

УДК 574.583(285.2)(470.6)

СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЗООПЛАНКТОНА В ОЗЕРЕ ДОЛГОЕ (БЕЛАРУСЬ) В ПЕРИОД ЛЕТНЕЙ СТРАТИФИКАЦИИ И ВЕСЕННЕЙ ГОМОТЕРМИИ

В. В. Вежновец¹, М. Д. Журавлев¹, Д. Б. Власова²,
Н. Ю. Суховило^{2*}, Б. О. Цыденов³

¹ Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам
(ул. Академическая, 27, Минск, Беларусь, 220072)

² Белорусский государственный университет (ул. Независимости, 4, Минск,
Беларусь, 220030), *SukhoviloNY@bsu.by

³ Национальный исследовательский Томский государственный университет
(пр. Ленина, 36, Томск, Россия, 634050)

Изучение зоопланктона актуально для понимания функционирования озерных экосистем, оценки биоразнообразия, а также для решения практических задач, связанных с рыбоводством, экологическим мониторингом и охраной водных ресурсов. Целью исследования являлся анализ влияния летней стратификации и весенней гомотермии на состав зоопланктона в оз. Долгое, его количественное развитие и вертикальное распределение. В весеннее и летнее время в сообществе пелагического зоопланктона оз. Долгое регистрировалось близкое по значению количество видов (21 и 22 соответственно). При почти одинаковом видовом богатстве летом ракообразные были представлены больше (59,1 %), а весной коловратки составили 66,7 % видового состава. Эти изменения происходили за счет отсутствия теплолюбивых ветвистоусых ракообразных. В июле в составе доминирующего комплекса была отмечена одна коловратка – *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879) – 18,8 %, из ветвистоусых наибольшую представленность в планктоне имели *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848) – 7,7 % и *Daphnia cucullata* Sars, 1862 – 5,9 %. В марте более половины (58,2 %) численности составила холодноводная коловратка *Synchaeta cecilia* Rousselet, 1902. Реликтовый холодноводный *Limnocalanus macrurus* G. O. Sars, 1863, размножение которого приурочено к зимнему времени года, был представлен всеми стадиями развития и в сумме составил 24,4 % общей численности. Общая численность зоопланктона летом была в два раза выше, чем весной. Более низкие весенние значения численности обусловлены слабым к этому времени развитием ветвистоусых ракообразных. Вертикальное распределение зоопланктонного сообщества менялось в зависимости от сезона. В целом сохранялась наиболее высокая степень сосредоточения организмов в верхних слоях воды в течение обоих сезонов, но летом в приповерхностных водах она достигала 50 % численности в столбе воды, а весной только 25 %. Эти различия вызваны изменениями в видовом составе, особенностями распределения основных групп и сменной доминирующих видов.

Ключевые слова: зоопланктон; вертикальное распределение; Rotifera; Copepoda; Cladocera; весенняя гомотермия; термическая стратификация

Для цитирования: Вежновец В. В., Журавлев М. Д., Власова Д. Б., Суховило Н. Ю., Цыденов Б. О. Сравнение структурной организации зоопланктона в озере Долгое (Беларусь) в период летней стратификации и весенней гомотермии // Труды Карельского научного центра РАН. 2026. № 9. С. 87–102. doi: 10.17076/lim2264

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке БРФФИ (проекты № X23PHФМ-001 и Б25МС-016), а также РНФ (проект № 24-47-10001).

V. V. Vezhnavecs¹, M. D. Zhurauliou¹, D. B. Vlasova², N. Yu. Sukhovilo^{2*}, B. O. Tsydenov³. COMPARISON OF THE STRUCTURAL ORGANIZATION OF ZOOPLANKTON IN LAKE DOLGOE (BELARUS) DURING SUMMER STRATIFICATION AND SPRING HOMOTHERMY

¹State Scientific and Practical Center for Bioresources of the National Academy of Sciences of Belarus (27 Akademicheskaya St., 220072 Minsk, Belarus)

²Belarusian State University (4 Nezavisimosti St., 220030 Minsk, Belarus), *SukhoviloNY@bsu.by

³Tomsk State University (36 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia)

The study of zooplankton is important for understanding the functioning of lake ecosystems, assessing biodiversity, and solving practical problems related to fish farming, environmental monitoring, and water resource protection. The aim of this study was to analyze the influence of summer stratification and spring homothermy on the composition of zooplankton in Lake Dolgoe, its quantitative development and vertical distribution. In spring and summer, the numbers of species in the pelagic zooplankton community of Lake Dolgoe were similar (21 and 22 species, respectively). While the species richness was almost identical, crustaceans were more abundant in summer (59.1 %), while in spring, rotifers accounted for 66.7 % of the species composition. These changes in the species composition were due to the absence of thermophilic cladocerans. In July, *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879) was the only rotifer in the dominant assemblage, accounting for 18.8 %. The most abundant cladocerans were *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848) with 7.7 % and *Daphnia cucullata* Sars, 1862 with 5.9 %. In March, the cold-water rotifer *Synchaeta cecilia* Rousselet, 1902 accounted for more than half (58.2 %) of the total population. The relict cold-water rotifer *Limnocalanus macrurus* G. O. Sars, 1863, which breeds during the winter season, was represented by all developmental stages and constituted 24.4 % of the total population. The total zooplankton abundance was twice as high in summer as in spring. This decrease was primarily due to a decrease in the abundance of cladocerans. The vertical distribution of the zooplankton community varied seasonally. Overall, the concentration of organisms remained the highest in the upper water layers throughout both seasons, but the abundance in the surface water layers in summer reached 50 % of the total population, compared to only 25 % in spring. These differences are due to changes in the species composition, distribution patterns of the main groups, and changes in the dominant assemblage.

Keywords: zooplankton; vertical distribution; Rotifera; Copepoda; Cladocera; spring homothermy; thermal stratification

For citation: Vezhnavecs V. V., Zhurauliou M. D., Vlasova D. B., Sukhovilo N. Yu., Tsydenov B. O. Comparison of the structural organization of zooplankton in Lake Dolgoe (Belarus) during summer stratification and spring homothermy. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2026. No. 9. P. 87–102. doi: 10.17076/lim2264

Funding. The study was supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (projects No. X23PHФМ-001, Б25МС-016) and the Russian Science Foundation (project No. 24-47-10001).

Введение

Зоопланктон является значимым компонентом экосистемы водоема, он играет важную роль в трофических сетях, в самоочищении водоемов и водотоков, а также служит биологическим индикатором для оценки качества воды [Андроникова, 1996; Stamou et al., 2022; Declerck, de Senerpont Domis, 2023; Karpowicz et al., 2025]. Изучение зоопланктона актуально для понимания функционирования озерных экосистем, оценки биоразнообразия, а также для решения практических задач, связанных с рыбоводством, экологическим мониторингом и охраной водных ресурсов. Особый интерес вызывает исследование водоемов, являющихся местами обитания представителей реликтовых ракообразных, которые в условиях водоемов Беларуси находятся на южной границе ареала, подвержены риску вымирания и занесены в Красную книгу Республики Беларусь [2025]. Одним из таких озер является самое глубокое в Беларуси озеро Долгое.

В стратифицированных озерах зоопланктон в столбе воды распределяется неравномерно [Вежновец, Журавлев, 2022]. При использовании зоопланктона как индикаторного сообщества и в других целях важным аспектом является учет вертикальной структуры, потому что от того, где и как взяты пробы, зависят полученные при анализе фактические данные и их достоверность.

Вертикальному распределению зоопланктона посвящено множество работ [Добрынин, 2003; Zadereev, Tolomeyev, 2007; Вецлер, 2008; Речкалов, Голубок, 2013; Фомина, Сярки, 2015; Карпещук, 2018; Вежновец, Журавлев, 2026]. Как правило, они выполнены на озерах с термическим расслоением воды в летнее время. Круглогодичные или сезонные исследования встречаются реже [Вецлер, 2008; Doulka, Kehayias, 2011; Chalkia et al., 2012; Сярки, Фомина, 2020]. Однако сведения о вертикальном распределении зоопланктона в период гомотермии, при постоянной температуре в столбе воды и достаточном содержании кислорода, единичны.

В последние годы вертикальная структура зоопланктона в озерах Беларуси, которые относятся к равнинным водоемам средней полосы, активно исследуется. К настоящему времени для них установлены особенности вертикальной структуры пелагического зоопланктона в термически стратифицированных озерах разной трофности, при разном сочетании прозрачности, температуры и содержания кислорода [Вежновец, Журавлев, 2022]. Показано, что с ростом степени трофности и при снижении прозрачности наблюдается перемещение

зоопланктона в верхние слои воды. Летний зоопланктон озера Долгое достаточно хорошо изучен: определены видовой состав, численность и особенности вертикального распределения пелагического зоопланктона, установлены вертикальные профили всего планктона, основных групп и отдельных видов [Журавлев, 2023]. Показана приуроченность максимальных значений плотности животных к поверхностным хорошо прогреваемым и аэрируемым слоям воды эпилимниона. Определено, что большинство популяций имеют видовые особенности вертикального распределения и располагаются в определенных слоях воды, что позволяет уточнить их биотопическую приуроченность, границы толерантности и жизнедеятельности [Журавлев, 2023; Журавлев, Вежновец, 2025].

