемых станциях. Наибольшее число видов (32) наблюдали в центральной части залива, наименьшее – в заливе Большое Онего (23). В вершинной части Кондопожской губы в 2021 г. отмечена чужеродная коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet).

Таблица 1. Материалы для описания состояния зоопланктона

Table 1. Materials for describing the state of zooplankton

Район (Станция) Area (Station)	Глубина, м (Depth, m)	Даты отбора проб (Sampling dates)	Число проб (Number of samples)
Вершинная часть Кондопожской губы (ст. К3) The top part of Kondopoga Bay (st. K3)	15	10.08.2019	4
	16	13.08.2020	3
	15	04.08.2021	2
Центральная часть Кондопожской губы (ст. К6) The central part of Kondopoga Bay (st. K6)	77	10.08.2019	6
	78	14.08.2020	5
	82	04.08.2021	5
Залив Большое Онего (ст. В1) Bolshoe Onego Bay (st. B1)	77	09.08.2019	6

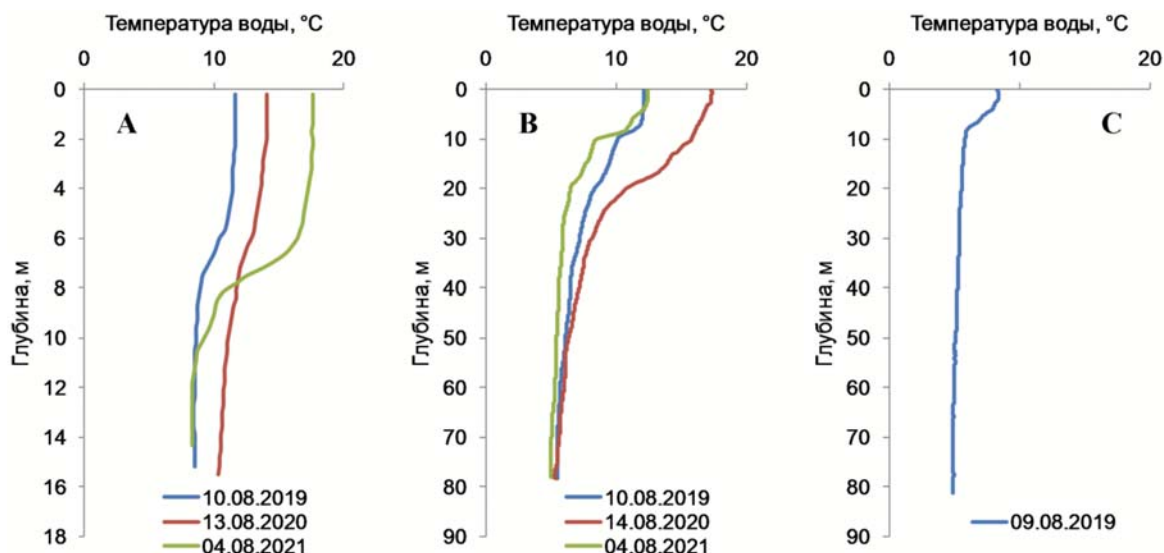


Рис. 2. Вертикальные профили температуры воды исследуемых станций за период исследования. Здесь и на рис. 3, 4: А – верхинная часть Кондопожской губы; В – центральная часть Кондопожской губы; С – залив Большое Онего

Fig. 2. Vertical profiles of the water temperature of the studied stations during the study period.

Here and in Fig. 3, 4: А – the top part of Kondopoga Bay; В – the central part of Kondopoga Bay; С – Bolshoe Onego Bay

На протяжении всего периода исследований на всей акватории отмечались рачки *Eudiaptomus gracilis* (Sars), *Heterocope appendiculata* (Sars), *Eurytemora lacustris* (Poppe), *Limnocalanus macrurus* (Sars), *Mesocyclops leuckarti* (Claus), *Alonella exigua* (Lilljeborg), *Bosmina*

(*Eubosmina*) *coregoni* cf. *longispina* (Leydig), *Chydorus sphaericus* (Müller), *Daphnia* (*Daphnia*) *cristata* (Sars) и коловратки *Kellicottia longispina* (Kellicott), *Keratella cochlearis* (Gosse), *Conochilus* sp. (Ehrenberg). Видовой состав указан в табл. 2.

Таблица 2. Видовой состав планктонных сообществ исследуемого района

Table 2. Species composition of planktonic communities of the studied area

№ п/п Number	Вид Species	К3			К6			B1
		2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019
1	<i>Limnocalanus macrurus</i> (Sars, 1863)	+	+	+	+	+	+	+
2	<i>Eurytemora lacustris</i> (Poppe, 1887)	+	+	+	+	+	+	+
3	<i>Heterocope appendiculata</i> (Sars, 1863)	+	+	+	+	+	+	+
4	<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)	+	+	+	+	+	+	+
5	<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine, 1820)	-	-	+	-	-	-	-
6	<i>Paracyclus fimbriatus</i> (Fischer, 1853)	+	-	-	-	-	-	-
7	<i>Cyclops</i> sp. (Müller, 1776)	-	-	-	+	+	+	+
8	<i>C. lacustris</i> (Sars, 1863)	-	-	-	-	+	-	-
9	<i>C. strenuus</i> (Fischer, 1851))	-	-	+	-	-	-	-
10	<i>C. abyssorum</i> (Sars, 1863)	-	+	-	+	+	+	+
11	<i>Megacyclus viridis</i> (Jurine, 1820)	+	-	-	-	-	-	-
12	<i>Acanthocyclops</i> sp. (Kiefer, 1927)	+	-	-	-	-	-	-
13	<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)	+	+	+	+	+	+	+
14	<i>T. crassus</i> (Fischer, 1853)	-	-	-	-	+	-	-
15	<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	+	+	+	+	+	+	+
16	<i>Holopedium gibberum</i> (Zaddach, 1855)	+	-	+	+	-	+	-
17	<i>Limnospira frontosa</i> (Sars, 1862)	+	+	+	-	+	+	-
18	<i>Latona setifera</i> (Müller, 1776)	-	+	-	-	-	-	-
19	<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liëvin, 1848)	+	+	+	+	+	+	-

Окончание табл. 2  
Table 2 (continued)

