

УДК 574.583 (470.11)

## СОСТАВ И СТРУКТУРА ПОДЛЕДНОГО ЗООПЛАНКТОНА РАЗНОТИПНЫХ ОЗЕР КЕНОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е. И. Собко\*, С. И. Климов, Н. В. Неверова, О. Ю. Морева

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
имени Н. П. Лаверова Уральского отделения РАН (пр. Никольский, 20, Архангельск,  
Россия, 163020), \*elfisina@yandex.ru*

Приводятся результаты исследований зоопланктонных сообществ разнотипных озер Кенозерского национального парка в подледный период 2014–2016 гг. Озера отличались происхождением и морфометрическими характеристиками. Изучены видовой состав, количественные характеристики, вертикальное распределение зоопланктона. Зооценозы представлены зимними и круглогодичными формами ракообразных и коловраток. В зимний период зоопланктон активно развивался, в сообществах наблюдались яйценозные самки копепод и коловраток, а также науплиусы копепод. Наибольшим количеством видов в сообществах представлены коловратки. Структурообразующий комплекс исследуемых зооценозов представлен 4–7 видами. Наибольшее количество видов (19) зарегистрировано в Лекшмозере. По численности в зооценозах доминировали веслоногие ракообразные, за исключением Лекшмозера, где в 2015 и 2016 году численно преобладали коловратки. Во все годы исследования в озерах по биомассе доминировали копеподы. В зависимости от года исследований численность зоопланктона в озерах составляла 8,4–66,7 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 0,08–0,45 г/м<sup>3</sup>. Максимальные значения численности и биомассы отмечены в озере Вильно, где сложились наиболее благоприятные кислородные условия. В подледный период зоопланктон в водоемах распределялся неравномерно. Большинство видов образовывали скопления в поверхностном и придонном горизонте. Некоторые формы зоопланктона были многочисленны только у дна или у поверхности. Поверхностные скопления организмов связаны с функционированием фитопланктона у кромки льда, придонные – с активностью анаэробных бактерий. Основными факторами, влияющими на развитие и распределение зоопланктона подо льдом, являлись длительность периода осенней конвекции, температурный и кислородный режим в водоемах и пищевой фактор.

Ключевые слова: охраняемые территории; озерные экосистемы; подледный зоопланктон; межгодовая изменчивость зоопланктона; вертикальное распределение

Для цитирования. Собко Е. И., Климов С. И., Неверова Н. В., Морева О. Ю. Состав и структура подледного зоопланктона разнотипных озер Кенозерского национального парка (Архангельская область) // Труды Карельского научного центра РАН. 2024. № 5. С. 83–96. doi: 10.17076/lim1916

Финансирование. Работа подготовлена при финансовой поддержке темы ФНИР: FUUW-2022-0065 (№ гос. регистрации 122011800149-3).

**E. I. Sobko\*, S. I. Klimov, N. V. Neverova, O. Yu. Moreva. COMPOSITION AND STRUCTURE OF UNDER-ICE ZOOPLANKTON OF DIVERSE LAKES IN KENOZERSKY NATIONAL PARK (ARKHANGELSK REGION)**

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (20 Nikolsky Ave., 163020 Arkhangelsk, Russia), \*elfisina@yandex.ru*

The article presents the results of studies on zooplankton communities of diverse lakes in Kenozersky National Park in the ice-covered period of 2014–2016. The lakes differed in their genesis and morphometric characteristics. The species composition, quantitative characteristics, and vertical distribution of zooplankton were studied. Zoocoenoses are represented by winter and perennial forms of crustaceans and rotifers. In winter, zooplankton developed actively, and the communities contained egg-bearing female copepods and rotifers, as well as nauplius copepods. Rotifers are the group represented by the largest number of species in the communities. The core that forms the structure of the communities is represented by 4–7 species. The number of species was the highest in Lake Lyokshmozero (19 species). In terms of numbers, the communities were dominated by copepods, except for Lyokshmozero, where rotifers quantitatively prevailed in 2015 and 2016. The biomass in the lakes was dominated by copepods in all years of the study. Depending on the year, the abundance of zooplankton in the lakes was 8,400–66,700 ind./m<sup>3</sup>, the biomass was 0.08–0.45 g/m<sup>3</sup>. The highest levels of abundance and biomass were found in Lake Vilna, which had the most favorable oxygen conditions. In the ice-covered period, zooplankton in the lakes was distributed unevenly. Most species formed clusters in the surface and bottom horizons. Some forms of zooplankton were numerous only at the bottom or at the surface. Surface aggregations of organisms are associated with the functioning of phytoplankton at the ice edge, bottom ones with the activity of anaerobic bacteria. The main factors influencing the development and distribution of zooplankton under ice were the duration of the autumn convection period, temperature and oxygen regimes in the lakes, and the food factor.

**Keywords:** protected areas; lake ecosystems; under-ice zooplankton; interannual variability of zooplankton; vertical distribution

**For citation:** Sobko E. I., Klimov S. I., Neverova N. V., Moreva O. Yu. Composition and structure of under-ice zooplankton of diverse lakes in Kenozersky National Park (Arkhangelsk Region). *Trudy Kareli'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2024. No. 5. P. 83–96. doi: 10.17076/lim1916

**Funding.** The activities were financed within Basic Research Theme FUUV-2022-0065 (state registration no. 122011800149-3).

## **Введение**

Озерные экосистемы играют важную роль в биосфере и жизни человека, являясь крупнейшими резервуарами питьевой воды на планете, а также средой обитания для многих видов гидробионтов. Водоемы чутко реагируют на изменения климата и антропогенную нагрузку. Проблема сохранения качества воды и биологических ресурсов пресноводных водоемов в настоящий момент приобрела глобальный характер. Важную роль в сохранении биологического разнообразия и снижении влияния антропогенной нагрузки на озерные экосистемы играют особо охраняемые природные территории (ООПТ), поэтому изучение функционирования экосистем озер и экологического состояния водоемов данных районов представляет большой интерес.

Гидробиологические исследования пресноводных водоемов, включая озерные экосистемы территорий ООПТ Архангельской области, носят системный характер, но большинство работ посвящено функционированию водных экосистем в летний период [Балушкина и др., 1997; Кузнецова, Баянов, 1999; Тиманова и др., 2006].

Зимние сообщества гидробионтов, в том числе и зоопланктона, в озерах различных регионов России исследованы недостаточно. Имеющиеся в литературе данные носят отрывочный характер. Наиболее подробно описаны зимние сообщества зоопланктона Рыбинского [Ривьер, 1982, 1986; Лазарева, Соколова, 2017] и Новосибирского [Ермолаева, 2000] водохранилищ, водоемов Волжского бассейна [Щербаков, 1967; Салахутдинов, 1985; Ривьер, 2012; Жданова, Малин, 2023], Южного Урала

[Речкалов, 2000], Карелии [Сярки, Фомина, 2017]. Для Архангельской области имеются сообщения о структуре и уровне развития зоопланктона в зимний период в карстовых озерах Пинежского заповедника [Баянов, 2005].

Данная работа посвящена исследованиям зимних сообществ зоопланктона разнотипных озер Кенозерского национального парка (КНП).

Цель работы – изучить состав и структуру, особенности распределения зоопланктона в подледный период в разнотипных озерах КНП (Лекшмозеро, Масельгское, Вильно).

## Материалы и методы

### *Характеристика района и объектов исследования*

Кенозерский национальный парк находится на юго-западе Архангельской области. Климат района умеренно-континентальный с продолжительной холодной многоснежной зимой, с короткой весной с неустойчивыми температурами, умеренно теплым влажным летом, продолжительной ненастной осенью. Средняя температура воздуха в январе  $-12^{\circ}\text{C}$ , в июле  $+16,5^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовое количество осадков –

500 мм. Устойчивый снеговой покров держится 160 дней. Безморозный период 105–110 дней [Национальные..., 1996].