Большинство приведенных материалов по вертикальной структуре получены в летнее время. В течение года происходят значительные изменения в составе и вертикальном распределении зоопланктона. Эти изменения проходят под влиянием многих биотических и абиотических факторов, главными из которых являются наличие пищи, прозрачность, температура воды и содержание растворенного кислорода. Наиболее ярко годовые различия должны наблюдаться между термически стратифицированными и гомотермными условиями, которые наблюдаются летом, осенью и весной [Вецлер, 2008].

Целью исследования являлся анализ влияния летней стратификации и весенней гомотермии в озере Долгое на состав зоопланктона, его количественное развитие и вертикальное распределение.

Материалы и методы

Озеро Долгое расположено в Глубокском районе Витебской области, в бассейне р. Шоша, в 32 км на северо-восток от г. Глубокое и в 2 км на юго-восток от д. Зябки (ж/д станция Зябки). Гидрологический заказник республиканского значения. Озеро Долгое – самый глубокий естественный водоем Беларуси. Батиметрические данные взяты из работы [Паспортизация..., 1977]. Карта глубин озера Долгое представлена на рис. 1.

Котловина ложбинного происхождения, вытянута с северо-запада на юго-восток. В поперечном профиле котловина подобна ледниковой долине – трог, для которого характерно относительно плоское дно и крутые (30–40°) подводные склоны. Подводная ее часть отличается незначительной шириной литорали (глубины до 2 м составляют всего 10 % площади озера), склон сублиторали распространяется

до глубины 20 м и характеризуется значительной крутизной, на каждые 50 м расстояния глубины увеличиваются на 10–15 м. Плоское ложе озера осложнено несколькими глубокими впадинами, заполненными илами, которые чередуются с выступами – «усухами», в пределах которых глубины не превышают 20–22 м. Северо-западная и юго-восточная части озера мелководны. Максимальные глубины приурочены к центральной части (рис. 1). Морфометрические характеристики оз. Долгое приведены в табл. 1 [Власов и др., 2004]. Озеро является слабопроточным, период водообмена составляет приблизительно 12 лет. Впадающие водотоки представлены ручьями из озер Свядово и Псуя, а также двумя временными ручьями. Из озера Долгое вытекает протока в оз. Шо.

Ледостав зимой 2024/25 гг. по причине аномально теплой погоды в декабре и январе сформировался лишь в первой декаде февраля 2025 г. (примерно на месяц позже обычного) и окончательно разрушился 23–24 марта 2025 г. (в соответствии со средними сроками за последнее десятилетие).

Озеро является типичным димиктическим водоемом. Прямая температурная стратификация в 2025 г. начала формироваться в первой декаде апреля, однако поскольку весенние заморозки с низкими дневными температурами воздуха фиксировались вплоть до середины мая, возможно, происходило разрушение стратификации. Осеннее охлаждение водоема происходит, как правило, с последней декады августа до конца ноября – начала декабря. К началу декабря прямая стратификация разрушается.

Материалом для работы послужили сборы зоопланктона, отобранные на станции с максимальной глубиной 30 июля 2024 г., при летней температурной стратификации, и 27 марта 2025 г., в период формирования термобара, при весенней гомотермии, после схода льда [Суховило и др., 2025]. Для ловов использовали количественную замыкающую сеть Джели (входное отверстие сети 25 см, а ячейе фильтрующего конуса 62 мкм), проведен облов всего столба воды от поверхности до дна, через пять метров глубины (по 9 проб в каждый сезон) [Салазкин и др., 1984]. Пробы консервировали концентрированным формалином, доводя его конечную концентрацию до 4 %. Для определения численности зоопланктона часть пробы полностью просчитывали под стереомикроскопом МБС-9 в камере Богорова с уточнением морфологических особенностей животных с помощью микроскопа LeicaMD 1000.

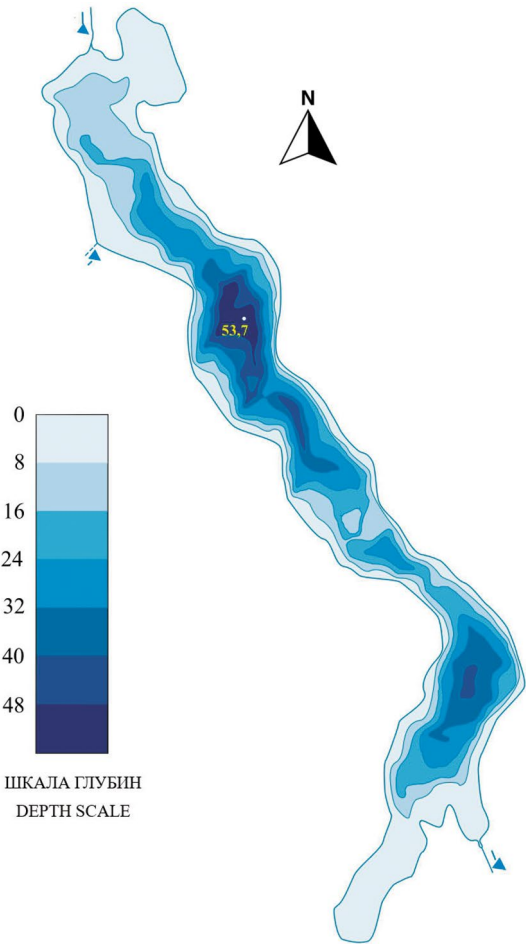


Рис. 1. Карта глубин оз. Долгое
Fig. 1. Depth map of Lake Dolgoye

Таблица 1. Морфометрические показатели оз. Долгое
Table 1. Morphometric indicators of Lake Dolgoye

Показатели Indicators	Значения показателей Values of the indicators
Площадь зеркала, км² Water-surface area, km²	2,60
Площадь водосбора, км² Catchment area, km²	30,40
Объем воды, млн м³ Volume of water, m. km³	43,17
Длина береговой линии, км Coastline length, km	14,90
Длина озера, км Lake length, km	6,00
Ширина максимальная, км Maximum width, km	0,70
Ширина средняя, км Average width, km	0,40
Глубина максимальная, м Maximum depth, m	53,60
Глубина средняя, м Average depth, m	16,60

Для определения таксономической принадлежности использовали работы [Кутикова, 1970; Монченко, 1974; Определитель..., 2010 и др.]. Разделение на стадии развития у лимнокалнуса проводили по собственным описаниям [Вежновец, 1984].

Результаты и обсуждение

Летние и весенние температурные условия в оз. Долгое представлены на рис. 2. Летом наблюдается четкое разделение водной толщи на эпилимнион (0–5 м) с температурой 22,5 °С, металимнион (5–11 м) со снижением температуры до 7,5 °С и гиполимнион, где температура начиная с 25 метров снизилась до величины 5,8–5,6 °С. Прозрачность воды в июле составляла 4,8 м. В марте 2025 г. при прозрачности

6,8 м температура во всей толще воды озера была постоянной – 3,0–3,1 °С.

В распределении концентрации кислорода по глубине в это время года постоянство наблюдается только в эпилимнионе [Журавлев, Вежновец, 2025]. Основные изменения наблюдаются в металимнионе, где есть и максимум на глубине 6 м со значением 9,2 мг/л, и минимум на глубине 9 м со значением 5,5 мг/л. Глубже, до 20 м, отмечено небольшое повышение концентрации до 6,9 мг/л, а затем – плавное снижение ко дну до 4,2 мг/л (рис. 3). В марте концентрация кислорода была постоянной на всех глубинах – 12,8–12,9 мг/л. Содержание кислорода в глубоководных слоях воды в этом водоеме благоприятное для развития водной фауны и холодолюбивых видов.

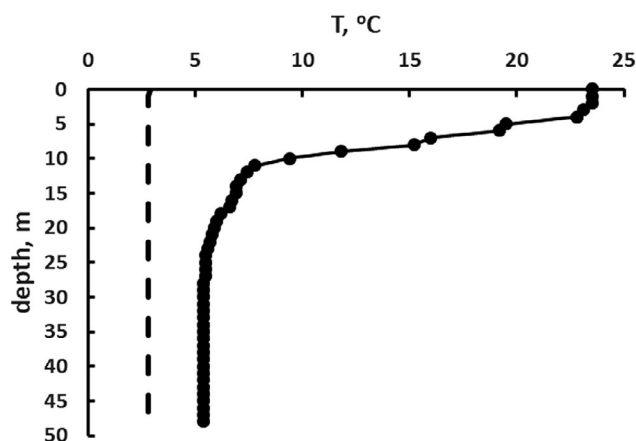


Рис. 2. Вертикальное изменение температуры воды в оз. Долгое.

