

УДК 574.34 + 574.583 + 574.52

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОПУЛЯЦИЙ *DAPHNIA CRISTATA* SARS, 1862 И *DIAPHANOSOMA BRACHYURUM* (LIÉVIN, 1848) ОЗЕРА ЛЕЩЕВОЕ В 2016–2020 ГОДАХ (О. ВАЛААМ)

А. Н. Чернышев, А. Б. Степанова

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты исследования пространственно-временной изменчивости двух видов зоопланктона оз. Лещевое: *Daphnia cristata* и *Diaphanosoma brachyurum*. Исследование проводилось с июня по сентябрь 2016–2020 гг. По данным мониторинговых наблюдений выявлены широкие диапазоны межгодовой изменчивости численности исследуемых видов. Отдельные съемки на шести станциях в июле–августе 2019–2020 гг. позволили также обнаружить высокую степень пространственной вариабельности этого показателя. Установлено, что из двух видов в озере доминировала *D. cristata*, доля которой в надотряде Cladocera в среднем составляла 71 %. Однако в 2020 г. наблюдалась относительно высокая численность *D. brachyurum*. В этот период ее доля среди кладоцер достигала 31 % и в два раза превышала долю *D. cristata*. Показано положительное влияние прозрачности на численность диафаносомы. Существенной зависимости видов от других лимнологических параметров – газового режима, pH, содержания растворенного органического вещества, цветности и мутности – за исследуемый период не выявлено. Среди других причин, оказывающих влияние на численность обоих видов, вероятно, могла быть межвидовая конкуренция за пищевые ресурсы из-за сходных диапазонов поглощаемых частиц. Помимо конкуренции воздействие могло оказывать выедание рыбами-планктофагами, а также сток аллохтонного органического вещества с мелиорируемых лугов. Влияние последнего тем не менее может быть двойственным. В отдельные годы поступление значительного объема аллохтонного органического вещества приводит к угнетению обоих видов из-за загрязнения их фильтрационного аппарата. В другие периоды сток, оказывая влияние на прозрачность, вероятно, влечет за собой сокращение эффективности охоты рыб-планктофагов, полагающихся на зрение, и, как следствие, более активное развитие *D. brachyurum*.

Ключевые слова: Валаамский архипелаг; малые озера; зоопланктон; межвидовая конкуренция; влияние лимнологических параметров; антропогенное воздействие.

A. N. Chernyshev, A. B. Stepanova. SPATIOTEMPORAL VARIABILITY OF *DAPHNIA CRISTATA* SARS, 1862 AND *DIAPHANOSOMA BRACHYURUM* (LIÉVIN, 1848) POPULATIONS IN LAKE LESCHOVOYE IN 2016–2020

The article presents results on the spatiotemporal variability of two zooplankton species – *Daphnia cristata* and *Diaphanosoma brachyurum*, in Lake Leschovoye. Surveys

were conducted from June to September in 2016–2020. According to monitoring data from this period, the abundance of these species varied widely over time. Specific surveys at six sites in July–August 2019–2020 revealed also high spatial variation of the species' abundances. Compared to the other species, *D. cristata* dominated in the lake with a 71 % share in Cladocera abundance. In 2020, however, *D. brachyurum* abundance was relatively high. In this period, its share in the cladoceran zooplankton reached 31 % and was twice that of *D. cristata* that year. A positive effect of water transparency on *D. brachyurum* abundance was observed. The study found no significant effect of other limnological parameters (gas conditions, pH, dissolved organic matter concentration, water color and turbidity) on the species. Another factor potentially influencing the species abundance is interspecific competition for food, as the range of particles consumed by the species is similar. Alongside competition, predation of plankton-feeding fishes and organic matter input with runoff from managed meadows can affect the abundance of the species. The effect of the runoff, nonetheless, can be dual. In some years, large amounts of allochthonous organic matter can lead to suppression of both species by clogging their filtration system. In other periods, runoff can lower water transparency thereby reducing the hunting efficiency of plankton-feeding fishes and leading to an increase in *D. brachyurum* abundance.

Key words: Valaam archipelago; small lakes; zooplankton; interspecific competition; effect of limnological parameters; human impact.

Введение

Для изучения состояния водных экосистем и их отклика на внешние воздействия в качестве индикатора довольно часто используется зоопланктон [Андронникова, 1996; Ferdous, Muktadir, 2009]. Такой выбор продиктован тем, что характеристики сообщества определяются множеством факторов – от гидрологических [Keller, Conlon, 1994] и гидрохимических [Китаев, 1984] до степени выедания рыбами [Estlander и др., 2017] и площади зарослей макрофитов [Geraldес, Boavida, 2004].

С другой стороны, зоопланктон в целом и надотряд Cladocera в частности представляют интерес для исследования, так как играют важную роль в функционировании водных экосистем. Представители этого таксона преимущественно выступают в роли консументов первого порядка, благодаря им вещество и энергия переходят по трофической сети с одного уровня на другой [Bergquist и др., 1985]. Помимо этого, кладоцеры влияют на структуру фитопланктона и способствуют минерализации биогенных веществ в пелагиали, а также участвуют в самоочищении водоема.

На территории Карелии надотряд Cladocera широко представлен видами рода *Daphnia* [Озера..., 2013]. Представители этого рода характеризуются высокой толерантностью к изменениям экологических факторов, а также обладают различными видами адаптаций к неблагоприятным условиям среды [Пидгайко, 1984]. Примером тому может быть выработка гемоглобина при низких концентрациях растворенного кислорода [Fryer, 1991]. Наиболее

массовым представителем таксона в озерах региона можно считать *Daphnia cristata* [Куликова, 2007; Куликова и др., 2009; Рябинкина и др., 2012]. Другой вид – *Diaphanosoma brachyurum* – более требователен к условиям среды, активно развивается в теплых гумифицированных водоемах [Лазарева, 1986; Коровчинский, 2004; Рогозин и др., 2015].

Для карельских озер имеется большой объем данных об основных лимнологических характеристиках [Озера..., 2013]. Отличительной особенностью территории можно считать наличие большого количества малых водоемов с многообразием сочетаний гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических параметров [Лозовик и др., 2006; Меншуткин и др., 2009]. Большинство наблюдений за водной фауной малых озер проведено в отдельные годы, а мониторинговые исследования таких водных объектов довольно немногочисленны. Также довольно редки исследования экологии отдельных видов, даже массовых. С этой точки зрения изучение зоопланктона малых озер Валаамского архипелага представляет интерес, так как для них имеются обширные многолетние данные [Степанова, 1998, 2016; Степанова, Петушкова, 2002; Чернышев, Степанова, 2019]. Исследование пространственно-временной изменчивости таких массовых для Карелии видов, как *Daphnia cristata* и *Diaphanosoma brachyurum*, в озере с фоновым режимом функционирования позволит в дальнейшем сопоставлять полученные данные с результатами по другим карельским озерам, в том числе подверженным антропогенному воздействию. С 1999 г. Валаамский архипелаг является особо охраняемой

природной территорией регионального значения. В связи с этим исследование структурно-функциональных характеристик гидробионтов его озер востребовано для оценки устойчивости водоемов к антропогенному воздействию и разработки природоохранных мероприятий.

Работа посвящена изучению изменчивости численности и биомассы двух видов-фильтраторов – *Daphnia cristata* Sars, 1862 и *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin, 1848) в оз. Лещевое. Исследование проведено с целью выявления биотических и абиотических факторов, определяющих пространственно-временную изменчивость характеристик этих видов.