№ п/п Number	Вид Species	К3			К6			B1
		2019	2020	2021	2019	2020	2021	2019
20	<i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (Müller, 1785)	-	+	+	-	+	+	-
21	<i>Daphnia (D.) cristata</i> (Sars, 1862)	+	+	+	+	+	+	+
22	<i>D. (D.) galeata</i> (Sars, 1863)	+	-	+	+	+	+	+
23	<i>D. (D.) hyalina</i> (Leydig, 1860)	-	+	-	-	-	-	-
24	<i>Macrothrix rosea</i> (Lievin, 1848)	+	-	-	-	-	-	-
25	<i>Bosmina (B.) longirostris</i> (Müller, 1776)	-	+	-	-	-	+	-
26	<i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>coregoni</i> (Baird, 1857)	-	-	-	+	+	+	+
27	<i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>crassicornis</i> (Lilljeborg, 1887)	+	+	+	+	+	+	-
28	<i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>longispina</i> (Leydig, 1860)	+	+	+	+	+	+	+
29	<i>Alona</i> sp. (Baird, 1843)	-	-	+	-	-	-	-
30	<i>A. quadrangularis</i> (Müller, 1785)	-	+	+	-	-	-	-
31	<i>Biapertura affinis</i> (Leydig, 1860)	-	-	-	-	-	+	-
32	<i>Alonella excisa</i> (Fischer, 1854)	-	-	-	-	+	-	-
33	<i>A. exigua</i> (Lilljeborg, 1853)	+	+	+	+	+	+	+
34	<i>A. nana</i> (Baird, 1850)	+	+	-	-	-	-	-
35	<i>Chydorus sphaericus</i> (Müller, 1776)	+	+	+	+	+	+	+
36	<i>Pleuroxus uncinatus</i> (Baird, 1850)	-	+	-	-	-	-	-
37	<i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	-	-	+	-
38	<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	-	+	+	+	+	+	+
39	<i>Asplanchna</i> sp. (Gosse, 1850)	+	-	+	+	+	+	+
40	<i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof, 1891)	+	-	+	+	+	+	+
41	<i>Conochilus</i> sp. (Ehrenberg, 1834)	+	+	+	+	+	+	+
42	<i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg, 1832)	-	-	+	-	-	+	-
43	<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	+	-	-	+	-	+	-
44	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	+	+	+	+	+	+	+
45	<i>K. bostoniensis</i> (Rousselet, 1908)	-	-	+	-	-	-	-
46	<i>Keratella cohlearis</i> (Gosse, 1851)	+	+	+	+	+	+	+
47	<i>K. quadrata</i> (Müller, 1786)	+	-	+	-	-	+	-
48	<i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)	-	+	-	-	-	-	-
49	<i>Notholca cinetura</i> (Skorikov, 1914)	-	-	-	-	+	-	-
50	<i>N. caudata</i> (Carlin, 1943)	-	-	+	+	-	-	+
51	<i>Philodina</i> sp. (Ehrenberg, 1930)	+	-	-	+	+	+	+
52	<i>Platyias quadricornis</i> (Ehrenberg, 1934)	+	-	-	-	-	-	-
53	<i>Polyarthra vulgaris</i> (Carlin, 1943)	-	-	-	-	+	+	-
54	<i>P. dolichoptera</i> (Idelson, 1925)	-	-	-	-	-	+	-
55	<i>P. remata</i> (Skorikov, 1896)	-	+	+	-	-	-	-
56	<i>P. major</i> (Burckhardt, 1900)	-	+	+	+	+	+	+
57	<i>Polyarthra</i> sp. (Ehrenberg, 1834)	-	-	+	-	-	-	-
58	<i>Synchaeta</i> sp. (Ehrenberg, 1832)	-	+	+	+	+	+	-
59	<i>Trichocerca</i> sp. (Lamarck, 1801)	-	-	+	-	-	+	-

Видовой состав зоопланктона и состав доминантного комплекса с 1960-х годов по настоящее время не претерпел существенных изменений. В структуре доминантного комплекса зоопланктона Кондопожской губы с конца прошлого века [Николаев и др., 1971; Онежское..., 2010; Крупнейшие..., 2015] выделялся *B. (E.) coregoni* cf. *longispina*, тогда как в настоящее время его место занял *B. (E.) coregoni* cf. *crassicornis*. Такое же явление наблюдается и в пелагиали Петрозаводской губы [Фомина, Сярки, 2018]. Кроме того, коловратка

*K. bostoniensis*, отмеченная нами в настоящем исследовании, ранее спорадически встречалась в пелагиали крупных заливов Онежского озера [Фомина, Сярки, 2015], соседнего Выгозерского водохранилища [Сярки, 2019] и ряда малых озер Карелии [Сярки, Здоровеннова, 2021; Sidorova et al., 2025].

Доминантный комплекс зоопланктона (табл. 3) исследуемых районов также был неоднороден. В вершинной части рассматриваемого залива он состоял преимущественно из ветвистых рачков рода *Daphnia (D.)* и *Bosmina (E.)*,

Таблица 3. Доминанты и субдоминанты зоопланктона исследуемых районов

Table 3. Dominant and subdominant species of zooplankton of the studied area

Год Year	Доминанты по численности (доля, %) Dominant in number (percentage, %)	Доминанты по биомассе (доля, %) Dominant in biomass (percentage, %)	$H_N   H_B$
K3			
2019	<i>D. (D.) cristata</i> (38,3) <i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>crassicornis</i> (33,4) <i>K. longispina</i> (15,7)	<i>D. (D.) cristata</i> (53,47) <i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>crassicornis</i> (31,02)	2.3   1.9
2020	<i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>crassicornis</i> (67,2) <i>D. (D.) cristata</i> (11,1) <i>T. oithonoides</i> (6,13)	<i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>crassicornis</i> (37,62) <i>D. (D.) cristata</i> (26,7) <i>T. oithonoides</i> (9,4) <i>E. lacustris</i> (6,27) <i>M. leuckarti</i> (5,49)	1.9   2.7
2021	<i>Synchaeta</i> sp. (26,2) <i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>crassicornis</i> (14,98) <i>K. cochlearis</i> (14,6) <i>D. (D.) cristata</i> (13,7) <i>K. longispina</i> (10,8) <i>Asplanchna</i> sp. (8,3)	<i>Asplanchna</i> sp. (38,5) <i>D. (D.) cristata</i> (26,1) <i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>crassicornis</i> (19,56)	3.05   2.46
K6			
2019	<i>L. macrurus</i> (22,5) <i>K. longispina</i> (18,3) <i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>crassicornis</i> (16,32) <i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>longispina</i> (10,74) <i>D. (D.) cristata</i> (9,78) <i>E. gracilis</i> (6,9) <i>T. oithonoides</i> (5,9)	<i>L. macrurus</i> (80,5)	3.2   1.3
2020	<i>K. longispina</i> (24,06) <i>(D.) cristata</i> (16,4) <i>T. oithonoides</i> (11,8) <i>P. major</i> (10,47)	<i>L. macrurus</i> (24,97) <i>D. (D.) cristata</i> (23,67) <i>T. oithonoides</i> (9,9) <i>E. lacustris</i> (6,64) <i>Asplanchna</i> sp. (6,34) <i>E. gracilis</i> (6,21)	3.57   3.51
2021	<i>Synchaeta</i> sp. (33,07) <i>K. longispina</i> (24,78) <i>Asplanchna</i> sp. (6,35) <i>D. (D.) cristata</i> (5,07)	<i>Asplanchna</i> sp. (31,1) <i>L. macrurus</i> (30,3) <i>D. (D.) cristata</i> (7,37) <i>D. brachyurum</i> (5,45)	3.19   2.95
B1			
2019	<i>K. longispina</i> (24,45) <i>L. macrurus</i> (18,13) <i>B. (E.) coregoni</i> cf. <i>longispina</i> (16) <i>Asplanchna</i> sp. (10,1) <i>D. (D.) cristata</i> (6,4) <i>E. gracilis</i> (5,98) <i>E. lacustris</i> (5,15)	<i>L. macrurus</i> (68,35) <i>Asplanchna</i> sp. (12,31) <i>E. lacustris</i> (6,09)	3.2   1.75

Примечание.  $H_N$  – индекс Шеннона – Уивера по численности;  $H_B$  – индекс Шеннона – Уивера по биомассе.

Note.  $H_N$  – the Shannon – Weaver index, calculated by number;  $H_B$  – the Shannon – Weaver index, calculated by biomass.

а также коловраток рода *Asplanchna* и *K. longispina*. Несмотря на большое количество видов (31), здесь отмечены наименьшие значения индекса Шеннона – Уивера, связанные с преобладанием указанных видов. На глубоководных станциях центральной части Кондопожской губы и в заливе Большое Онего в доминантном комплексе преобладающую роль играли копеподы, в частности реликтовый рачок *L. macrurus*, доля биомассы которого в сообществе в разные годы составляла от 22,5 до 79,4 %.