Здесь и на рис. 3: сплошная линия – летом, прерывистая – весной

Fig. 2. Vertical temperature change in Lake Dolgoye.

Here and in Fig. 3: solid line – in summer, dashed line – in spring

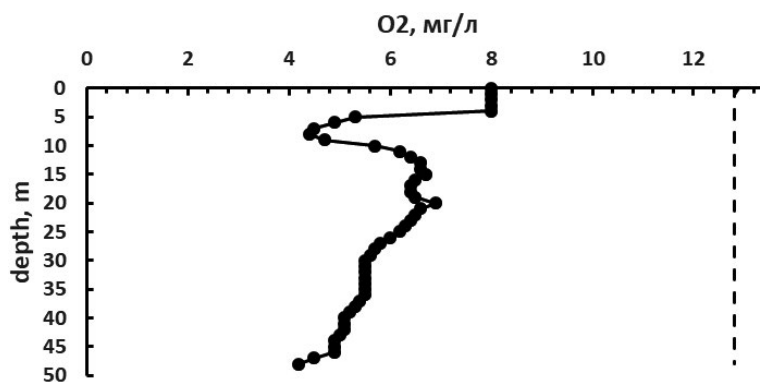


Рис. 3. Вертикальное распределение содержания кислорода (мг/л) в оз. Долгое

Fig. 3. Vertical distribution of oxygen concentration (O_2 , mg/L) in Lake Dolgoye

Общее количество найденных видов оставалось практически постоянным в оба срока наблюдений: 24 в июле и 21 в марте (табл. 2). Однако соотношение представленности групп в зоопланктоне резко различалось. Больше число видов наблюдалось у коловраток весной, когда оно достигло 14 при летних значениях 9. Видовой состав этой группы в дополнение к круглогодичным видам весной пополнился холодолюбивыми *Conochiloides natans*, *Notholca squamula squamula* и *Synchaeta cecilia*. На зимний период из планктона выпали теплолюбивые ракообразные, поэтому весной наиболее значительные изменения отмечены у ветвистоусых – из 10 видов, зарегистрированных в июле, в весеннем планктоне были представлены только 3. У веслоногих раков общее количество почти не изменилось, но обычные в прогреваемом эпилимнионе летом циклопы *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) и *Thermocyclops oithonoides* Sars, 1863 не встречены весной.

В целом видовое богатство планктона (35 видов) пелагиали озера сопоставимо с аналогичным параметром других мезотрофных озер Беларуси [Вежновец, Журавлев, 2022] и состоит приблизительно в одинаковой пропорции из коловраток и ракообразных, но отличается по сезонам: летом на 63 % определялось ракообразными, а весной на 67 % коловратками. В архивных данных лаборатории озероведения БГУ содержится информация о бедном видовом разнообразии зоопланктона в оз. Долгое, включающем около 30 видов.

Средняя численность в столбе воды была невысокой в оба сезона, что характеризует озеро как мезотрофное с чертами олиготрофии [Крюкова, 1987; Неверова-Дзюпак, Цветкова, 2020], при этом весной численность почти в два раза ниже (табл. 3). Соотношение основных групп в общей численности менялось значительно: летом в планктоне преобладали веслоногие ракообразные с долей 44,7 %, а весной доминировали коловратки – 68 % от общей численности.

Величины биомассы в летнее время, примерно равные 0,5 г/м³, подтверждают признаки олиготрофии этого водоема. Разница в величинах биомассы между июлем и мартом достигала 20 раз, основу биомассы в оба периода наблюдений (84,1–91,2 %) составляли веслоногие ракообразные.

В июле науплиальные и копеподитные стадии развития копепод в сумме составили 29,4 % общей численности. Из веслоногих *Eudiaptomus graciloides* и реликтовая копепода *Limnocalanus macrurus* были в субдоминантах с относительной численностью 6,7 и 6,3 % соответственно.

Таблица 2. Видовой состав зоопланктона летом и весной

Table 2. Species composition of zooplankton in summer and spring

Виды Species	Июль July	Март March
Rotifera		
<i>Ascomorpha ecaudis</i> Perty, 1850	-	x
<i>Asplanchna priodonta priodonta</i> Gosse, 1850	-	x
<i>Collotheca pelagica</i> (Rousselet, 1893)	x	x
<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet, 1892	x	x
<i>Conochiloides natans</i> (Seligo, 1900)	-	x
<i>Filinia maior</i> (Colditz, 1914)	-	x
<i>Gastropus stylifer</i> Imhof, 1891	x	-
<i>Kellicottia longispina longispina</i> (Kellicott, 1879)	x	x
<i>Keratella cochlearis cochlearis</i> (Gosse, 1851)	x	x
<i>K. hiemalis</i> Carlin, 1943	-	x
<i>K. quadrata quadrata</i> (Müller, 1786)	-	x
<i>Notholca squamula squamula</i> (Müller, 1786)	-	x
<i>Ploesoma hudsoni</i> (Imhof, 1891)	x	-
<i>Polyarthra dolichoptera dolichoptera</i> Idelson, 1925	x	x
<i>P. remata</i> Skorikov, 1896	x	-
<i>Synchaeta cecilia</i> Rousselet, 1902	-	x
<i>S. pectinata</i> Ehrenberg, 1832	-	x
<i>Trichocerca capucina</i> (Wierzejski et Zacharias, 1893)	x	-
18	9	14
Copepoda		
<i>Cyclops bohater</i> Kozminski, 1933	-	x
<i>C. vicinis vicinus</i> Uljanin, 1875	-	x
<i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg, 1888)	x	x
<i>Limnocalanus macrurus</i> G. O. Sars, 1863	x	x
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	x	-
<i>Thermocyclops oithonoides</i> Sars, 1863	x	-
<i>Heterocope appendiculata</i> Sars, 1863	x	-
7	5	4
Cladocera		
<i>Bosmina coregoni coregoni</i> Baird, 1857	x	x
<i>B. longispina</i> Leydig, 1860	x	-
<i>Bosmina</i> sp.	x	x
<i>Bythotrephes longimanus</i> Leydig, 1860	x	-
<i>Daphnia cristata</i> Sars, 1862	x	-
<i>D. cucullata</i> Sars, 1862	x	-
<i>D. longiremis</i> Sars, 1862	x	-
<i>D. longispina</i> (O. F. Muller, 1776)	x	x
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin, 1848)	x	-
<i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)	x	-
10	10	3
Bcero / Total:	35	21

Таблица 3. Общая численность (N, тыс. экз./м³), биомасса (B, г/м³) и доля основных групп (%) летом и весной

Table 3. Total abundance (N, ind./m³), biomass (B, g/m³) and proportion of the main groups (%) in summer and spring

Основные группы Main groups	Июль July		Март March	
	N	%	N	%
Rotifera	6,808	28,2	8,567	68,2
Copepoda	10,801	44,7	3,984	31,7
Cladocera	6,555	27,1	0,009	0,1
Всего: Total:	24,164	100,0	12,560	100,0
	B	%	B	%
Rotifera	0,0022	0,4	0,0042	15,8
Copepoda	0,4943	91,2	0,0224	84,1
Cladocera	0,0455	8,4	0,0000	0,1
Всего: Total:	0,5420	100,0	0,0267	100,0

В июле в составе доминирующего комплекса была только одна коловратка *Kellicottia longispina* – 18,8 %. Из ветвистоусых ракообразных наибольшую представленность в планктоне имели *Diaphanosoma brachyurum* – 7,7 % и *Daphnia cucullata* – 5,9 %.

В марте состав доминантного комплекса сократился до 3 видов, более половины (58,2 %) численности которого составила холодноводная коловратка *Synchaeta cecilia*. Из коловраток в субдоминанты с относительной численностью 5,0 % вошла *Keratella cochlearis*. Холодноводный *L. macrurus*, размножение которого приурочено к холодному времени года, был представлен всеми стадиями развития и в сумме составил 24,4 % общей численности.

В биомассе в обе даты доминировали два крупных вида копепод: *E. graciloides* и *L. macrurus*, составляя в июле 29,72 и 55,96 %, а в марте 63,0 и 18,7 % общей биомассы соответственно. Остальные встреченные виды имели менее 5 % и не входили в доминантный комплекс, кроме коловратки *S. cecilia*, доля которой в биомассе, при высокой численности, составила 17,3 %.