Материалы и методы

Оз. Лещевое – одно из 11 внутренних озер Валаамского архипелага (Ладожское озеро). По площади водного зеркала (0,24 км²) и водосбора (2,1 км²) Лещевое озеро является самым крупным среди малых озер о. Валаам [Степанова и др., 2010]. Через систему проток оно имеет связь с Ладожским озером, колебания уровня воды в котором могут приводить к существенному изменению площади исследуемого водоема, как это произошло в 2018 г. [Чернышев и др., 2020].

Водоем имеет сложнорассеченную форму, его можно условно разделить на западный и восточный заливы, соединенные между собой мелководным участком. Наиболее протяженный (1,2 км) западный залив характеризуется небольшими глубинами (не более 3 м) и равномерным их распределением. Глубина восточного залива, в свою очередь, в малой его части (менее 1% от площади озера) может достигать 6,5–7 м – наивысшего для озера значения. Именно здесь в период максимального прогрева воды (июль-август) в озере наблюдается выраженная термическая стратификация, а также кислородная дихотомия и заморные явления в придонном горизонте [Чернышев и др., 2020]. В западном заливе ситуация иная – температура всей толщи воды в нем достаточно однородна.

Ряд параметров – цветность, перманганатная окисляемость и электропроводность – в различных частях водоема могут заметно варьировать по своим значениям, а также существенно изменяться год от года [Степанова и др., 2010; Чернышев и др., 2020]. В целом озеро является типичным для Карелии и может быть отнесено к олигоациднотнейтральным мезогумусным мезополижелезистым водным объектам [Степанова и др., 2010].

На протяжении длительного периода изучения малых озер на о. Валаам оз. Лещевое со-

храняло фоновый режим функционирования. С начала мониторинговых наблюдений на базе Учебно-научной станции Российского государственного гидрометеорологического университета в 1998 г. и до 2014 г. озеро практически не подвергалось антропогенному воздействию. В 2015 г. на его водосборе в непосредственной близости к урезу воды для борьбы с заболачиванием проводились мелиоративные работы, в связи с чем была создана система дренажных канав. Мелиорированные луга используются для выращивания кормовых культур, и поэтому земля на них регулярно обрабатывается [Экосистемы..., 2016].

Для изучения межгодовой изменчивости в анализ включались данные мониторинговых наблюдений за период с июня по сентябрь 2016–2020 гг. (всего 18 наблюдений), полученных на станции М_NE с максимальной глубиной водоема (до 7 м).

Для изучения пространственной изменчивости исследуемых видов было выбрано 6 станций в разных частях озера (рис. 1).

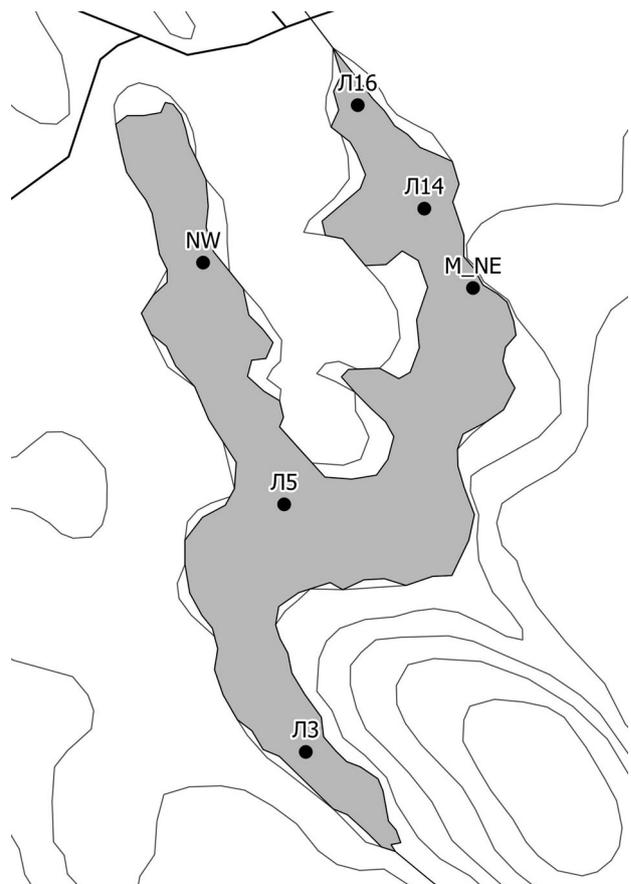


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в Лещевом озере в 2019–2020 гг.

Fig. 1. Scheme of the sampling stations location in Lake Leschovoye in 2019–2020

На этих станциях в конце июля – начале августа 2019–2020 гг. отобрано 12 проб зоопланктона.

Лов осуществлялся малой количественной сетью Джели ($d = 0,18$ м, размер ячеек – 180 мкм) по всему столбу воды в трех повторностях. Отобранные пробы фиксировались раствором формалина, доведенного до концентрации 4 % [Руководство..., 1983]. Дальнейший подсчет организмов производился в камере Богорова при 32-кратном увеличении. Определение биомассы осуществлялось расчетным методом с использованием весовых коэффициентов [Кононова, Фефилова, 2018].

Определение значений гидрохимических параметров осуществлялось по следующим методикам: прозрачность – по белому диску; температура воды на различных горизонтах – с помощью погружного малогабаритного термодатчика; концентрация растворенного кислорода – с применением йодометрии [ПНД..., 2017]; концентрация углекислого газа – титриметрическим методом [ЦВ..., 2005]; водородный показатель (рН) – электрометрическим методом [ПНД..., 2004]; содержание общего органического вещества ($ООВ_{Mn}$) – титриметрическим методом [Иванов, Павлов, 2007]; цветность [ГОСТ..., 2007] и мутность [ПНД..., 2005] – с применением фотометрии.

Статистическая обработка данных выполнена в программе Statistica 12. Оценка связи осуществлялась с использованием парных коэффициентов корреляции Пирсона. Матрица исходных данных состояла из 18 строк (наблюдений) и 10 столбцов (параметров) и включала в себя фактические данные о временной изменчивости численности исследуемых видов, температуры и прозрачности воды, а также ряда гидрохимических характеристик, упомянутых выше.

Результаты и обсуждение

В период с 2016 по 2020 г. обнаружено 18 видов рачкового зоопланктона. На протяжении всех лет исследований видами-доминантами были *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863), *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888) и *Daphnia cristata*. В отдельные периоды в доминантный комплекс входили также *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1776), *Bosmina crassicornis* Lilljeborg, 1887, *Diaphanosoma brachyurum* (Liévin, 1848). Все описанные виды входят в состав тепловодного комплекса [Пидгайко, 1984; Коровчинский, 2004; Рогозин и др., 2015].

Температура воды для развития тепловодного комплекса была благоприятной и в исследуемый период превышала 10 °С. Исключение составил 2019 г., когда отбор проб производился в конце, а не в середине сентября, как в другие годы. Имеющиеся для оз. Лещевое данные о температуре не дают возможности адекватно оценить динамику этого показателя. Однако для разнотипных модельных озер Валаамского архипелага имеются результаты мониторинговых круглогодичных логгерных наблюдений за температурой поверхностного горизонта (интервал измерения – 1 час), внесенные в базу данных «Внутренние озера Валаамского архипелага» [Собственные...]. Основываясь на них, можно сказать, что период гидрологического лета ($T_{\text{воды}} > 10$ °С) для исследуемого периода наступал в мае, а заканчивался в первой декаде октября. По этим же данным, наиболее теплым из исследуемых лет был 2018 г., когда средняя за период с июня по сентябрь температура воды составляла 17 °С, а наиболее холодным – 2019 г. с температурой 15 °С. Диапазоны временной изменчивости фактических значений общей численности составляли 4,1–42,4 экз./дм³, биомассы – 0,02–0,95 мг/дм³. На основе данных по мониторинговой станции были рассчитаны и сопоставлены среднегодовые значения численности и биомассы как для всего зоопланктона, так и для исследуемых видов (рис. 2).

