

Раздел 3
Section 3

ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА
ECOLOGY. FLORA. FAUNA

УДК 574.583

**ХАРАКТЕРИСТИКА ЗООПЛАНКТОНА НА ТРЕХ УЧАСТКАХ
ПЕЛАГИАЛИ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА В 2016–2021 ГГ.**

О.С. Бурмистрова

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Россия, Барнаул, E-mail: BurmOlga@yandex.ru

В работе приведены сведения о видовом составе, численности и биомассе, а также значения некоторых биоиндикационных индексов для зоопланктона пелагиали глубокого, олиготрофного, горного озера Телецкое за 2016–2021 гг. Пелагический зоопланктон Телецкого озера качественно беден (35 видов и подвигов); высокого уровня развития достигали 12 видов и подвигов зоопланктона. Статистически значимой разницы между числом видов, числом видов в пробе и уровнем количественного развития зоопланктона между исследованными участками не обнаружено. Сезонная динамика количества зоопланктона характеризуется низкими значениями в мае-июне и повышенным развитием в июле-сентябре с пиком численности обычно в августе. По сравнению с исследованиями 1989–1993 гг. и 2002–2005 гг. изменений в качественном и количественном развитии зоопланктона пелагиали не отмечены.

Ключевые слова: зоопланктон; сезонная и межгодовая динамика; горное олиготрофное озеро.

DOI: 10.24412/2410-1192-2023-16903

Дата поступления: 3.04.2023. Принята к печати: 20.04.2023

В горных озерах отчетливо видны последствия местных и региональных экологических изменений [Battarbee et al., 2009]. Из-за экстремальных условий окружающей среды (например, низкая температура и низкий уровень питательных веществ) эти экосистемы быстрее и чувствительнее реагируют на изменения окружающей среды [Tolotti et al., 2006]. Такая чувствительность горных холодноводных озер к различным внешним воздействиям подчеркивалась многими исследователями [Cammарano, Manca, 1997; Holzapfel, Vinebrooke, 2015; Sienkiewicz, Gąsiorowski, 2016; Redmond et al., 2018; Krupa

et al., 2019; Machate et al., 2023]. Наиболее чувствительными индикаторами изменения окружающей среды считаются беспозвоночные животные [Machate et al., 2023]. В связи с этим необходимо проводить регулярные исследования состава и структуры сообществ таких озер, в том числе зоопланктона.

Озеро Телецкое (Алтын-коль), наибольший по объему (41.06 км³) и самый глубокий (средняя глубина 181 м, максимальная 323 м) пресноводный водоем юга Западной Сибири, расположен в северо-восточной части Алтайских гор на высоте 434 м над уровнем моря. Озеро имеет вытянутую

(длина 78.6 км), руслообразную форму (средняя ширина 2.89 км) и состоит как бы из двух частей – южной, меридиональной (47.6 км) и северной, широтной (31.0 км). По строению дна и распределению глубин выделяют два плеса – основной (с глубинами 100–323 м) и мелководный северо-западный от м. Караташ до истока р. Бии (с глубинами 10–40 м) [Селегей, 2011].

Первые сведения о зоопланктоне Телецкого озера приводит Г.О. Сарс [Sars, 1903] на основании 34 проб, отобранных в 1901 г. Сведения о зоопланктоне озера за 1925 год (две пробы) приведены в работе Е.С. Неизвестной-Жадиной [1929]. Следующие исследования проводили: в 1928–1931 гг. В.М. Рылов [1949], в 1936 г. сотрудники Томского государственного университета [Гундризер и др., 1981]. Наиболее регулярные исследования зоопланктона (исследованы вертикальное и горизонтальное распределение) проводили в 1989–1992 и 2001–2005 годах [Зуйкова, 1998; Бурмистрова, 2009; Зуйкова и др., 2009].

Цель данной работы – оценить современные особенности сезонной динамики зоопланктона на трех участках пелагиали Телецкого озера.

Материалы и методы

Так как в период летней стратификации водоема основная часть популяций массовых видов зоопланктона Телецкого озера концентрируется в слое эпилимниона с максимумом в горизонте 0–5 м [Зуйкова, 1998], сбор зоопланктона проводили в поверхностном слое пелагиали Телецкого озера процеживанием 100 л воды через сеть Апштейна или 0–10 м малой сетью

Джеди (размер ячеи 62×62 мкм). Пробы фиксировали четырехпроцентным формалином. Для данной работы определены и проанализированы пробы на трех пунктах пелагиали озера (самый юг меридиональной части – напротив впадения р. Чулышман, стык меридиональной и широтной – напротив п. Яйлю и в широтной части – у п. Артыбаш) в течение вегетационного сезона (3–4 раза) в 2016–2021 гг. (всего для анализа использовалось 59 проб).

Для идентификации таксономического состава трех групп зоопланктона и подсчета численности, пробы анализировали в камере Богорова с помощью МБС-10 (учет численности Cladocera, Copepoda и крупных Rotifera), а затем с помощью микроскопа Nikon Eclipse 80i (таксономическое определение, учет численности мелких форм Rotifera). Определение зоопланктона проводили в основном по «Определителю зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России» [2010]. Численность популяций Copepoda рассчитывали с учетом науплиусов и копеподитов. Биомассу особей зоопланктона рассчитывали по формулам связи массы с длиной тела [Балушкина, Винберг, 1979]. При расчете индексов, значения численности и биомассы ювенильных стадий Copepoda и подвидов Rotifera учитывали как отдельный вид.

Статистическая обработка данных проводилась при помощи программного обеспечения Past version 4.0. Для сравнения видового состава зоопланктона по месяцам и участкам пелагиали озера был использован метод невзвешенного попарного среднего – (UPGMA), в качестве мер сходства сообществ использовали тра-

диционно применяемый в экологии количественный индекс Брэя-Кёртиса. Так как распределение в выборках не всегда соответствовало закону нормального распределения или средняя арифметическая величина была нетипичной, средние значения групп представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (25-й и 75-й процентиля), а для анализа данных использовали непараметрические методы. Статистическую значимость межгрупповых различий оценивали с помощью рангового анализа вариаций по критерию Краскала-Уоллиса, с последующим попарным сравнением с помощью критерия Данна. Статистически значимыми считались различия между выборками при $p < 0.05$.

Результаты

Видовой состав зоопланктона. Пелагический зоопланктон Телецкого озера качественно беден. В течение шести лет исследования обнаружено 33 вида (35 с подвидами) зоопланктона. По числу видов преобладали Rotifera – 19 (21), обнаружено 8 видов Cladocera и 6 Copepoda. В пелагиали южной части озера (напротив впадения р. Чулышман) в 2016–2021 гг. обнаружено 25 видов и подвинов зоопланктона. Число видов зоопланктона, обнаруживаемых в течение года, в среднем (медиана) составляло 13 видов и подвинов (25% и 75% процентиля: 12.0; 15.2), наибольшее число видов (19) по сравнению с другими годами исследования выявлено в 2016 г. (рис. 1А).