Общая площадь парка составляет 1396 км<sup>2</sup>. Территория покрыта множеством озер (более 250). По территории КНП между озерами Вильно и Масельгское проходит поросшая лесом озовая гряда, являющаяся границей водоразделов бассейнов Белого (Северный Ледовитый океан) и Балтийского (Атлантический океан) морей (рис. 1, водораздел обозначен пунктирной линией).

Озера Лекшмозеро и Вильно являются частью водосборных бассейнов левых притоков реки Онеги, впадающей в Онежский залив Белого моря. В Лекшмозеро впадает более 50 мелких притоков, сток происходит по р. Лекшма, впадающей в оз. Лача. Озеро Вильно также сточное, из него вытекает р. Виленка. Озеро Масельгское относится к водосборному бассейну Балтийского моря, представляет собой узкий по форме водоем, вытянутый в северо-западном направлении. Наибольшие глубины находятся в северо-восточной и северо-западной части озера. Южная часть водоема мелководна. Морфометрические и гидрографические характеристики озер приведены в табл. 1.

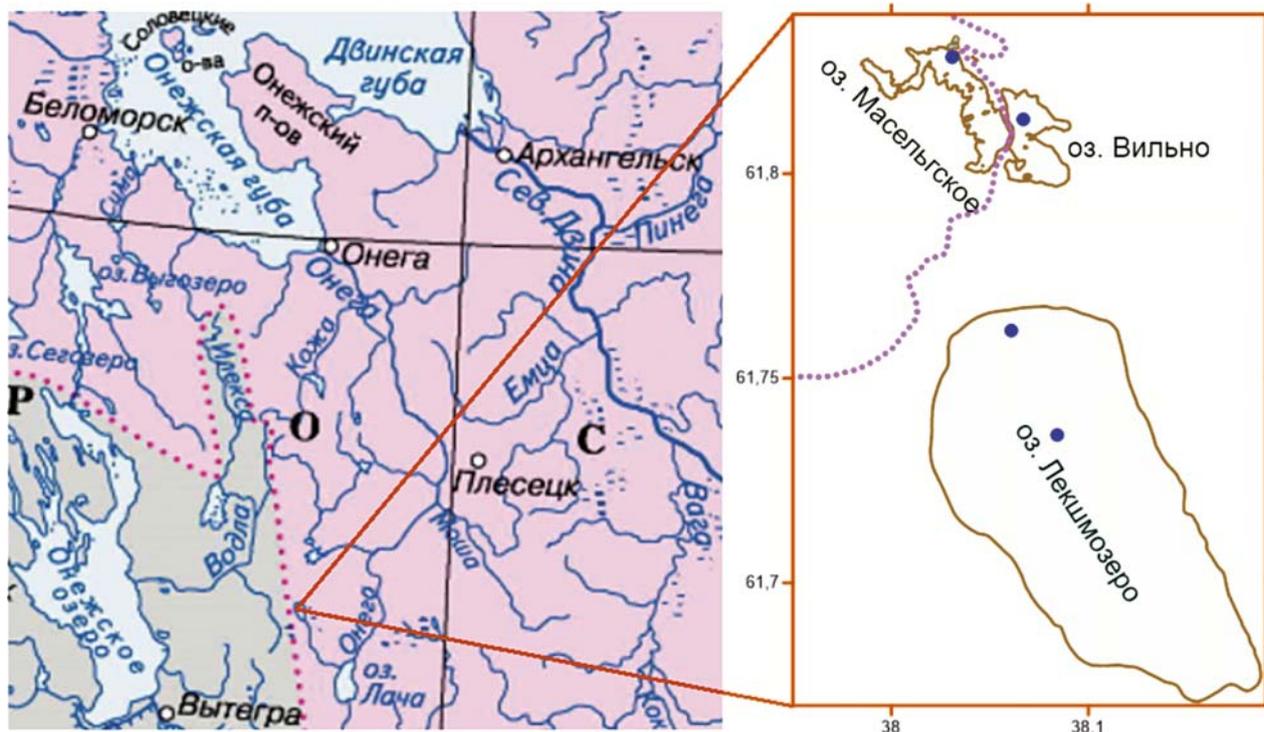


Рис. 1. Карта-схема района исследований и расположение станций

Fig. 1. Schematic map of the research area and the location of the stations

Таблица 1. Морфометрические характеристики исследованных озер

Table 1. Morphometric characteristics of the studied lakes

Характеристики Characteristics	Озера Lakes		
	Лекшмозеро Lyokshmozero	Вильно Vilno	Масельгское Maselgskoe
Координаты Coordinates	61°44'00"N 38°05'22"E	61°48'48"N 38°04'12"E	61°49'39"N 38°01'43"E
Высота над уровнем моря, м Altitude above sea level, m	156	167	166
Длина, км Length, km	12,5	3	6,5
Наибольшая ширина, км Maximum width, km	5,8	1,1	1
Средняя глубина, м Average depth, m	8	3,4	4,8
Наибольшая глубина, м Maximum depth, m	29	5,9	20,2
Площадь зеркала озера, км <sup>2</sup> Lake mirror area, km <sup>2</sup>	53,5	2,78	3,44
Объем озера, км <sup>3</sup> Volume of the lake, km <sup>3</sup>	0,426	0,00947	0,0164
Удельный водосбор Specific catchment area	2,96	3,5	4,36
Площадь водосбора, км <sup>2</sup> Catchment area, km <sup>2</sup>	158,5	9,7	15,0
Среднегодовой сток с водосбора, км <sup>3</sup> Average annual runoff from the catchment area, km <sup>3</sup>	0,0464	0,00285	0,0044
Коэффициент условного водообмена, год <sup>-1</sup> Coefficient of conditional water exchange, year <sup>-1</sup>	0,11	0,29	0,28
Период условного водообмена, год Conditional water exchange period, year	9,2	3,5	3,6

Исследованные водоемы ледникового (озеро Вильно) и ледниково-тектонического (Лекшмозеро и Масельгское) происхождения. По показателю удельного водосбора водные объекты относятся к группе водоемов с малым удельным водосбором (< 10) [Григорьев, 1959], по показателю условного водообмена – к группе озер с малой величиной водообмена (< 0,5). Озера Вильно и Масельгское по величине площади водной поверхности относятся к группе малых, Лекшмозеро – к группе средних озер [Иванов, 1948].

Исследования на озерах Вильно, Лекшмозеро и Масельгское проводились в подледный период с 3 по 5 марта в 2014 году, с 16 по 20 марта в 2015 году и с 15 по 17 марта в 2016 году.

Отбор проб зоопланктона выполняли батометром Ван-Дорна (объем 6 л) с последующим процеживанием через планктонную сеть Джеди (диаметр входного отверстия 18 см, размер ячеек 74 мкм). С каждого горизонта отбирали по 3 батометра. На озерах Масельгское и Лекшмозеро

отбор производился на глубоководных станциях по горизонтам с интервалом 3–4 м от поверхности до дна. Дополнительно на Лекшмозере производился отбор проб на прибрежной станции (9 м) с горизонтов 3 и 6 м. На озере Вильно зоопланктон отбирали с горизонтов 3 и 5 м. Также на станциях планктонной сетью облавливали весь слой от дна до поверхности. Всего собрано и обработано 52 пробы зоопланктона.