Суммарная доля *D. cristata* и *D. brachyurum* в общей численности, в основном за счет первой, была довольно заметной – в среднем около 17 %. Вклад этих видов в биомассу был несколько выше – 22 %. Однако в отдельные периоды эти значения могли существенно отличаться от средних показателей. Так, в 2016 году доля исследуемых видов в численности была в 1,3 раза, а по биомассе в 2 раза меньше своих средних долей – 17 и 22 % соответственно. В 2020 году можно было наблюдать иную картину: суммарный вклад в численность слабо отличался от среднего и составлял 18,5 %, тогда как вклад в биомассу (36 %) за счет *D. brachyurum* в 1,6 раза превышал среднее значение.

Подробный анализ кривых доминирования позволил выделить периоды, когда различия между численностью дафнии и диафаносомы были существенными (август 2018 г.) и когда численность этих видов была сопоставима (август 2020 г.) (рис. 3).

В августе 2018 г. численность дафнии приближалась к численности доминирующего вида *Thermocyclops oithonoides*, тогда как диафаносома могла считаться лишь видом-спутником.

Сезонная динамика дафнии, как наиболее массового из двух видов, была проанализиро-

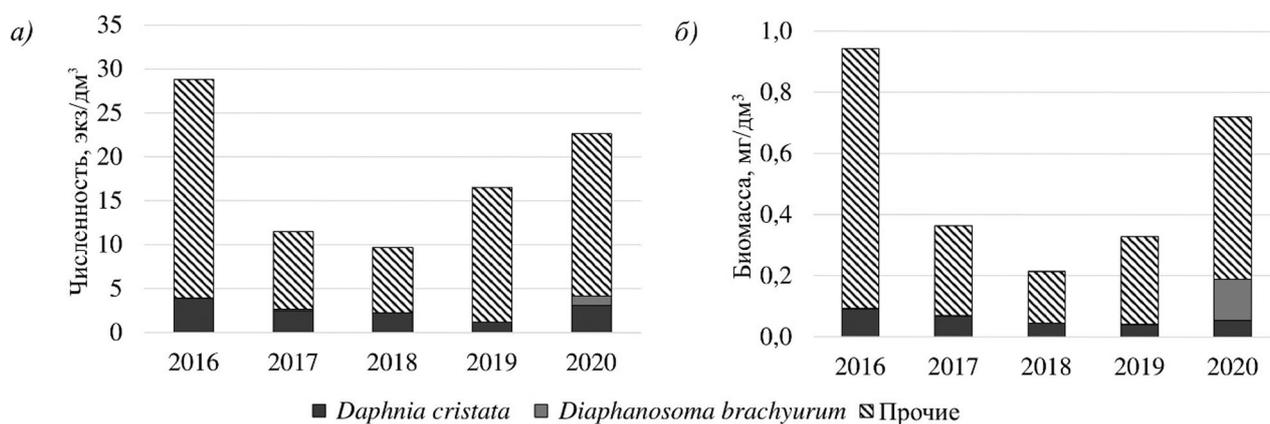


Рис. 2. Среднегодовые значения численности (а) и биомассы (б) *D. cristata*, *D. brachyurum* и прочих видов в 2016–2020 гг. (по данным мониторинговой станции)

Fig. 2. Average annual abundance (а) and biomass (б) of *D. cristata*, *D. brachyurum* and other species in 2016–2020 (based on data from the monitoring site)

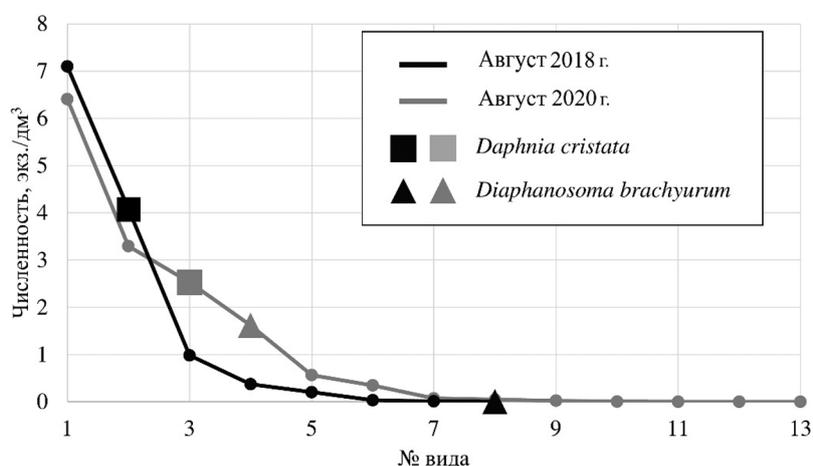


Рис. 3. Кривые доминирования видов зоопланктона в августе 2018 и 2020 гг. и положение на них *Daphnia cristata* и *Diaphanosoma brachyurum*

Fig. 3. Dominance curves for the zooplankton species and the position of *Daphnia cristata* and *Diaphanosoma brachyurum* in August 2018 and August 2020

вана на примере трех отличных друг от друга лет. В анализ включены: 2016 г., за счет максимальной для всего периода наблюдений общей численности; 2017 г., как довольно типичный для озера год с двувёршинной сезонной динамикой общей численности и биомассы; 2018 г., так как в этот период зафиксировано существенное изменение значений ряда важнейших лимнологических параметров, связанное с увеличением площади озера (рис. 4).

В 2016 и 2017 гг. дафния формировала два пика численности. Июньский пик был хорошо выражен (2016 г. – 7,4 экз./дм³, 2017 г. – 5,4 экз./дм³). Второй пик зафиксирован в сен-

тябре, в 2016 г. он составил 42 % от первого, в 2017 г. – 52 % от первого. Иная ситуация наблюдалась в 2018 г. – в период увеличения площади и объема озера. Ожидаемого максимума численности в июне не зафиксировано, он отмечен в августе.

Доля *D. cristata* в общей численности была довольно высокой (> 10 %) на протяжении всех исследованных лет. Исключение составили август 2017 г. и сентябрь 2018 г., которые в целом отличались низкими значениями общей численности – 4,9 и 9,2 экз./дм³ соответственно. Размерная структура *D. cristata* была довольно стабильной, индивидуальный вес варь-