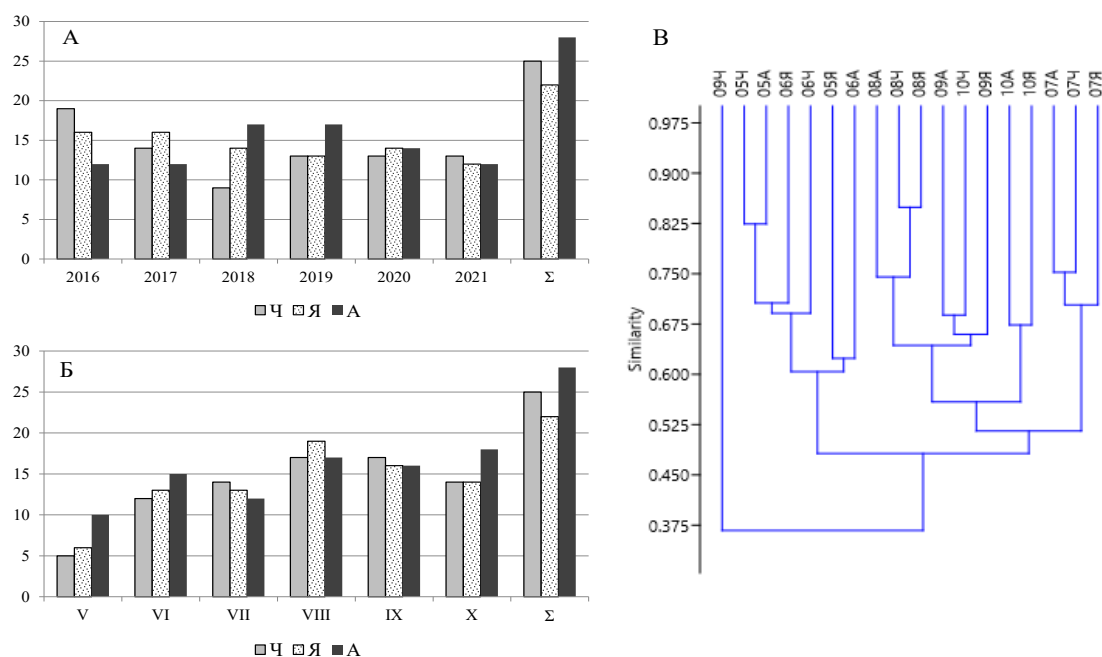


Рис. 1. Межгодовая (А) и сезонная (Б) динамика суммарного числа видов и форм зоопланктона, и дендрограмма иерархической кластеризации (на основе индекса Брея-Кертиса) (В) на разных участках пелагиали Телецкого озера в 2016–2021 гг.

Примечание: римскими цифрами обозначен порядковый номер месяца в году, буквами – пункты исследования (Ч – напротив впадения р. Чулышман, Я – напротив п. Яйлу, А – у п. Артыбаш)

Fig. 1. Interannual (A) and seasonal (B) dynamics (2016–2021) of the total number of zooplankton species and forms; hierarchical cluster dendrogram (based on the Bray-Curtis index) (B) in different pelagial parts of Teletskoye Lake

Note: Roman figures indicate the serial number of a month, letters – study sites (Ч – opposite the Chulyshman River confluence, Я – opposite the Yailyu village, А – near the Artybash village)

В пелагиали озера на стыке широтной и меридиональной частей озера (напротив п. Яйлю) в 2016–2021 гг. найдено 22 вида и подвида. В течение года здесь регистрировали в среднем 14 видов зоопланктона (12.8; 16.0). В широтной части (у п. Артыбаш) отмечено 28 видов и подвигов зоопланктона, в среднем в течение года обнаруживали 13 видов (12.0; 17.0), а также отмечена тенденция к увеличению числа видов зоопланктона в мае – июне и октябре (низкая температура воды) по сравнению с другими участками (рис. 1Б).

В поверхностном слое пелагиали высокого уровня развития (выше 10% относительной численности в пробе) достигали 12 видов и подвигов зоопланктона. Практически во всех пробах доминировали коловратки *Conochilus unicornis* Rousselet, *Keratella cochlearis cochlearis* (Gosse) и *K. c. macracantha* (Lauterborn). Присутствовали в большом количестве и периодически входили в состав доминантов – *Asplanchna priodonta* Gosse, *Kellicottia longispina longispina* Kellicott, *Synchaeta stylata* (Wierzejski), *Polyarthra dolychoptera* Idelson и *Polyarthra luminosa* Kuticova. Ранние стадии развития представителей Copepoda (науплиусы и копеподиты) – *Arctodiaptomus bacilifer* (Koelbel), *Cyclops abyssorum* Sars и *C. strenuus* Fischer, доминировали вместе с коловратками. Массовым видом Cladocera была *Bosmina (Eubosmina) coregoni longispina* Leydig. Среди редко встречающихся (не каждый год) представителей зоопланктона можно отметить крупного рачка *Holopedium gibberum* Zaddach (в основном на юге озера). Разница в видовом составе зоопланктона пелагиали (с учетом относительной

численности вида в пробе) была заметна в разные месяцы и практически отсутствовала на разных участках (рис. 1В). Выделение в отдельную группу сборов зоопланктона напротив впадения р. Чулышман в сентябре 2016 г. связано в основном с большим видовым богатством Cladocera и доминированием *Bosmina (E.) coregoni cf. longispina* (58.7% относительной численности).

Статистически значимой разницы между числом видов зоопланктона в пробе в пелагиали Телецкого озера в разные годы не обнаружено (по критерию Краскела-Уоллиса, табл.), в сезонной динамике отличался май с низким видовым богатством и сентябрь, когда обычно наблюдали большое число видов зоопланктона в пробе (рис. 2).

Количественное развитие. В межгодовом аспекте в 2016–2021 гг. средние значения всех показателей зоопланктона пелагиали Телецкого озера, а также температуры и прозрачности воды, были сходны. Максимальные значения численности (140.3 тыс. экз./м³) зоопланктона отмечены на стыке широтной и меридиональной частей озера в первой декаде августа 2021 г., биомассы – на юге озера (427.01 мг/м³) в начале июля 2019 г.

В пелагиали южной части озера в мае численность зоопланктона низка, в июне большую роль играли Copepoda, в остальное время по численности преобладали Rotifera (рис. 3). Отмечали сентябрьский пик численности Cladocera, которых в остальное время было мало. На стыке широтной и меридиональной частей озера (напротив п. Яйлю), основная доля в численности также принадлежала Rotifera, только в июле значительную роль играли Copepoda.