Характер распределения зоопланктона в июле был тем же, что и десять последних лет ежегодных летних наблюдений (2014–2024) для этого озера [Журавлев, 2023; Журавлев, Вежновец, 2025]. Имелся максимум в эпилимнионе, соответствующем по мощности величине прозрачности воды, и некоторое увеличение численности в придонных горизонтах (рис. 4). За все время наблюдений (2006–2024 гг.) максимальное значение численности в слое 5–10 метров, что приблизительно соответствует металимниону, было только дважды – в 2006 и 2011 гг., когда в этом слое концентрировалось 43,4 и 50,1 % численности зоопланктона. В большинстве других озер Беларуси мезотрофного типа, сходных с озером Долгое по трофическим, температурным и кислородным условиям, летом максимум формируется в металимнионе [Вежновец, Журавлев, 2022], а в этом водоеме он почти всегда располагается в эпилимнионе, что связано с приуроченностью к указанным слоям воды в это время года не только теплолюбивых видов ракообразных, но и коловраток (рис. 5). В распределении основных групп летом наблюдается схожая картина. Максимальная плотность была в эпилимнионе, с самой высокой концентрацией здесь копепод разных стадий развития (64,8 %). У этой же группы наблюдался небольшой рост плотности ко дну за счет холодолюбивой фауны,

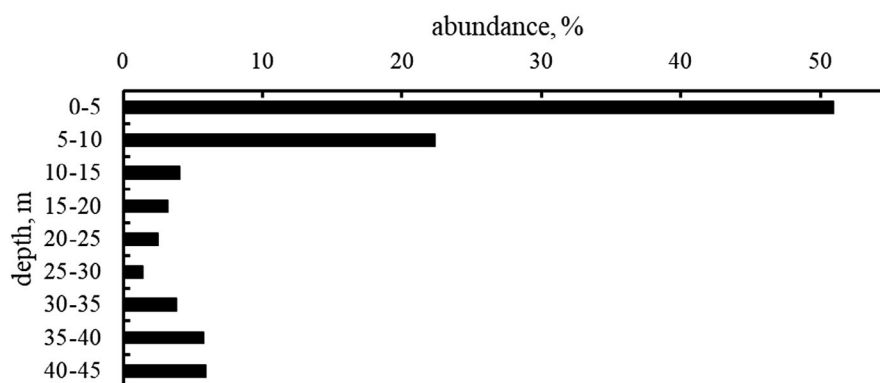


Рис. 4. Вертикальное распределение зоопланктона в июле

Fig. 4. Vertical distribution of zooplankton in July

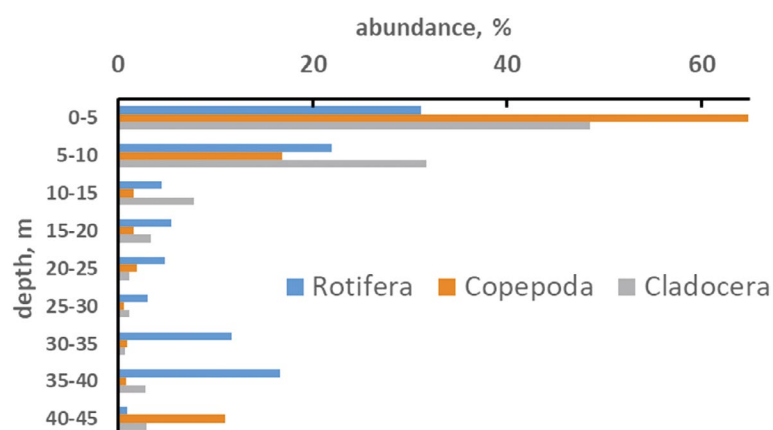


Рис. 5. Вертикальное распределение основных групп зоопланктона в июле

Fig. 5. Vertical distribution of the main groups of zooplankton in July

представленной лимнокалянусом. Около половины численности кладоцер (48,5 %) также отмечалось в эпилимнионе, ко дну их численность постепенно снижалась, а незначительный рост в глубоких слоях воды был за счет размещения здесь не определенного до вида представителя босмин (*Bosmina* sp.).

Если рассматривать распределение отдельных видов, то тепловодные виды ветвистоусых ракообразных, такие как *D. brachiurum* и *D. cucullata*, имеют максимальную плотность в эпилимнионе. В металимнионе концентрируются *D. longiremis* и *D. longispina*.

У коловраток большинство видов в этом озере летом также придерживаются приповерхностных слоев воды. Но доминирующий вид келликоттия имеет двухвершинное распределение, создавая максимумы в металимнионе

и даже в придонных слоях гипolimниона (рис. 6).

Высокая доля копепоид в эпилимнионе создавалась за счет младших стадий развития (науплиусов) циклопов, которые имели преимущество в летнем планктоне (11,4 % общей численности). Кроме того, здесь концентрировались и другие стадии развития копепоид, и такие виды, как *Thermocyclops oithonoides* Sars, 1863, *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) и *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888), которых можно отнести к теплолюбивым. Из холодолюбивой фауны распространенным видом является лимнокалянус, который присутствует в этом озере полвека [Вежновец, 2022]. Летом данный вид в водной толще распределялся неоднородно: наблюдалось два максимума численности на глубинах 5–10 м (металимнион)

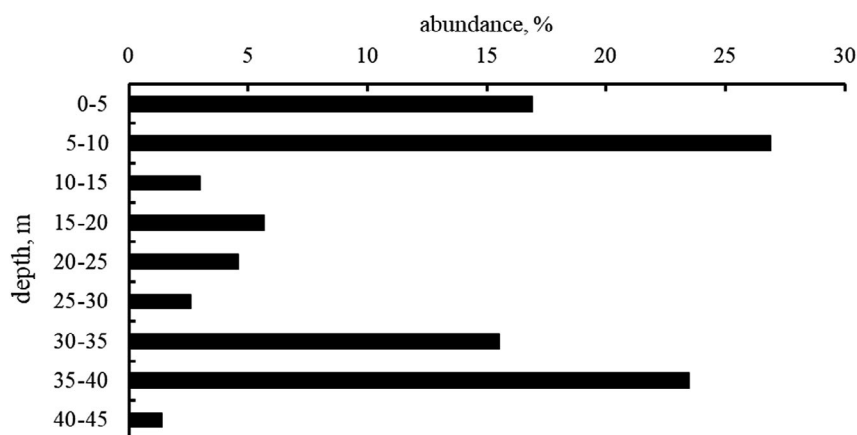


Рис. 6. Вертикальное распределение *Kellicottia longispina* летом

Fig. 6. Vertical distribution of *Kellicottia longispina* in summer

и 40–45 м (рис. 7). При этом около 75 % популяции в дневное время располагается глубже 30 м.

Распределение общей численности в марте при одинаковых температурных условиях и содержании кислорода во всех слоях воды было

неравномерным. В сравнении с летом максимальная концентрация хоть и сохранилась в поверхностных горизонтах, но со значениями в два раза ниже (рис. 8), а общее распределение было более равномерным, без придонного максимума.

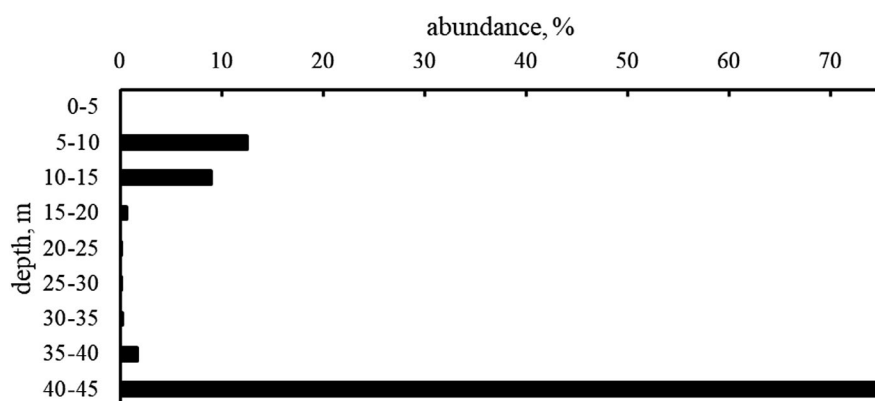


Рис. 7. Вертикальное распределение *Limnocalanus macrurus* летом
Fig. 7. Vertical distribution of *Limnocalanus macrurus* in summer

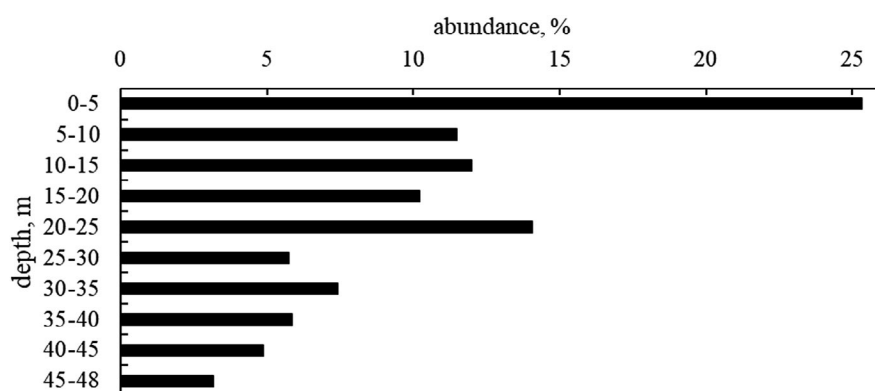


Рис. 8. Вертикальное распределение зоопланктона в марте
Fig. 8. Vertical distribution of zooplankton in March

