



DOI 10.23859/estr-220624

EDN BUKZHR

УДК 574.583(285.2:470):591

Научная статья

Особенности подледного зоопланктона озера Плещеево (Ярославская обл., Россия)

С.М. Жданова* , М.И. Малин 

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, 152742, Россия, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, д. 109

*zhdanova83@gmail.com

Аннотация. В марте 2019 г. изучены таксономический состав, вертикальное и горизонтальное распределение зоопланктона в оз. Плещеево. Установлено, что его обилие невелико (численность 11.5–13.8 тыс. экз./м³, биомасса < 0.1 г/м³), значительно ниже, чем регистрировали в этот сезон в 1980–90-х гг. Среди ракообразных, как и прежде, преобладал холодолюбивый *Cyclops kolensis*. Отмечено возрастание доли представителей р. *Synchaeta*, которые составляли до 12–27% общей численности коловраток. В то же время наблюдалось снижение обилия *Eudiaptomus graciloides*, ранее многочисленного в подледный период.

Ключевые слова: глубоководное озеро, изменение климата, зимний зоопланктон, таксономический состав, пространственное распределение, температура воды, растворенный кислород

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы «Систематика, разнообразие, биология и экология водных и околоводных беспозвоночных, структура популяций и сообществ в континентальных водах» государственного задания ИБВВ РАН (№121051100109-1) и темы НИР «Современное состояние популяции переславской ряпушки и ее кормовой базы» (Регистрационный номер 123041900012-5).

ORCID:

С.М. Жданова, <https://orcid.org/0000-0003-1094-2010>

М.И. Малин, <https://orcid.org/0000-0001-5513-6405>

Для цитирования: Жданова, С.М., Малин, М.И., 2023. Особенности подледного зоопланктона озера Плещеево (Ярославская обл., Россия). *Трансформация экосистем* 6 (3), 39–52. <https://doi.org/10.23859/estr-220624>

Поступила в редакцию: 24.06.2022

Принята к печати: 14.08.2022

Опубликована онлайн: 06.09.2023

DOI 10.23859/estr-220624

EDN BUKZHR

UDC 574.583(285.2:470):591

Article

Features of under-ice zooplankton in Lake Pleshcheyevo (Yaroslavl Region, Russia)

Svetlana M. Zhdanova*, Mikhail I. Malin

Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok 109, Nekouzsky District, Yaroslavl Oblast, 152742 Russia

*zhdanova83@gmail.com

Abstract. In March 2019, we studied the taxonomic composition, vertical and horizontal distribution of under-ice zooplankton in Lake Pleshcheyevo and revealed that its quantity (abundance 11.5–13.8 thous. ind./m³, biomass <0.1 g/m³) was much lower than in the same season of 1980–1990. The cryophilic species *Cyclops kolensis* dominated among crustaceans. An increase in the share of representatives of the genus *Synchaeta* (12–27% of the total abundance of rotifers) was also noted. At the same time, previously dominant during the under-ice period *Eudiaptomus graciloides* demonstrated the reduced abundance.

Keywords: deep lake, climate change, winter zooplankton, taxonomic composition, spatial distribution, abundance, biomass, water temperature, dissolved oxygen

Funding. The study was carried out as the State Task of the Papanin Institute for Biology of Inland Waters, the Russian Academy of Sciences “Systematics, diversity, biology and ecology of aquatic and semiaquatic invertebrates, the structure of populations and communities in continental waters” (No. 121051100109-1) and the research “The current state of the population of pereslavl vendace (*Coregonus albula*) and its food base” (Registration number 123041900012-5).

ORCID:

S.M. Zhdanova, <https://orcid.org/0000-0003-1094-2010>

M.I. Malin, <https://orcid.org/0000-0001-5513-6405>

To cite this article: Zhdanova, S.M., Malin, M.I., 2023. Features of under-ice zooplankton in Lake Pleshcheyevo (Yaroslavl Region, Russia). *Ecosystem Transformation* 6 (3), 39–52. <https://doi.org/10.23859/estr-220624>

Received: 24.06.2022

Accepted: 14.08.2022

Published online: 06.09.2023

Введение

В настоящее время в связи с изменением климата во многих водоемах умеренной зоны наблюдается сокращение периода ледостава (Клюев и Лебедев, 2019; Benson et al., 2012; Sharma et al., 2021; Su et al., 2021), что может значительно изменять условия существования комплекса холодолюбивых видов планктонных животных (Лазарева и Соколова, 2017; Ривьер, 2012; Сярки и Фомина, 2017; Jansen et al., 2021). Зимний зоопланктон описан для Рыбинского водохранилища (Лазарева и Соколова, 2017), водоемов бассейнов Верхней и Средней Волги (Ривьер, 1986, 2012; Салахутдинов, 2003), Онежского озера (Сярки и Фомина, 2017) и Новосибирского водохранилища (Ермолаева, 2000). Подо льдом развиваются комплексы холодолюбивых и круглогодичных планктонных видов, среди которых наиболее многочисленны коловратки и веслоногие ракообразные. В зимнем зоопланктоне отмечают обедненность видового состава, для ряда водоемов характерно невысокое обилие планктонных животных (Лазарева и Соколова, 2017; Сярки и Фомина, 2017) или, напротив, один из его пиков в годовом цикле (Ермолаева, 2000; Салахутдинов, 2003).

Зимний и зимне-весенний зоопланктон глубоководного озера Плещеево ранее подробно исследован в январе–марте 1980–1985 гг. и 1990–1991 гг. (Ривьер, 1986, 2012; Ривьер и др., 1992; Столбунова, 1992, 2006). Показано, что максимального развития в подледный период сообщество планктонных животных достигало в марте, в его состав входили специфические зимние (криофильные, холодолюбивые), а также эвритермные (круглогодичные с холодолюбивой генерацией) виды.

Цель работы – исследовать состав и вертикальное распределение зоопланктона в подледный период 2019 г.

Материалы и методы

Исследования подледного (толщина льда ~50 см) зоопланктона проводили 30 марта 2019 г. на трех станциях, расположенных в северо-западной части оз. Плещеево (Табл. 1). Пробы собирали с помощью планктоботометра Ван Дорна (объем 4.2 л) по горизонтам через 1–2 м от поверхности до дна с последующей фильтрацией через планктонное сито (размер ячеек 64 мкм). На каждом горизонте отбирали по два объема батометра, содержимое батометров сливалось в отдельные склянки по слоям.