Таблица

Оценка различий между выборками с помощью критерия Краскела-Уоллиса

Table

The Kruskal-Wallis test-based estimation of differences between samples

Показатели		Межгодовые		Сезонные	
		H (chi2)	p	H (chi2)	p
Число видов в пробе	S_i	6.37	0.26	22.10	0.0004
	S_{Rot}	5.40	0.35	20.71	0.0007
	S_{Cl}	6.54	0.12	9.21	0.03
	S_{Cop}	1.75	0.71	9.45	0.007
Численность, тыс. экз./м ³	N	6.16	0.29	23.46	0.0003
	N_{Rot}	7.32	0.20	26.67	0.0001
	N_{Cl}	2.54	0.77	30.61	<0.0001
	N_{Cop}	9.02	0.11	12.17	0.033
Биомасса, мг/м ³	B	2.29	0.81	26.92	0.0001
	B_{Rot}	5.26	0.39	24.59	0.0002
	B_{Cl}	1.61	0.90	26.63	0.0001
	B_{Cop}	6.09	0.30	16.11	0.007
Вес, мг	w	8.89	0.11	15.97	0.007
	w_{Rot}	2.30	0.81	2.36	0.80
	w_{Cl}	5.94	0.31	13.13	0.02
	w_{Cop}	8.83	0.12	6.58	0.25
Индекс Шеннона	$H_{(N)}$	15.85	0.007	16.77	0.005
	$H_{(B)}$	6.16	0.29	16.10	0.01
Индекс Пieloу	$E_{(N)}$	13.01	0.02	4.26	0.51
	$E_{(B)}$	12.77	0.03	6.07	0.30
Индекс сапробности		12.58	0.03	28.41	<0.0001

В пелагиали северной (широтной) части озера (у п. Артыбаш) основную роль в численности играли Copepoda, массовое развитие Rotifera отмечено только в августе. У п. Артыбаш в июне численность зоопланктона была чуть выше, чем на дру-

гих участках, что возможно связано с более быстрым прогревом этой части озера из-за небольших глубин, а в июле – ниже, что может быть связано с близко расположенным берегом, где к этому времени развиваются и служат укрытием заросли макрофитов.

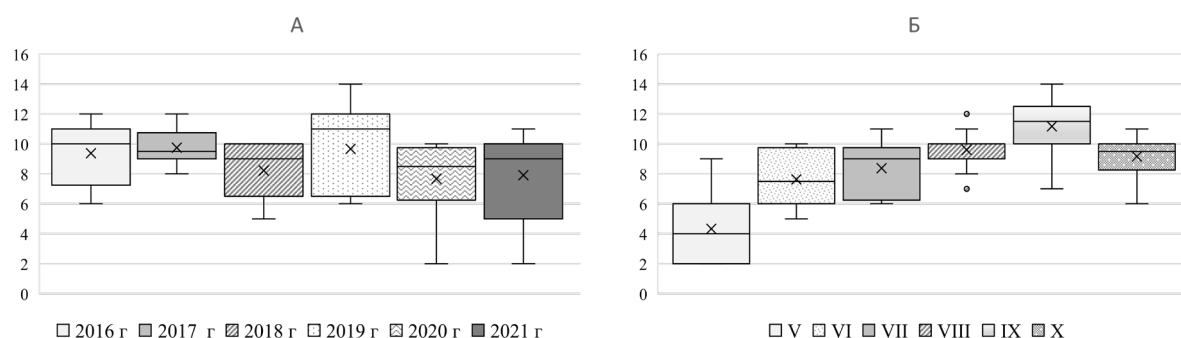


Рис. 2. Межгодовая (А) и сезонная (Б) динамика числа видов зоопланктона в пробе в пелагиали Телецкого озера

Fig. 2. Interannual (A) and seasonal (B) dynamics of species number per sample of zooplankton from the pelagial of Lake Teletskoye

Можно отметить значительное развитие зоопланктона в сентябре у п. Яйлю (основу составляют Rotifera). Общая численность зоопланктона на разных участках пелагиали озера была на одном уровне (среднее по медиане 6.9–12.2).

Несмотря на значительный разброс значений численности зоопланктона в разные годы (рис. 4А), их колебания статистически не значимы (табл.). Сезонная динамика численности зоопланктона пелагиали озера (среднее по участкам) характеризовалась низкими значениями в мае-июне и массовым развитием в июле-сентябре (рис. 4Б). Пик численности зоопланктона в пелагиали озера по среднемесячным данным регистрировали в августе в основном за счет массового развития коловраток.

В пелагиали южной части озера (напротив впадения р. Чулышман) в мае, июне и октябре отмечали малые значения биомассы всех групп зоопланктона (рис. 5). По средним значениям пик биомассы Rotifera и Cladocera приходится на сентябрь, а Copepoda – на июль. Высокие значения биомассы коловраток (393.68 мг/м³) были зарегистрированы в начале июля 2019 г из-за массового развития (86.2% от общей биомассы) крупной *Asplanchna priodonta* (средняя длина особи 400 мкм). В поверхностном слое пелагиали озера напротив п. Яйлю высокие значения (337.14 мг/м³) отмечали в конце июля 2021 г. при массовом развитии копеподитных стадий веслоногих рачков (65.5% от общей биомассы). В это время отмечена высокая температура воды (18.3°C) и не типично массовое развитие водорослей. У п. Артыбаш основу биомассы зоопланктона составляли Copepoda, коловратки и ветвистоусые рачки заметный вклад вносили только в сентябре.

Как общая биомасса зоопланктона, так и биомасса основных групп, в течение исследованных лет держалась примерно на одном уровне (рис. 6А) и ее колебания статистически не значимы (табл.). В сезонной динамике биомассы зоопланктона пелагиали озера (среднее по участкам) не отмечали пика развития, относительно высокие значения регистрировали в июле (за счет массового развития Copepoda), августе (за счет большего вклада Rotifera и Cladocera) и сентябре (когда весомый вклад вносят Cladocera) (рис. 6Б).

Величины средних индивидуальных масс особей в сообществах разных участков пелагиали озера были схожи. В мае и октябре встречали в основном мелкие представители зоопланктона (науплиусы Copepoda и мелкие Rotifera), в июне-июле отмечали самый высокий средний вес особи (что было связано с массовым развитием крупных Copepoda). В разные годы средний вес зоопланктеров в пробе не имеет значимых различий, его низкие значения (средние значения по медиане от 0.004 до 0.007 мг) могут свидетельствовать об экстремальности среды (короткое время для развития, низкие температуры воды, низкие концентрации биогенных веществ).

Индексы видового разнообразия и сапробности. В течение почти всего вегетационного сезона отмечали высокие значения индекса видового разнообразия Шеннона (рис. 7). Только в мае, когда условия обитания неблагоприятны для большинства видов (температура воды 2–5°C), значения индекса Шеннона ниже 2 бит/экз. Индекс выравненности для зоопланктона на разных участках пелагиали озера (0.60–0.68) свидетельствовали о наличии нескольких (но не многих) видов доминантов.