Обилие и структура сообществ зоопланктона различались как между станциями, так и по годам на одной станции (табл. 4). В 2019 году наблюдались сниженные количественные показатели зоопланктона относительно среднемноголетних во всех районах исследования. В 2021 г. сложилась иная ситуация: в вершинной части залива обилие зоопланктона было примерно в 4 раза больше среднемноголетнего значения за счет высокого числа ветвистых рачков и коловраток.

Таблица 4. Описательная статистика

Table 4. Descriptive statistics

Параметр Parameter		1965–2018 гг.			Современное состояние Current state		
		n	Min Max	Среднее ± ошибка среднего Average ± Se	2019	2020	2021
Вершинная часть Кондопожской губы / The top part of Kondopoga Bay							
Численность, тыс. экз./м <sup>2</sup> Number, thousands of individuals/m <sup>2</sup>	Общая Total	7	106,1 1619,9	788,4 ± 116,69	312,86↓	793,91	3798,34↑
	Calanoida		1,17 262,43	51,97 ± 15,5	9,83↓	32,28	114,65↑
	Cyclopoida		9,83 405,87	119,69 ± 26,79	33,66↓	157,26	457,12↑
	Cladocera		55,73 1119,3	397,38 ± 76,16	199,21↓	567,16↑	1028,80↑
	Rotifera		12,24 769,3	219,36 ± 45,26	70,16↓	37,21↓	2197,76↑
Биомасса, г/м <sup>2</sup> Biomass, g/m <sup>2</sup>	Общая Total	7	3,23 59,9	19,32 ± 3,52	7,52↓	12,64	63,62↑
	Calanoida		0,02 7,14	1,65 ± 0,44	0,52↓	1,32	1,48
	Cyclopoida		0,08 2,8	1,05 ± 0,21	0,12↓	2,29↑	4,61↑
	Cladocera		1,17 40,05	13,07 ± 2,68	6,52↓	9,01↓	30,6↑
	Rotifera		0,09 15,8	3,54 ± 1,14	0,36↓	0,02↓	26,92↑
Центральная часть Кондопожской губы / The central part of Kondopoga Bay							
Численность, тыс. экз./м <sup>2</sup> Number, thousands of individuals/m <sup>2</sup>	Общая Total	16	248,86 932,3	451,23 ± 46,22	332,64↓	745,59↑	586,34↑
	Calanoida		9,76 222,05	96,69 ± 15,68	100,98	145,49↑	41,57↓
	Cyclopoida		35,01 213,58	88,14 ± 11,42	106,19↑	247,55↑	100,81
	Cladocera		29,57 455,6	121,95 ± 25,52	74,99↓	151,12↑	77,6↓
	Rotifera		41,01 373,6	144,44 ± 24,67	50,48↓	201,42↑	366,36↑
Биомасса, г/м <sup>2</sup> Biomass, g/m <sup>2</sup>	Общая Total	16	7,16 28,29	13,42 ± 1,74	18,5↑	12,75	10,2↓
	Calanoida		1,14 8,64	4,26 ± 0,51	15,58↑	4,54	3,48↓
	Cyclopoida		0,39 2,1	0,89 ± 0,11	0,378↓	2,67↑	1,01
	Cladocera		0,64 17,18	4,16 ± 0,93	2,16↓	4,67	2,22↓
	Rotifera		0,03 15,48	4,11 ± 1,25	0,39↓	0,86↓	3,49
Залив Большое Онего / Bolshoe Onego Bay							
Численность, тыс. экз./м <sup>2</sup> Number, thousands of individuals/m <sup>2</sup>	Общая Total	13	9,43 560,53	303,97 ± 43,23	68,97↓	–	–
	Calanoida		7,25 178,58	79,79 ± 14,65	13,22↓	–	–
	Cyclopoida		19,34 113,91	64,28 ± 7,67	35,23↓	–	–
	Cladocera		12,28 149,4	70,44 ± 12,11	8,04↓	–	–
	Rotifera		11,48 216,9	89,45 ± 20,13	12,48↓	–	–
Биомасса, г/м <sup>2</sup> Biomass, g/m <sup>2</sup>	Общая Total	13	2,15 14,56	8,81 ± 1,02	2,78↓	–	–

Окончание табл. 4  
Table 4 (continued)

Параметр Parameter		1965–2018 гг.			Современное состояние Current state		
		n	Min Max	Среднее ± ошибка среднего Average ± Se	2019	2020	2021
Биомасса, г/м <sup>2</sup> Biomass, g/m <sup>2</sup>	Calanoida	13	0,84 6,73	3,15 ± 0,42	2,12↓	–	–
	Cyclopoida		0,1 1,85	0,74 ± 0,14	0,08↓	–	–
	Cladocera		0,44 5,11	2,62 ± 0,35	0,24↓	–	–
	Rotifera		0,08 6,3	2,29 ± 0,6	0,34↓	–	–

Примечание. Стрелка в столбцах с современным состоянием указывает на большее или меньшее наблюдаемое значение относительно среднего.

Note. The arrow in the columns with the current state indicates whether the observed value is higher or lower than the average one.

В настоящее время сохраняется градиент трофических условий от вершинной части залива к открытому плесу (рис. 3), определяющий обилие зоопланктона и структуру сообществ, которые, несмотря на межгодовые колебания, ежегодно воспроизводятся.

В вершинной части залива обилие традиционно более высокое и обусловлено влиянием сточных вод Кондопожского ЦБК. В истории его функционирования наблюдалось несколько важных периодов, которые отражены в количественных показателях зоопланктона. Первый период (1960–70-е годы) характеризовался малым объемом сточных вод (до 20 т/год<sup>-1</sup>), которые сбрасывались без очистки. Это отразилось на экологическом состоянии вершинной части залива: в месте сброса сточных вод сформировалась техногенная «пустыня» [Тимакова и др., 2014], а обилие зоопланктона в этот период было низким (рис. 3, А; 4, А).

Второй этап (с 1980-х до 1990-х гг.) характеризовался наращиванием производственных мощностей, повышенным поступлением биогенов из-за введения в эксплуатацию станции биологической очистки сточных вод и увеличением их объема (до 120 т/год<sup>-1</sup>), вследствие чего наблюдались высокие количественные показатели зоопланктона [Тимакова и др., 2014].

Поскольку ст. К6 в центральной части залива расположена в относительной близости от места сброса сточных вод (~15 км), их воздействие на сообщества зоопланктона этого района наблюдается эпизодически [Сярки, Фомина, 2019б]. В настоящее время существует также влияние форелевых хозяйств на сообщества зоопланктона Кондопожской губы. Исследования фитопланктона этого района в августе 2019 г. показали достоверное увеличение его численности и биомассы [Смирнова и др., 2024] и концентрации общего фосфора [Galakhina et al., 2022], вызванное деятельностью форелевых хозяйств, распо-

ложенных недалеко от станции. Воздействие форелевых хозяйств на сообщества зоопланктона Кондопожской губы отмечалось только в районе их расположения (рис. 1) [Фомина и др., 2019].

В последние годы наблюдаются аномальные явления в функционировании сообществ зоопланктона, указывающие на некоторое нарушение стабильности планктонной системы. Нестабильность может характеризоваться нарушением естественной фенологии сообществ и пиков их обилия [Richardson, 2008; Moe et al., 2022], выпадением отдельных видов из сообщества [Вежновец, 2017], общим снижением плотности зоопланктона [Panja et al., 2024]. Причинами этих явлений авторы называют антропогенное влияние и изменение климата.

Признаки нарушения стабильности планктонной системы наблюдаются и в пелагиали Онежского озера.

Смещение сроков весеннего развития организмов на более ранние, вызванное изменением естественного гидротермического режима, описано в ряде работ по исследованию фенологии зоопланктона Онежского озера [Сярки, Фомина, 2015, 2019а; Фомина, Сярки, 2015; Фомина, 2022; Коновалов, Сярки, 2024; Сярки, 2024].