Обработка проб производилась в лаборатории стандартными гидробиологическими методами [Методические..., 1982]. При анализе проб определяли видовой состав, выделяли доминантные комплексы, подсчитывали численность (экз./м<sup>3</sup>) и биомассу (г/м<sup>3</sup>) организмов. Гидробионтов с относительной численностью > 5 % считали структурообразующими видами. Для определения таксономического состава зоопланктона использовали определитель [Определитель..., 2010]. Сырую биомассу зоопланктона рассчитывали по таблицам стандартных весов [Кононова, Фефилова, 2018].

Измерения температуры воды, pH, удельной электропроводности и содержания растворенного в воде кислорода на станциях выполняли с помощью многопараметрического зонда для определения качества вод Hydrolab MS5 (фирма Hach Environmental, США).

*Кислородный и температурный режим в исследованных водоемах*

Термический режим озер в зимний период в значительной мере определяется как условиями предзимнего охлаждения, так и морфометрическими особенностями водоема. Как правило, на больших по размеру водоемах ледообразование происходит позже и они теряют больше тепла. При выхолаживании вод осенью по достижении температуры максимальной плотности воды (около 4 °С) конвективное перемешивание доходит до дна и прекращается, выхолаживание вод продолжается, при этом основную роль играет ветровое перемешивание и достигает максимальных значений содержание растворенного кислорода [Пальшин и др., 2006].

В качестве оценки длительности периода ветрового перемешивания охлаждающихся вод перед ледоставом, определяющей термические и кислородные условия в озерах в зимний период, принималась разность между датами устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 4 и 0 °С. Датой устойчивого перехода температуры воздуха через

заданную градацию принимался тот день, после которого совсем не было обратного перехода, а если он был, то сумма его отрицательных отклонений превышала сумму положительных [Педь, 1951]. Даты устойчивого перехода через градации определялись по метеорологическим данным метеостанции Каргополь [Данные...] и представлены в табл. 2.

Ранние сроки образования льда на водоемах в октябре 2014 года способствовали сохранению более высокого теплозапаса водных масс, что в значительной степени определило температурные условия в водоемах. Наименьшие температуры воды и высокое содержание растворенного кислорода в озерах, как видно на рис. 2 и в табл. 3, наблюдались в марте 2014 г. после поздней и затяжной осени 2013 г. Максимальное теплосодержание вод в озерах Лекшмозеро и Вильно и минимальное содержание кислорода во всех озерах были в марте 2015 г. с предшествующей ранней и короткой осенью. В оз. Масельгское наибольшие температуры отмечались в 2016 г. – вероятно, это связано с относительной закрытостью водоема от северо-западных ветров, преобладавших осенью.

Содержание кислорода в водоемах уменьшалось ко дну. В 2014 и 2015 гг. в озерах Лекшмозеро и Масельгское сформировалась анаэробная зона с глубин соответственно 22 и 21 м, 15 и 14 м, как видно на рис. 2. В озере Вильно кислород исчезал только у самого дна. В 2016 г. анаэробные зоны отсутствовали во всех озерах.

*Таблица 2. Даты устойчивого перехода температуры воздуха через принятые градации по данным метеостанции Каргополь*

*Table 2. Dates of the steady transition of air temperature through the accepted gradations according to the Kargopol weather station*

Сезон Season	Осень Autumn		
	Дата Date		Период, сут. Period, day
Характеристики Characteristics			
Градации Gradation	4 °С	0 °С	4–0 °С
2009	29.09	29.10	30
2010	11.10	17.11	37
2011	13.10	4.11	22
2012	21.10	26.11	39
2013	14.10	25.11	42
2014	4.10	14.10	10
2015	6.10	6.11	31
2016	6.10	24.10	18

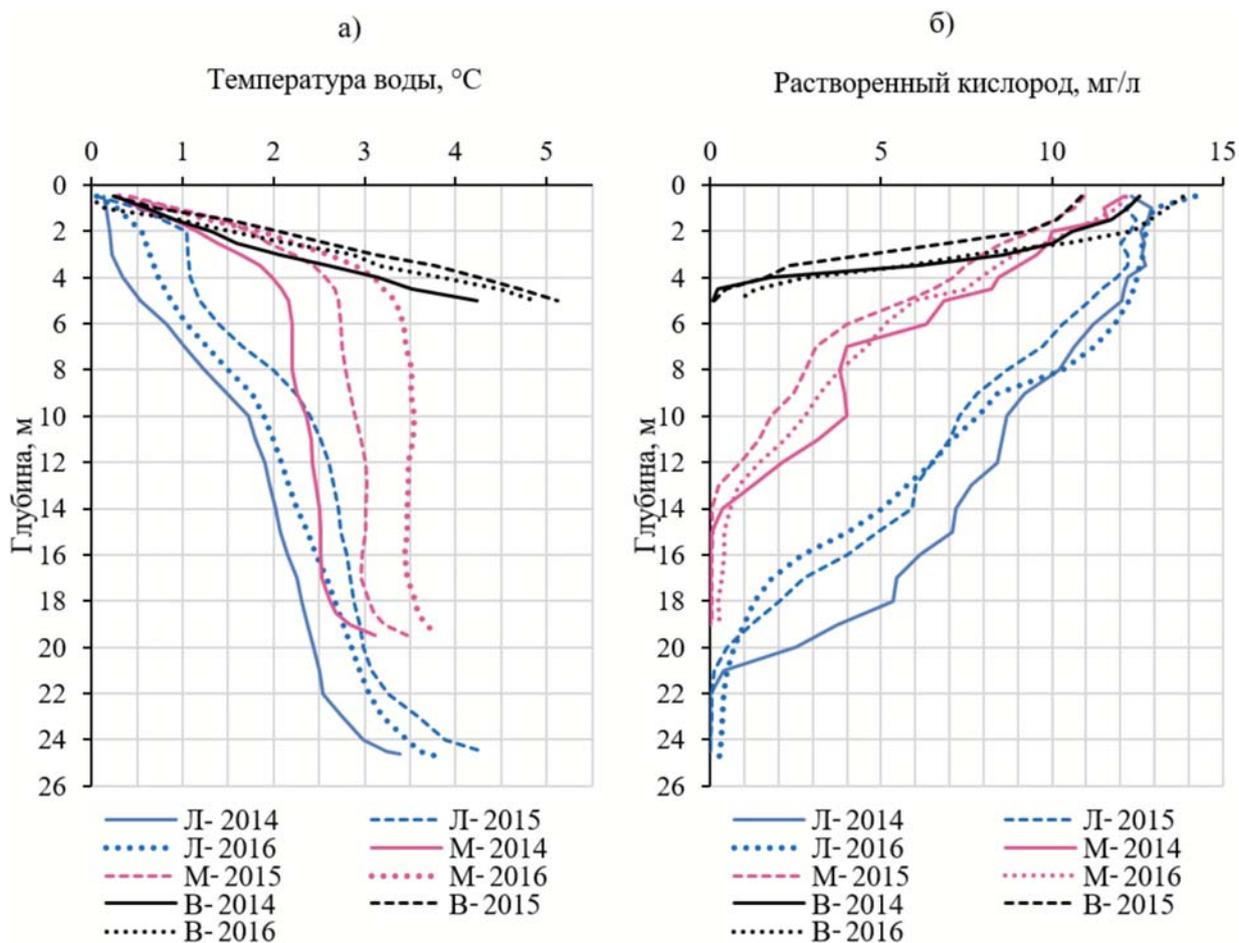


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры воды (а) и растворенного в ней кислорода (б) в озерах в марте 2014–2016 гг.:

Л – Лекшмозеро, М – Масельгское, В – Вильно

Fig. 2. Vertical distribution of water temperature (а) and dissolved oxygen (б) in lakes in March 2014–2016:

Л – Lyokshmozero, М – Maselgskoe, В – Vilno

Таблица 3. Средневзвешенные значения температуры воды и содержания растворенного кислорода, температура у дна на озерах в марте 2014–2016 гг.