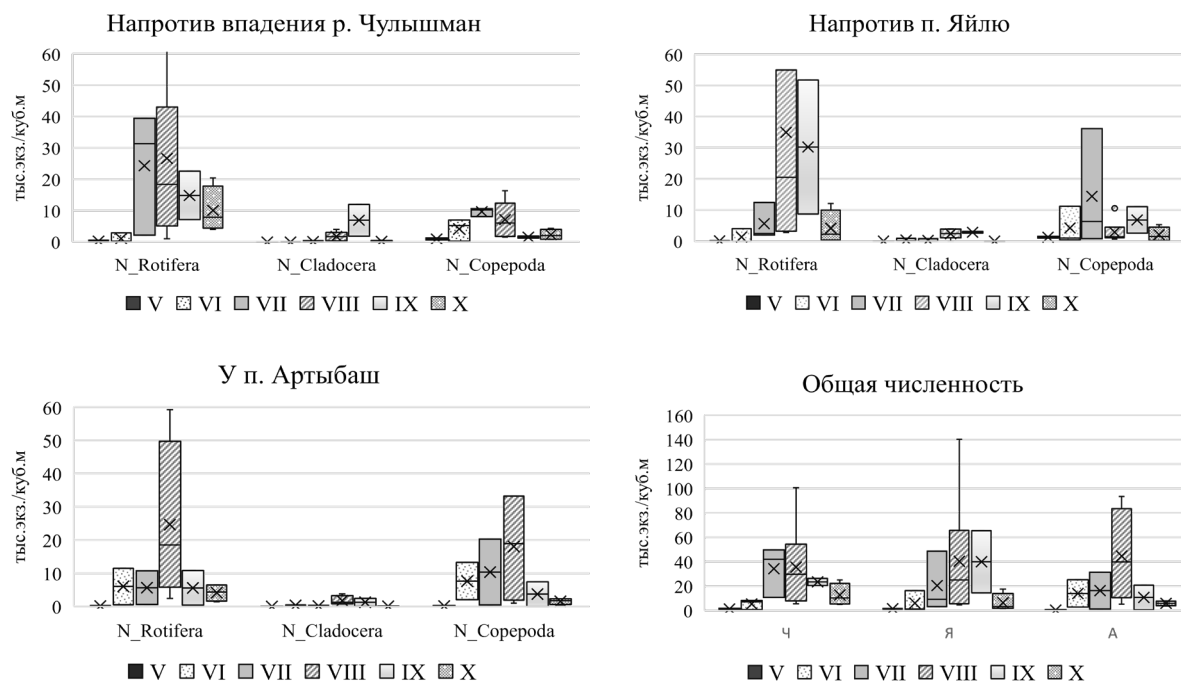


Рис. 3. Сезонная динамика численности зоопланктона на разных участках пелагиали Телецкого озера
Fig. 3. Seasonal dynamics of zooplankton abundance in different parts of the pelagial of Lake Teletskoye

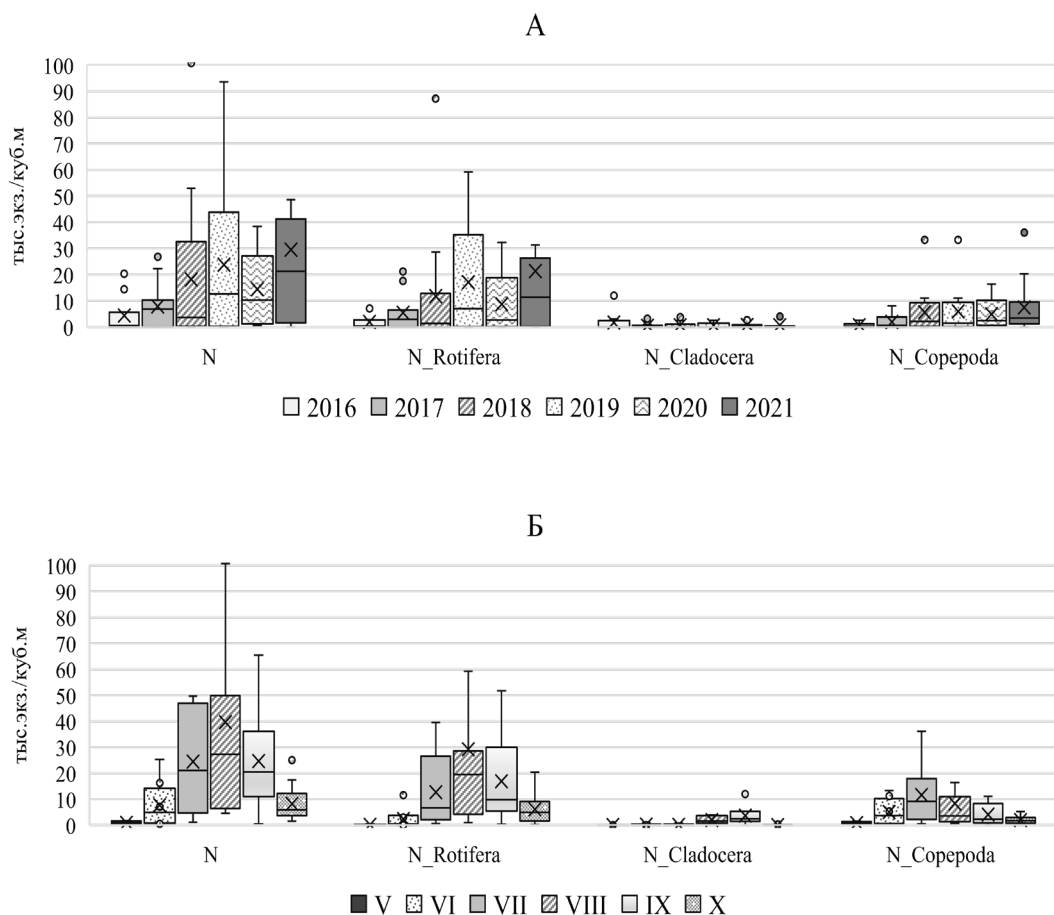


Рис. 4. Межгодовая (А) и сезонная (Б) динамика численности (N) зоопланктона (средняя по участкам)
Fig. 4. Interannual (A) and seasonal (B) dynamics of average number (N) of zooplankton