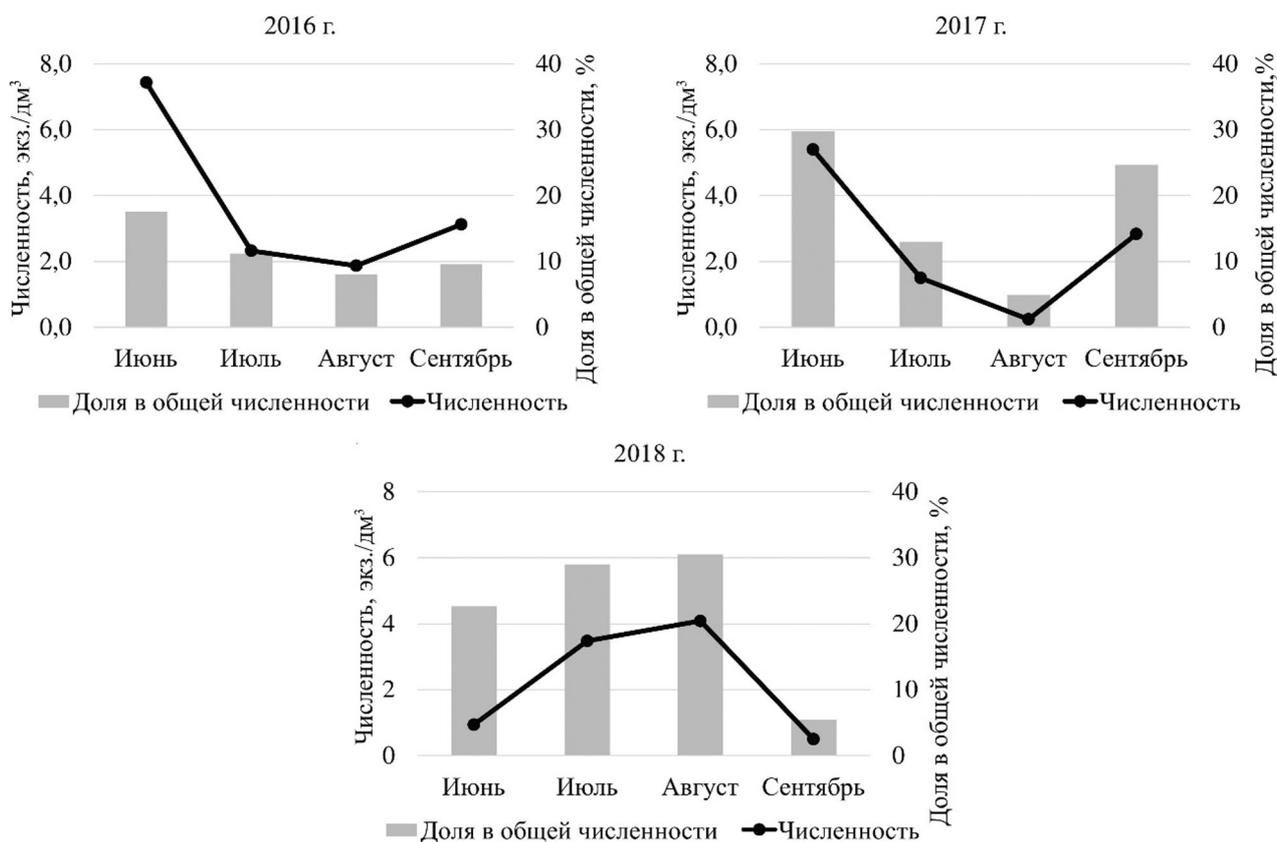


Рис. 4. Численность *Daphnia cristata* и ее доля в общей численности в 2016–2018 гг.
 Fig. 4. *Daphnia cristata* abundance and its ratio in total abundance in 2016–2018

ировал незначительно в пределах от 0,018 до 0,025 мг.

На протяжении всех пяти лет наблюдения среди клadoцер преобладала *D. cristata*, доля которой в этой группе в среднем составляла 60 %, что на два порядка превышало соответствующие значения для *D. brachyurum*. В период с 2016 по 2018 г. вклад дафнии в общую численность Cladocera был довольно высоким и за исключением 2017 г. всегда превышал 39 %. По сравнению с ней доля диафаносомы была на два порядка меньше, а вариабельность – более выраженной. Полученный для фактических значений численности коэффициент вариации для диафаносомы в 2016–2018 гг. равнялся 144 %, тогда как соответствующая величина для дафнии составляла 8 %.

В 2019 и 2020 гг. можно было наблюдать снижение доли *D. cristata* на 30 % по сравнению с 2018 г. Численность же *D. brachyurum* в 2020 г., напротив, увеличилась на два порядка. В этот период в озере так же активно развивались *Chydorus sphaericus* и *Bosmina crassicornis*. Поскольку подобная ситуация не наблюдалась в предыдущие периоды, 2019 и 2020 гг.

были рассмотрены более подробно. Анализ показателей зоопланктона в эти два года выявил между ними заметные различия в сезонной динамике видов (рис. 5).

На протяжении всего 2019 года численность *D. brachyurum* была стабильно низкой и более чем на два порядка меньше численности *D. cristata*. Минимальное обилие обоих видов в этот год зафиксировано в сентябре. Так, численность дафнии по сравнению с июнем и августом сократилась в 43 раза, а диафаносома не встречалась вовсе. В 2020 г. можно было наблюдать иную картину. Численность *D. cristata* в этот год более чем в 1,5 раза превышала соответствующие значения в 2019 г. *D. brachyurum* также развивалась активнее, разница между двумя годами составляла более 200 раз.

Для оценки возможных причин наблюдаемых различий в исследуемые годы проведена оценка связи между численностью рассматриваемых видов и рядом лимнологических параметров: прозрачностью, температурой, концентрацией растворенного кислорода и углекислого газа, pH, перманганатной окисляемостью, цветностью и мутностью. За

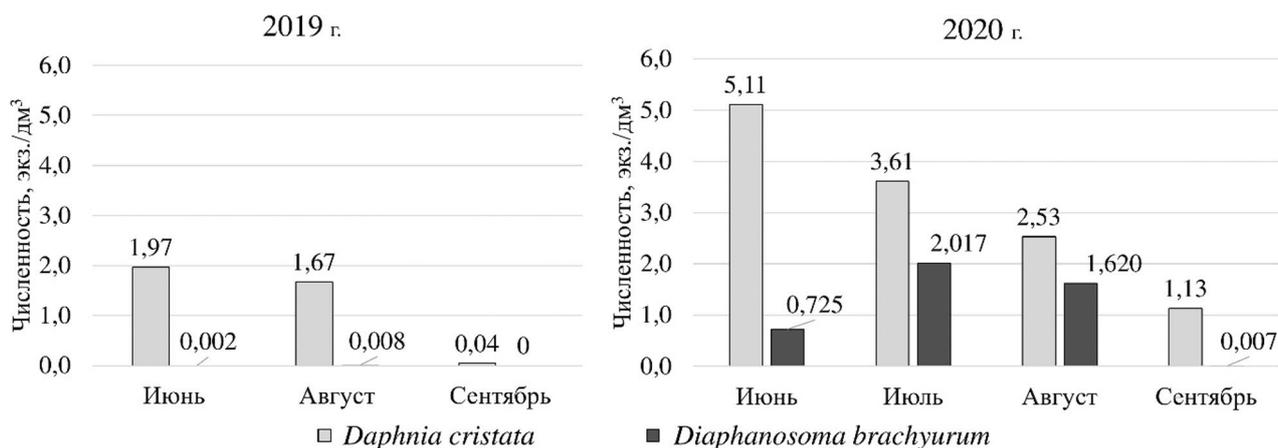


Рис. 5. Численность *Daphnia cristata* и *Diaphanosoma brachyurum* в июне–сентябре 2019 и 2020 гг.

Fig. 5. *Daphnia cristata* and *Diaphanosoma brachyurum* abundance in June–September of 2019 and 2020

Средние значения, диапазоны изменчивости и коэффициенты вариации ряда лимнологических параметров в поверхностном горизонте в июне–сентябре 2016–2020 гг. (по данным мониторинговой станции)

Mean values, variation ranges of several limnological parameters and their coefficients of variation in June–September of 2016–2020 (based on data from the monitoring site)

Параметр Parameter	Средние значения и диапазоны изменчивости Mean values and variation ranges	Коэффициент вариации Coefficient of variation
Прозрачность воды, м Water transparency, m	1,1 (0,6–1,5)	21,9
Температура воды, °C Water temperature, °C	17,3 (8,2–23,8)	25,8
Концентрация O ₂ , мг/дм ³ O ₂ concentration, mg/dm ³	7,8 (5,2–10,0)	16,3
Концентрация CO ₂ , мг/дм ³ CO ₂ concentration, mg/dm ³	5,9 (1,9–22,0)	78,8
pH	6,6 (6,2–7,2)	3,6
Перманганатная окисляемость, мгО/дм ³ Permanganate index, mgO/dm ³	19,4 (13,8–46,0)	38,4
Цветность, °Pt-Co Water color index, °Pt-Co	78,9 (50,0–117,0)	23,0
Мутность, ° Turbidity, °	9,7 (7,0–16,0)	22,8

исследуемый период изменчивость этих параметров была довольно существенной (табл.).