Table 3. Weighted average values of water temperature and dissolved oxygen content, the temperature of the water at the bottom in lakes in March 2014–2016

Озеро Lake	Год Year	$T_w$ , °C Water temperature, °C	$T_{w \text{ дно}}$ , °C Temperature of the water at the bottom, °C	$O_2$ , мг/л Dissolved oxygen, mg/l
Лекшмозеро Lyokshmozero	2014	1,66	3,39	7,28
	2015	2,34	4,30	6,03
	2016	1,98	3,89	6,27
Масельгское Maselgskoe	2014	2,19	3,14	4,12
	2015	2,70	3,47	3,13
	2016	3,19	3,81	3,87
Вильно Vilno	2014	2,00	4,37	7,50
	2015	2,82	5,48	5,69
	2016	2,39	5,00	8,21

## Результаты и обсуждение

### Характеристика зоопланктонных сообществ

Несмотря на суровые условия, сложившиеся в водоемах в подледный период, зоопланктонные сообщества продолжали активно развиваться. Зооценозы представлены зимними и круглогодичными формами ракообразных и коловраток.

В зимних сообществах озера Вильно обнаружено 14 видов зоопланктона, из них коловраток – 8 видов, ветвистоусых ракообразных – 3 и веслоногих ракообразных – 3; в Лекшмозере обнаружено 19 видов, из них коловраток – 10 видов, ветвистоусых ракообразных – 4 и веслоногих ракообразных – 5; в озере Масельгское – 17 видов, из них коловраток – 8 видов, ветвистоусых ракообразных – 3 и веслоногих ракообразных – 4. Зоопланктонные сообщества носили ярко выраженный ротаторно-копеподный характер. Коловратки в сообществах представлены наибольшим количеством видов.

Структурообразующий комплекс исследуемых зооценозов представлен 4–7 видами. Наиболее часто в сообществах озер встречались *Eudiatomus gracilis* Sars, 1863, *E. graciloides* Lilljeborg, 1888, *Cyclops kolensis* Lilljeborg, 1901, *Daphnia cristata* Sars, 1861, *Kellicottia longispina* Kellicott, 1879, *Keratella cochlearis* Gosse, 1851, *K. quadrata* Müller, 1786, *Filinia longiseta* Ehrenberg, 1834, *F. terminalis* Plate, 1886.

Кроме того, в зооценозах отмечены копеподы *C. strenuus* Fischer, 1851, *C. abyssorum* Sars, 1863, *Limnocalanus macrurus* Sars, 1863, *Heterocope appendiculata* Sars, 1863, а также копеподитные стадии *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857). Из ветвистоусых ракообразных в зооценозах встречались *D. longispina* O. F. Müller, 1785, *D. longiremis* G. O. Sars, 1862, *Bosmina longirostris* O. F. Müller, 1785, а также единичные экземпляры представителей рода *Chydorus*. Из коловраток в сообществах отмечены *Notholca labis* Gosse, 1887, *Polyarthra dolichoptera* Idelson, 1925, *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850.

В зависимости от года исследований в водоемах по численности доминировали копеподы (озера Вильно и Масельгское) и коловратки (Лекшмозеро), по биомассе – копеподы. В Лекшмозере копеподы были многочисленны только в 2014 году, в 2015 и 2016 годах по численности преобладали коловратки.

Вклад коловраток в общую численность зоопланктона в озерах составил от 5 до 69 % в зависимости от года исследований, копепод – от

21 до 82 %. Коловратки в зооценозах были малочисленны, их доля в общей численности зоопланктона составляла около 17 %. В Лекшмозере в 2015 году ветвистоусые ракообразные в пробах не обнаружены.

В подледный период зоопланктон активно развивался, в сообществах наблюдались яйценосные самки копепод и коловраток, а также науплиусы копепод. В зависимости от года исследований вклад науплиальных стадий в общую численность зоопланктона в Лекшмозере составлял от 20 до 24 %, в Вильно – от 9 до 12 % и в оз. Масельгское – от 8 до 55 %. Следует отметить, что в марте 2016 года в озерах Вильно и Лекшмозеро науплиальные стадии отсутствовали.

Наиболее высокие значения численности зоопланктона зафиксированы в 2014 и 2015 годах, что связано с интенсивным размножением веслоногих ракообразных. В 2014 году максимальная численность отмечена в озере Вильно и составляла 66,7 тыс. экз./м<sup>3</sup>, в 2015 году – в озере Масельгское (47,2 тыс. экз./м<sup>3</sup>). В 2016 году средние значения численности зоопланктона минимальны для всех озер. Средние значения биомассы зоопланктона в зимний период невелики, что связано с преобладанием в сообществах коловраток и науплиальных стадий копепод. Максимальные значения биомассы во все периоды исследований отмечены в озере Вильно (табл. 4).

На прибрежной станции (Лекшмозеро) в зависимости от года исследований численность зоопланктона варьировала от 11,7 до 19,5 тыс. экз./м<sup>3</sup>, а биомасса – от 0,07 до 0,14 г/м<sup>3</sup>. По численности и биомассе доминировали копеподы, исключение составил 2015 год, когда в сообществах преобладали коловратки (до 82 % от общей численности зоопланктона).

### Вертикальное распределение зоопланктона в подледный период

В подледный период зоопланктон в водоемах распределялся неравномерно. Некоторые формы зоопланктона были многочисленны только у дна или поверхности. Большинство видов в озере Масельгское образовывали скопления в поверхностном (на глубине 1, 3 и 4 м) и придонном (14 м) горизонте, а в Лекшмозере – на глубинах 1, 3, 7 и 20 м.

В озере Вильно, где кислород исчезал только у дна, планктонные организмы образовывали скопления, как в верхнем (3 м), так и нижнем (5 м) горизонтах. В зависимости от года исследований картина вертикального распределения гидробионтов была неоднородной.

Таблица 4. Основные структурные показатели развития зимних сообществ зоопланктона озер Вильно, Лекшмозеро и Масельгское (2014–2016 гг.)

Table 4. The main structural indicators of the development of winter communities of zooplankton in Lakes Vilno, Lyokshmozero and Maselgskoe (2014–2016)