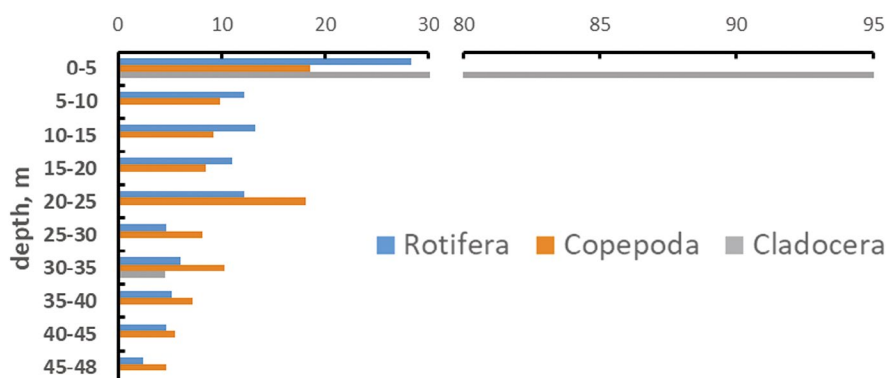


Рис. 9. Вертикальное распределение основных групп зоопланктона в марте
Fig. 9. Vertical distribution of the main groups of zooplankton in March

Весной распределение определялось коловратками и копеподами, их размещение в столбе воды относительно летнего было более равномерным (рис. 9), что может быть связано с температурными условиями и перемешиванием водных масс. У ветвистоусых ракообразных отмечены единичные особи босмин, которые и дали всплеск для этой группы в поверхностных слоях воды, на всех остальных глубинах эти животные не встречались, за исключением одной особи в горизонте 30–35 метров.

Влияние на общее распределение зоопланктона доминирующих видов весной можно продемонстрировать на примере распределения доминирующей коловратки *Synchaeta cecilia*, т. к. эти параметры схожи (рис. 8 и 10).

Из круглогодичных видов рассмотрено распределение лимнокалянуса, однако следует учесть, что в марте развивалась новая генерация этого моноциклического вида [Фомина, Сярки 2022] из яиц, отложенных зимой, и популяция была представлена почти всеми возрастными группами, а взрослые особи прошлогодней генерации в большинстве своем отмерли и остались только немногочисленные их экземпляры (рис. 11). Таким образом, в распределении различных стадий развития этой холодноводной копеподы максимум наблюдался в приповерхностных горизонтах – вероятно, более богатых кормовыми объектами. Характер распределения численности взрослых особей в целом схож с летним, с максимальными значениями на глубине 40–45 метров. При отсутствии лимитирования температурой небольшое количество взрослых животных встречается и в поверхностных слоях, чего не наблюдалось летом (рис. 11, в). Сходное сезонное распределение и встречаемость в верхних слоях воды в марте у этого

вида отмечены в Онежском озере [Фомина, Сярки, 2022].

В литературных источниках весеннее перемешивание и термобар используются, чтобы показать горизонтальное разделение [Авинский и др., 2000; Melnik et al., 2006] или перемещение [Likhoshway et al., 1995] планктона. Нами для сравнительных целей в озере Долгое использована только одна станция с максимальной глубиной, которая весной дольше всего остается в теплоинертной зоне.

Существующие исследования распределения зоопланктона в разные сезоны описывают разные вегетационные периоды, не всегда совпадающие с полным перемешиванием [Вецлер, 2008; Кипрушина, 2009; Сярки, Фомина, 2020], что затрудняет сопоставление результатов.

Распределение в озере Долгое в марте в общих чертах совпадало с весенним (май) распределением зоопланктона в обоих плесах карельского мезотрофного озера Мунозеро [Сярки, Фомина, 2020], с максимумом в слое 0–5 метров, но летом (июль) максимальные значения численности в Мунозере перемещались глубже (5–10 м), что наблюдается в других мезотрофных озерах Беларуси [Вежновец, Журавлев, 2022].

Одним из важнейших факторов в распределении зоопланктона может быть наличие и обилие пищи. Так, согласно [Dimante-Deimantovica et al., 2012], концентрация хлорофилла а была статистически наиболее значимым фактором окружающей среды, влияющим на вертикальное распределение зоопланктона в димиктических озерах Латвии.

Причины отличного от других мезотрофных озер Беларуси летнего распределения зоопланктона в озере Долгое пока мало поддаются объяснению. Эпилимнионный максимум

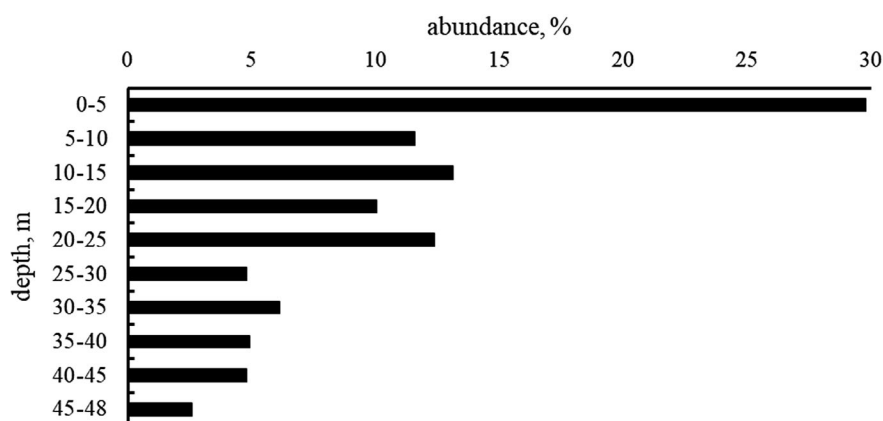


Рис. 10. Вертикальное распределение *Synchaeta cecilia* в марте

Fig. 10. Vertical distribution of *Synchaeta cecilia* in March

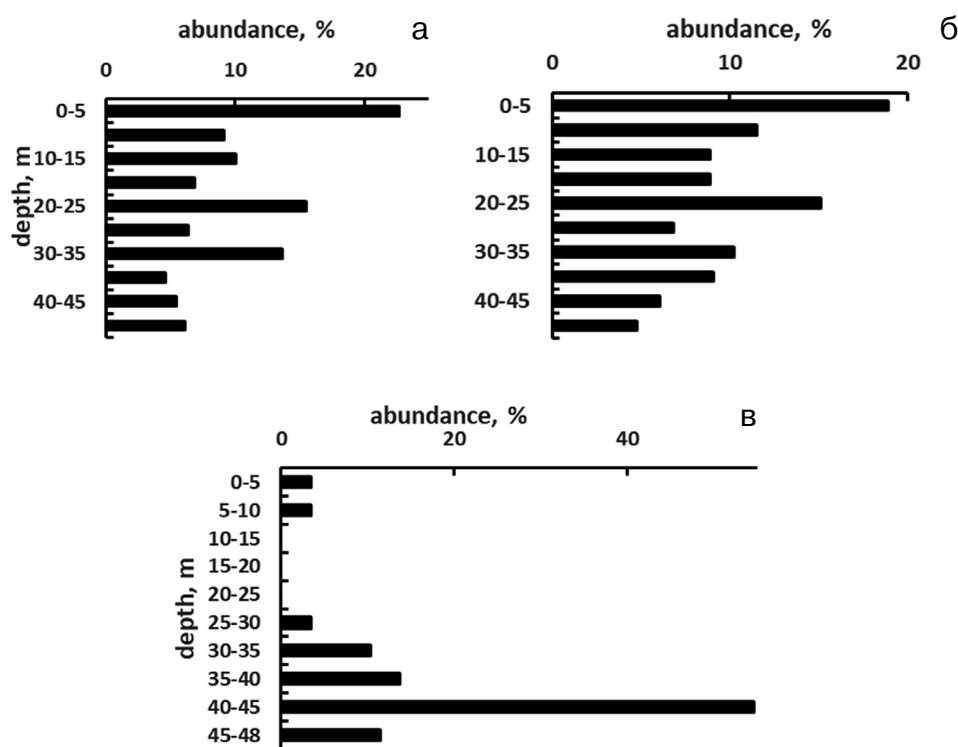


Рис. 11. Вертикальное распределение различных стадий развития лимнокалянуса в марте:

а – науплиусы, б – копепоидиты, в – взрослые животные

Fig. 11. Vertical distribution of different stages of *Limnocalanus* development in March:

a – nauplii, б – copepodites, в – adult animals

зоопланктона более характерен для эвтрофных озер Беларуси [Вежновец, Журавлев, 2022], но по всем характеристикам озеро Долгое остается олигомезотрофным. Таким образом, пока это следует считать отличительной особенностью озера.