Коэффициент вариации практически у всех параметров превышал 20, а у концентрации растворенного углекислого газа и вовсе был больше 78. Наиболее стабильными относительно других были концентрации растворенного кислорода и pH.

Расчет коэффициентов корреляции по данным за пятилетний период выявил значимую ($p < 0,05$) положительную связь ($r = 0,64$) между численностью *D. brachyurum* и значением прозрачности. Гидрохимические параметры существенного воздействия на развитие исследуемых видов не оказывали. Температура

в указанный период также не являлась лимитирующим фактором. Вероятно, она воздействовала на численность исследуемых видов только в отдельные периоды. Так, на высокую численность диафаносомы в 2020 г. по сравнению с 2019 г. мог повлиять больший прогрев воды. Анализ температурной стратификации на мониторинговой станции в эти годы показал, что в 2020 г. слой эпилимниона с температурой 20 °C составлял 3 м, что на 1 м больше, чем в 2019 г.

Для исследования пространственной изменчивости в 2019–2020 гг. были специально проведены отдельные съемки на сетке станций, расположенных в различных частях озера

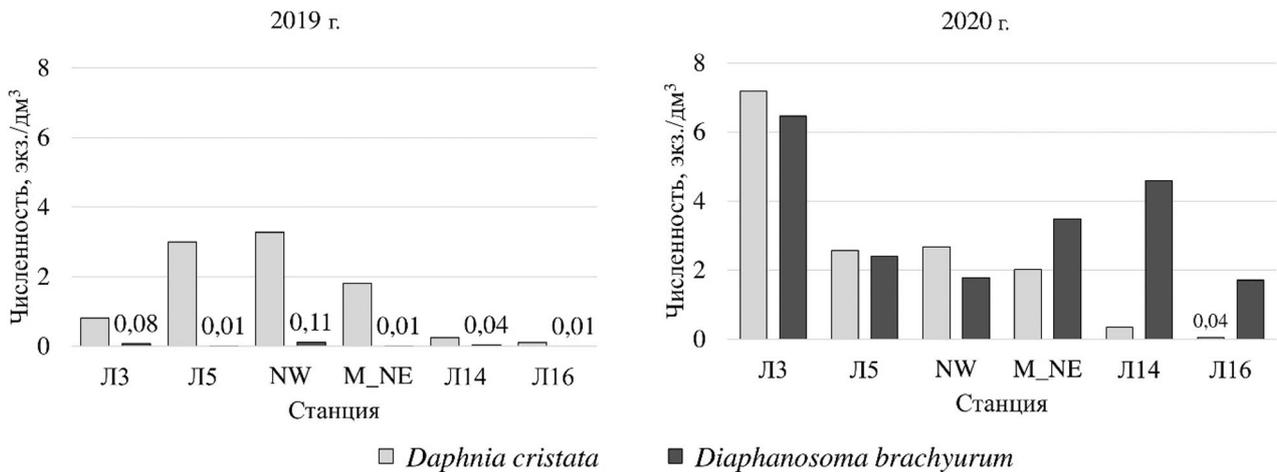


Рис. 6. Численность *Daphnia cristata* и *Diaphanosoma brachyurum* на шести станциях Лещевого озера в конце июля – начале августа 2019 и 2020 гг.

Fig. 6. *Daphnia cristata* and *Diaphanosoma brachyurum* abundance at the six sampling stations of Lake Leschovoye at the end of July – beginning of August of 2019 and 2020

с разной глубиной и степенью зарастания макрофитами (рис. 6).

В 2019 г. на всех исследуемых станциях во всем озере среди Cladocera преобладала дафния, ее доля в надотряде варьировала от 15 % (Л14) до 70 % (M_NE).

Обращают на себя внимание расположенные в непосредственной близости к мелиорируемым лугам станции Л14 и Л16. На них в 2019 г. зафиксированы крайне низкие значения численности обоих видов: 0,24 и 0,10 экз./дм³ для *D. cristata*; 0,04 и 0,01 экз./дм³ для *D. brachyurum* соответственно. В 2020 г. наблюдалась иная ситуация – численность *D. brachyurum* была сопоставима с численностью *D. cristata*. На станциях M_NE, Л14, Л16 численность диафаносомы и вовсе превышала численность дафнии в 2, 13 и 42 раза соответственно.

Заключение

В период с 2016 по 2020 гг. в оз. Лещевое была обнаружена высокая степень временной изменчивости популяций *Daphnia cristata* и *Diaphanosoma brachyurum*. Минимальные и максимальные значения среднегодовой численности дафнии отличались в три раза, тогда как для диафаносомы разница между соответствующими значениями составила два порядка. На протяжении практически всего периода наблюдений из двух видов отчетливо доминировала *D. cristata*, ее доля среди Cladocera в среднем составляла 61 %, тогда как доля *D. brachyurum* была существенно мень-

ше – 5 %. Показано статистически значимое ($p < 0,05$) влияние прозрачности на межгодовую изменчивость численности *D. brachyurum* (коэффициент корреляции $r = 0,64$). На популяцию дафнии температура, прозрачность и ряд гидрохимических параметров значимого воздействия в исследуемый период не оказывали.

Помимо прозрачности на пространственную и на временную изменчивость, предположительно, влияли межвидовая конкуренция, степень выедания рыбами-планктофагами и сток с мелиорируемых лугов. Конкуренция между видами за пищевые ресурсы может быть вызвана тем, что оптимальный диапазон улавливаемых частиц для рода *Daphnia* соответствует размеру организмов нанопланктона и микропланктона (от 2 до 45 мкм). В свою очередь, *D. brachyurum* относится к тонким фильтраторам и может питаться одиночными бактериями, а оптимальный размер улавливаемых частиц варьирует от 0,16 до 9 мкм и в отдельных случаях до 20 мкм [Geller, Müller, 1981; Коровчинский, 2004]. Это может приводить к заметной конкуренции за пищу размером от 2 до 8 мкм между этими видами [Matveev, 1987].

В 2016–2019 гг., когда прозрачность воды была относительно низкой (менее 1,1 м), *D. cristata* преобладала над *D. brachyurum*, являясь в целом более эффективным фильтратором. Вероятно, из-за такого уровня прозрачности была невысокой степень выедания дафний планктоноядными рыбами [Коровчинский, 2004]. Причиной мог явиться сток с мелиорируемых лугов – поступление аллохтонного вещества привело к установлению опреде-

ленных значений цветности и мутности: более 70° Pt-Co и 8° соответственно, при которых эффективность охоты планктоноядных рыб, ориентирующихся на зрение, могла снизиться. В оз. Лещевое эта группа представлена, в частности, молодью окуня *Perca fluviatilis* – типичного вида для исследуемого водоема [Рыжков, 1999]. Показано, что в финском озере Валкеа-Котинен (Valkea-Kotinen) со сходными с оз. Лещевое морфометрическими характеристиками при повышении цветности наблюдалось снижение выедания рыбой зоопланктона, в состав которого входили *Diaphanosoma brachyurum* и *Daphnia longispina* [Lehtovaara et al., 2014].

При значениях прозрачности более 1,1 м и значениях цветности и мутности менее 70° Pt-Co и 8° соответственно рыбы-планктофаги выедают дафилию активнее – этот вид, вероятно, более уязвим для хищников, нежели диафаносома [Коровчинский, 2004]. В таких условиях последняя может достигать высокой численности, как это и наблюдалось в 2020 г.