Показатель Indicator	Озера Lakes		
	Вильно Vilno	Лекшмозеро Lyokshmozero	Масельгское Maselgskoe
2014			
Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup> Abundance, thous. ind./m <sup>3</sup>	66,7	26,4	52
$N_{\text{clad}} : N_{\text{rot}} : N_{\text{cop}}, \%$ *	12:28:60	4:38:58	3:45:52
Биомасса, г/м <sup>3</sup> Biomass, g/m <sup>3</sup>	0,45	0,2	0,16
$B_{\text{clad}} : B_{\text{rot}} : B_{\text{cop}}, \%$ **	9:1:90	5:18:77	8:23:69
Число видов Number of species	10	15	14
Доминирующие виды Dominant species	<i>E. gracilis</i> <i>D. cristata</i> <i>K. longispina</i> <i>K. cochlearis</i>	<i>E. graciloides</i> <i>C. kolensis</i> <i>K. longispina</i> <i>K. cochlearis</i>	<i>E. gracilis</i> <i>C. kolensis</i> <i>K. longispina</i> <i>K. quadrata</i> <i>F. longiseta</i>
2015			
Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup> Abundance, thous. ind./m <sup>3</sup>	34,2	18,8	47,2
$N_{\text{clad}} : N_{\text{rot}} : N_{\text{cop}}, \%$	2:45:53	0:54:46	1:30:69
Биомасса, г/м <sup>3</sup> Biomass, g/m <sup>3</sup>	0,4	0,08	0,08
$B_{\text{clad}} : B_{\text{rot}} : B_{\text{cop}}, \%$ *	11:1:82	0:35:65	1:7:92
Число видов Number of species	9	10	12
Доминирующие виды Dominant species	<i>E. gracilis</i> <i>N. labis</i> <i>K. longispina</i> <i>K. quadrata</i> <i>F. terminalis</i>	<i>E. graciloides</i> <i>C. kolensis</i> <i>K. longispina</i> <i>K. cochlearis</i>	<i>E. gracilis</i> <i>C. kolensis</i> <i>D. cristata</i> <i>K. longispina</i> <i>K. cochlearis</i> <i>K. quadrata</i> <i>F. longiseta</i>
2016			
Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup> Abundance, thous. ind./m <sup>3</sup>	8,4	12,7	8,5
$N_{\text{clad}} : N_{\text{rot}} : N_{\text{cop}}, \%$	13:5:82	10:69:21	17:10:73
Биомасса, г/м <sup>3</sup> Biomass, g/m <sup>3</sup>	0,12	0,17	0,1
$B_{\text{clad}} : B_{\text{rot}} : B_{\text{cop}}, \%$	4:1:95	16:35:49	9:1:90
Число видов Number of species	5	8	6
Доминирующие виды Dominant species	<i>E. gracilis</i> <i>C. strenuus</i> <i>D. cristata</i> <i>K. longispina</i>	<i>E. graciloides</i> <i>C. kolensis</i> <i>D. cristata</i> <i>K. longispina</i>	<i>E. gracilis</i> <i>C. kolensis</i> <i>D. cristata</i> <i>K. longispina</i>

Примечание. \*  $N_{\text{clad}} : N_{\text{rot}} : N_{\text{cop}}$  – процентное соотношение основных групп Cladocera, Rotifera и Copepoda по численности; \*\*  $B_{\text{clad}} : B_{\text{rot}} : B_{\text{cop}}$  – процентное соотношение основных групп Cladocera, Rotifera и Copepoda по биомассе.

Note. \*  $N_{\text{clad}} : N_{\text{rot}} : N_{\text{cop}}$  – percentage of the major groups Cladocera, Rotifera and Copepoda by abundance; \*\*  $B_{\text{clad}} : B_{\text{rot}} : B_{\text{cop}}$  – percentage of the major groups Cladocera, Rotifera and Copepoda by biomass.

Численность зоопланктона в 2014 и 2015 году убывала с глубиной, резких колебаний значений биомассы по вертикали в исследуемые периоды не выявлено. На глубине 3 м численность зоопланктона была максимальной и составляла в 2014 году 84 тыс. экз./м<sup>3</sup>, в 2015 году – 49 тыс. экз./м<sup>3</sup>. В 2016 году наблюдалось равномерное распределение зоопланктона, его количественные показатели по горизонтам существенно не различались (3 м – 8,8 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,11 г/м<sup>3</sup>; 5 м – 8 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,13 г/м<sup>3</sup> соответственно).

Максимальная численность коловраток в 2014 и 2015 году зафиксирована на глубине 5 м. Коловратки *K. longispina* и *K. cochlearis* распределялись равномерно по всей толще, *K. quadrata* и *F. terminalis* образовывали скопления в нижних слоях (5 м), за исключением 2015 года, когда они были многочисленны в слое 3 м, что может быть связано с вегетацией фитопланктона подо льдом (отсутствие снега на поверхности льда), а также повышенными значениями температуры воды у дна (быстрое наступление ледостава). В 2016 году коловратки отмечены только на горизонте 3 м (рис. 3). В 2016 году сообщество коловраток в озере было представлено только *K. longispina*.

Наибольшая численность ракообразных в озере Вильно зафиксирована в 2014 и 2015 годах на горизонте 3 м. *E. gracilis*, *D. cristata*, а также науплиусы копипод в эти годы наблюдений были многочисленны в слое 3 м.

В 2016 году веслоногие и ветвистоусые ракообразные распределялись равномерно, науплии в этот период в сообществах отсутствовали. Представители р. *Cyclops* были многочисленны на глубине 5 м, за исключением 2015 года.

В озерах Лекшозеро и Масельское в вертикальном столбе воды в подледный период гидробионты распределялись неравномерно. В Лекшозере максимальные значения численности (56,7 и 71,4 тыс. экз./м<sup>3</sup>) и биомассы (0,56 и 1,0 г/м<sup>3</sup>) зоопланктона отмечены в 2014 и 2016 годах в придонных слоях (20 м). Исключение составил март 2015 года, когда наибольшая численность зоопланктона зафиксирована на глубине 1 и 3 м (23,4 тыс. экз./м<sup>3</sup>), а биомасса – на глубине 7 м (0,1 г/м<sup>3</sup>).

В подледный период в пелагиали Лекшозера Rotifera встречались на всех горизонтах. Наибольшая численность коловраток в марте 2014 года отмечена на глубине 20 м (рис. 4), где образовывали скопления коловратки *K. longispina* и *K. quadrata*. Также эти виды были многочисленны на глубине 3 и 7 м. На границе аэробной и анаэробной зоны (20 м) преобладали коловратки *K. cochlearis* и *F. terminalis*. Максимальная численность аспланхны отмечена на глубине 7 м. В 2015 и 2016 году большинство коловраток (*K. longispina* и *K. quadrata*) обитали в поверхностном горизонте (1 м), за исключением представителей рода *Filinia*, образующих скопления в гипolimнионе в течение всех периодов исследования.

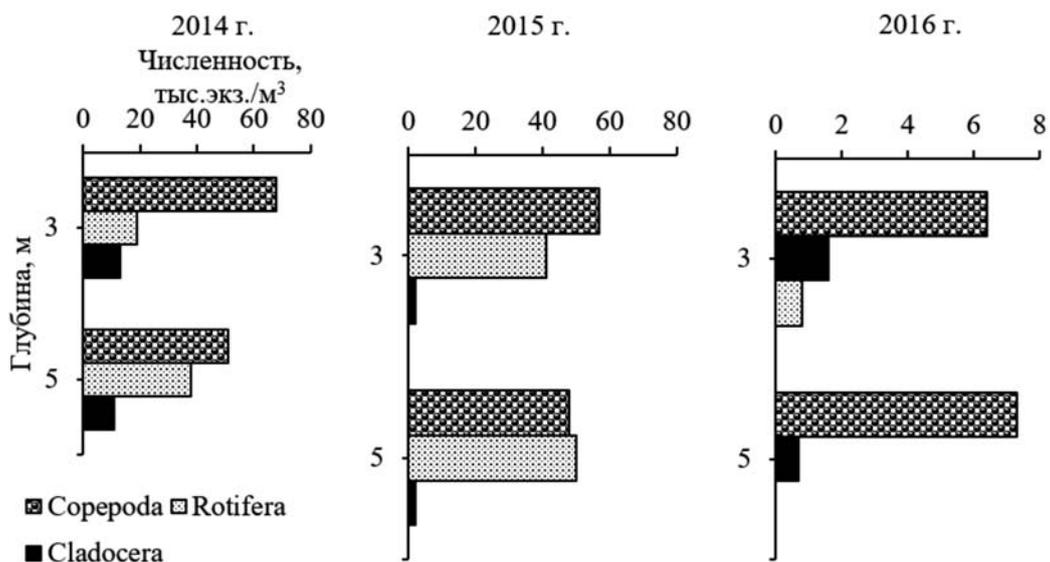


Рис. 3. Вертикальное распределение численности зоопланктона в озере Вильно в подледный период 2014–2016 гг.