Камеральную обработку проб проводили по общепринятой методике (Методика..., 1975; Методические рекомендации..., 1982). Биомассу зоопланктона рассчитывали на основе уравнений зависимости индивидуальной массы от длины тела (Балушкина и Винберг, 1979; Ruttner-Kolisko, 1977). Доминантными считали виды с относительным обилием > 5% общей численности и > 5% общей биомассы зоопланктона. Для идентификации планктонных животных использовали работу Л.А. Кутиковой (1970) и «Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России (2010). Номенклатура ветвистоусых ракообразных представлена по Н.М. Коровчинскому и др. (2021), коловраток – по Н. Segers (2007), Т. Horton et al. (2022), веслоногих – по «Определителю... (2010) и Horton et al. (2022).

Температуру воды и концентрацию растворенного кислорода на станциях наблюдения измеряли термооксиметром «YSI ProODO» от поверхности до дна дискретно с интервалом 1 м.

Обработку и анализ данных проводили в приложении Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft Corp.), статистические расчеты выполнены с использованием программы STATISTICA 6.0 (Statsoft Inc., USA). Среднее значение рассчитывали как среднее арифметическое по пробам, собранным на станции.

Результаты и обсуждение

Климатические особенности зимнего периода 2018–2019 гг.

Согласно данным Росгидромета¹ зима 2018–2019 гг. была умеренно теплой, средняя по Центральному федеральному округу (ЦФО) аномалия составила +2.90 °С. Весна была очень теплой, средняя по ЦФО аномалия – +2.59 °С. Продолжительность залегания снежного покрова в среднем по России зимой 2018–2019 гг. оказалась значительно меньше климатической нормы, в ЦФО средняя аномалия составила – 8.68 дней.

Ледовые явления (первые забереги) на оз. Плещеево отмечены с 21 ноября 2018 г. Неполный ледостав зафиксирован с 9 декабря, а к 18 декабря озеро покрылось льдом полностью.

¹ Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год, 2020.

Табл. 1. Физико-химические характеристики и показатели зоопланктона исследованных участков оз. Плещеево в марте 2019 г. N_{tot} – общая численность зоопланктона, N_{rot} – численность коловраток, N_{clad} – численность ветвистоусых ракообразных, N_{cop} – численность веслоногих ракообразных, B_{tot} – общая биомасса зоопланктона, B_{rot} – общая биомасса коловраток, B_{clad} – биомасса ветвистоусых ракообразных, B_{cop} – биомасса веслоногих ракообразных, S_{tot} – общее число видов, n – число наблюдений (проб зоопланктона) на станции. Над чертой – численность, тыс. экз./м³ (среднее ± ошибка среднего), под чертой – относительная численность (% от общей численности зоопланктона).

Показатель	Станция			
	1 (n=11)	2 (n=6)	3 (n=7)	
Координаты	N 56° 47.677' E 38° 46.453'	N 56° 47.805' E 38° 46.664'	N 56° 47.888' E 38° 46.786'	
Расстояние от берега, км	1.1	0.8	0.6	
Глубина, м	20	9	7	
Т воды пов, °С	0.5	0.8	1.0	
Т воды дно, °С	2.7	1.5	1.1	
N_{tot} , тыс. экз./м ³	12.7 ± 3.1	11.5 ± 1.6	13.8 ± 2.3	
N_{rot} , тыс. экз./м ³	9.3 ± 1.6	7.8 ± 1.8	8.4 ± 2.0	
N_{clad} , тыс. экз./м ³	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
N_{cop} , тыс. экз./м ³	4.3 ± 1.3	3.6 ± 1.1	4.4 ± 1.3	
B_{tot} , мг/м ³	29.4 ± 2.3	12.4 ± 7.3	9.9 ± 2.3	
B_{rot} , мг/м ³	2.2 ± 0.6	2.0 ± 0.5	2.2 ± 0.5	
B_{clad} , мг/м ³	1.3 ± 1.0	0.2 ± 0.2	1.6 ± 1.4	
B_{cop} , мг/м ³	26.0 ± 13.4	10.2 ± 7.4	6.2 ± 1.9	
S_{tot}	14	15	16	
Доминантные виды	<i>Keratella hiemalis</i>	$\frac{5.7 \pm 1.9}{45}$	$\frac{3.1 \pm 0.6}{27}$	$\frac{4.4 \pm 0.9}{32}$
	<i>Synchaeta lakowitziana</i>	$\frac{1.5 \pm 0.8}{12}$	$\frac{3.1 \pm 1.6}{27}$	$\frac{3.3 \pm 1.3}{24}$
	<i>Filinia terminalis</i>	$\frac{0.5 \pm 0.1}{4}$	$\frac{0.8 \pm 0.3}{7}$	$\frac{1.0 \pm 0.3}{7}$
	науплиусы Cyclopoida	$\frac{3.2 \pm 1.0}{25}$	$\frac{2.9 \pm 0.8}{25}$	$\frac{4.3 \pm 1.3}{31}$
	копеподиты Cyclops	$\frac{0.9 \pm 0.5}{7}$	$\frac{0.5 \pm 0.5}{4}$	$\frac{0.1 \pm 0.1}{7}$

Табл. 2. Продолжительность ледостава оз. Плещеево. Данные представлены по: * –Экосистема..., 1989; ** – Автоматизированная..., 2014.

Год	Ледостав	Появление закраин	Полное очищение	Появление заберег
1931–1975*	2.XII	10.IV	1.V	4.XI
2017**	Нет к 31.XII	29.III	30.IV	24.XI
2018**	18.XII	18.IV	2.V	21.XI
2019**	Нет к 31.XII	8.IV	1.V	21.XI

Закраины на озере появились 8 апреля 2019 г., подвижки льда и разводья начались с 11 апреля. С 13 апреля наблюдался редкий плавучий лед, к 1 мая озеро полностью освободилось ото льда (Автоматизированная информационная система..., 2014). В 2017–2019 гг. наблюдали более позднее (на 20–28 сут.) появление заберегов и установление полного ледостава по сравнению с 1931–1975 гг., тогда как вскрытие озера ото льда происходило в обычные сроки (Табл. 2).

В марте 2019 г. в глубоководной зоне озера наблюдалась обратная слабовыраженная термическая стратификация (Табл. 1, Рис. 1), характерная для данного периода (Экосистема..., 1989). Кислородный режим был благоприятен на всех глубинах (более 10 мг/л), только в придонном слое содержание растворенного кислорода было низким (2 мг/л).

Зоопланктон

В марте 2019 г. в оз. Плещеево выявлен 21 вид планктонных животных, среди которых коловратки составляли 11 видов, а ракообразные 10 (*Cladocera* – 5, *Copepoda* – 5). Преобладали (43%) планктонные формы, обитающие в водоеме круглый год (9 видов). На зимние холодолюбивые виды приходилось 24% списка (5 видов), на летние виды – 19% (4 вида) (Табл. 3).