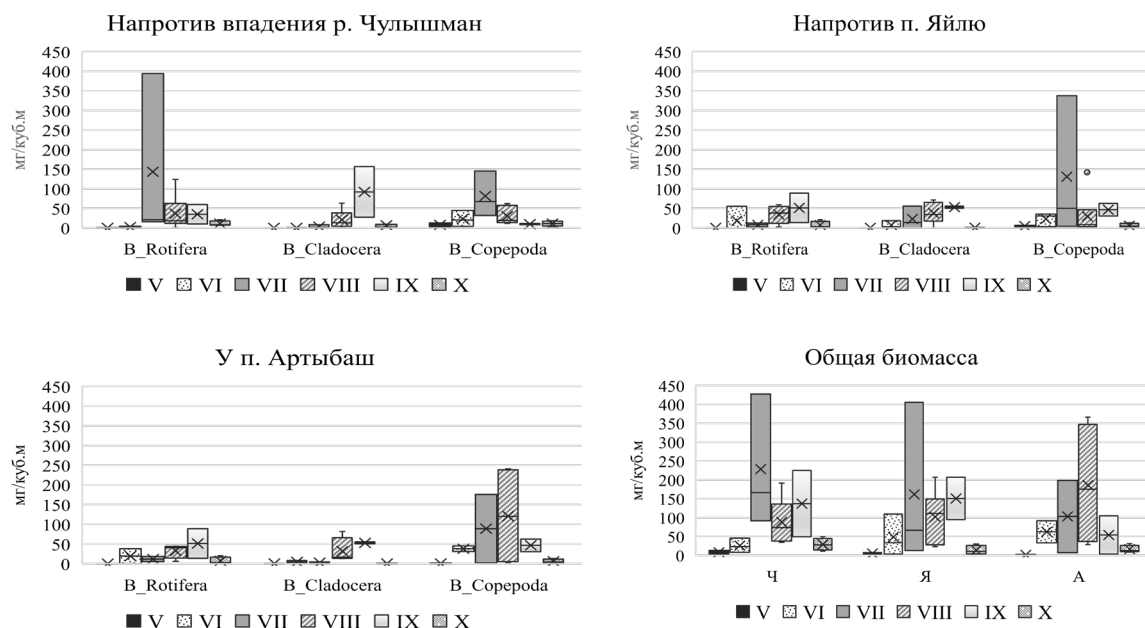


Рис. 5. Сезонная динамика биомассы зоопланктона на разных участках пелагиали Телецкого озера
 Fig. 5. Seasonal dynamics of zooplankton biomass in different parts of the pelagial of Lake Teletskoye

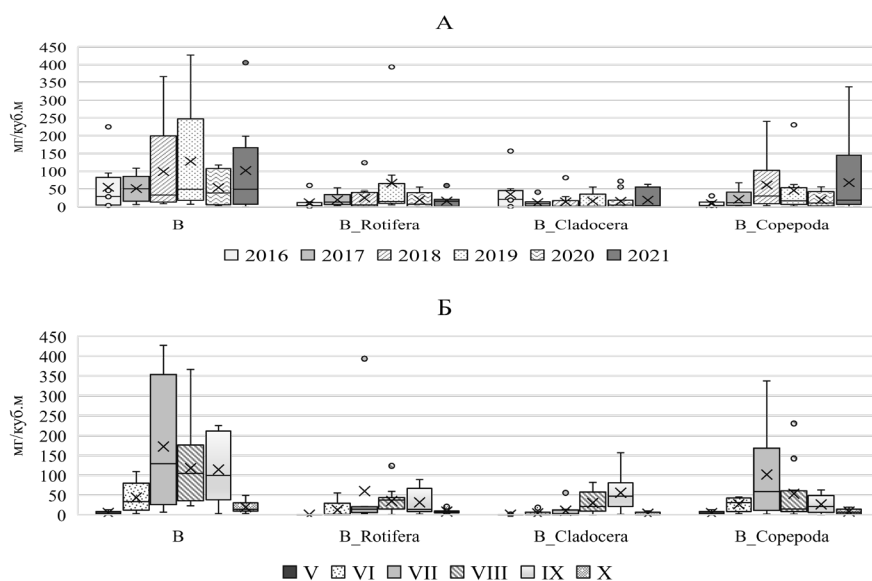


Рис. 6. Межгодовая (А) и сезонная (Б) динамика биомассы зоопланктона (средняя по участкам)
 Fig. 6. Interannual (A) and seasonal (B) dynamics of average biomass of zooplankton

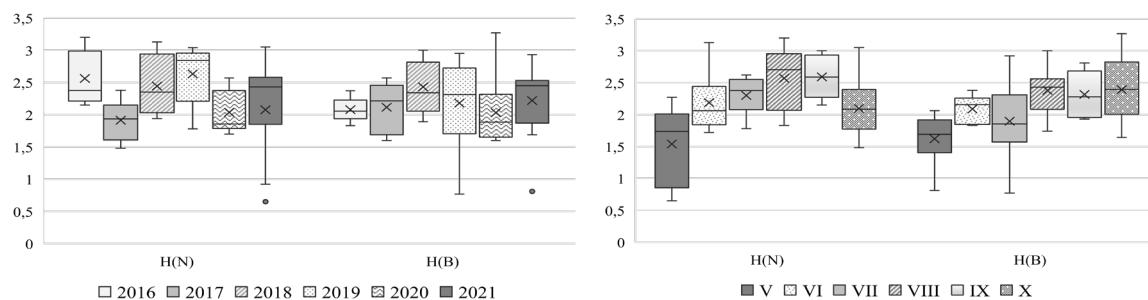


Рис. 7. Межгодовая и сезонная динамика значений индекса Шеннона, рассчитанных по численности (H_N) и биомассе (H_B), для зоопланктона пелагиали Телецкого озера в 2016–2021 гг.
 Fig. 7. Interannual and seasonal dynamics (2016–2021) of the Shannon index calculated from abundance (H_N) and biomass (H_B) of zooplankton from the pelagial of Lake Teletskoye

В сезонной динамике выравненность по численности наибольшая (тенденция к доминированию большого числа видов одновременно) в августе и сентябре, выравненность по биомассе наименьшая (тенденция к преобладанию одного-двух более крупных видов) в июле. В течение исследованных лет значения индексов Шеннона и Пиелу оставались в основном на постоянном уровне. Небольшое снижение значений индексов, рассчитанных по численности, отмечено в наиболее теплые 2017 и 2020 годы, а повышение индекса выравненности по биомассе в наиболее холодные 2018 и 2021 годы.

Значения индекса сапробности Пантле и Букк для зоопланктона по исследованным в 2016–2021 гг. участкам пелагиали озера были схожи в разные года, их средние значения (медиана 0.78–0.91) свидетельствовали о бета-олигосапробных условиях. Только у. п. Артыбаш в 2016 и 2017 гг. значения выше (1.13–1.18), чем в другие года на этом участке. В сезонной динамике наименьшие значения индекса на всех участках регистрировали в мае–июне, наибольшие среднемесячные значения индекса в южной части озера отмечали в сентябре (1.27), у п. Яйлю – в августе и сентябре (1.11–1.12), у п. Артыбаш – с августа по октябрь (0.91–1.03). Максимум (1.41) был отмечен в южной части озера в сентябре 2016 г. В соответствии с ГОСТ 17.1.3.07-82 по структурным показателям зоопланктона вода озера относится к I классу – очень чистая.

Обсуждение

В исследованиях 2016–2021 гг. массового развития достигали 12 видов и подви-

дов зоопланктона, что в целом согласуется с данными предыдущих лет (10) [Зуйкова и др., 2009], видовой список доминантов в целом остался прежним. В 2016–2021 гг., как и в предыдущие годы, массовым видом Cladocera была *Bosmina (E.) coregoni cf. longispina*. Такая особенность была указана Е.И. Зуйковой [1998], как отличительная черта видового состава пелагического зоопланктона Телецкого озера. Точный видовой статус этого рачка пока не известен. Первыми исследователями был определен как *Bosmina obtusirostris* G.O. Sars, затем этот вид включили в *Bosmina (Eubosmina) longispina* Leydig, которую на современном этапе выделяют в отдельный морфотип в составе *Bosmina (E.) coregoni* Baird. Но, с точки зрения систематики, вопрос о трактовке выявленных форм *B. coregoni* остается неясным, так как этот род нуждается в ревизии [Коровчинский и др., 2021]. Видовой состав доминантов зоопланктона озера близок к глубоким, олиготрофным озерам северных и горных регионов страны [Глушченко и др., 2009; Собакина, Соломонов, 2013; Кононова и др., 2014; Ермолаева, Бурмистрова, 2017; Сярки, Фомина, 2019; Лоскутова, Кононова, 2022].