В 2019 г. численность исследуемых видов по сравнению с другими годами была заметно ниже. Как показал анализ ее пространственного распределения, наименьшие значения наблюдались в восточной части озера, которая расположена рядом с мелиорируемыми лугами. В западной части, не подверженной антропогенному воздействию, численность дафнии и диафаносомы была на порядок больше. В этот период оба вида-фильтратора испытывали угнетенность, вероятно, из-за поступления значительного объема аллохтонного органического вещества во взвешенном состоянии, которое привело к засорению их фильтрационного аппарата. Подобный механизм также описан для других водоемов [Зиновьев, Китаев, 2015].

Для выявления других факторов, влияющих на развитие *Daphnia cristata* и *Diaphanosoma brachyurum*, необходимы дальнейшие исследования. Для оценки степени влияния естественных параметров на динамику сообщества необходим анализ более обширных рядов наблюдений за зоопланктоном. Для дальнейшего изучения воздействия мелиоративных работ необходимо исследование объема поступающего аллохтонного органического вещества, а также размера его взвешенных частиц.

Литература

Андронникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб.: Наука, 1996. 189 с.

ГОСТ Р 52769–2007. Вода. Методы определения цветности. М.: Стандартинформ, 2007. 12 с.

Зиновьев Е. А., Китаев А. Б. О воздействии взвешенных частиц на гидрофауну // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17, № 5. С. 283–288.

Иванов Б. В., Павлов А. К. Косвенный метод определения концентрации взвешенных частиц в водах Финского залива (на примере бухты Портовая, Выборгский залив) // Ученые записки РГГМУ. 2007. № 7. С. 92–100.

Китаев С. П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М.: Наука, 1984. 207 с.

Кононова О. Н., Фефилова Е. Б. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик зоопланктона Европейского Севера России. Сыктывкар: ИБ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 152 с.

Коровчинский Н. М. Ветвистоусые ракообразные отряда Stenopoda мировой фауны (морфология, систематика, экология, зоогеография). М.: Т-во науч. изд. КМК, 2004. 410 с.

Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов бассейна Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 223 с.

Куликова Т. П., Кухарев В. И., Рябинкин А. В., Черышева Т. А. Гидробиологическая характеристика водных экосистем особо охраняемых природных территорий Республики Карелия // Труды КарНЦ РАН. 2009. № 2. С. 56–70.

Лазарева В. И. Зоопланктон озер различных типологических групп // Фауна и экология беспозвоночных животных в заповедниках РСФСР. М.: Центр. науч.-иссл. лаб. охотничьего хозяйства и заповедников, 1986. С. 10–15.

Лозовик П. А., Шкиперова О. Ф., Зобков М. Б., Платонов А. В. Геохимические особенности поверхностных вод Карелии и их классификация по химическим показателям // Труды КарНЦ РАН. 2006. № 9. С. 130–143.

Меншуткин В. В., Филатов Н. Н., Потахин М. С. Экспертная система «Озера Карелии». 1. Порядковые и номинальные характеристики озер // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 2. С. 160–171.

Озера Карелии. Справочник / Ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. 464 с.

Пидгайко М. Л. Зоопланктон водоемов Европейской части СССР. М.: Наука, 1984. 207 с.

ПНД Ф 14.1:2:3.101-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации растворенного кислорода в пробах природных и очищенных сточных вод йодометрическим методом. М.: НПП «Акватест», 2017. 27 с.

ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерения рН в водах потенциометрическим методом. М.: ФЦАО, 2004. 14 с.

ПНД Ф 14.1:2:4.213-05. Методика выполнения измерений мутности питьевых, природных и сточных вод турбидиметрическим методом по каолину и по формазину. М.: ФЦАМ МПР России, 2005. 17 с.

Рогозин А. Г., Снитыко Л. В., Тимошкин О. А. Термоиндикаторные свойства видов зоопланктона и их

измерение // Водные ресурсы. 2015. Т. 42, № 1. С. 85–91. doi: 10.7868/S0321059615010125

Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Ред. В. А. Абакумов. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 239 с.

Рыжков Л. П. Озера бассейна Северной Ладоги. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 1999. 204 с.

Рябинкина М. Г., Куликова Т. П., Рыжков Л. П. Зоопланктон водоемов бассейна Северной Ладоги // Труды КарНЦ РАН. 2012. № 1. С. 113–125.

Собственные научные проекты / Учебно-научная станция «Валаам» [Электронный ресурс]. URL: <http://valaam.rshu.ru/nauka.php> (дата обращения: 20.03.2021).

Степанова А. Б. Зоопланктон внутренних водоемов Валаамского архипелага и прилегающей акватории Ладожского озера: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1998. 19 с.

Степанова А. Б. Влияние водосбора на межгодовую изменчивость зоопланктона малых лесных озер о. Валаам (Ладожское озеро), 1997–2015 гг. // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Матер. V Междунар. науч. конф. (Минск-Нарочь, 12–17 сентября 2016 г.). Минск: БГУ, 2016. С. 108–109.

Степанова А. Б., Петушкова А. Б. Результаты исследования зоопланктона двух озер Валаамского архипелага (оз. Сисъярви и оз. Лещевого) // Вопросы прикладной экологии: Сб. научных трудов. СПб.: Крисмас+, 2002. С. 75–83.

Степанова А. Б., Шарафутдинова Г. Ф., Воякина Е. Ю. Гидрохимические особенности малых озер о. Валаам // Ученые записки РГГМУ. 2010. № 12. С. 97–109.

ЦВ 1.01.17-2004. Качество воды. Методика выполнения измерений содержания свободной углекислоты в пробах питьевых и природных вод. Титриметрический метод. СПб.: Центр исследования и контроля воды, 2005. 10 с.

Чернышев А. Н., Сергеева В. О., Котова А. К., Никитина С. Н., Бабин А. В., Воякина Е. Ю., Степанова А. Б. Особенности лимнологических параметров системы «Лещевое озеро – Лещевый залив» в период максимального прогрева воды (Валаамский архипелаг, Ладожское озеро) // Гидрометеорология и экология. 2020. № 61. С. 460–479. doi: 10.33933/2074-2762-2020-61-460-479

Чернышев А. Н., Степанова А. Б. Характеристика сообщества зоопланктона оз. Лещевое (о. Валаам,

Ладожское озеро) // Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации: Сб. тезисов Всерос. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 14–15 марта 2019 г.). СПб.: РГГМУ, 2019. С. 858–860.

Экосистемы Валаамского архипелага (Ладожское озеро) на рубеже 20 и 21 веков. Черты уникальности и современное состояние / Ред. А. Б. Степанова. СПб.: РГГМУ, 2016. 44 с.

Bergquist A. M., Carpenter S. R., Latino J. C. Shifts in phytoplankton size structure and community composition during grazing by contrasting zooplankton assemblages: Phytoplankton size structure // Limnol. Oceanogr. 1985. Vol. 30, no. 5. P. 1037–1045. doi: 10.4319/lo.1985.30.5.1037

Estlander S., Horppila J., Olin M., Nurminen L., Rask M., Lehtonen H. Zooplankton rhapsody: Unexpected response in community following increased fish predation // Boreal Environ. Res. 2017. No. 22. P. 157–167.

Ferdous Z., Muktadir A. K. M. A review: Potentiality of zooplankton as bioindicator // Am. J. Appl. Sci. 2009. Vol. 6, no. 10. P. 1815–1819. doi: 10.3844/ajassp.2009.1815.1819

Fryer G. Functional morphology and the adaptive radiation of the Daphniidae (Branchiopoda: Anomopoda) // Philosophical Trans. of the Royal Soc. of London. 1991. Vol. 331, no. 331. P. 1–99.