Во время весенней гомотермии, при постоянстве основных параметров среды в толще воды, характер распределения зоопланктона в оз. Долгое совпадал с литературными данными [Вецлер, 2008; Сярки, Фомина, 2020]. Максимальная численность в столбе воды концентрировалась в верхних горизонтах, хотя и в меньшем количестве, чем летом (до 25 %). Фитопланктон не имел еще достаточного количественного развития; так, согласно предварительным данным, средняя численность фитопланктона составила 2,5 млн кл./л, а распределение по глубинам, в отличие от зоопланктона, было более равномерным и менялось в пределах 2,1–3,0 млн кл./л. В видовом отношении фитопланктон в это время года был представлен малопригодными для питания зоопланктона формами (доминировала *Cyclotella* sp.).

Также в вертикальном распределении важную роль играет световой режим [Ringelberg 1999; Williamson et al., 2020]. Концентрация зоопланктона в верхних слоях воды позволяет предположить, что в разных температурных условиях большинство животных стремятся занять наиболее освещенные зоны (положительный фототаксис). Распределение холодноводных видов во время весеннего перемешивания остается сходным с летним, но по разным причинам. Известно, что коловратка *K. longispina* может иметь максимум в металимнионе и гиполимнионе. Уход этого вида на большую глубину провоцируется одновременным воздействием солнечного света и беспозвоночных хищников, при этом популяция может «запираться» в узком диапазоне глубин [Boeing et al., 2004]. Распределение лимнокалянуса служит примером избегания хищников размещением на больших глубинах крупных и более подверженных выеданию рыбами взрослых особей и меньшей глубине расположения младших стадий развития [Сушня и др., 1986].

Заключение

Сравнение зоопланктонного сообщества озера Долгое в периоды летней стратификации и весенней гомотермии показало, что при сходном общем числе видов таксономическая структура, количественное развитие и вертикальное распределение претерпевают принципиальные изменения. Летом доминируют теплолюбивые ракообразные, тогда как весной основу численности формируют холодно-водные коловратки и реликтовый *Limnocalanus macrurus*. Общая численность и биомасса зоопланктона весной оказываются намного ниже летних значений, что связано с ограничением кормовой базы и жизненным циклом вида. Несмотря на полное перемешивание водной массы и отсутствие температурного барьера, максимальная плотность зоопланктона сохраняется в верхних слоях воды, хотя и в меньшей степени, чем летом. Это указывает на то, что даже в условиях гомотермии распределение организмов не становится равномерным, а контролируется комплексом факторов, среди которых важную роль, вероятно, играют пищевые ресурсы и световой режим.

Полученные результаты согласуются с данными по другим димиктическим озерам. Таким образом, обнаруженные в озере Долгое закономерности отражают общие принципы организации пелагических сообществ в стратифицированных водоемах умеренной зоны в период летней стратификации и весенней гомотермии.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые для равнинного озера Беларуси детально охарактеризовано вертикальное распределение зоопланктона весной при одинаковой температуре в столбе воды. Впервые показано различие в вертикальном распределении разных возрастных стадий *Limnocalanus macrurus* в период открытой воды и при постоянстве температуры: молодые стадии концентрируются в поверхностных слоях, тогда как взрослые особи сохраняют приуроченность к придонным горизонтам. Эти данные дополняют представления об экологии этого редкого реликтового вида, находящегося на южной границе ареала и занесенного в Красную книгу Республики Беларусь.

С теоретической точки зрения работа уточняет механизмы формирования вертикальной структуры зоопланктона при гомотермии. Полученные фактические материалы по численности и вертикальному распределению отдельных видов дополняют сведения об их экологии и биологии, уточняют биотопическую

приуроченность и пространственную нишу. Практическая значимость связана с совершенствованием методов экологического мониторинга: показано, что пробы, отобранные только из поверхностных слоев или тотальным обловом, не отражают реального распределения зоопланктона в разные сезоны, поэтому при планировании мониторинговых исследований необходимо учитывать вертикальную структуру и применять послойный отбор проб. Кроме того, данные о приуроченности *Limnocalanus macrurus* к придонным слоям важны для организации охраны этого вида в гидрологическом заказнике «Долгое».

Исследования влияния весеннего термобара на структуру зоопланктона были проведены только в теплоинертной зоне озера; в дальнейшем при планировании таких работ необходимо обследовать и теплоактивную зону. Перспективы дальнейших исследований должны включать изучение вертикального распределения зоопланктона в период осенней гомотермии, синхронный анализ распределения фитопланктона и зоопланктона, сравнительный анализ с другими мезотрофными димиктическими озерами Беларуси (Волос, Ричи, Сита).

Литература

- Авинский В. А., Капустина Л. Л., Латинская Г. И., Протопопова Е. В. Планктонные сообщества Ладожского озера в термобарических условиях // Ладожское озеро: мониторинг, исследования современного состояния и проблемы управления Ладожским озером и другими крупными озерами. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2000. С. 162–168.
- Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разного трофического типа. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
- Вежновец В. В. Биология реликтового рачка *Limnocalanus grimaldii* var. *macrurus* (Sars) и его продукционно-энергетическая характеристика: Дис. ... канд. биол. наук. Минск, 1984. 206 с.
- Вежновец В. В. Современное состояние популяций реликтовой копеподы *Limnocalanus macrurus* G.O. Sars, 1863 в озерах Беларуси // Актуальные проблемы изучения ракообразных: Сб. тезисов науч.-практ. конференции (Борок, 23–25 мая 2022 г.). Севастополь: ИПТС, 2022. С. 14.
- Вежновец В. В., Журавлев М. Д. Вертикальная структура зоопланктона в стратифицированных озерах Беларуси с разной степенью трофии // Биология внутренних вод. 2022. № 6. С. 725–733. doi: 10.31857/S0320965222060195
- Вежновец В. В., Журавлев М. Д. Вертикальная структура зоопланктона в стратифицированных равнинных и горных озерах // Биология внутренних

вод. 2026. Т. 19, № 1. С. 97–108. doi: 10.7868/S3034522726010081

Вещлер Н. М. Сезонные изменения вертикального распределения зоопланктонных организмов в озере Дальнее (Камчатка) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2008. Вып. 4. С. 208–209.

Власов Б. П., Якушко О. Ф., Гигевич Г. С., Раческий А. Н., Логинова Е. В. Озера Беларуси: Справочник. Минск: БГУ, 2004. 284 с.

Добрынин А. Э. Взаимосвязь трофического фактора и вертикального распределения зоопланктона двух озер Вологодской области // Трофические связи в водных сообществах и экосистемах: Матлы междунар. конф. (Борок, 28–31 октября 2003 г.) / РАН, ИБВВ им. И. Д. Папанина, Зоол. ин-т, Всерос. гидробиол. о-во. Борок, 2003. С. 32.

Журавлев М. Д. Зоопланктон озера Долгое (Беларусь) и его вертикальное распределение // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси. 2023. № 39. С. 357–368.

Журавлев М. Д., Вежновец В. В. Вертикальная структура летнего пелагического зоопланктона озера Долгое // Актуальные проблемы экологии: Сб. науч. ст. / М-во образования Респ. Беларусь, Гродн. гос. ун-т им. Янки Купалы, Гродн. обл. ком. природных ресурсов и охраны окружающей среды; редкол.: О. В. Янчуревич (гл. ред.), И. Б. Заводник, Е. И. Гляковская. Гродно: ГрГУ, 2025. С. 119–120.

Карпещук Е. В. Суточная динамика вертикального распределения зоопланктона в гипертрофном озере в период летней термической стратификации // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2018. № 8. С. 24–34.

Кипрушина К. Н. Сезонная динамика вертикального распределения зоопланктона открытой части Южного Байкала (район Больших Котов) // Известия Иркутского гос. университета. Сер. Биология. Экология. 2009. Т. 2, № 1. С. 39–44.

Красная книга Республики Беларусь. Животные: редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды диких животных / Редкол.: С. М. Масляк (предс.) [и др.]; редсовет: А. Н. Карлюкевич (гл. ред.) [и др.]. 5-е изд. Минск, 2025. С. 401–403.

Крючкова Н. М. Структура сообществ зоопланктона в водоемах разного типа // Труды ЗИН АН СССР. 1987. Т. 165. С. 184–198.

Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР. Л.: Наука, 1970. 744 с.

Монченко В. И. Челюстноротые циклопообразные. Циклопы (Cyclopidae) // Фауна Украины. Киев: Наукова думка, 1974. Т. 27, вып. 3. 452 с. (На укр.)

Неверова-Дзиопак Е., Цветкова Л. И. Оценка трофического состояния поверхностных вод. СПб.: СПбГАСУ, 2020. 176 с.

Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / Под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолыхина. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 474 с.

Паспортизация озер Белоруссии: отчет о НИР (ч. 1) / БГУ; рук. О. Ф. Якушко. Минск, 1977. 138 с. ХД-ЛОЗ-671717.

Речкалов В. В., Голубок О. В. Соотношение численности зоопланктеров основных таксономических групп в водной толще термически стратифицированных озер различной трофности // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. № 10. С. 79–84.

Салазкин А. А., Иванова М. Б., Лаврентьева В. А. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Под ред. Г. Г. Винберга. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 34 с.