По предыдущим данным в сезонной динамике численности зоопланктона в пелагиали Телецкого озера отмечается один пик численности и биомассы, как правило, в августе [Зуйкова и др., 2009]. В 2016–2021 гг. пик численности зоопланктона в пелагиали озера в среднем также регистрировался в августе. Биомасса зоопланктона в среднем (по медиане) была высока с июля по сентябрь. Если средние значения биомассы зоопланктона посчитать по

среднеарифметическим данным (как были указаны в предыдущих исследованиях), то пик биомассы приходился на июль, что согласуется с данными 1989–1993 гг. Можно отметить, что иногда в конце июня–начале июля регистрировали вспышку численности (и соответственно биомассы) зоопланктона за счет взрослых, размножающихся в данный момент *A. bacilifer*. Скорей всего это происходит ежегодно, но длится короткое время и не всегда совпадает со временем отбора проб. Этот факт не сильно влияет на динамику общей численности зоопланктона, так как во второй половине лета массово размножаются все основные группы зоопланктона, и общая численность зоопланктона будет выше, но играет большую роль в понимании сезонной динамики общей биомассы зоопланктона. По сравнению с данными 1989–1992 гг. [Зуйкова и др., 2009] и 2002–2006 гг. значения численности и биомассы (их среднее и размах колебаний), а также соотношение основных групп зоопланктона в количественном развитии зоопланктона, осталось таким же. Небольшие вариации в численности и биомассе зоопланктона, вполне объяснимы сезонными и межгодовыми различиями. Следовательно, сообщество зоопланктона пелагиали Телецкого озера на современном этапе развития находится в стабильном состоянии. Бедность видового состава, сезонная динамика и уровень количественного развития зоопланктона пелагиали Телецкого озера близки к олиготрофным озерам в разных регионах мира [Habdiya et al., 2011;

Собакина, Соломонов, 2013; Tasevska et al., 2017; Литвинчук, 2018].

Восточная часть акватории Телецкого озера входит в состав Алтайского государственного природного заповедника. В западной проходят водные туристические маршруты и экскурсии на теплоходах со стоянками и причалами. В настоящее время поток туристов увеличивается, а при особой чувствительности горных озер к внешним воздействиям, необходимо иметь представление о происходящих изменениях качественных и количественных характеристик водных сообществ и, соответственно, продолжать исследования биоты озера.

Заключение

Таким образом, развитие зоопланктона в поверхностном слое пелагиали Телецкого озера в 2016–2021 гг. качественно (12 массовых видов) и количественно не высокое – численность 8.5 тыс. экз./м³ (3.0; 27.3), биомасса 34.59 мг/м³ (12.49; 108.76), в сезонном аспекте отмечается один пик численности зоопланктона (обычно август). Структура зоопланктона характеризуется достаточно высокими значениями видового разнообразия по индексу Шеннона – 2.27 бит/экз. (1.85; 2.60) относительно высокой выравненностью – 0.65 (0.54; 0.74). Значения индекса сапробности Пантле и Букк – 0.89 (0.43; 1.08), свидетельствовали о бета-олигосапробных условиях. По сравнению с предыдущими годами исследования в 1989–1993 гг. и 2002–2005 гг. изменений в качественном и количественном развитии зоопланктона пелагиали не отмечены.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declare that he has no conflict of interest.

Автор благодарит к.б.н. Е.Ю. Митрофанову за помощь при выполнении полевых работ. Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект «Исследование разнообразия и структурно-функциональной организации водных экосистем для сохранения и рационального использования водных и биологических ресурсов Западной Сибири»).

Список литературы

- Балушкина Е.В., Винберг Г.Г. Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных // Общие основы изучения водных экосистем. Л., 1979. С. 169–172.
- Бурмистрова О.С. Зоопланктон разнотипных водных экосистем бассейна Верхней Оби: Автореф дис... канд. биол. наук. Новосибирск, 2009. 19 с.
- Глущенко Л.А., Дубовская О.П., Иванова Е.А., Шулепина С.П., Зуев И.В., Агеев А.В. Гидробиологический очерк некоторых озер горного хребта Ергаки (Западный Саян) // Журнал СФУ. Биология. 2009. № 3. С. 355–378. doi. 10.17516/1997-1389-0235
- Гундризер А.Н., Иоганзен Б.Г., Кафанова В.В., Кривошеков Г.М. Рыбы Телецкого озера. Новосибирск: Наука, 1981. 160 с.
- Ермолаева Н.И., Бурмистрова О.С. Зоопланктон озера Большое Щучье // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2017. № 1(94). С. 15–20.
- Зуйкова Е.И. Видовая структура и горизонтальное распределение зоопланктона Телецкого озера // Сибирский экологический журнал. 1998. № 5. С. 467–476.
- Зуйкова Е.И., Шевелева Н.Г., Евстигнеева Т.Д. Сезонная и межгодовая динамика зоопланктона Телецкого озера // Биология внутренних вод. 2009. № 3. С. 47–60.
- Кононова О.Н., Дубовская О.П., Фефилова Е.Б. Зоо- и некрозоопланктон Харбейских озер Большеземельской тундры (по исследованиям 2009–2012 годов) // Журнал СФУ. Биология. 2014. № 3. С. 303–327.
- Коровчинский Н.М., Котов А.А., Синёв А.Ю., Неретина А.Н., Гарибян П.Г. Ветвистые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т.2. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2021. 544 с.
- Литвинчук Л.Ф. Особенности зоопланктона горных и равнинных водоемов северо-западной Индии // Труды Зоологического института РАН. 2018. Т. 322, № 1. С. 66–83. doi. 10.31610/trudyzin/2018.322.1.66
- Лоскутова О.А., Кононова О.Н. Зообентос и зоопланктон предгорных озёр Приполярного Урала // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 2. С. 56–62. doi. 10.25750/1995-4301-2022-2-056-062
- Неизвестнова-Жакина Е.С. К изучению микрофауны р. Оби и ее бассейна // Известия ГГИ. 1929. Т. 25. С. 59–70.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т.1. Зоопланктон / Ред. В.Р. Алексеева, С.Я. Цалолихина. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.

Рылов В.М. Зоопланктон Телецкого озера // Труды Зоолог. ин-та АН СССР. 1949. Т. 7. С. 213–258.

Селегей В.В. Телецкое озеро: очерки истории: в 3 кн. Барнаул: Пять плюс, 2011. Кн. 3. 244 с.

Собакина И.Г, Соломонов Н.М. К изучению зоопланктона озера Большое Токко // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 8, Ч. 2. С. 180–182.

Сярки М.Т., Фомина Ю.Ю. Зоопланктон Онежского озера, его Центрального плеса и залива Большое Онего в различные по температурному режиму годы // Труды КарНЦ РАН. 2019. № 9. С. 104–115.