Geller W., Müller H. The filtration apparatus of Cladocera: Filter mesh-sizes and their implications on food selectivity // Oecologia. 1981. Vol. 49, no. 3. P. 316–321. doi: 10.1007/BF00347591

Geraldes A. M., Boavida M. J. Do littoral macrophytes influence crustacean zooplankton distribution? // Limnetica. 2004. No. 23. P. 57–64. doi: 10.23818/limn.23.05

Keller W., Conlon M. Crustacean zooplankton communities and lake morphometry in Precambrian shield lakes // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1994. Vol. 51, no. 11. P. 2424–2434. doi: 10.1139/f94-242

Lehtovaara A., Arvola L., Keskitalo J., Olin M., Rask M., Salonen K., Sarvala J., Tulonen T., Vuoremaa J. Responses of zooplankton to long-term environmental changes in a small boreal lake // Boreal Environ. Res. 2014. No. 19. P. 97–111.

Matveev V. F. Effect of competition on the demography of planktonic cladocerans – Daphnia and Diaphanosoma // Oecologia. 1987. Vol. 74, no. 3. P. 468–477.

Поступила в редакцию 25.02.2021

References

Andronnikova I. N. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipov [Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types]. St. Petersburg: Nauka, 1996. 189 p.

Chernyshev A. N., Sergeeva V. O., Kotova A. K., Nikitina S. N., Babin A. V., Voyakina E. Yu., Stepanova A. B. Osobennosti limnologicheskikh parametrov sistemy "Leshchevoe ozero – Leshchevyy zaliv" v period maksimal'nogo progreva vody (Valaamskii arkhipelag,

Ladozhskoe ozero) [Limnological parameters features of the Lake Leschovoye – Leschovi Bay system in the maximum water heating period (Valaam Archipelago, Lake Ladoga)]. *Gidrometeorol. i ekol.* [Hydro meteorol. and Ecol.]. 2020. No. 61. P. 460–479. doi: 10.33933/2074-2762-2020-61-460-479

Chernyshev A. N., Stepanova A. B. Kharakteristika soobshchestva zooplanktona oz. Leshchevoe (o. Valaam, Ladozhskoe ozero) [Description of zooplankton community in Lake Leschovoye (Valaam island, Lake

Ladoga)]. *Sovr. probl. gidrometeorol. i ustoichivo-go razvitiya Rossiiskoi Federatsii*: Sb. tezisov Vseros. nauch.-prakt. konf. (Sankt-Peterburg, 14–15 marta 2019 g.) [Modern probl. of hydrometeorol. and sustainable development of the Russian Federation: Proceed. All-Russ. sci. pract. conf. (St. Petersburg, March 14–15, 2019)]. St. Petersburg, 2019. P. 859–860.

Ekosistemy Valaamskogo arhipelaga (Ladozhskoe ozero) na rubezhe 20 i 21 vekov. Cherty unikal'nosti i sovremennoe sostoyanie [Valaam Archipelago (Lake Ladoga) ecosystems at the turn of the 20th and 21st centuries. Unique features and the current state]. Ed. A. B. Stepanova. St. Petersburg: RSHU, 2016. 44 p.

GOST R 52769-2007. Voda. Metody opredeleniya tsvetnosti [Federal standard R 52769-2007. Water. Methods for water color measurement]. Moscow: Standartinform, 2007. 12 p.

Ivanov B. V. Kosvennyi metod opredeleniya kontsentratsii vzveshennykh chastits v vodakh Finskogo zaliva (na primere bukhty Portovaya, Vyborgskii zaliv) [An indirect method for determining the concentration of suspended particles in the waters of the Gulf of Finland (on the example of Portovaya Bay, Vyborg Bay)]. *Uchenye zapiski RGGMU* [Proceed. Russ. St. Hydrometeorol. Univ.]. 2007. No. 7. P. 92–100.

Kitaev S. P. Ekologicheskie osnovy bioproduktivnosti ozer raznykh prirodnykh zon [Ecological bases of biological productivity of lakes of different natural zones]. Moscow: Nauka, 1984. 207 p.

Kononova O. N., Fefilova E. B. Metodicheskoe rukovodstvo po opredeleniyu razmerno-vesovykh kharakteristik zooplanktona Evropeiskogo Severa Rossii [Methodological guidelines for determining the size and weight characteristics of zooplankton in the European North of Russia]. Syktyvkar: IB Komi SC UB RAS, 2018. 152 p.

Korovchinskii N. M. Vetvistousye rakoobraznye otoryada Ctenopoda mirovoi fauny (morfologiya, sistematika, ekologiya, zoogeografiya) [Cladocerans of the Ctenopoda order of the world fauna (morphology, taxonomy, ecology, zoogeography)]. Moscow: KMK, 2004. 410 p.

Kulikova T. P. Zooplankton vodnykh ob"ektov basseina Onezhskogo ozera [Zooplankton of water bodies of the Lake Onego basin]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 223 p.

Kulikova T. P., Kukharev V. I., Ryabinkin A. V., Cherkryzheva T. A. Gidrobiologicheskaya kharakteristika vodnykh ekosistem osobo okhranyaemykh prirodnykh territorii Respubliki Kareliya [Hydrobiological characteristic of water ecosystems of the Republic of Karelia specially protected nature conservation areas]. *Trudy Kareli'skogo nauch. tsentra RAN* [Transactions of KarRC RAS]. 2009. No. 2. P. 56–70.

Lazareva V. I. Zooplankton ozer razlichnykh tipologicheskikh grupp [Zooplankton of lakes of different typological groups]. *Fauna i ecol. bespozvonochnykh zhivotnykh v zapoved. RSFSR* [Fauna and ecol. of invertebrates in the reserves of the RSFSR]. Moscow, 1986. P. 10–15.

Lozovik P. A., Shkiperova O. F., Zobkov M. B., Platonov A. V. Geokhimicheskie osobennosti poverkhnostnykh vod Karelii i ikh klassifikatsiya po khimicheskim pokazatelyam [Hydrochemical features of Karelia surface

waters and their classification by chemical parameters]. *Trudy Kareli'skogo nauch. tsentra RAN* [Transactions of KarRC RAS]. 2006. No. 9. P. 130–143.

Menshutkin V. V., Filatov N. N., Potakhin M. S. Ekspertnaya sistema "Ozera Karelii". 1. Poryadkovye i nominal'nye kharakteristiki ozer ["Karelian lakes" expert system: 1. Ordinal and nominal characteristics of lakes]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2009. Vol. 36, no. 2. P. 160–171.

Ozera Karelii. Spravochnik [Lakes of Karelia. A reference book]. Ed. N. N. Filatov. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2013. 464 p.

Pidgaiko M. L. Zooplankton vodoemov Evropeiskoi chasti SSSR [Zooplankton of the European part of the USSR water bodies]. Moscow: Nauka, 1984. 207 p.

PND F 14.1:2:3.101-97. Kolichestvennyi khimicheskii analiz vod. Metodika vypolneniya izmerenii massovoi kontsentratsii rastvorenogo kisloroda v probakh prirodnykh i ochishchennykh stochnykh vod iodometricheskim metodom [Conservational normative document F 14.1:2:3.101-97. Quantitative chemical analysis of waters. Procedure of measurements of dissolved oxygen weight concentration in samples from natural and treated sewage waters with the iodometric method]. Moscow: NPP Akvatest, 2017. 27 p.