Плотность зоопланктона была близка на всех исследованных участках озера; биомасса планктонных животных на глубоководном участке (ст. 1) была выше в 3 раза по сравнению с другими (Табл. 1, Рис. 2), что обусловлено массовым развитием в придонном слое копепоидов *Cyclops kolensis* (Рис. 3). Основу численности зимнего сообщества формировали коловратки (68–73%), основу биомассы – веслоногие ракообразные (63–88%). Кладоцеры были малочисленными в подледный период (Табл. 1), что отмечали и в более ранних исследованиях (Ривьер, 1986; Столбунова, 2006). Доминанты зоопланктона были представлены зимними и холодолюбивыми видами (Табл. 2).

Высокие значения численности и биомассы сообщества отмечены в придонных слоях на участках с глубинами 20 м и 9 м (Рис. 2). Вертикальная структура зоопланктона характеризовалась преобладанием в водной толще коловраток, за исключением придонного слоя, где были многочисленны веслоногие ракообразные (Рис. 2). Холодолюбивые виды коловраток доминировали в поверхностном слое (0–2 м) (*Synchaeta lakowitziana*, 60–64% общей численности зоопланктона) и в более глубоких слоях (> 6 м) (*Keratella hiemalis*, 43–69%) (Рис. 4). Циклопоидные

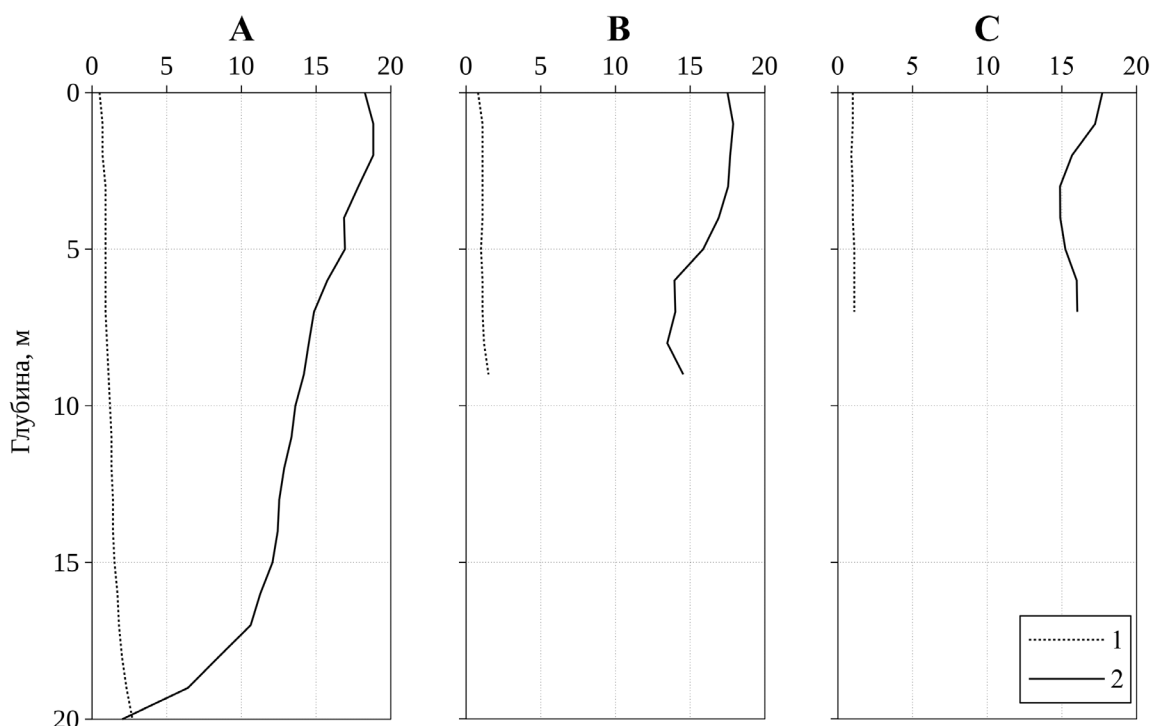


Рис. 1. Вертикальное распределение температуры (1), в °С и концентрации растворенного кислорода (2), в мг/л в оз. Плещеево в марте 2019 г.: А – станция 1; В – станция 2; С – станция 3.

Табл. 3. Видовой состав зимнего зоопланктона оз. Плещеево. * – данные приведены по Ривьер (1986, 2012), Ривьер и др. (1992), Столбуновой (1992, 2006). Экотип (по: Лазарева и Соколова, 2017; Ривьер, 1986): Пл – планктонный, Мб – мейобентосный, Зм – зимний, Лт – летний, Кг – круглогодичный, Дп – в состоянии диапаузы.

	Таксон	Январь–март 1980–1992*	Март 2019	Экотип
Rotifera	<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850	+	–	Пл, Лт
	<i>Brachionus quadridentatus</i> Hermann, 1783	+	–	Пл, Лт
	<i>B. calyciflorus</i> Pallas, 1766	+	–	Пл, Лт
	<i>Brachionus diversicornis</i> (Daday, 1883), <i>B. d. homoceros</i> (Wierzejski, 1891)	+	–	Пл, Лт
	<i>B. angularis bidens</i> Plate, 1886	+	–	Пл, Лт
	<i>Conochiloides natans</i> (Seligo, 1900)	+	–	Пл, Зм
	<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet, 1892	+	–	Пл, Лт
	<i>Filinia terminalis</i> (Plate, 1886) syn <i>Filinia maior</i> (Colditz, 1924)	+	+	Пл, Зм
	<i>Filinia longiseta</i> Ehrenberg, 1834	–	+	Пл, Лт
	<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	+	+	Пл, Кг
	<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851) syn <i>K. c. macrocantha</i> (Lauterborn, 1898)	+	+	Пл, Кг
	<i>K. hiemalis</i> Carlin, 1943	+	+	Пл, Зм
	<i>K. quadrata</i> (O.F. Müller, 1786)	+	+	Пл, Кг
	<i>Notholca squamula</i> (O.F. Müller, 1786)	+	–	Пл, Зм
	<i>N. foliacea</i> (Ehrenberg, 1838)	+	–	Пл, Зм
	<i>Polyarthra dolichoptera</i> Idelson, 1925	+	+	Пл, Зм
	<i>P. longiremis</i> Carlin, 1943	–	+	Пл, Лт
	<i>P. major</i> Bruckhardt, 1900	–	+	Пл, Лт
	<i>Synchaeta pectinata</i> Ehrenberg, 1832	+	+	Пл, Кг
	<i>S. oblonga</i> Ehrenberg, 1832	+	–	Пл, Зм
<i>S. lakowitziana</i> Lucks, 1930	–	+	Пл, Зм	
Cladocera	<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1785)	+	+	Пл, Кг
	<i>B. (Eubosmina) cf. longispina</i> Leydig	+	+	Пл, Кг
	<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller, 1776)	+	–	Пл, Кг
	<i>Coronatella rectangula</i> (Sars, 1862)	+	–	Пл, Лт
	<i>Daphnia cristata</i> Sars, 1862	+	–	Пл, Кг
	<i>D. cucullata</i> Sars, 1862	–	+	Пл, Лт
	<i>D. galeata</i> Sars, 1864	–	+	Пл, Кг
<i>D. longispina</i> (O.F. Müller, 1776)	+	+	Пл, Кг	
Copepoda	<i>Cyclops kolensis</i> Lillijborg, 1901	+	+	Пл, Зм
	<i>C. vicinus</i> Uljanin, 1875	+	–	Пл, Кг
	<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)	–	+	Пл, Дп
	<i>Mesocyclops</i> sp. (copepodit)	+	+	Пл, Дп
	<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fisher, 1853)	–	+	Мб, Кг
<i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lillijborg, 1888)	+	+	Пл, Кг	