Battarbee R.W., Kernan M., Rose N. Threatened and stressed mountain lakes of Europe: Assessment and progress // Aquatic Ecosystem Health & Management. 2009. Vol. 12, no. 2. P. 118–128. doi. 10.1080/14634980902905742

Cammarano P., Manca M. Studies on zooplankton in two acidified high mountain lakes in the Alps // Hydrobiologia. 1997. Vol. 356. P. 97–109. doi. 10.1023/A:1003179314456

Habdija I., Prime B., Špoljar M., Perić M. Ecological determinants of rotifer vertical distribution in a coastal karst lake (Vrana Lake, Cres Island, Croatia) // Biologia. 2011. Vol. 66. P. 130–137. doi. 10.2478/s11756-010-0144-1

Holzapfel A.M., Vinebrooke R.D. Environmental warming increases invasion potential of alpine lake communities by imported species // Global Change Biology. 2005. Vol. 11. P. 2009–2015. doi. 10.1111/j.1365-2486.2005.001057.x

Krupa E.G., Barinova S.S., Romanova S.M. Zooplankton Size Structure in the Kolsay Mountain Lakes (Kungei Alatau, Southeastern Kazakhstan) and Its Relationships with Environmental Factors // Water Resources. 2019. Vol. 46, no. 3. P. 403–414. doi. 10.1134/s0097807819030126

Machate O., Schmelle D.S., Schulze T., Brack W. Review: mountain lakes as freshwater resources at risk from chemical pollution // Environmental Sciences Europe. 2023. Vol. 35, no. 3. doi. 10.1186/s12302-022-00710-3

Redmond L.E., Loewen C.J.G., Vinebrooke R.D. A Functional Approach to Zooplankton Communities in Mountain Lakes Stocked With Non-Native Sportfish Under a Changing Climate // Water Resources Research. 2018. Vol. 54, no. 3. P. 2362–2375. doi:10.1002/2017wr021956

Sars G.O. On the Crustacean fauna of Central Asia. Part III. Copepoda and Ostracoda. With Appendix: Local faunae of Central Asia // Ежегодный зоологический музей Императорской академии наук в Санкт-Петербурге. 1903. Vol. 8, no. 2. С. 195–264.

Sienkiewicz E., Gąsiorowski M. The effect of fish stocking on mountain lake plankton communities identified using palaeobiological analyses of bottom sediment cores // Journal of Paleolimnology. 2016. Vol. 55. P. 129–150. doi. 10.1007/s10933-015-9870-2

Tasevska O., Špoljar M., Gušeska D., Kostoski G., Patceva S., Veljanoska-Sarafiloska E. Zooplankton in Ancient and Oligotrophic Lake Ohrid (Europe) in Association with Environ-

mental Variables // Ribarstvo. 2017. Vol. 75. P. 128–141. doi. 10.1515/cjf-2017-0013

Tolotti M., Manca M., Angeli N., Morabito G., Thaler B., Rott E., Stuchlik E. Phytoplankton and Zooplankton Associations in a Set of Alpine High Altitude Lakes: Geographic Distribution and Ecology // *Hydrobiologia*. 2006. Vol. 562, no. 1. P. 99–122. doi. 10.1007/s10750-005-1807-8

References

Balushkina, E.V., Vinberg G.G. Zavisimost' mezhdu massoj i dlinoj tela u planktonny'x zhivotny'x [Relationship between body weight and body length in planktonic animals] // *Obshhie osnovy' izucheniya vodny'x e'kosistem* [General principles of the study of aquatic ecosystems]. L. 1979. P. 169–172. (In Russian).

Burmistrova O.S. Zooplankton raznotipny'x vodny'x e'kosistem bassejna Verxnej Obi [Zooplankton of diverse aquatic ecosystems of the Upper Ob basin]: Sammary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. Novosibirsk, 2009. 19 p. (In Russian).

Ermolaeva N.I, Burmistrova O.S. Zooplankton ozera Bol'shoe Shhuch'e [Zooplankton of Bolshoe Shchuchye Lake] // *Nauchny'j vestnik Yamalo-Neneczkogo avtonomnogo okrug* [Scientific Bulletin of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug]. 2017. No. 1(94). P. 15–20. (In Russian).

Glushhenko L.A., Dubovskaya O.P., Ivanova E.A., Shulepina S.P., Zuev I.V., Ageev A.V. Gidrobiologicheskij ocherk nekotory'x ozer gornogo xrebtu Ergaki (Zapadny'j Sayan) [Hydrobiologic Survey of Some Lakes of Mountain Range Ergaki (West Sayan)] // *Zhurnal SFU. Biologiya* [Journal of Siberian Federal University. Biology]. 2009. No. 3. P. 355–378. doi. 10.17516/1997-1389-0235 (In Russian).

Gundrizer A.N., Ioganzen B.G., Kafanova V.V., Krivoshekov G.M. Ry'by' Teleczkogo ozera [Fish of Lake Teletskoye]. Novosibirsk: Nauka, 1981. 160 p. (In Russian).

Kononova O.N., Dubovskaya O.P., Fefilova E.B. Zoo- i nekrozooplankton Xarbejskix ozer Bol'shezemel'skoj tundry' (po issledovaniyam 2009-2012 godov) [Zooplankton and Dead Zooplankton in Kharbeyskie Lakes of Bolshezemelskaya Tundra (Period From 2009 to 2012)] // *Zhurnal SFU. Biologiya* [Journal of Siberian Federal University. Biology]. 2014. No. 3. P. 303–327. (In Russian).

Korovchinsky N.M., Kotov A.A., Sinev A.Yu., Neretina A.N., Garibyan P.G. Vetrivostnye rakoobraznye (Crustacea: Cladocera) Severnoj Evrazii [Cladocerans (Crustacea: Cladocera) of Northern Eurasia]. T.2. M.: Tovarishestvo nauchnyh izdanij KMK, 2021. 544 p. (In Russian).

Litvinchuk L.F. Osobennosti zooplanktona gorny'x i ravninny'x vodoemov severo-zapadnoj Indii [Features of zooplankton of mountain and lowland reservoirs of northwestern India] // *Trudy' Zoologicheskogo instituta RAN* [Proceedings of the Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences]. 2018. Vol. 322, no. 1. P. 66–83. doi. 10.31610/trudyzin/2018.322.1.66 (In Russian).

Loskutova O., Kononova O. Zoobentos i zooplankton predgorny'x ozyor Pripolyarnogo

Urala [Zoobenthos and zooplankton of the foothill lakes of Subpolar Urals] // *Teoreticheskaya i prikladnaya e'kologiya* [Theoretical and Applied Ecology]. 2022. No. 2. P. 56–62. doi. 10.25750/1995-4301-2022-2-056-062. (In Russian).

Neizvestnova-Zhadina E.S. K izucheniyu mikrofauny`r. Obi i ee bassejna [On the study of the microfauna of the Ob River and its basin] // *Izvestiya GGI* [Proceedings of the State Hydrological Institute]. 1929. Vol. 25. P. 59–70. (In Russian).

Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presny`x vod Evropejskoj Rossii [Zooplankton Determinant of zooplankton and zoobenthos of fresh waters of European Russia. V. 1. Zooplankton] / Ed. V.R. Alekseev, S.Ya. Tsalolikhin. M.: *Tovarishhestvo nauchny`x izdanij KMK*, 2010. 495 p. (In Russian).

Rylov V.M. Zooplankton Teleczkogo ozera [Zooplankton of Teletskoye Lake] // *Trudy` Zoolog. in-ta AN SSSR* [Proceedings of Zoologist. Institute of the USSR Academy of Sciences]. 1949. Vol. 7. P. 213–258. (In Russian).

Selegej V.V. Teleczkoe ozero: ocherki istorii: v 3 kn. [Teletskoye Lake: essays on history: in 3 books]. Barnaul: *Five Plus*, 2011. Book 3. 244 p. (In Russian).

Sobakina I.G, Solomonov N.M. K izucheniyu zooplanktona ozera Bol`shoe Tokko [On the study of zooplankton of Lake Bolshoe Tokko] // *Mezhdunarodny`j zhurnal prikladny`x i fundamental'ny`x issledovaniy* [International Journal of Applied and Fundamental Research]. 2013. No. 8, Is. 2. P. 180–182. (In Russian).

Syarki M.T., Fomina Yu.Yu. Zooplankton Onezhskogo ozera, ego Central'nogo plesa i zaliva Bol`shoe Onego v razlichny`e po temperaturnomu rezhimu gody` [Zooplankton of Lake Onega, its Central ples and the Bolshoe Onego Bay in years of different temperature conditions] // *Trudy` KarNCz RAN* [Proceedings of the KarSC RAS]. 2019. No. 9. P. 104–115. (In Russian).

Zujkova E.I. Vidovaya struktura i gorizontal'noe raspredelenie zooplanktona Teleczkogo ozera [Species structure and horizontal distribution of zooplankton of Lake Teletskoye] // *Sibirskij e'kologicheskij zhurnal* [Siberian Journal of Ecology]. 1998. No. 5. P. 467–476. (In Russian).

Zujkova E.I., Sheveleva N.G., Evstigneeva T.D. Sezonnaya i mezhgodovaya dinamika zooplanktona Teleczkogo ozera [Seasonal and interannual dynamics of zooplankton of Lake Teletskoye] // *Biologiya vnutrennix vod* [Inland Water Biology]. 2009. No. 3. P. 47–60. (In Russian).

Battarbee R.W., Kernan M., Rose N. Threatened and stressed mountain lakes of Europe: Assessment and progress // *Aquatic Ecosystem Health & Management*. 2009. Vol. 12, no. 2. P. 118–128. doi. 10.1080/14634980902905742

Cammarano P., Manca M. Studies on zooplankton in two acidified high mountain lakes in the Alps // *Hydrobiologia*. 1997. Vol. 356. P. 97–109. doi. 10.1023/A:1003179314456

Habdija I., Primc B., Špoljar M., Perić M. Ecological determinants of rotifer vertical distribution in a coastal karst lake (Vrana Lake, Cres Island, Croatia) // *Biologia*. 2011. Vol. 66. P. 130–137. doi. 10.2478/s11756-010-0144-1

Holzapfel A.M., Vinebrooke R.D. Environmental warming increases invasion potential of alpine lake communities by imported species // *Global Change Biology*. 2005. Vol. 11. P. 2009–

2015. doi. 10.1111/j.1365-2486.2005.001057.x

Krupa E.G., Barinova S.S., Romanova S.M. Zooplankton Size Structure in the Kolsay Mountain Lakes (Kungei Alatau, Southeastern Kazakhstan) and Its Relationships with Environmental Factors // *Water Resources*. 2019. Vol. 46, no. 3. P. 403–414. doi. 10.1134/s0097807819030126

Machate O., Schmelle D.S., Schulze T., Brack W. Review: mountain lakes as freshwater resources at risk from chemical pollution // *Environmental Sciences Europe*. 2023. Vol. 35, no. 3. doi. 10.1186/s12302-022-00710-3

Redmond L.E., Loewen C.J.G., Vinebrooke R.D. A Functional Approach to Zooplankton Communities in Mountain Lakes Stocked With Non-Native Sportfish Under a Changing Climate // *Water Resources Research*. 2018. Vol. 54, no. 3. P. 2362–2375. doi:10.1002/2017wr021956

Sars G.O. On the Crustacean fauna of Central Asia. Part III. Copepoda and Ostracoda. With Appendix: Local faunae of Central Asia // *Ezhegodnyj zoologicheskij muzej Imperatorskoj akademii nauk v Sankt-Peterburge* [Annuaire du Musée Zoologique de l'Académie Impériale des Sciences de St.-Petersbourg]. 1903. Vol. 8, no. 2. P. 195–264.

Sienkiewicz E., Gąsiorowski M. The effect of fish stocking on mountain lake plankton communities identified using palaeobiological analyses of bottom sediment cores // *Journal of Paleolimnology*. 2016. Vol. 55. P. 129–150. doi. 10.1007/s10933-015-9870-2

Tasevska O., Špoljar M., Gušeska D., Kostoski G., Patceva S., Veljanoska-Sarafileoska E. Zooplankton in Ancient and Oligotrophic Lake Ohrid (Europe) in Association with Environmental Variables // *Ribarstvo*. 2017. Vol. 75. P. 128–141. doi. 10.1515/cjf-2017-0013

Tolotti M., Manca M., Angeli N., Morabito G., Thaler B., Rott E., Stuchlik E. Phytoplankton and Zooplankton Associations in a Set of Alpine High Altitude Lakes: Geographic Distribution and Ecology // *Hydrobiologia*. 2006. Vol. 562, no. 1. P. 99–122. doi. 10.1007/s10750-005-1807-8

ZOOLANKTON CHARACTERISTICS IN THREE SITES OF THE PELAGIAL OF LAKE TELETSKOYE (2016–2021)

O.S. Burmistrova

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, E-mail: BurmOlga@yandex.ru

The paper presents the information (2016–2021) on zooplankton species composition, its abundance and biomass, including some related indices for the pelagial of deep oligotrophic mountain lake Teletskoye. The number of zooplankton species was low (35 species and subspecies); only 12 species and subspecies were abundant. Statistically significant difference between the number of species, the number of species per sample, and between the studied areas was not found. Seasonal dynamics of zooplankton abundance was low in May–June and high in July–September with its peak usually in August. Compared with the previous studies (1989–1993 and 2002–2005), no qualitative and quantitative changes in zooplankton development in the pelagic zone of Lake Teletskoye were noted.

Keywords: zooplankton; seasonal and interannual dynamics; mountain oligotrophic lake.

Received April 3, 2023. Accepted: April 20, 2023

Сведения об авторах

Бурмистрова Ольга Сергеевна — кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории гидробиологии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-4895-6875. E-mail: BurmOlga@yandex.ru.

Information about the authors

Burmistrova Olga Sergeevna – PhD in Biology, Researcher at the Laboratory of Hydrobiology of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-4895-6875. E-mail: BurmOlga@yandex.ru.