Суховило Н. Ю., Цыденов Б. О., Власова Д. Б., Князев И. С., Трунов Н. С. Вертикальное и горизонтальное распределение температур воды в период весеннего термобара в озере Долгое (Беларусь) по данным измерений и математического моделирования // Вестник ВГУ. Сер. География. Геоэкология. 2025. № 3. С. 111–120. doi: 10.17308/geo/1609-0683/2025/3/111-120

Суцень Л. М., Семенченко В. П., Вежновец В. В. Биология и продукция ледниковых реликтовых ракообразных. М.: Наука и техника, 1986. 160 с.

Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю. Современное состояние зоопланктона озера Мунозеро (Республика Карелия) // Трансформация экосистем. 2020. № 3(1). С. 71–78. doi: 10.23859/estr-190419

Фомина Ю. Ю., Сярки М. Т. Зоопланктон Онежского озера, биоразнообразие и продуктивность // Биоразнообразие наземных и водных животных. Зооресурсы: III Всерос. науч. Интернет-конференция с междунар. участием (Казань, 24 февраля 2015 г.). Казань, 2015. 81 с.

Фомина Ю. Ю., Сярки М. Т. Жизненный цикл рачка *Limnocalanus macrurus* Sars 1863 (Copepoda, Calaniformes, Centropagidae) в Онежском озере // Зоологический журнал. 2022. Т. 101, № 1. С. 3–13. doi: 10.31857/S0044513421110064

Boeing W., Leech D., Williamson C., Cooke S., Torres L. Damaging UV radiation and invertebrate predation: conflicting selective pressures for zooplankton vertical distribution in the water column of low DOC lakes // Oecologia. 2004. Vol. 138. P. 603–612. doi: 10.1007/s00442-003-1468-0

Chalkia E., Zacharias I., Thomatou A., Kehayias G. Zooplankton dynamics in a gypsum karst lake and interrelation with the abiotic environment // Biologia. 2012. Vol. 67, no. 1. P. 151–163. doi: 10.2478/s11756-011-0147-6

Declerck S. A. J., de Senerpont Domis L. N. Contribution of freshwater metazooplankton to aquatic ecosystem services: an overview // Hydrobiologia. 2023. Vol. 850. P. 2795–2810. doi: 10.1007/s10750-022-05001-9

Dimante-Deimantovica I., Skute A., Skute R. Vertical variability of pelagic zooplankton fauna in deep Latvian lakes, with some notes on changes in ecological conditions // Estonian J. Ecol. 2012. Vol. 61, no. 4. P. 247–264. doi: 10.3176/eco.2012.4.02

Doulka E., Kehayias G. Seasonal vertical distribution and diel migration of zooplankton in a temperate stratified lake // Biologia. 2011. Vol. 66, no. 2. P. 308–319. doi: 10.2478/s11756-011-0023-4

Karpowicz M., Kuczynska-Kippen N., Ślugoński Ł., Czerniawski R., Bogacka-Kapusta E., Ejsmont-Karabin J. Zooplankton as indicators of lake trophic status: novel universal metrics from 224 temperate lakes // *Ecol. Indic.* 2025. Vol. 179. P. 1–11. doi: 10.1016/j.ecolind.2025.114236

Likhoshway Ye. V., Kuzmina A. Ye., Potyemkina T. G., Potyemkin V. I., Shimaraev M. N. Distribution of diatoms near a thermal bar in Lake Baikal // *J. Great Lakes Res.* 1995. Vol. 22. P. 5–14.

Melnik N. G., Bondarenko N. A., Belykh O. I., Bli-nov V. V., Ivanov V. G., Korovyakova I. V., Kostornova T. Ya., Lazarev M. I., Logacheva N. F., Pomazkova G. I., Sherstyankin P. P., Sorokovikova L. M., Tolstikova L. I., Tereza E. P. Distribution of pelagic invertebrates near a thermal bar in Lake Baikal // *Hydrobiologia*. 2006. Vol. 568(S). P. 69–76. doi: 10.1007/s10750-006-0331-9

Ringelberg J. The photobehaviour of *Daphnia* spp. as a model to explain diel vertical migration in zooplankton // *Biol. Rev.* 1999. Vol. 74. P. 397–423. doi: 10.1111/j.1469-185X.1999.tb00036.x

Stamou G., Mazaris A. D., Moustaka-Gouni M., Spoljar M., Ternjej I., Drážina T., Dorak Z., Michaloudi E. Introducing a zooplanktonic index for assessing water quality of natural lakes in the Mediterranean region // *Ecol. Inform.* 2022. Vol. 69. Art. 101616. doi: 10.1016/j.ecoinf.2022.101616.

Williamson C. E., Overholt E. P., Pilla R. M., Wilkins K. W. Habitat-mediated responses of zooplankton to decreasing light in two temperate lakes undergoing long-term browning // *Front. Environ. Sci.* 2020. Vol. 8. Art. 73. doi: 10.3389/fenvs.2020.00073

Zadereev Y. S., Tolomeyev A. P. The vertical distribution of zooplankton in brackish meromictic lake with deep-water chlorophyll maximum // *Hydrobiologia*. 2007. Vol. 576. P. 69–82. doi: 10.1007/s10750-006-0294-x

References

Alekseev V. R., Tsalolikhin S. Ya. (eds.). A guide to zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia. Vol. 1. Zooplankton. Moscow: KMK; 2010. 474 p. (In Russ.)

Andronikova I. N. Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types. St. Petersburg: Nauka; 1996. 189 p. (In Russ.)

Avinskii V. A., Kapustina L. L., Latinskaya G. I., Protopopova E. V. Plankton communities of Lake Ladoga under thermobaric conditions. *Ladozhskoe ozero: monitoring, issledovaniya sovremennogo sostoyaniya i problemy upravleniya Ladozhskim ozerom i drugimi krupnymi ozerami = Lake Ladoga: monitoring, research into the current state, and management issues of Lake Ladoga and other large lakes*. Petrozavodsk: KarRC RAS; 2000. P. 162–168. (In Russ.)

Boeing W., Leech D., Williamson C., Cooke S., Torres L. Damaging UV radiation and invertebrate predation: conflicting selective pressures for zooplankton vertical distribution in the water column of low DOC

lakes. *Oecologia*. 2004;138:603–612. doi: 10.1007/s00442-003-1468-0

Certification of lakes in Belarus: research report (part 1). BGU; Supervised by O. F. Yakushko. Minsk; 1977. 138 p. KhD-LOZ-671717. (In Russ.)

Chalkia E., Zacharias I., Thomatou A., Kehayias G. Zooplankton dynamics in a gypsum karst lake and interrelation with the abiotic environment. *Biologia*. 2012;67(1):151–163. doi: 10.2478/s11756-011-0147-6

Declerck S. A. J., de Senerpont Domis L. N. Contribution of freshwater metazooplankton to aquatic ecosystem services: an overview. *Hydrobiologia*. 2023;850:2795–2810. doi: 10.1007/s10750-022-05001-9

Dimante-Deimantovica I., Skute A., Skute R. Vertical variability of pelagic zooplankton fauna in deep Latvian lakes, with some notes on changes in ecological conditions. *Estonian J. Ecol.* 2012;61(4):247–264. doi: 10.3176/eco.2012.4.02

Dobrynin A. E. Relationship between the trophic factor and vertical distribution of zooplankton in two lakes in the Vologda Region. *Troficheskie svyazi v vodnykh soobshchestvakh i ehkosisistemakh: Mat-ly mezhdunar. konf. (Borok, 28–31 okt. 2003 g.) = Trophic relationships in aquatic communities and ecosystems: Proceed. int. conf. (Borok, Oct. 28–31, 2003)*. Borok; 2003. P. 32. (In Russ.)

Doulka E., Kehayias G. Seasonal vertical distribution and diel migration of zooplankton in a temperate stratified lake. *Biologia*. 2011;66(2):308–319. doi: 10.2478/s11756-011-0023-4

Fomina Yu. Yu., Syarki M. T. Life cycle of the crustacean *Limnocalanus macrurus* Sars 1863 (Copepoda, Calaniformes, Centropagidae) in Lake Onega. *Zoologicheskii zhurnal = Zoological Journal*. 2022;101(1): 3–13. (In Russ.). doi: 10.31857/S0044513421110064

Fomina Yu. Yu., Syarki M. T. Zooplankton of Lake Onega, biodiversity and productivity. *Bioraznoobrazie nazemnykh i vodnykh zhivotnykh. Zootsursy: III Vseros. nauch. Internet-konf. s mezhdunar. uchastiem (Kazan', 24 fev. 2015 g.) = Biodiversity of terrestrial and aquatic animals. Zootsources: III All-Russ. scientific Internet conf. with int. part. (Kazan, Feb. 24, 2015)*. Kazan'; 2015. 81 p. (In Russ.)