Другим признаком нарушения стабильности планктонной системы, отмеченным в настоящем исследовании, является увеличение амплитуды межгодовых колебаний и пиков обилия зоопланктона. Так, в вершинной части Кондопожской губы летом 2021 г. отмечались наибольшие с 1989 г. показатели биомассы зоопланктона, вызванные интенсивным развитием ветвистых рачков и коловраток из родов *Asplanchna* и *Synchaeta* (рис. 4). В центральной части залива наблюдалась схожая ситуация. Известно, что массовое развитие коловраток рода *Asplanchna* обычно приурочено к периодам с высокой численностью мелких коловраток [Gilbert, 1980; Куликова и др., 1997].

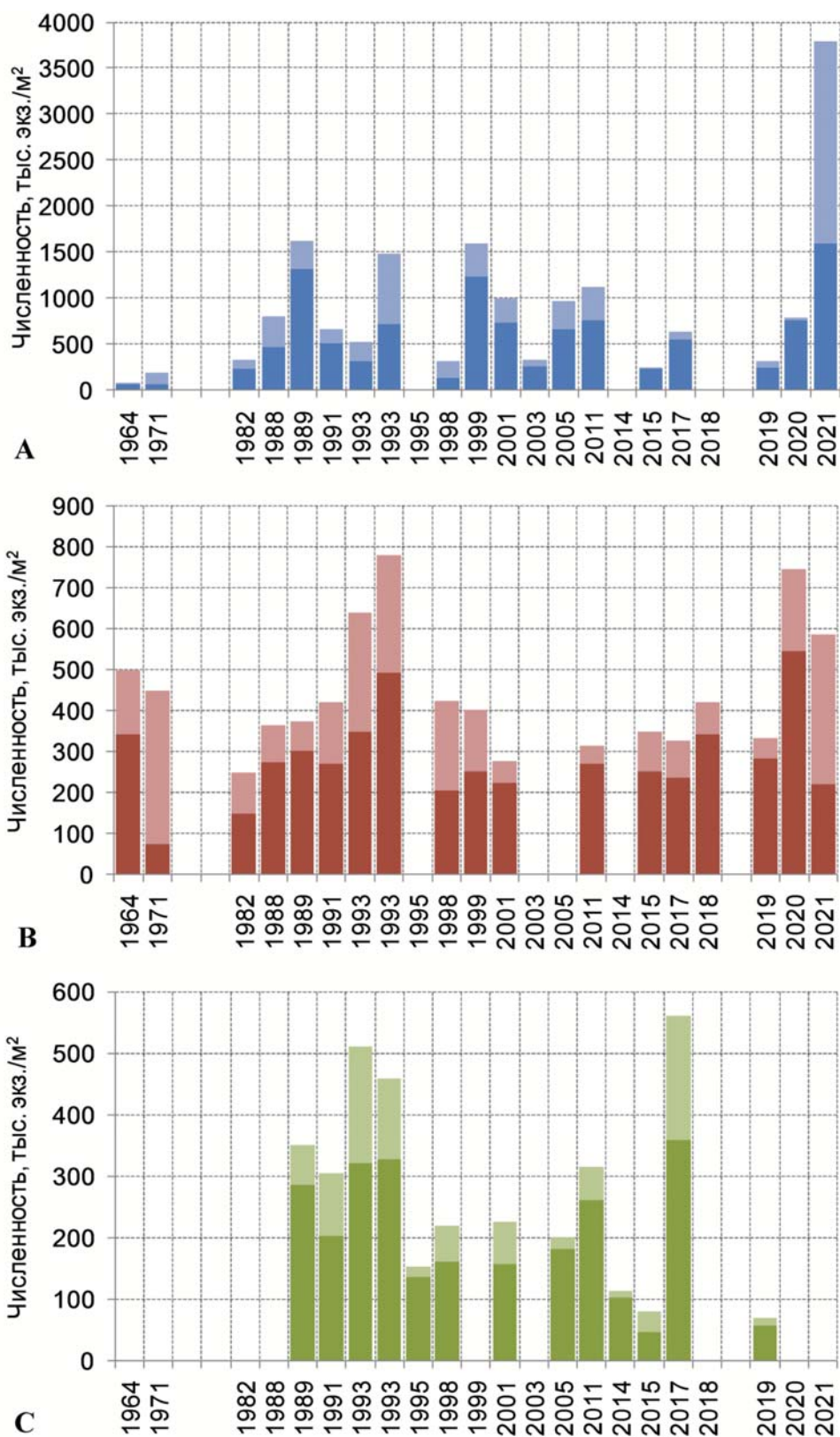


Рис. 3. Многолетняя динамика численности (под м<sup>2</sup>) летнего зоопланктона исследуемых районов.

Здесь и на рис. 4: рачковый планктон – темные оттенки, коловратки – светлые

Fig. 3. Long-term dynamics of numbers (under m<sup>2</sup>) of summer zooplankton in the studied area.

Here and in Fig. 4: crustacean zooplankton – light shades, rotifers – dark shades