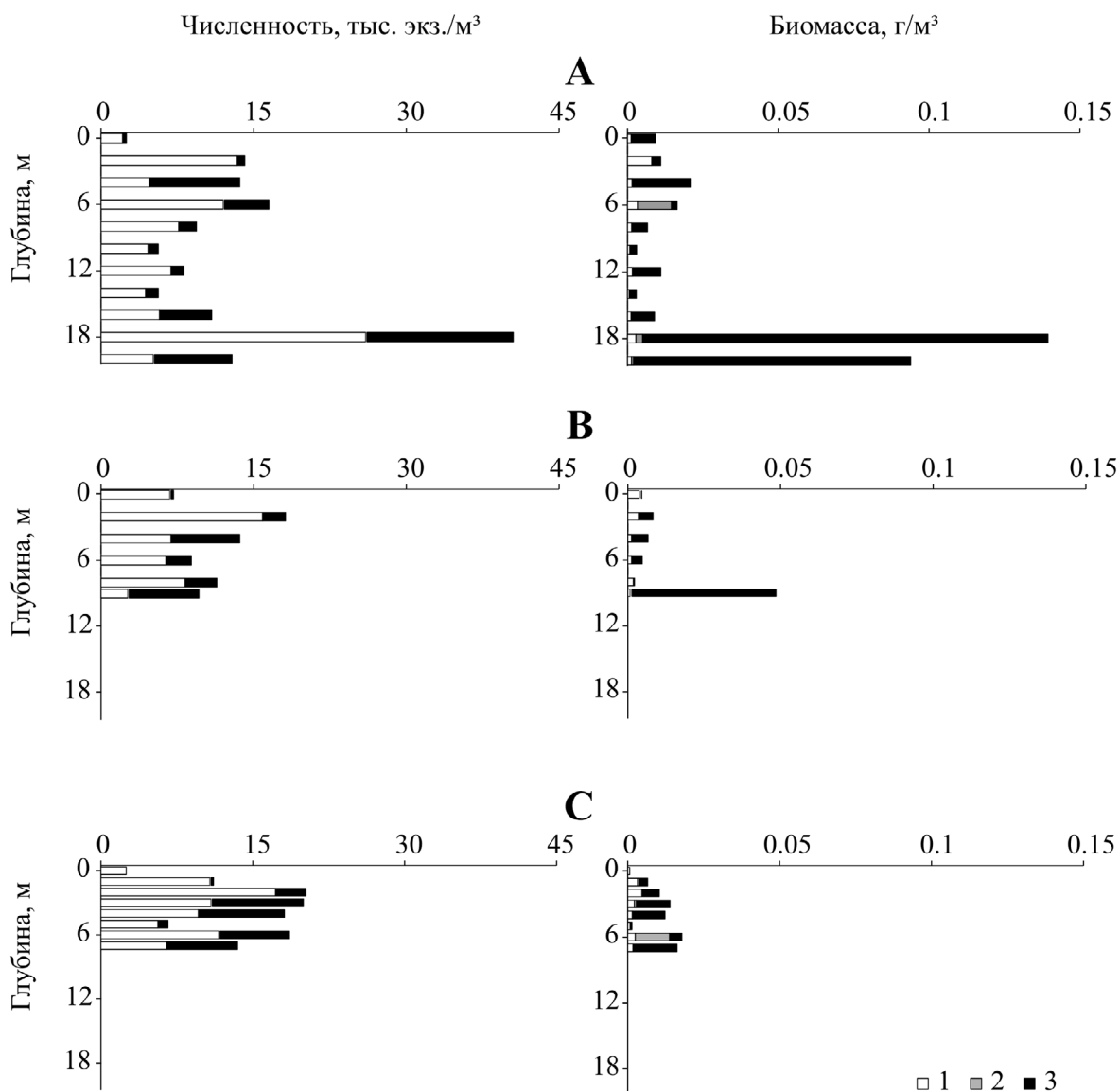


Рис. 2. Вертикальное распределение подледного зоопланктона оз. Плесшеево в марте 2019 г.: А – станция 1; В – станция 2; С – станция 3. 1 – Rotifera, 2 – Cladocera, 3 – Copepoda.

копеподы формировали заметную численность в слое 4 м за счет науплиусов (60% общей численности зоопланктона) и в придонном слое за счет науплиусов и копеподитов р. *Cyclops* (57%). Подобная структура вертикального распределения планктонных животных в конце зимы типична для Рыбинского водохранилища (Лазарева и Соколова, 2017), озер Видогощь, Феропонтово и Сиверское (Дзюбан и др., 1998). Факторами, определяющими вертикальное распределение зоопланктона в зимний период, являются развитие бактериопланктона и концентрация растворенного в воде кислорода (Дзюбан и др., 1998; Ривьер, 1986, 2012). Так, в затопленном озере Видогощь науплиусы концентрировались в слоях с высоким обилием бактерий (Дзюбан и др., 1998). При недостатке кислорода (менее 2 мг/л) скопления зоопланктона формировались над оксиклином (Ривьер, 2012).