Fig. 3. Vertical distribution of zooplankton abundance in Lake Vilno in the under-ice period of 2014–2016

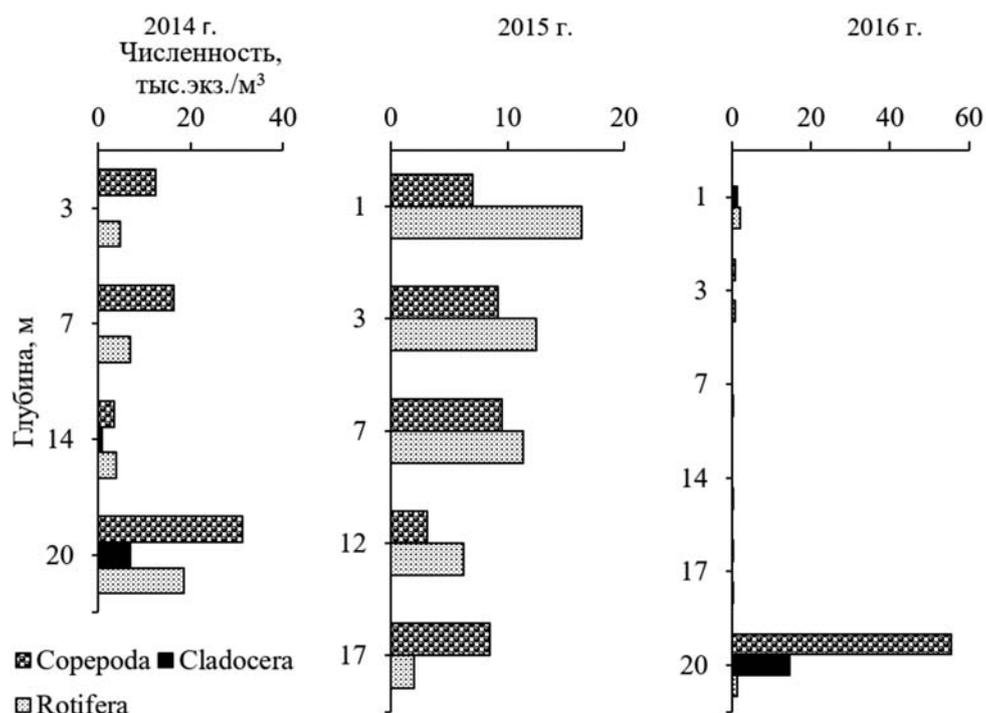


Рис. 4. Вертикальное распределение численности зоопланктона в озере Лекшмозере в подледный период 2014–2016 гг.

Fig. 4. Vertical distribution of zooplankton abundance in Lake Lyokshmozero in the under-ice period of 2014–2016

Картина распределения веслоногих и ветвистоусых ракообразных в Лекшмозере в 2014 и 2016 году была сходной, что, по-видимому, связано с длительностью осенней конвекции в водоеме в указанные периоды (табл. 2). В эти годы максимальные численность и биомасса ракообразных отмечены на глубине 20 м. Здесь были многочисленны виды *E. graciloides*, *C. kolensis*, *D. cristata*. Науплиальные стадии копепоид приурочены к поверхностному горизонту (3 м). В марте 2016 года зафиксировано смещение сроков размножения зоопланктона, в пробах отмечены яйценосные самки копепоид, науплии отсутствовали. В 2015 году наибольшая численность веслоногих ракообразных зафиксирована на глубине 3 и 7 м, ветвистоусые ракообразные в этот период в пробах не отмечены (рис. 4). Зоопланктон на прибрежной станции распределялся, что связано с благоприятными кислородными условиями в прибрежной зоне.

Неоднородность распределения зоопланктона отмечена и в пелагиали озера Масельгское. Наибольшие значения численности и биомассы зоопланктона в озере в 2014 году отмечены в поверхностном горизонте на глубине 4 м – 96,0 тыс. экз./м³ и 0,21 г/м³, а также в придонном горизонте на глубине 14 м –

87,3 тыс. экз./м³ и 0,28 г/м³ соответственно. В 2015 году максимальная численность отмечалась на глубине 3 м и составляла 66,6 тыс. экз./м³, а биомасса – 0,17 г/м³. В 2016 году максимальные численность и биомасса зафиксированы на глубине 14 м – 11,3 тыс. экз./м³ и 0,11 г/м³ и 1 м – 9,3 тыс. экз./м³ и 0,13 г/м³ соответственно.

В озере Масельгское распределение коловраток по вертикали различалось по годам (рис. 5). В 2014 году коловратки были многочисленны на всех горизонтах, но максимальная их численность отмечалась на границе анаэробной и аэробной зоны (14 м). Здесь образовывали скопления коловратки *K. longispina* и *K. cochlearis*, *P. dolichoptera*, *K. quadrata* и *F. longiseta*. В 2015 году численность коловраток с глубиной снижалась. Наибольшая их численность отмечена на глубине 1 м, где доминировала *K. longispina*. Коловратка *K. cochlearis* распределялась равномерно по всему водному столбу до анаэробной зоны (14 м). В марте 2016 года Rotifera были малочисленными. В сообществе отмечены лишь два вида – *K. longispina* и *K. quadrata*. Келликоттия распределялась равномерно по всему водному столбу, керателла образовывала скопления в гипolimнионе на глубине 14 м.

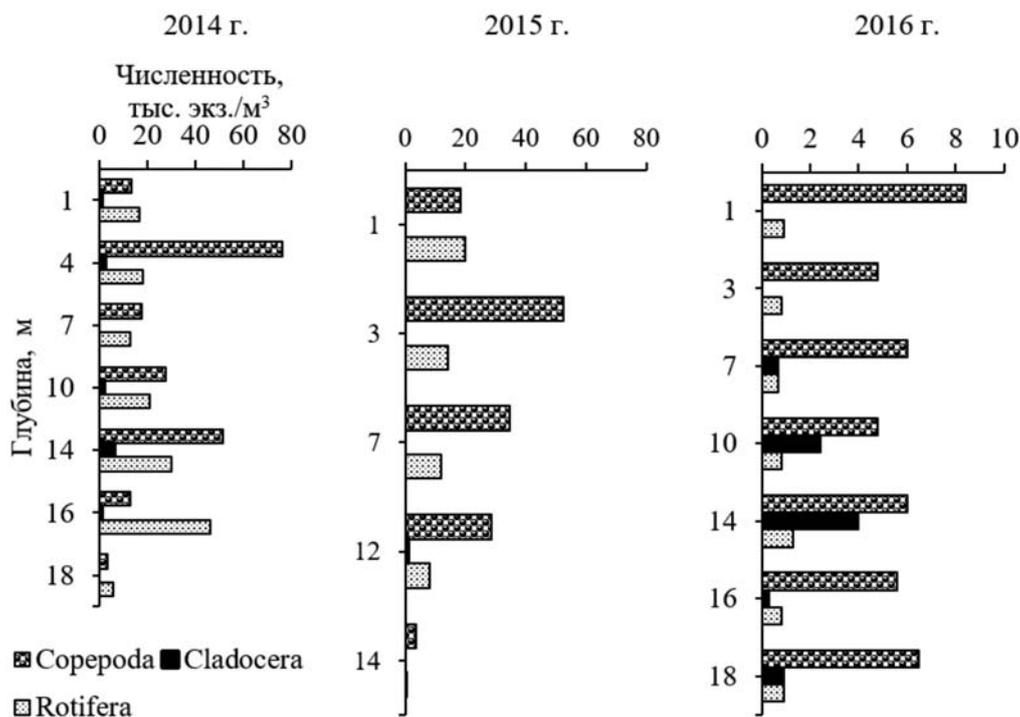


Рис. 5. Вертикальное распределение численности зоопланктона в озере Масельгское в подледный период 2014–2016 гг.