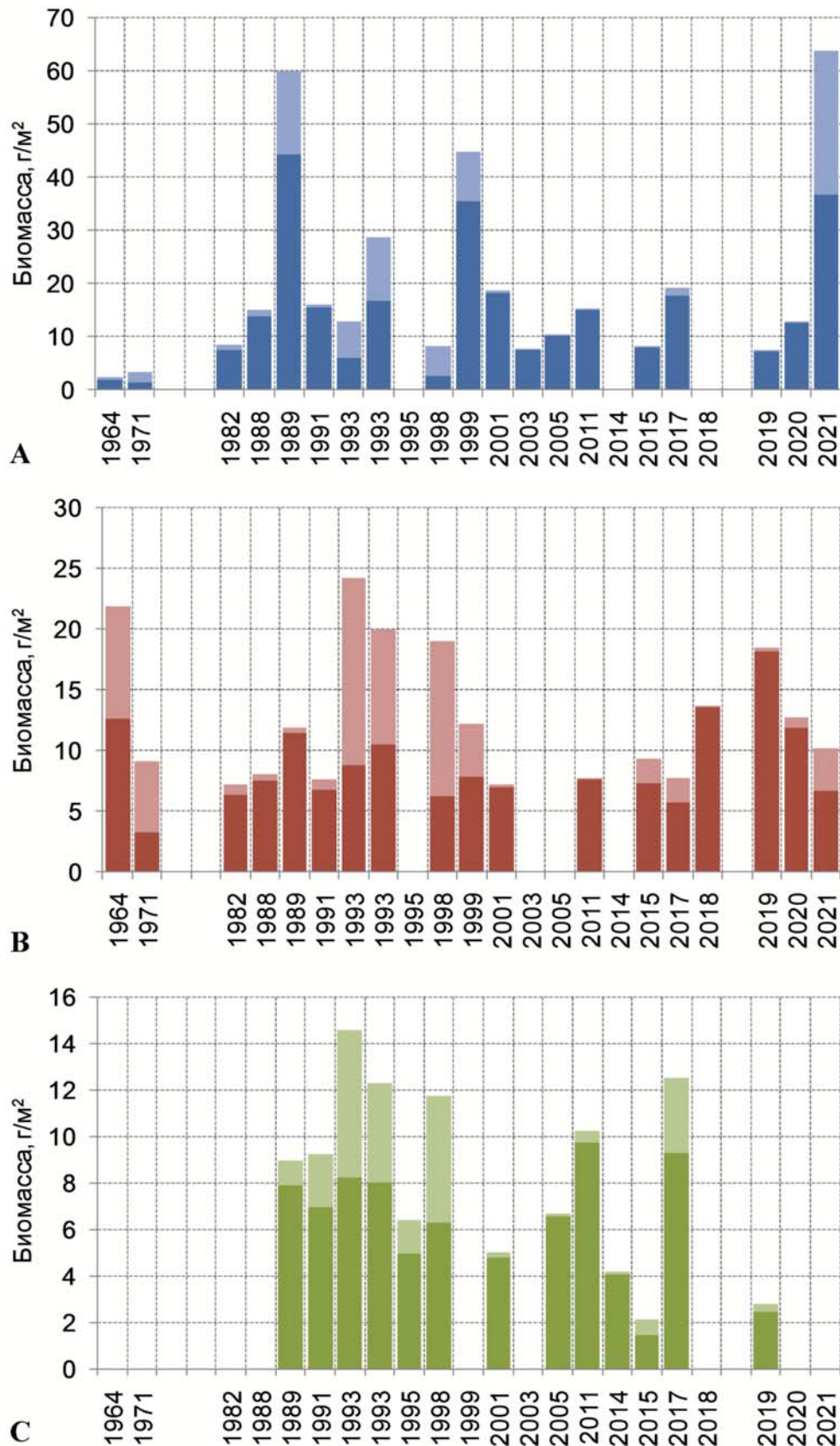


Рис. 4. Многолетняя динамика биомассы (под  $m^2$ ) летнего зоопланктона исследуемых районов

Fig. 4. Long-term dynamics of biomass (under  $m^2$ ) of summer zooplankton in the studied area

Кроме того, в 2019 г. впервые за историю наблюдений в центральной части залива в августе было зафиксировано высокое (численность 0,56 тыс. экз./м<sup>3</sup> в среднем по слоям и 42 тыс. экз./м<sup>2</sup> в столбе воды) обилие реликтового рачка *L. macrurus*. Такое же явление наблюдалось на других участках Кондопожской губы и в заливе Большое Онего (табл. 2). Для залива Большое Онего это объясняется низкой температурой поверхностного слоя воды в августе 2019 г. (рис. 2) – ниже среднемноголетней на 8 °С [Онежское..., 2010], которая была вызвана, вероятно, штормовыми явлениями в период, предшествовавший отбору проб. Это повлекло за собой преобладание в сообществе рачков *L. macrurus* при общей низкой численности зоопланктона. Однако подобный феномен в других указанных районах требует дальнейших исследований.

## Заключение

Оценка состояния зоопланктона Кондопожской губы показала, что в планктонных сообществах, по сравнению с предыдущими десятилетиями, не произошло серьезных изменений. Сохраняются видовой состав и градиент обилия зоопланктона от вершинной части залива к открытой части озера, определенные изменениями трофических условий, вызванными деятельностью ЦБК. Однако за период 2019–2021 гг. наблюдались явления, указывающие на признаки нарушения стабильности планктонной системы, а именно:

- в количественных показателях – увеличение амплитуды межгодовых колебаний и пиков обилия всего зоопланктона. В 2021 г. отмечалось чрезвычайно высокое обилие (253,2 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 4,2 г/м<sup>3</sup>) в вершинной части залива;

- в структурных – в доминантном комплексе, по сравнению с предыдущими десятилетиями, произошли изменения в соотношении близких видов рода *Bosmina* (*Eubosmina*), которые, предположительно, являются первыми признаками реакции сообщества на изменение климата;

- в количественных показателях массовых видов – экстремально высокое обилие реликтового рачка *L. macrurus* в 2019 г., впервые наблюдаемое в различных районах Онежского озера.

Несмотря на отмеченные первые признаки дестабилизации, планктонные сообщества сохраняют свою стабильность и устойчивость к антропогенным факторам и изменению климата. Полученные результаты и продолжающееся водопользование в Кондопожской губе

обуславливают актуальность дальнейших наблюдений и исследований состояния планктонных сообществ, построения долгосрочных прогнозов их изменений.

## Литература

Балаганский А. Ф., Карпечко В. А., Литвиненко А. В., Сало Ю. А. Современное состояние и изменение экосистемы Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища). Гидрологический режим. Ресурсы речного стока и водный баланс // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 31–38.

Вежновец В. В. Влияние повышения температуры на состояние популяции реликтового рачка *Limnocalanus macrurus* Sars в мезотрофном озере // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2017. Т. 61, № 1. С. 73–77.

Галахина Н. Е., Зобков М. Б. Гидрохимические исследования в районе расположения форелевых хозяйств в Кондопожской губе Онежского озера в зимний период 2022 года // Труды Карельского научного центра РАН. 2022. № 6. С. 76–87. doi: 10.17076/lim1599

Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2020 году / Ред. А. Н. Громцев. Петрозаводск, 2021. 277 с.

Здоровеннов Р. Э., Зимон О. В. Синоптическая изменчивость течений в Онежском озере // Водная среда Карелии: исследование, использование, охрана: Мат-лы II Республ. школы-конф. молодых ученых (Петрозаводск, 20–21 февраля 2006 г.). Петрозаводск, 2006. С. 54–57.

Здоровеннова Г. Э., Гавриленко Г. Г., Здоровеннов Р. Э., Маммарелла И., Ояла А., Хейсканен Ю., Терзевик А. Ю. Эволюция температуры водной толщи бореальных озер на фоне изменений регионального климата // Известия РГО. 2017. Т. 149, № 6. С. 59–74.

Зобкова М. В. Оценка автохтонной, аллохтонной и антропогенной составляющей органического вещества в поверхностных водах (на примере водных объектов Карелии): Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Петрозаводск, 2024. 20 с.

Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Белкина Н. А., Назарова Л. Е., Макарова Е. М., Ефремова Т. В., Георгиев А. П., Здоровеннов Р. Э., Потахин М. С., Рябинкин А. В. Результаты экспедиционных исследований в 2020 году на Онежском озере и Выгозерском водохранилище с целью изучения отклика крупных водоемов на антропогенное воздействие и изменение климата // Итоги экспедиционных исследований в 2020 году в Мировом океане и внутренних водах: Тезисы докл. Всерос. науч. конф. (Москва, 24–26 февр. 2021 г.). Севастополь, 2021. С. 164–171.

Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Сярки М. Т., Георгиев А. П., Исакова К. В., Толстикова А. В., Здоровеннов Р. Э., Смирнова В. С. Лимнологические показатели состояния Онежского озера и Выгозерского

водохранилища: температура воды, концентрация хлорофилла *a*, продукция фитопланктона. Св-во о гос. регистрации базы данных № 2023621189. Правообладатель: КарНЦ РАН (RU). Дата регистрации в Реестре баз данных: 12 апреля 2023 г.

Коновалов Д. С., Сярки М. Т. Сезонная динамика зоопланктона Кондопожского залива Онежского озера // 13-й съезд Гидробиологического общества при Российской академии наук: Тезисы докл. конф. (Архангельск, 16–20 сентября 2024 г.). Архангельск, 2024. С. 32–33.

Коровчинский Н. М., Котов А. А., Синев А. Ю., Неретина А. Н., Гарибян П. Г. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии Т. II. / Ред. Н. М. Коровчинский, А. А. Котов. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2021. 544 с.

Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 375 с.

Куликова Т. П., Кустовлянкина Н. Б., Сярки М. Т. Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 1997. 112 с.

Куликова Т. П., Сярки М. Т. Размерно-весовая характеристика массовых видов ракообразных и коловраток Онежского озера: Справочно-информационный материал. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1994. 15 с.

Литвинова И. А., Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Макарова Е. М., Ефимова А. Н. Антропогенная нагрузка и биоиндикация состояния Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища). База данных. Св-во о гос. регистрации № 2021620975. Правообладатель: КарНЦ РАН (RU). Дата регистрации в Реестре баз данных: 17 мая 2021 г.