Среди копепод доминировал один вид *Cyclops kolensis*, единично отмечены копеподиты родов *Thermocyclops*, *Mesocyclops*, *Paracyclops*. Популяция *Cyclops kolensis* в конце марта 2019 г. была немногочисленной (до 4.6 тыс. экз./м³) и сосредоточена у дна на глубинах около 20 м (Рис. 3). Ранее также отмечали приуроченность этого рачка к придонным слоям в глубоких участках озера и значительные вариации его количества по годам (3–36 тыс. экз./м³) (Ривьер, 1986; Столбунова, 2006).

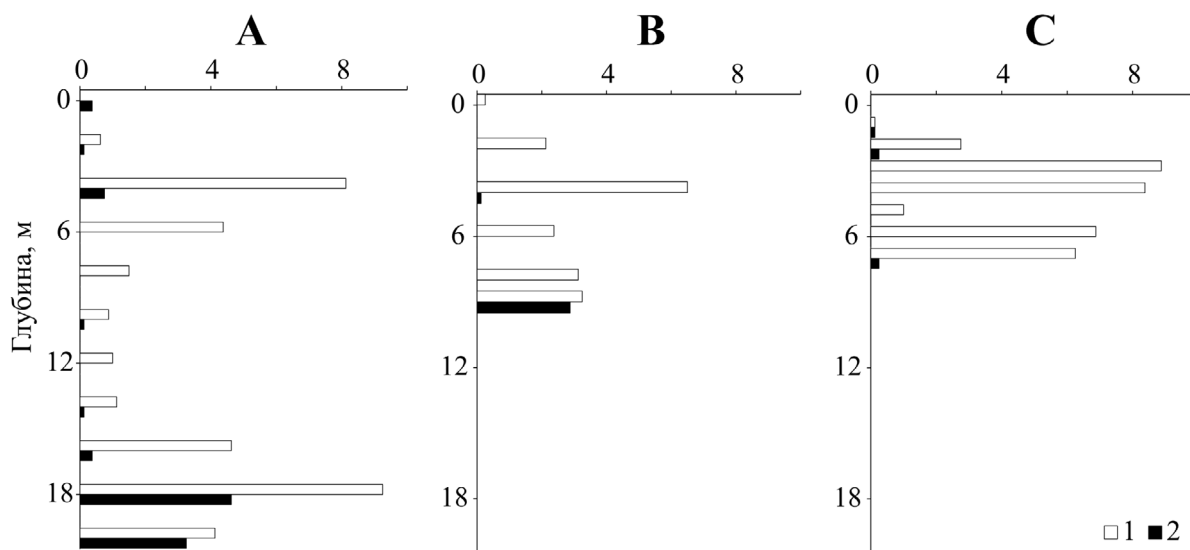


Рис. 3. Вертикальное распределение численности (тыс. экз./м³) доминантных ракообразных из состава подледного зоопланктона оз. Плещеево в марте 2019 г.: **А** – станция 1; **В** – станция 2; **С** – станция 3. 1 – науплиусы *Cyclopoida*, 2 – копеподиты р. *Cyclops*.

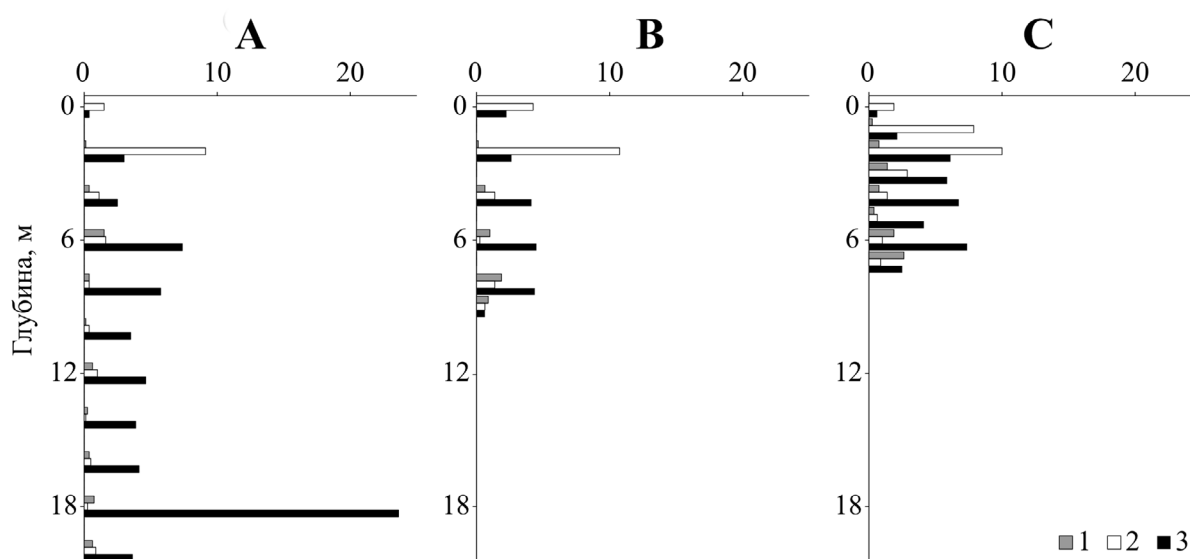


Рис. 4. Вертикальное распределение численности (тыс. экз./м³) доминантных видов коловраток из состава подледного зоопланктона оз. Плещеево в марте 2019 г.: **А** – станция 1; **В** – станция 2; **С** – станция 3. 1 – *Filinia terminalis*, 2 – *Synchaeta lakowitziana*, 3 – *Keratella hiemalis*.

В марте 2019 г. находили единичных взрослых особей эвритермных каланоидных копепод *Eudiaptomus graciloides* (0.25 тыс. экз./м³). Однако ранее в озере отмечали значительно более высокую численность этого вида (до 24 тыс. экз./м³) (Ривьер и др., 1992; Столбунова, 2006). *E. graciloides* был приурочен к верхним слоям (до 5–11 м), при температуре от 0.7 до 1.1 °С его вклад в общую биомассу зоопланктона в марте составлял 53–84%. Рачок не размножался зимой, но был представлен половозрелыми особями. Численность его зимней генерации зависела от количества вошедших под лед особей. Высокая численность диаптомусов зимой – благоприятное условие существования рыб в озере. В конце апреля 1996 г. перед вскрытием озера рачки встречались единично, что предыдущие исследователи связывали с их выеданием ряпушкой (Столбунова, 2006).