Fig. 5. Vertical distribution of zooplankton abundance in Lake Maselgskoe in the under-ice period of 2014–2016

Веслоногие ракообразные образовывали как поверхностные, так и придонные скопления. Максимальная численность *E. gracilis* в 2014 и 2016 году отмечена на глубине 7 м, в 2015 году – на границе аэробной и анаэробной зоны (12 м). В 2014 и 2015 годах на границе аэробной и анаэробной зоны (14 и 12 м) многочисленны и представители р. *Cyclops*, в 2016 году они образовывали скопления сразу подо льдом (1 м) и у дна (18 м). Науплиусы были обильны в поверхностном горизонте (1–7 м), но в 2016 году для них характерно равномерное распределение по водному столбу. Дафнии во все периоды исследований были многочисленны в придонном горизонте (12–18 м).

Распределение некоторых видов зоопланктона в озерах Масельгское и Лекшмозеро сходное, что может быть связано с наиболее близкими значениями температуры воды по водному столбу в этих озерах. Наиболее четко сходство распределения гидробионтов в этих водоемах подо льдом прослеживалось в 2015 году.

Наши исследования показали, что основными факторами, лимитирующими развитие и распределение зоопланктона в исследованных водоемах в подледный период, являлись длительность периода осенней конвекции и сроки

образования льда, температурный и кислородный режим, а также наличие пищи.

Важным фактором, регулирующим развитие и распределение зимних сообществ, являются ледовые процессы. Ранние сроки образования льда на водоемах в осенний период способствуют сохранению более высокого теплозапаса водных масс, что в значительной степени определяет температурные и кислородные условия в водоемах, влияющие на активность микробного и зоопланктонного сообществ. Так, короткий период осеннего выхолаживания в 2014 году (10 дней) и раннее ледообразование привели к повышению температуры в придонном горизонте и ухудшению кислородного режима в озерах зимой 2015 года. Температура воды у дна в озерах была выше, чем в другие годы. Повышение температуры воды вызвало смещение анаэробной зоны в озере Масельгское до глубины 14 м и в Лекшмозере до 21 м. Вертикальное распределение зоопланктона изменялось, следуя в основном изменению температуры и содержания растворенного кислорода в воде.

При длительном периоде осенней конвекции происходит выхолаживание толщи воды и грунтов, что также может повлиять на развитие и функционирование планктонных организмов и бактериопланктона. Например, длительный

период осеннего перемешивания вод в 2015 году мог повлиять на функционирование сообществ зимой 2016 года. В марте 2016 года численность зоопланктона в водоемах была невелика, зоопланктон развивался слабо. В озерах Вильно и Лекшмозера науплиальные стадии не были обнаружены, а доля науплиусов в озере Масельгское составляла от 6 до 10 % от общей численности зоопланктона. В озере Масельгское большинство видов не образовывали скопления подо льдом, а распределялись равномерно.

В подледный период зоопланктон в озерах сосредоточен в основном в двух противоположных горизонтах водной толщи – подледном и придонном. Поверхностные скопления зоопланктона в водоемах могут быть связаны с пищевыми условиями – с развитием фитопланктона у кромки льда, а также со скоплением бактерий подо льдом, а придонные – с концентрацией пищевых объектов в нижних слоях водоемов [Ривьер, 1988].

## Заключение

В подледный период 2014–2016 гг. зоопланктон характеризовался скудностью видового состава. Зооценозы были представлены зимними и круглогодичными формами ракообразных и коловраток. В зимних сообществах озера Вильно обнаружено 14 видов зоопланктона, Лекшмозера – 19 видов, озера Масельгское – 18 видов. Коловратки определяли видовое разнообразие сообществ.

Несмотря на активное развитие отдельных групп зоопланктона подо льдом, количественные характеристики гидробионтов в зимний период невелики. Основу численности и биомассы зоопланктона в сообществах составляли copepody и их науплиальные стадии.

Анализ вертикального распределения зоопланктона выявил неоднородность распределения гидробионтов подо льдом. Большинство видов зоопланктона образуют скопления в поверхностном и придонном горизонтах, некоторые виды – только в придонном.

Уровень развития и распределение зоопланктона в подледный период связаны с особенностями температурного и кислородного режима, с длительностью периода осенней конвекции, а также с пищевыми ресурсами в озерах.

## Литература

Балушкина Е. В., Голубков С. М., Иванова М. Б., Никулина В. Н., Умнов А. А., Умнова Л. П. Опыт

прогнозирования последствий эвтрофирования Лекшмозера на основе закономерностей функционирования экосистем // Реакция озерных экосистем на изменение биотических и абиотических условий. СПб.: ЗИН РАН, 1997. С. 228–265.

Баянов Н. Г. Видовой состав, структура и уровень развития зимних зоопланктонных сообществ озер Пинежского заповедника // Экологическое состояние континентальных водоемов Арктической зоны в связи с промышленным освоением северных территорий: Тезисы докл. Междунар. науч. конф. (Архангельск, 21–25 июня 2005 г.). Архангельск, 2005. С. 10.

Григорьев С. В. Каталог озер Карелии. М.-Л.: АН СССР, 1959. 239 с.

Данные архива погоды. Каргополь // Погода и климат [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 11.04.2024).

Ермолаева Н. И. Состав и функционирование зимних зоопланктонных сообществ Новосибирского водохранилища // Сибирский экологический журнал. 2000. № 2. С. 165–171.

Жданова С. М., Малин М. И. Особенности подледного зоопланктона озера Плещеево (Ярославская обл., Россия) // Трансформация экосистем. 2023. № 6(3). С. 39–52. doi: 10.23859/estr-220624

Иванов П. В. Классификация озер по величине и по их средней глубине // Вестник ЛГУ. 1948. № 21. С. 29–36.

Кононова О. Н., Фефилова Е. Б. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона Европейского Севера России. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2018. 151 с.

Кузнецова М. А., Баянов Н. Г. Зоопланктоценозы высокоминерализованных карстовых озер Пинежского заповедника (Архангельская область) // Вестник Нижегородского университета. 1999. № 1. С. 29–38.

Лазарева В. И., Соколова Е. А. Состав и обилие зимнего зоопланктона в Рыбинском водохранилище // Поволжский экологический журнал. 2017. № 2. С. 136–146.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Ред. Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, 1982. 33 с.

Национальные парки России / Ред. И. В. Чебакова. М.: ЦОДП, 1996. 197 с.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1: Зоопланктон / Ред. В. Р. Алексеев, С. Я. Цалолихин. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 494 с.

Пальшин Н. И., Здоровеннов Р. Э., Здоровеннова Г. Э., Митрохов А. В., Петров М. П., Тержевик А. Ю. Гидрофизические аспекты развития экосистемных процессов замерзающих озер // Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований: Мат-лы юбилейной конф., посв. 15-летию ИВПС (Петрозаводск, 19–20 сент. 2006 г.). Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2006. С. 359–377.

Педь Д. А. Об определении дат устойчивого перехода температуры воздуха через определенные значения // Метеорология и гидрология. 1951. № 10. С. 38–39.

Речкалов В. В. Состав и особенности функционирования зимних сообществ зоопланктона озер различной минерализации: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2000. 24 с.

Ривьер И. К. Зимний зоопланктон Рыбинского водохранилища // Труды Института биологии внутренних вод. Борок: АН СССР, 1982. Т. 43/46. С. 191–210.

Ривьер И. К. Состав и экология зимних зоопланктонных сообществ. Л.: Наука, 1986. 160 с.

Ривьер И. К. Особенности функционирования зоопланктонных сообществ водоемов различных типов / Ред. А. В. Монаков. Л.: Наука, 1988. С. 80–111.