Лозовик П. А., Зобков М. Б., Бородулина Г. С., Токарев И. В. Оценка внешнего водообмена заливов озер по химическим показателям воды // Водные ресурсы. 2019. Т. 46, № 1. С. 91–101. doi: 10.31857/S0321-059646191-101

Методы гидробиологических исследований внутренних вод / Ред. А. В. Крылов. Ярославль: Филигрань, 2024. 592 с.

Назарова Л. Е., Исакова К. В., Калинкина Н. М., Балаганский А. Ф. Влияние потепления климата на зимний сток реки Шуя и последствия для зообентоса Онежского озера // Известия РГО. 2024. Т. 15, № 1. С. 28–36. doi: 10.31857/S0869607122010086

Николаев И. И., Смирнова Т. С., Мажекайте С. И., Нгуен Тьонг. Зоопланктон Онежского озера / Ред. И. И. Николаев. Л.: Наука, 1971. 327 с.

Онежское озеро. Атлас / Ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 151 с.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / Ред. В. Р. Алексеев, С. Я. Цалолохин. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 495 с.

Сабылина А. В. Современное состояние и изменение экосистемы Онежского озера (Верхне-Свирского водохранилища). Гидрохимические исследо-

вания. Внешняя нагрузка на озеро // Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 68–72.

Сабылина А. В., Лозовик П. А., Зобков М. Б. Химический состав воды Онежского озера и его притоков // Водные ресурсы. 2010. Т. 37, № 6. С. 717–729.

Смирнова В. С. Реакция фитопланктона Онежского озера на потепление климата // Актуальные проблемы планктонологии: Мат-лы IV Всерос. конф. с междунар. участием (Светлогорск, 25–30 сент. 2022 г.). Калининград, 2022. С. 185–191.

Смирнова В. С., Теканова Е. В., Калинкина Н. М. Фитопланктон как индикатор состояния экосистемы Кондопожской губы Онежского озера в условиях садкового выращивания форели // Трансформация экосистем. 2024. Т. 7, № 1. С. 177–195. doi: 10.23859/estr-220822

Сярки М. Т. Вселение американской коловратки *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в Выгозерское водохранилище (Республика Карелия) // Российский журнал биологических инвазий. 2019. Т. 12, № 3. С. 111–116.

Сярки М. Т. Подходы и методы исследования сезонной динамики зоопланктона крупного озера // Принципы экологии. 2024. № 4. С. 48–58. doi: 10.15393/j1.art.2024.15263

Сярки М. Т., Здоровеннова Г. Э. Видовой состав зоопланктона озера Вендюрского (Республика Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 8. С. 80–89. doi: 10.17076/bg1451

Сярки М. Т., Куликова Т. П. Зоопланктон Онежского озера. Св-во о гос. регистрации базы данных № 2012621150. Правообладатель: КарНЦ РАН (RU). Дата регистрации в Реестре баз данных: 9 ноября 2012 г.

Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А. Планктон пелагиали Онежского озера. Св-во о гос. регистрации базы данных № 2015620274. Правообладатель: КарНЦ РАН (RU). Дата регистрации в Реестре баз данных: 13 февраля 2015 г.

Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю. Зоопланктон Онежского озера, его Центрального плеса и залива Большое Онего в различные по температурному режиму годы // Труды Карельского научного центра РАН. 2019а. № 9. С. 104–115. doi: 10.17076/lim982

Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю. Сезонные изменения в зоопланктоне Петрозаводской губы Онежского озера // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 1. С. 63–68. doi: 10.17076/eco37

Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю. Современное состояние зоопланктона Кондопожского залива Онежского озера // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019б. Т. 2, № 3. С. 33–40. doi: 10.47921/2619-1024\_2019\_2\_3\_33

Теканова Е. В., Рыжаков А. В., Калинкина Н. М., Дмитриева Д. А., Фомина Ю. Ю., Макарова Е. М. Состояние экосистемы Кондопожской губы Онежского озера в условиях многофакторного воздействия // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Мат-лы II Междунар. конф. (Казань, 19–24 мая 2019 г.). Казань, 2019. С. 190–194.

Тимакова Т. М., Куликова Т. П., Литвинова И. А., Полякова Т. Н., Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А. Изменение биоценозов Кондопожской губы Онежского озера под влиянием сточных вод целлюлозно-бумажного комбината // Водные ресурсы. 2014. Т. 41, № 1. С. 74–82. doi: 10.7868/S032105961401012X

Филатов Н. Н., Георгиев А. П., Ефремова Т. В., Назарова Л. Е., Пальшин Н. И., Руховец Л. А., Толстиков А. В., Шаров А. Н. Реакция озер Восточной Фенноскандии и Восточной Антарктиды на изменения климата // Доклады Академии наук. 2012а. Т. 444, № 5. С. 554–557.

Филатов Н. Н., Назарова Л. Е., Георгиев А. П., Семенов А. В., Анциферова А. Р., Ожигина В. Н., Богдан М. И. Изменения и изменчивость климата Европейского Севера России и их влияние на водные объекты // Арктика: экология и экономика. 2012б. № 2. С. 6.

Филатов Н. Н., Трифонова И. С., Румянцев В. А. Достижения Академии наук России в исследовании озер за три столетия (обзор) // Водные ресурсы. 2024. Т. 51, № 4. С. 371–392. doi: 10.31857/S0321059624040017

Фомина Ю. Ю. Структурно-функциональная организация и фенология пелагического зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2022. 22 с.

Фомина Ю. Ю., Сярки М. Т. Зоопланктон Онежского озера, биоразнообразии и продуктивности // Биоразнообразие наземных и водных животных. Зооресурсы: Сб. трудов III Всерос. науч. интернет-конф. с междунар. участием. Казань, 2015. С. 71–74.

Фомина Ю. Ю., Сярки М. Т. Современное состояние зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера и его отклик на изменение климата // Труды Карельского научного центра РАН. 2018. № 9. С. 54–64. doi: 10.17076/lim820

Фомина Ю. Ю., Теканова Е. В., Калинкина Н. М. Биоиндикация современного состояния Кондопожского залива Онежского озера в районе расположения форелевых хозяйств по показателям зоопланктона // Водные биоресурсы и среда обитания. 2019. Т. 2, № 2. С. 20–26. doi: 10.47921/2619-1024\_2019\_2\_2\_20

Galakhina N., Zobkov M., Zobkova M. Current chemistry of Lake Onego and its spatial and temporal changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations // Environ. Nanotechnol. Monit. Manag. 2022. Vol. 17. Art. 100619. doi: 10.1016/j.enmm.2021.100619

Gilbert J. J. Observation on the susceptibility of protist and rotifers to predation by *Asplanchna girodi* // Hydrobiology. 1980. Vol. 73. P. 1440–1450.

Moe J., Hobæk A., Persson J., Skjelbred B., Løvik J. Shifted dynamics of plankton communities in a restored lake: Exploring the effects of climate change on phenology through four decades // Clim. Res. 2022. Vol. 86. P. 125–143. doi: 10.3354/cr01654

Panja P., Kar T., Jana D. K. Impacts of global warming on phytoplankton–zooplankton dynamics: a modelling study // Environ. Dev. Sustain. 2024. Vol. 26, no. 5. P. 13495–13513. doi: 10.1007/s10668-023-04430-3

Richardson A. J. In hot water: zooplankton and climate change // ICES J. Mar. Sci. 2008. Vol. 65, no. 3. P. 279–295. doi: 10.1093/icesjms/fsn028

Sidorova A. I., Syarki M. T., Slastina Yu. L. Current state of the ecosystem of Lake Vedlozero and its biological resources (Republic of Karelia, northwestern Russia) // Limnol. Freshwat. Biol. 2025. No. 1. P. 1–19. doi: 10.31951/2658-3518-2025-A-1-1

## References

Alekseev V. R., Tsalolikhin S. Ya. (eds.). An identification guide to zooplankton and zoobenthos in fresh waters of European Russia. Vol. 1. Zooplankton. Moscow: KMK; 2010. 495 p. (In Russ.)