Karpeshchuk E. V. Diurnal dynamics of the vertical distribution of zooplankton in a hypertrophic lake during summer thermal stratification. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki = Modern Science: Current Problems of Theory and Practice*. 2018;8: 24–34. (In Russ.)

Karpowicz M., Kuczynska-Kippen N., Ślugoński Ł., Czerniawski R., Bogacka-Kapusta E., Ejsmont-Karabin J. Zooplankton as indicators of lake trophic status: novel universal metrics from 224 temperate lakes. *Ecol. Indic.* 2025;179:1–11. doi: 10.1016/j.ecolind.2025.114236

Kiprushina K. N. Seasonal dynamics of vertical distribution of zooplankton in the open part of Southern Baikal (Bolshie Koty area). *Izvestiya Irkutskogo gos. universiteta. Ser. Biologiya. Ehkologiya = Bulletin of Irkutsk State University. Ser. Biology. Ecology*. 2009;2:39–44. (In Russ.)

- Kryuchkova N. M. Structure of zooplankton communities in different types of reservoirs. *Trudy ZIN AN SSSR = Proceedings of the Zoological Institute, Academy of Sciences of the USSR*. 1987;165:184–198. (In Russ.)
- Kutikova L. A. Rotifers of the fauna of the USSR. Leningrad: Nauka; 1970. 744 p. (In Russ.)
- Likhoshway Ye. V., Kuzmina A. Ye., Potyemkina T. G., Potyemkin V. I., Shimaraev M. N. Distribution of diatoms near a thermal bar in Lake Baikal. *J. Great Lakes Res.* 1995;22:5–14.
- Maslyak C. M. et al. (eds.). The Red Data Book of the Republic of Belarus. Animals: rare and endangered species of wild animals. 5th ed. Minsk; 2025. P. 401–403. (In Russ.)
- Melnik N. G., Bondarenko N. A., Belykh O. I., Bli-nov V. V., Ivanov V. G., Korovyakova I. V., Kostorno-va T. Ya., Lazarev M. I., Logacheva N. F., Pomazko-va G. I., Sherstyankin P. P., Sorokovikova L. M., Tolsti-kova L. I., Tereza E. P. Distribution of pelagic invertebrates near a thermal bar in Lake Baikal. *Hydrobiologia*. 2006;568(S):69–76. doi: 10.1007/s10750-006-0331-9
- Monchenko V. I. Cyclopiform Gnathostomata. Cyclopes (Cyclopidae). *Fauna Ukrainy = Fauna of Ukraine*. Kyiv: Naukova dumka; 1974. Vol. 27, iss. 3. 452 p. (In Ukrain.)
- Neverova-Dziopak E., Tsvetkova L. I. Assessment of the trophic state of surface waters. St. Petersburg: SPbGASU; 2020. 176 p. (In Russ.)
- Rechkalov V. V., Golubok O. V. The ratio of the abundance of zooplankters of the main taxonomic groups in the water column of thermally stratified lakes of varying trophicity. *Vestnik Orenburgskogo gos. universiteta = Bulletin of Orenburg State University*. 2013;10:79–84. (In Russ.)
- Salazkin A. A., Ivanova M. B., Lavrent'eva V. A. Methodological recommendations for collecting and processing materials in hydrobiological studies on freshwater reservoirs. Zooplankton and its products. Leningrad: GosNIORKh; 1984. 34 p. (In Russ.)
- Sukhovilo N. Yu., Tsydenov B. O., Vlasova D. B., Knyazev I. S., Trunov N. S. Vertical and horizontal distribution of water temperatures during the spring thermal bar in Lake Dolgoe (Belarus) based on measurements and mathematical modeling. *Vestnik VGU. Ser. Geografiya. Geoekologiya = VSU Bulletin. Ser. Geography. Geoecology*. 2025;3:111–120. (In Russ.). doi: 10.17308/geo/1609-0683/2025/3/111-120
- Sushchenya L. M., Semenchenko V. P., Vezhnovets V. V. Biology and production of glacial relict crustaceans. Moscow: Nauka i tekhnika; 1986. 160 p. (In Russ.)
- Syarki M. T., Fomina Yu. Yu. Current state of zooplankton of Lake Munozero (Republic of Karelia). *Transformatsiya ehkositsem = Ecosystem Transformation*. 2020;3(1):71–78. (In Russ.). doi: 10.23859/estr-190419
- Ringelberg J. The photobehavior of *Daphnia* spp. as a model to explain diel vertical migration in zooplankton. *Biol. Rev.* 1999;74:397–423. doi: 10.1111/j.1469-185X.1999.tb00036.x
- Stamou G., Mazaris A. D., Moustaka-Gouni M., Spoljar M., Ternjejl., Držina T., Dorak Z., Michaloudi E. Introducing a zooplanktonic index for assessing water quality of natural lakes in the Mediterranean region. *Ecol. Inform.* 2022;69:101616. doi: 10.1016/j.ecoinf.2022.101616
- Vetsler N. M. Seasonal changes in the vertical distribution of zooplankton organisms in Lake Dalneye (Kamchatka). *Chteniya pamyati Vladimira Yakovlevicha Levanidova = Readings in memory of Vladimir Yakovlevich Levanidov*. 2008;4:208–209. (In Russ.)
- Vezhnavets V. V. Biology of the relict crustacean *Limnocalanus grimaldii* var. *macrurus* (Sars) and its production-energy characteristics: PhD (CanD. of Biol.) thesis. Minsk; 1984. 206 p. (In Russ.)
- Vezhnovets V. V. Current state of populations of the relic copepod *Limnocalanus macrurus* G.O. Sars, 1863 in lakes of Belarus. *Aktual'nye problemy izucheniya rakoobraznykh: Sb. tezisev nauch.-prakt. konf. (Borok, 23–25 maya 2022 g.) = Current problems of crustacean study: Proceed. of the scientific and practical conf. (Borok, May 23–25, 2022)*. Sevastopol: IPTS; 2022. P. 14. (In Russ.)
- Vezhnovets V. V., Zhuravlev M. D. Vertical structure of zooplankton in stratified lakes of Belarus with different trophic degrees. *Biologiya vnutrennikh vod = Inland Water Biology*. 2022;6:725–733. (In Russ.). doi: 10.31857/S0320965222060195
- Vezhnovets V. V., Zhuravlev M. D. Vertical structure of zooplankton in stratified lowland and mountain lakes. *Biologiya vnutrennikh vod = Inland Water Biology*. 2026;19:97–108. (In Russ.). doi: 10.7868/S3034522726010081
- Vlasov B. P., Yakushko O. F., Gigevich G. S., Rachesky A. N., Loginova E. V. Lakes of Belarus: a handbook. Minsk: BGU; 2004. 284 p. (In Russ.)
- Williamson C. E., Overholt E. P., Pilla R. M., Wilkins K. W. Habitat-mediated responses of zooplankton to decreasing light in two temperate lakes undergoing long-term browning. *Front. Environ. Sci.* 2020;8:73. doi: 10.3389/fenvs.2020.00073
- Zadereev Y. S., Tolomeyev A. P. The vertical distribution of zooplankton in brackish meromictic lake with deep-water chlorophyll maximum. *Hydrobiologia*. 2007;576:69–82. doi: 10.1007/s10750-006-0294-x
- Zhuravlev M. D., Vezhnovets V. V. Vertical structure of summer pelagic zooplankton of Lake Dolgoe. *Aktual'nye problemy ehkologii: Sb. nauch. st. = Current problems of ecology: Proceed.* Grodno: GrGU; 2025. P. 119–120. (In Russ.)
- Zhuravlev M. D. Zooplankton of Lake Dolgoe (Belarus) and its vertical distribution. *Voprosy rybnogo khozyaistva Belarusi = Belarus Fish Industry Problems*. 2023;39:357–368. (In Russ.)

Поступила в редакцию / received: 01.12.2025; принята к публикации / accepted: 12.07.2026.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Вежновец Василий Васильевич

канд. биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник
лаборатории гидробиологии

e-mail: vezhn47@mail.ru

Журавлев Михаил Дмитриевич

младший научный сотрудник лаборатории
гидробиологии

e-mail: mishatelefon13@gmail.com

Власова Дарья Борисовна

младший научный сотрудник научно-
исследовательской лаборатории озероведения

e-mail: darriavlasova@gmail.com

Суховило Нина Юрьевна

канд. геогр. наук, заведующая научно-
исследовательской лабораторией озероведения

e-mail: SukhoviloNY@bsu.by

Цыденов Баир Олегович

канд. физ.-мат. наук, заведующий научно-
исследовательской лабораторией вычислительной
геофизики

e-mail: tsydenov@math.tsu.ru

CONTRIBUTORS:

Vezhnavevets, Vasili

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor,
Leading Researcher

Zhuravliou, Mikhail

Junior Researcher

Vlasova, Dar'ya

Junior Researcher

Sukhovilo, Nina

Cand. Sci. (Geog.), Head of Laboratory

Tsydenov, Bair

Cand. Sci. (Phys.-Math.), Head of Laboratory