Ривьер И. К. Холодноводный зоопланктон озер бассейна Верхней Волги / Ред. В. Н. Яковлев. Ижевск: Пермьяков С. А., 2012. 390 с.

Салахутдинов А. Н. Зоопланктон некоторых озер Среднего Поволжья в зимний период / Ред. Ю. Е. Егоров. Казань: Казан. фил. АН СССР, 1985. Ч. 1. С. 90–101.

Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю. Зоопланктон Петрозаводской губы Онежского озера в подледный период // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2017. № 6(167). С. 90–95.

Тимакова Т. М., Калинин Н. М., Лозовик П. А. Состояние экосистемы оз. Лекшмозеро (Архангельская обл., Российская Федерация) после массовой гибели рыбы // Гидробиологический журнал. 2006. Т. 42, № 6. С. 93–96.

Щербаков А. П. Озеро Глубокое. М.: Наука, 1967. 379 с.

## References

Alekseev V. R., Tsalolikhin S. Ya. (ed.). A key to zooplankton and zoobenthos of the freshwater bodies in the European part of Russia. Vol. 1. Zooplankton. Moscow: KMK; 2010. 494 p. (In Russ.)

Balushkina E. V., Golubkov S. M., Ivanova M. B., Nikulina V. N., Umnov A. A., Umnova L. P. Experience of forecasting the consequences of eutrophication of Lake Lekshmozero based on the patterns of ecosystem functioning. *Reaktsiya ozernykh ekosistem na izmenenie bioticheskikh i abioticheskikh uslovii = Response of lake ecosystems to changes in biotic and abiotic conditions*. St. Petersburg: ZIN RAN; 1997. P. 228–265. (In Russ.)

Bayanov N. G. Species composition, structure and level of development of winter zooplankton communities of lakes of the Pinezhsky Reserve. *Ekologicheskoe sostoyanie kontinental'nykh vodoemov Arkticheskoi zony v svyazi s promyshlennym osvoeniem severnykh territorii: Tezisy dokl. Mezhdunar. konf. (Arkhangel'sk, 21–25 iyunya, 2005 g.) = The ecological state of the continental reservoirs of the Arctic zone in connection with the industrial development of the northern territories: Proceed. int. conf. (Arkhangelsk, June 21–25, 2005)*. Arkhangel'sk; 2005. 10 p. (In Russ.)

Chebakova I. V. (ed.). National parks of Russia. Moscow: TsODP; 1996. 197 p. (In Russ.)

Data of the weather archive. Kargopol. *Pogoda i klimat = Weather and Climate*. (In Russ.). URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (accessed: 11.04.2024).

Ermolaeva N. I. Composition and functioning of winter zooplankton communities of the Novosibirsk reservoir. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal = Siberian Ecological Journal*. 2000;2:165–171. (In Russ.)

Grigor'ev S. V. A catalogue of lakes in Karelia. Moscow-Leningrad: AN SSSR; 1959. 239 p. (In Russ.)

Ivanov P. V. Classification of lakes by size and by their average depth. *Vestnik LGU = Bulletin of Leningrad State University*. 1948;21:29–36. (In Russ.)

Kononova O. N., Fefilova E. B. Methodological guide for determining the size and weight characteristics of zooplankton organisms of the European North of Russia. Syktyvkar: Komi NTs UrO RAN; 2018. 151 p. (In Russ.)

Kuznetsova M. A., Bayanov N. G. Zooplankton communities of highly mineralized karst lakes of the Pinezhsky Reserve (Arkhangelsk Region). *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo = Vestnik of Lobachevsky University of Nizhni Novgorod*. 1999;1:29–38. (In Russ.)

Lazareva V. I., Sokolova E. A. Composition and abundance of winter zooplankton in the Rybinsk reservoir. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal = Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2017;2:136–146. (In Russ.)

Pal'shin N. I., Zdorovennov R. E., Zdorovennova G. E., Mitrokhov A. V., Petrov M. P., Terzhevik A. Yu. Hydrophysical aspects of the development of ecosystem processes in freezing lakes. *Vodnye resursy Evropeiskogo Severa Rossii: itogi i perspektivy issledovaniy: Materialy yubileinoi konf., posv. 15-letiyu IVPS (Petrozavodsk, 19–20 sent. 2006 g.) = Water resources of the European North of Russia: results and perspectives. Proceed. conf. dedicated to the 15<sup>th</sup> anniversary of NWPI (Petrozavodsk, Sept. 19–20, 2006)*. Petrozavodsk; 2006. P. 359–377. (In Russ.)

Ped' D. A. On determining the dates of steady transition of air temperature through certain values. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and Hydrology*. 1951;10:38–39. (In Russ.)

Rechkalov V. V. Composition and features of functioning of winter zooplankton communities in lakes of various mineralization: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Tyumen'; 2000. 24 p. (In Russ.)

Riv'er I. K. Winter zooplankton of the Rybinsk reservoir. *Tr. In-ta biol. vnutr. vod = Transactions of Institute for Biology of Inland Waters*. Borok: AN SSSR; 1982. Vol. 43/46. P. 91–210. (In Russ.)

Riv'er I. K. Composition and ecology of winter zooplankton communities. Leningrad: Nauka; 1986. 160 p. (In Russ.)

Riv'er I. K. Features of the functioning of zooplankton communities in reservoirs of various types. Leningrad: Nauka; 1988. P. 80–111. (In Russ.)

Riv'er I. K. Cold-water zooplankton of lakes of the Upper Volga basin. Izhevsk: Publ. Permyakov S. A.; 2012. 390 p. (In Russ.)

Salakhutdinov A. H. Zooplankton of some lakes of the Middle Volga region in winter. Kazan': Kazanskii filial AN SSSR; 1985. Part 1. P. 90–101. (In Russ.)

Syarki M. T., Fomina Yu. Yu. Zooplankton of the Petrozavodsk bay of Lake Onega in the ice age. *Uchenye*

*zapiski Petrozavodskogo gos. universiteta = Proceed. of Petrozavodsk State University. 2017;6(167):90–95. (In Russ.)*

*Shcherbakov A. P. Lake Glubokoe. Moscow: Nauka; 1967. 379 p. (In Russ.)*

*Timakova T. M., Kalinkina N. M., Lozovik P. A. The state of the ecosystem of Lake Lekshmozero (Arkhangelsk Region, Russian Federation) after mass death of fish. *Gidrobiologicheskii zhurnal = Hydrobiological Journal. 2006;42(6):93–96. (In Russ.)**

*Vinberg G. G., Lavrent'eva G. M. (eds.). Methodological recommendations for collecting and processing materials for hydrobiological studies in freshwater reservoirs. Zooplankton and its products. Leningrad: GosNIORH; 1982. 33 p. (In Russ.)*

*Zhdanova S. M., Malin M. I. Features of the subglacial zooplankton of Lake Pleshcheevo (Yaroslavl Region, Russia). *Transformatsiya ekosistem = Transformation of Ecosystems. 2023;6(3):39–52. (In Russ.). doi: 10.23859/estr-220624**

*Поступила в редакцию / received: 14.05.2024; принята к публикации / accepted: 04.09.2024.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.*

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

**Собко Елена Иосифовна**

научный сотрудник

*e-mail: elfisina@yandex.ru*

**Климов Сергей Иванович**

научный сотрудник

*e-mail: kliopa2@yandex.ru*

**Неверова Наталья Валерьевна**

научный сотрудник

*e-mail: nevnata@yandex.ru*

**Морева Ольга Юрьевна**

научный сотрудник

*e-mail: mapycr1@yandex.ru*

#### **CONTRIBUTORS:**

**Sobko, Elena**

Researcher

**Klimov, Sergey**

Researcher

**Neverova, Natalia**

Researcher

**Moreva, Olga**

Researcher