Balaganskii A. F., Karpechko V. A., Litvinenko A. V., Salo Yu. A. Current state and changes in the Lake Onego ecosystems (Verkhne-Svirsky Reservoir). Hydrological regime. River flow resources and water balance. *Krupneishie ozero-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozmozhnostyakh = The largest lakes-reservoirs in the north-west of the European part of Russia: current state and changes in ecosystems under climatic and anthropogenic impact*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2015. P. 31–38. (In Russ.)

Filatov N. N. (ed.). The largest lakes-reservoirs in the north-west of the European part of Russia: current state and changes in ecosystems under climatic and anthropogenic impact. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2015. 375 p. (In Russ.)

Filatov N. N. (ed.). Lake Onego. Atlas. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2010. 151 p. (In Russ.)

Filatov N. N., Georgiev A. P., Efremova T. V., Nazarova L. E., Pal'shin N. I., Ruhovets L. A., Tolstikov A. V., Sharov A. N. Response of lakes in Eastern Fennoscandia and Eastern Antarctica to climate changes. *Doklady Earth Sciences*. 2012;444(2):752–755. doi: 10.1134/S1028334X1206013X

Filatov N. N., Nazarova L. E., Georgiev A. P., Semenov A. V., Antsiferova A. R., Ozhigina V. N., Bogdan M. I. Climate changes and variability in the European North of Russia and their impact on water bodies. *Arktika: ekologiya i ekonomika = The Arctic: Ecology and Economics*. 2012;2:6. (In Russ.)

Filatov N. N., Trifonova I. S., Rumyantsev V. A. Achievements of the Russian Academy of Sciences in the study of lakes over three centuries (a review). *Vodnye resursy = Water Resources*. 2024;51(4):371–392. (In Russ.). doi: 10.31857/S0321059624040017

Fomina Yu. Yu. Structural and functional organization and phenology of pelagic zooplankton of the Petrozavodsk Bay of Lake Onego: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Petrozavodsk; 2022. 22 p. (In Russ.)

Fomina Yu. Yu., Syarki M. T. Modern state of zooplankton and its response to climate change in Petrozavodsk Bay of Lake Onego. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2018;9:54–64. (In Russ.). doi: 10.17076/lim820

Fomina Yu. Yu., Syarki M. T. Zooplankton of Lake Onego, biodiversity and productivity. *Bioraznoobrazie nazemnykh i vodnykh zhivotnykh. Zoosursy: Sb. trudov III Vseros. nauch. internet-konf. s mezhdunar. uchastiem = Biodiversity of terrestrial and aquatic*

animals. *Animal resources: Proceedings of the III All-Russ. scientific Internet conf. with int. part. Kazan'*; 2015. P. 71–74. (In Russ.)

Fomina Yu. Yu., Tekanova E. V., Kalinkina N. M. Bioindication of the current state of the Kondopoga Bay of Lake Onega in the areas, affected by trout farms, through the use of zooplankton. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya = Aquatic Bioresources and Habitat*. 2019;2(2):20–26. (In Russ.). doi: 10.47921/2619-1024\_2019\_2\_2\_20

Galakhina N. E., Zobkov M. B. Hydrochemical studies of the trout farming area in Kondopoga Bay of Lake Onega in the winter of 2022. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS*. 2022;6:76–87. (In Russ.). doi: 10.17076/lim1599

Galakhina N., Zobkov M., Zobkova M. Current chemistry of Lake Onega and its spatial and temporal changes for the last three decades with special reference to nutrient concentrations. *Environ. Nanotechnol. Monit. Manag.* 2022;17:100619. doi: 10.1016/j.enmm.2021.100619

Gilbert J. J. Observation on the susceptibility of protist and rotifers to predation by *Asplanchna girodi*. *Hydrobiology*. 1980;73:1440–1450.

Gromtsev A. N. (ed.). The state report on the state of the environment in the Republic of Karelia in 2020. Petrozavodsk; 2021. 277 p. (In Russ.)

Kalinkina N. M., Tekanova E. V., Belkina N. A., Nazarova L. E., Makarova E. M., Efremova T. V., Georgiev A. P., Zdorovenov R. E., Potakhin M. S., Ryabinkin A. V. The results of expedition research in 2020 on Lake Onega and the Vygozersk reservoir in order to study the response of large reservoirs to anthropogenic impact and climate change. *Itogi ekspeditsionnykh issledovaniy v 2020 godu v Mirovom okeane i vnutrennikh vodakh: Tezisy dokl. Vseros. nauch. konf. (Moskva, 24–26 fevr. 2021 g.) = The results of expeditionary research in 2020 in the World Ocean and inland waters: abstracts of the All-Russ. scientific conf. (Moscow, Feb. 24–26, 2021)*. Sevastopol'; 2021. P. 164–171. (In Russ.)

Kalinkina N. M., Tekanova E. V., Syarki M. T., Georgiev A. P., Isakova K. V., Tolstikov A. V., Zdorovenov R. E., Smirnova V. S. Limnological indicators of the state of Lake Onega and the Vygozersky Reservoir: water temperature, chlorophyll a concentration, phytoplankton production. The certificate of the state registration of database No. 2023621189. Copyright holder: KarRC RAS (RU). The date of the registration in the register of databases: 12.04.2023. (In Russ.)

Konovalov D. S., Syarki M. T. Seasonal dynamics of zooplankton in the Kondopoga Bay of Lake Onega. *13-i s"ezd Gidrobiologicheskogo obshchestva pri Rossiiskoi akademii nauk: tezisy dokl. konf. (Arkhangel'sk, 16–20 sentyabrya 2024 g.) = 13<sup>th</sup> Congress of the Hydrobiological Society of the Russian Academy of Sciences: Abstracts of the conf. (Arkhangelsk, Sept. 16–20, 2024)*. Arkhangel'sk; 2024. P. 32–33. (In Russ.)

Korovchinskii N. M., Kotov A. A., Sinev A. Yu., Neretina A. N., Garibyan P. G. Branchous crustaceans (Crustacea: Cladocera) in Northern Eurasia. Vol. II. Moscow: KMK; 2021. 544 p. (In Russ.)

Krylov A. V. (ed.). Methods of hydrobiological studies of inland waters. Yaroslavl': Filigran'; 2024. 592 p. (In Russ.)

Kulikova T. P., Kustovlyankina N. B., Syarki M. T. Zooplankton as a component of the ecosystem of Lake Onega. Petrozavodsk: KarRC RAS; 1997. 112 p. (In Russ.)

Kulikova T. P., Syarki M. T. Size and weight characteristics of the mass species of crustaceans and rotifers of Lake Onega: reference and information material. Petrozavodsk: Karel. fil. AN SSSR; 1994. 15 p. (In Russ.)

Litvinova I. A., Kalinkina N. M., Tekanova E. V., Makarova E. M., Efimova A. N. Anthropogenic load and bioindication of the state of Lake Onega (Verkhne-Svirsky Reservoir). The database. The certificate of the state registration of database No. 2021620975. Copyright holder: NWPI KarRC RAS (RU). The date of the registration in the register of databases: 17.05.2021. (In Russ.)