В период исследования обилие зоопланктона было небольшим по сравнению с показателями, зарегистрированными в 1980-х – начале 1990-х гг.: в 2–5 раз ниже по численности и в 5.5–30 раз – по биомассе (Табл. 4). Это обусловлено низкой плотностью *E. graciloides*. Снижение количества близкого вида *E. gracilis* в подледном зоопланктоне наблюдали в Рыбинском водохранилище в начале 2000-х (Лазарева, 2010), тогда как в 70-е годы XX века рачок был одним из наиболее многочисленных видов (Ривьер, 1986).

В оз. Плещеево отмечено изменение состава доминантных видов коловраток; в частности, заметно возросла доля р. *Synchaeta* в обилии сообщества зоопланктона. Ранее в подледный период чаще преобладали представители родов *Keratella* (*K. cochlearis macrocantha*, *K. hiemalis*), *Filinia* и *Conochiloides* (Ривьер и др., 1992; Столбунова, 2006). В Рыбинском водохранилище отмечены похожие изменения состава доминантов: относительно более ранних исследований (Ривьер, 1986, 2012) увеличилась доля представителей р. *Synchaeta* (Лазарева и Соколова, 2017).

Вероятно, сокращение периода ледостава (особенно на начальных этапах его формирования) приводит к изменениям в обилии и структуре зимнего зоопланктона (Jansen et al., 2021). Показано (Grosbois et al., 2017), что в период, предшествующий ледоставу, а также в начале зимы доступность жирных кислот фитопланктона оставалась высокой, что позволяло копеподам *Leptodiptomus minutus* (Lilljeborg in Guerne & Richard, 1889) накапливать и впоследствии метаболизировать n-3 полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК) в течение всей зимы, тем самым обеспечивая механизм роста и размножения подо льдом. Однако, сделано предположение, что прогнозируемое в связи с изменением климата сокращение продолжительности ледового покрова в будущем приведет к увеличению количества фитопланктона с низким содержанием ПНЖК, такого как цианобактерии (Grosbois et al., 2017).

Табл. 4. Многолетние изменение численности (N_{tot}) и биомассы (B_{tot}) зоопланктона в подледный период (март) в глубоководных участках озера Плещеево. Данные с 1980 по 1996 гг. приведены по Ривьер (1986, 2012), Ривьер и др. (1993), Столбуновой (2006).

Год	N_{tot} , тыс.экз./м ³	B_{tot} , г/м ³
1980	42	0.86
1982	12	0.49
1984	23	0.59
1985	49	0.75
1988	48	1.02
1989	33	0.64
1990	23	0.33
1991	63	1.05
1992	28	0.16
1996	10	0.03
2019	13 ± 3	0.029 ± 0.02

Заключение

Наибольшее количество планктонных животных наблюдалось на глубоководном участке оз. Плещеево за счет придонного пика развития веслоногих ракообразных, тогда как в сублиторали биомасса зоопланктона была в 2.5–3 раза меньше. В сравнении с результатами исследований 1980–90-х гг., в марте 2019 г. обилие зоопланктона было небольшим, в 2–5 раз ниже по численности и в 5.5–30 раз по биомассе. Состав ракообразных существенно не изменился, но из числа доминантных видов выпал *Eudiaptomus graciloides*, который ранее мог формировать до 84% биомассы зоопланктона. В составе коловраток не обнаружены некоторые зимние и круглогодичные виды. По сравнению с периодом 1980–1990-х гг. несколько изменился состав доминантных видов коловраток. В водной толще доминировали *Synchaeta lakowitziana* и *Keratella hiemalis*. Стали многочисленными ранее не выявленные в водоеме представители р. *Synchaeta*. Причины указанных изменений не ясны и требуют дополнительного изучения. Вероятно, сокращение периода ледостава (особенно на начальных этапах его формирования) приводит к изменениям в обилии и структуре зимнего зоопланктона.

Список литературы

- Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). Состояние поверхностных вод: уровни воды озер, прудов, обводненных карьеров, водохранилищ, 2022. Интернет-ресурс. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (accessed: 07.04.2022).
- Балушкина, Е.В., Винберг, Г.Г., 1979. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных. В: Винберг, Г.Г. (ред.), *Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер*. Зоологический институт АН СССР, Ленинград, СССР, 58–72.
- Дзюбан, А.Н., Георгиев, А.Н., Крылов, А.В., Кузнецова И.А., 1998. Бактериопланктон и зоопланктон озер в подледный период. *Биология внутренних вод* 2, 44–51.
- Ермолаева, Н.И., 2000. Состав и функционирование зимних зоопланктонных сообществ Новосибирского водохранилища. *Сибирский экологический журнал* 7 (2), 165–171.
- Клюев, П.В., Лебедев, С.А., 2019. Климатическая изменчивость ледового режима Рыбинского водохранилища по данным СВЧ-радиометра, ориентированного в надир. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета* 56, 145–156.
- Коровчинский, Н.М., Бойкова, О.С., Мнацаканова, Е.А., 2017. Долговременные наблюдения пелагического зоопланктона озера Глубокого и некоторые проблемы мониторинговых исследований. В: Коровчинский, Н.М. (ред.), *Гидробиологическая станция на Глубоком озере имени Н.Ю. Зоографа*. Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 39–62.
- Коровчинский, Н.М., Котов, А.А., Синёв, А.Ю., Неретина, А.Н., Гарибян, П.Г., 2021. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. 2. Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 544 с.
- Куликова, Т.П., 2007. Зоопланктон водных объектов бассейна Онежского озера. КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия, 223 с.
- Кутикова, Л.А., 1970. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria. Наука, Ленинград, СССР, 744 с.
- Лазарева, В.И., 2010. Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища. Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 183 с.
- Лазарева, В.И., Соколова, Е.А., 2017. Состав и обилие зимнего зоопланктона в Рыбинском водохранилище. *Поволжский экологический журнал* 2, 136–146. <http://www.doi.org/10.18500/1684-7318-2017-2-136-146>

- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов, 1975. Мордухай-Болтовской, Ф.М. (ред.). Наука, Москва, СССР, 240 с.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция, 1982. Винберг, Г.Г., Лаврентьева, Г.М. (ред.). ГосНИОРХ, Ленинград, СССР, 33 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон, 2010. Алексеев, В.Р., Цалолихин, С.Я. (ред.). Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 495 с.
- Ривьер, И.К., 1986. Состав и экология зимних зоопланктонных сообществ. Наука, Ленинград, СССР, 160 с.
- Ривьер, И.К., 2012. Холодноводный зоопланктон озер бассейна Верхней Волги. Издатель С.А. Пермяков, Ижевск, Россия, 390 с.
- Ривьер, И.К., Георгиев, А.Н., Крылов, А.В., 1992. Особенности зимнего зоопланктона озера Плещеево. В: Семерной, В.П. (ред.), *Факторы и процессы эвтрофикации озера Плещеево*. Издательство ЯрГУ, Ярославль, Россия, 67–78.
- Салахутдинов, А.Н., 2003. Закономерности развития зоопланктона мезотрофных и эвтрофных озер Среднего Поволжья в подледный и безледный периоды. *Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук*. Москва, Россия, 25 с.
- Столбунова, В.Н., 1992. Характеристика вертикального распределения зоопланктона озера Плещеево в годовом цикле. В: Семерной, В.П. (ред.), *Факторы и процессы эвтрофикации озера Плещеево*. Издательство ЯрГУ, Ярославль, Россия, 50–67.
- Столбунова, В.Н., 2006. Зоопланктон оз. Плещеево. Наука, Москва, Россия, 152 с.
- Сярки, М.Т., Фомина, Ю.Ю., 2017. Зоопланктон Петрозаводской губы Онежского озера в подледный период. *Ученые записки Петрозаводского государственного университета* 6 (167), 90–95.
- Экосистема озера Плещеево, 1989. Буторин, Н.Б., Скляренко, В.Л. (ред.). Наука, Ленинград, СССР, 264 с.
- Benson, B.J., Magnuson, J.J., Jensen, O.P., Card, V.M., Hodgkins, G. et al., 2012. Extreme events, trends, and variability in Northern Hemisphere lake-ice phenology (1855–2005). *Climatic Change* 112, 299–323. <http://www.doi.org/10.1007/s10584-011-0212-8>
- Grosbois, G., Mariash, H., Schneider, T., Rautio, M., 2017. Under-ice availability of phytoplankton lipids is key to freshwater zooplankton winter survival. *Scientific Reports* 7, 11543. <http://www.doi.org/10.1038/s41598-017-10956-0>
- Horton, T., Kroh, A., Ahyong, S., Bailly, N., Bieler, R. et al., 2022. World Register of Marine Species. Интернет-ресурс. URL: <https://www.marinespecies.org> (accessed: 03.04.2022). <http://www.doi.org/10.14284/170>
- Jansen, J., MacIntyre, S., Barrett, D.C., Chin, Y.-P., Cortes, A. et al., 2021. Winter limnology: How do hydrodynamics and biogeochemistry shape ecosystems under ice? *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 126, e2020JG006237. <http://www.doi.org/10.1029/2020JG006237>
- Ruttner-Kolisko, A., 1977. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers. *Archiv für Hydrobiologie-Beiheft/Ergebnisse der Limnologie* 8, 71–78.

Segers, H., 2007. Annotated checklist of the rotifers (Phylum Rotifera), with notes on nomenclature, taxonomy and distribution. *Zootaxa*, **1564** (1), 1–104. <http://www.doi.org/10.11646/zootaxa.1564.1.1>

Sharma, S., Richardson, D.C., Woolway, R.I., Imrit, M.A., Bouffard, D. et al., 2021. Loss of ice cover, shifting phenology, and more extreme events in Northern Hemisphere lakes. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* **126**, e2021JG006348. <http://www.doi.org/10.1029/2021JG006348>

Su, L., Che, T., Dai, L., 2021. Variation in ice phenology of large lakes over the Northern Hemisphere based on passive microwave remote sensing data. *Remote Sensing* **13** (7), 1389. <http://www.doi.org/10.3390/rs13071389>

References

Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (AIS GMVO). Состояние поверхностных вод: уровни воды озер, прудов, обводненных кар'еров, водохранилищ [Automated information system of state monitoring of water objects. Surface waters: water levels of lakes, ponds, watered open pits, reservoirs.], 2022. Web page. URL: <https://gmvo.skniivh.ru> (accessed: 07.04.2022). (In Russian).

Balushkina, E.V., Vinberg, G.G., 1979. Zavisimost' mezhdru dlinoi i massoi tela planktonnykh rakoobraznykh [The relationship between the body length and weight of planktonic crustaceans]. In: Vinberg, G.G. (ed.) *Ekspierimental'nye i polevye issledovaniya biologicheskikh osnov produktivnosti ozer* [Experimental and field studies of biological fundamentals of lake productivity]. Zoologicheskii institut of the Academy of Sciences of the USSR, Leningrad, USSR, 58–72. (In Russian).

Benson, B.J., Magnuson, J.J., Jensen, O.P., Card, V.M., Hodgkins, G. et al., 2012. Extreme events, trends, and variability in Northern Hemisphere lake-ice phenology (1855–2005). *Climatic Change* **112**, 299–323. <http://www.doi.org/10.1007/s10584-011-0212-8>

Dzyuban, A.N., Georgiev, A.N., Krylov, A.V., Kuznetsova, I.A., 1998. Bakterioplankton i zooplankton ozer v podlednyi period [The bacterioplankton and zooplankton of lakes during the ice-cover period]. *Biologia vnutrennikh vod* [Inland Water Biology] **2**, 44–51. (In Russian).

Ekosistema ozera Pleshcheyevo [Ecosystem of Lake Pleshcheyevo], 1989. Butorin, N.B., Skliarenko, V.L. (eds.). Nauka, Leningrad, USSR, 264 p. (In Russian).

Ermolaeva, N.I., 2000. Sostav i funktsionirovanie zimnikh zooplanktonnykh soobshchestv Novosibirskogo vodokhranilishcha [Composition and functioning of winter zooplankton communities of the Novosibirsk reservoir]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal* [Contemporary problems of ecology] **7** (2), 165–171. (In Russian).

Grosbois, G., Mariash, H., Schneider, T., Rautio, M., 2017. Under-ice availability of phytoplankton lipids is key to freshwater zooplankton winter survival. *Scientific Reports* **7**, 11543. <http://www.doi.org/10.1038/s41598-017-10956-0>

Horton, T., Kroh, A., Ahyong, S., Bailly, N., Bieler, R. et al., 2022. World Register of Marine Species. Интернет-ресурс. URL: <https://www.marinespecies.org> (accessed: 03.04.2022). <http://www.doi.org/10.14284/170>

Jansen, J., MacIntyre, S., Barrett, D.C., Chin, Y.-P., Cortes, A. et al., 2021. Winter limnology: How do hydrodynamics and biogeochemistry shape ecosystems under ice? *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* **126**, e2020JG006237. <http://www.doi.org/10.1029/2020JG006237>