Lozovik P. A., Zobkov M. B., Borodulina G. S., Tokarev I. V. Assessing external water exchange of lake bays by water chemistry characteristics. *Water Resources*. 2019;46(1):94–102. doi: 10.1134/S0097807818050123

Moe J., Hobæk A., Persson J., Skjelbred B., Løvik J. Shifted dynamics of plankton communities in a restored lake: Exploring the effects of climate change on phenology through four decades. *Clim. Res.* 2022;86:125–143. doi: 10.3354/cr01654

Nazarova L. E., Isakova K. V., Kalinkina N. M., Balaganskii A. F. The climate warming influence on the Shuya River winter runoff and the consequences for the zoobenthos of Lake Onega. *Izvestiya RGO = Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2024;154(1):28–36. (In Russ.)

Nikolaev I. I., Smirnova T. S., Mazhekaite S. I., Nguen Tyong. Zooplankton of Lake Onega. Leningrad: Nauka; 1971. 327 p. (In Russ.)

Panja P., Kar T., Jana D. K. Impacts of global warming on phytoplankton–zooplankton dynamics: a modelling study. *Environ. Dev. Sustain.* 2024;26(5):13495–13513. doi: 10.1007/s10668-023-04430-3

Richardson A. J. In hot water: zooplankton and climate change. *ICES J. Mar. Sci.* 2008;65(3):279–295. doi: 10.1093/icesjms/fsn028

Sabylina A. V. Current state and changes in the ecosystem of Lake Onega (Verkhne-Svirsky Reservoir). Hydrochemical studies. External load on the lake. *Krupneishie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeiskoi territorii Rossii: sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeistviyakh = The largest lakes-reservoirs in the north-west of the European part of Russia: current state and changes in ecosystems under climatic and anthropogenic impact*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2015. P. 68–72. (In Russ.)

Sabylina A. V., Lozovik P. A., Zobkov M. B. Chemical composition of the water of Lake Onega and its tributaries. *Water Resources*. 2010;37(6):717–729. (In Russ.)

Sidorova A. I., Syarki M. T., Slastina Yu. L. Current state of the ecosystem of Lake Vedlozero and its biological resources (Republic of Karelia, northwestern Russia). *Limnol. Freshwat. Biol.* 2025;1:1–19. doi: 10.31951/2658-3518-2025-A-1-1

Smirnova V. S. The reaction of phytoplankton of Lake Onega to climate warming. *Aktual'nye problemy planktonologii: Mat-ly IV Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem (Svetlogorsk, 25–30 sent. 2022 g.) = Topical*

problems of planktology: Proceedings of the IV All-Russ. conf. with int. part. (Svetlogorsk, Sept. 25-30, 2022). Kaliningrad; 2022. P. 185–191. (In Russ.)

Smirnova V. S., Tekanova E. V., Kalinkina N. M. Phytoplankton as an indicator of the ecosystem state of Kondopoga Bay of Lake Onego under cage trout farming. *Transformatsiya ekosistem = Ecosystem Transformation*. 2024;7(1):177–195. (In Russ.). doi: 10.23859/estr-220822

Syarki M. T. Approaches and methods for studying the seasonal dynamics of zooplankton in a large lake. *Printsipy ekologii = Principles of the Ecology*. 2024; 4:48–58. (In Russ.). doi: 10.15393/j1.art.2024.15263

Syarki M. T. The invasion of the American rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) into Vygozersky reservoir (Republic of Karelia). *Rossiiskii zhurnal biologicheskikh invazii = Russian Journal of Biological Invasions*. 2019;12(3):111–116. (In Russ.)

Syarki M. T., Fomina Yu. Yu. Seasonal changes in zooplankton in Petrozavodsk Bay of Lake Onega. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS*. 2015;1:63–68. (In Russ.). doi: 10.17076/eco37

Syarki M. T., Fomina Yu. Yu. The current state of zooplankton in the Kondopoga Bay of Lake Onega. *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya = Water Resources and the Habitat*. 2019;2(3):33–40. (In Russ.). doi: 10.47921/2619-1024\_2019\_2\_3\_33

Syarki M. T., Fomina Yu. Yu. Zooplankton of Lake Onego in its Central part and Bolshoe Onego Bay in years with different temperature conditions. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS*. 2019;9:104–115. (In Russ.). doi: 10.17076/lim982

Syarki M. T., Kulikova T. P. Zooplankton of Lake Onego. The certificate of the state registration of database No. 2012621150. Copyright holder: NWPI KarRC RAS (RU). The date of the registration in the register of databases: 9.11.2012. (In Russ.)

Syarki M. T., Tekanova E. V., Chekryzheva T. A. Plankton of the pelagic Lake Onega. The certificate of the state registration of database No. 2015620274. Copyright holder: NWPI KarRC RAS (RU). The date of the registration in the register of databases: 13.02.2015. (In Russ.)

Syarki M. T., Zdorovenнова G. E. Zooplankton species composition of Lake Vendyurskoe (Republic of Karelia). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS*. 2021; 8:80–89. (In Russ.). doi: 10.17076/bg1451

Tekanova E. V., Ryzhakov A. V., Kalinkina N. M., Dmitrieva D. A., Fomina Yu. Yu., Makarova E. M. The state of the ecosystem of the Kondopoga Bay of Lake Onega under conditions of multifactorial impact. *Ozera Evrazii: problemy i puti ikh resheniya: Mat-ly II Mezhdunar. konf. (Kazan', 19–24 maya 2019 g.) = Lakes of Eurasia: problems and solutions: Proceedings of the II Int. conf. (Kazan, May 19-24, 2019)*. Kazan'; 2019. P. 190–194. (In Russ.)

Timakova T. M., Kulikova T. P., Litvinova I. A., Polyakova T. N., Syarki M. T., Tekanova E. V., Chekryzheva T. A. Changes in biocenoses of Kondopoga Bay, Lake Onego, under the effect of effluents from a pulp and paper mill. *Water Resources*. 2014;41(1):78–86. doi: 10.1134/S0097807814010126

Vezhnovets V. V. The effect of temperature rise on the population of the relict crustacean *Limnocalanus macrurus* Sars in a mesotrophic lake. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2017;61(1):73–77. (In Russ.)

Zdorovenнова G. E., Gavrilenko G. G., Zdorovennov R. E., Mammarella I., Ojala A., Heiskanen Yu., Terzhevik A. Yu. Evolution of the temperature of the water column of boreal lakes against the background of changes in the regional climate. *Izvestiya RGO = Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2017;149(6): 59–74. (In Russ.)

Zdorovennov R. E., Zimon O. V. Synoptic variability of currents in Lake Onega. *Vodnaya sreda Karelii: issledovanie, ispol'zovanie, okhrana: Mat-ly II Respubl. shkoly-konf. molodykh uchenykh (Petrozavodsk, 20–21 fevralya 2006 g.) = Aquatic environment of Karelia: research, use, and protection: proceedings of the II Republican school-conf. of young scientists (Petrozavodsk, Feb. 20-21, 2006)*. Petrozavodsk; 2006. P. 54–57. (In Russ.)

Zobkova M. V. Assessment of the autochthonous, allochthonous and anthropogenic components of organic matter in surface waters (on the example of water bodies in Karelia): Summary of PhD (Cand. of Chem.) thesis. Petrozavodsk; 2024. 20 p. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 25.04.2025; принята к публикации / accepted: 23.10.2025.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### Коновалов Даниил Сергеевич

инженер-исследователь лаборатории гидробиологии  
e-mail: konovalov.daniil1998@gmail.com

### Сярки Мария Тагевна

канд. биол. наук, главный биолог группы исследований  
донных отложений  
e-mail: msyarki@mail.ru

## CONTRIBUTORS:

### Kononov, Daniil

Research Engineer

### Syarki, Maria

Cand. Sci. (Biol.), Chief Biologist