- Klyuev, P.V., Lebedev, S.A., 2019. Klimaticheskaia izmenchivost' ledovogo rezhima Rybinskogo vodokhranilishcha po dannym SVCh-radiometra, orientirovannogo v nadir [Climatic variability of the Rybinsk reservoir ice regime based on the nadir-oriented microwave radiometer]. *Uchenye zapiski Rossiiskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta [Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University]* **56**, 145–156. (In Russian).
- Korovchinsky, N.M., Boikova, O.S., Mnatsakanova, E.A., 2017. Dolgovremennye nabliudeniya pelagicheskogo zooplanktona ozera Glubokogo i nekotorye problemy monitoringovykh issledovaniy [Long-term observations of pelagic zooplankton of lake Glubokoye and some problems of monitoring studies]. In: Korovchinsky, N.M. (ed.), *Gidrobiologicheskaya stantsiya na Glubokom ozere imeni N.Yu. Zografa [Hydrobiological station on Lake Glubokoye named after N.Yu. Zograf]*. KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 39–62. (In Russian).
- Korovchinsky, N.M., Kotov, A.A., Sinev, A.Yu., Neretina, A.N., Garibyan, P.G., 2021. Vetvistousye rakoobraznye (Crustacea: Cladocera) Severnoi Evrazii. T. 2 [Cladocera in North Eurasia. Vol. 2]. KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 544 p. (In Russian).
- Kulikova, T.P., 2007. Zooplankton vodnykh ob'ektov basseina Onezhskogo ozera [Zooplankton in water bodies of the Lake Onega catchment]. Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia, 223 p. (In Russian).
- Kutikova, L.A., 1970. Kolovratki fauny SSSR (Rotatoria). Podklass Eurotatoria [The rotifer fauna of the USSR. Subclass Eurotatoria]. Nauka, Leningrad, USSR, 744 p. (In Russian).
- Lazareva, V.I., 2010. Struktura i dinamika zooplanktona Rybinskogo vodokhranilishcha [Zooplankton structure and dynamics in the Rybinsk reservoir]. KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 183 p. (In Russian).
- Lazareva, V.I., Sokolova, E.A., 2017. Sostav i obiliezimnego zooplanktona v Rybinskom vodokhranilishche [Specific composition and abundance of winter zooplankton in the Rybinsk reservoir]. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal [Povolzhskiy Journal of Ecology]* **2**, 136–146. (In Russian). <http://www.doi.org/10.18500/1684-7318-2017-2-136-146>
- Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh. Zooplankton i ego produktsiya [Methodological recommendations for the collection and processing of materials during hydrobiological studies of freshwater bodies. Zooplankton and its production], 1982. Vinberg, G.G., Lavrent'eva, G.M. (eds.). State Research Institute of Lake and River Fisheries, Leningrad, USSR, 33 p. (In Russian).
- Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov [Method of analysis of biogeocenosis of inland water bodies], 1975. Mordukhay-Boltovskoy, F.M. (ed.). Nauka, Moscow, USSR, 240 p. (In Russian).
- Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeiskoi Rossii. T. 1. Zooplankton [Guide to identifying zooplankton and zoobenthos of fresh water in European Russia. Vol. 1. Zooplankton], 2010. Alekseev, V.R., Tsalolikhin, S.Ya. (eds.). KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 495 p. (In Russian).
- Rivier, I.K., 1986. Sostav i ekologiya zimnikh zooplanktonnykh soobshchestv [Composition and ecology of winter zooplankton communities]. Nauka, Leningrad, USSR, 160 p. (In Russian).
- Rivier, I.K., 2012. Kholodnovodnyi zooplankton ozer basseina Verkhnei Volgi [Coldwater zooplankton of lakes in the Upper Volga basin]. Publisher S.A. Permiakov, Izhevsk, Russia, 390 p. (In Russian).

- Rivier, I.K., Georgiev, A.N., Krylov, A.V., 1992. Osobennosti zimnego zooplanktona ozera Pleshcheevo [Features of winter zooplankton in Lake Pleshcheyevo]. In: Semernoi, V.P. (ed.), *Faktory i protsessy evtrofikatsii ozera Pleshcheevo* [Factors and processes of eutrophication of lake Pleshcheyevo]. Yaroslavl State University Publishing House, Yaroslavl, Russia, 67–78. (In Russian).
- Ruttner-Kolisko, A., 1977. Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers. *Archiv für Hydrobiologie-Beiheft/Ergebnisse der Limnologie* **8**, 71–78.
- Salakhutdinov, A.N., 2003. Zakonomernosti razvitiya zooplanktona mezotrofnikh i evtrofnikh ozer Srednego Povolzh'ya v podlednyi i bezlednyi periody [The regularities of zooplankton development in the mesotrophic and eutrophic lakes of the Middle Povolzhye during the ice-cover and open water periods]. Biological Sciences PhD thesis abstract. Moscow, Russia, 25 p. (In Russian).
- Segers, H., 2007. Annotated checklist of the rotifers (Phylum Rotifera), with notes on nomenclature, taxonomy and distribution. *Zootaxa*, **1564** (1), 1–104. <http://www.doi.org/10.11646/zootaxa.1564.1.1>
- Sharma, S., Richardson, D.C., Woolway, R.I., Imrit, M.A., Bouffard, D. et al., 2021. Loss of ice cover, shifting phenology, and more extreme events in Northern Hemisphere lakes. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* **126**, e2021JG006348. <http://www.doi.org/10.1029/2021JG006348>
- Stolbunova, V.N., 1992. Kharakteristika vertikal'nogo raspredeleniya zooplanktona ozera Pleshcheevo v godovom tsikle [The characteristics of vertical distribution of zooplankton in Lake Pleshcheyevo during the annual cycle]. In: Semernoi, V.P. (ed.), *Faktory i protsessy evtrofikatsii ozera Pleshcheevo* [Factors and processes of eutrophication of lake Pleshcheyevo]. Yaroslavl State University Publishing House, Yaroslavl, Russia, 50–67. (In Russian).
- Stolbunova, V.N., 2006. Zooplankton oz. Pleshcheyevo [Zooplankton of Lake Pleshcheyevo]. Nauka, Moscow, Russia, 152 p. (In Russian).
- Su, L., Che, T., Dai, L., 2021. Variation in ice phenology of large lakes over the Northern Hemisphere based on passive microwave remote sensing data. *Remote Sensing* **13** (7), 1389. <http://www.doi.org/10.3390/rs13071389>
- Syarki, M.T., Fomina, Yu.Yu., 2017. Zooplankton Petrozavodskoi guby Onezhskogo ozera v podlednyi period [Under-ice zooplankton of Petrozavodsk bay in Lake Onega]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific Notes of the Petrozavodsk State University] **6** (167), 90–95. (In Russian).