PND F 14.1:2:3:4.121-97. Kolichestvennyi khimicheskii analiz vod. Metodika vypolneniya izmereniya pH v vodakh potentsiometricheskim metodom [Conservational normative document F 14.1:2:3:4.121-97. Quantitative chemical analysis of waters. Procedure of pH measurement in waters with the potentiometric method]. Moscow: FCAO, 2004. 14 p.

PND F 14.1:2:4.213-05. Metodika vypolneniya izmerenii mutnosti pit'evykh, prirodnykh i stochnykh vod turbidimetricheskim metodom po kaolinu i po formazinu [Conservational normative document F 14.1:2:4.213-05. Procedure of turbidity measurement in drinking waters, natural waters and sewage waters with turbidimetric method on kaolin and formazin]. Moscow: FCAM MPR Rossii, 2005. 17 p.

Rogozin A. G., Snit'ko L. V., Timoshkin O. A. Termoinikatornye svoistva vidov zooplanktona i ikh izmerenie [Temperature-indicating parameters of zooplankton species and their measurement]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2015. Vol. 42, no. 1. P. 85–91. doi: 10.7868/S0321059615010125

Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii [Manual for hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments]. Ed. V. A. Abakumov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983. 239 p.

Ryzhkov L. P. Ozera basseina Severnoi Ladogi [Lakes of the North Ladoga Lake basin]. Petrozavodsk: Izd-vo PetrGU, 1999. 204 p.

Ryabinkina M. G., Kulikova T. P., Ryzhkov L. P. Zooplankton vodoemov basseina Severnoi Ladogi [Zooplankton of the North Lake Ladoga basin water bodies]. *Trudy Kareli'skogo nauch. tsentra RAN* [Transactions of KarRC RAS]. 2012. No. 1. P. 113–125.

Sobstvennyye nauchnye proekty [Own research projects]. *Uchebno-nauch. stantsiya "Valaam"* [Valaam educational and scientific station].

URL: <http://valaam.rshu.ru/nauka.php> (accessed: 20.03.2021).

Stepanova A. B. Zooplankton vnutrennikh vodoemov Valaamskogo arhipelaga i privileyushchei akvatorii Ladozhskogo ozera [Zooplankton of inland water bodies of Valaam archipelago and Ladoga Lake contiguous waters]: Summary of PhD (Cand. of Biol.) thesis. St. Petersburg, 1998. 19 p.

Stepanova A. B. Vliyanie vodosbora na mezhgodovuyu izmenchivost' zooplanktona malykh lesnykh ozer o. Valaam (Ladozhskoe ozero), 1997–2015 gg. [Influence of the catchment area on the interannual variability of zooplankton in small forest lakes of the Valaam island (Ladoga Lake), 1997–2015]. *Ozernye ekosistemy: biol. protsessy, antropogennaya transformatsiya, kachestvo vody: Mater. V Mezhdunar. nauch. konf. (Minsk-Naroch', 12–17 sent. 2016 g.)* [Lake ecosystems: biol. processes, anthropogenic transformation, water quality: Proceed. V int. sci. conf. (Minsk-Naroch, Sept. 12–17, 2016)]. Minsk, 2016. P. 108–109.

Stepanova A. B., Petushkova A. B. Rezul'taty issledovaniya zooplanktona dvukh ozer Valaamskogo arhipelaga (oz. Sis'yarvi i oz. Leshchevogo) [Results of the study of zooplankton of two lakes of the Valaam archipelago (Lake Sis'yarvi and Lake Leshchovoye)]. *Voprosy priklad. ekol.: Sb. nauch. trudov* [Appl. Ecol. Iss.: Proceed.]. St. Petersburg: Krismas +, 2002. P. 75–83.

Stepanova A. B., Sharafutdinova G. F., Voyakina E. Yu. Gidrokhimicheskie osobennosti malykh ozer o. Valaam [Hydrochemical features of Valaam island small lakes]. *Uchenye zapiski RGGMU* [Proceed. Russ. St. Hydrometeorol. Univ.]. 2010. No. 12. P. 97–109.

TsV 1.01.17-2004. Kachestvo vody. Metodika vypolneniya izmerenii sodержaniya svobodnoi uglekisloty v probakh pit'evykh i prirodnykh vod. Titrimetricheskii metod [TsV 1.01.17-2004. Water quality. Manual for measuring concentration of free carbon dioxide in samples of drinking waters and natural waters. Titration method]. St. Petersburg, 2005. 10 p.

Zinov'ev E. A., Kitaev A. B. O vozdeistvii vzheshennykh chastits na gidrofaunu [On the effect of suspended particles on hydrofauna]. *Izv. Samarskogo nauch.*

tsentra RAN [Izvestia RAS SamSC]. 2015. Vol. 17, no. 5. P. 283–288.

Bergquist A. M., Carpenter S. R., Latino J. C. Shifts in phytoplankton size structure and community composition during grazing by contrasting zooplankton assemblages: Phytoplankton size structure. *Limnol. Oceanogr.* 1985. Vol. 30, no. 5. P. 1037–1045. doi: 10.4319/lo.1985.30.5.1037

Estlander S., Horppila J., Olin M., Nurminen L., Rask M., Lehtonen H. Zooplankton rhapsody: Unexpected response in community following increased fish predation. *Boreal Environ. Res.* 2017. No. 22. P. 157–167.

Ferdous Z., Muktadir A. K. M. A review: Potentiality of zooplankton as bioindicator. *Am. J. Appl. Sci.* 2009. Vol. 6, no. 10. P. 1815–1819. doi: 10.3844/ajassp.2009.1815.1819

Fryer G. Functional morphology and the adaptive radiation of the Daphniidae (Branchiopoda: Anomopoda). *Philosophical Trans. of the Royal Soc. of London.* 1991. Vol. 331, no. 331. P. 1–99.

Geller W., Müller H. The filtration apparatus of Cladocera: Filter mesh-sizes and their implications on food selectivity. *Oecologia.* 1981. Vol. 49, no. 3. P. 316–321. doi: 10.1007/BF00347591

Geraldes A. M., Boavida M. J. Do littoral macrophytes influence crustacean zooplankton distribution? *Limnetica.* 2004. No. 23. P. 57–64. doi: 10.23818/limn.23.05

Keller W., Conlon M. Crustacean zooplankton communities and lake morphometry in Precambrian shield lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1994. Vol. 51, no. 11. P. 2424–2434. doi: 10.1139/f94-242

Lehtovaara A., Arvola L., Keskitalo J., Olin M., Rask M., Salonen K., Sarvala J., Tulonen T., Vuoremaa J. Responses of zooplankton to long-term environmental changes in a small boreal lake. *Boreal Environ. Res.* 2014. No. 19. P. 97–111.

Matveev V. F. Effect of competition on the demography of planktonic cladocerans – Daphnia and Diaphanosoma. *Oecologia.* 1987. Vol. 74, no. 3. P. 468–477.

Received February 25, 2021

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Чернышев Александр Николаевич

магистрант
Российский государственный гидрометеорологический университет
ул. Воронежская, 79, Санкт-Петербург, Россия, 192007
эл. почта: chernyshev.alexander2015@yandex.ru

Степанова Анастасия Борисовна

доцент кафедры прикладной и системной экологии, начальник Учебно-научной станции на о. Валаам, к. б. н. Российский государственный гидрометеорологический университет
ул. Воронежская, 79, Санкт-Петербург, Россия, 192007
эл. почта: ab-stepanova@yandex.ru

CONTRIBUTORS:

Chernyshev, Alexander

Russian State Hydrometeorological University
79 Voronezhskaya St., 192007 St. Petersburg, Russia
e-mail: chernyshev.alexander2015@yandex.ru

Stepanova, Anastasia

Russian State Hydrometeorological University
79 Voronezhskaya St., 192007 St. Petersburg, Russia
e-mail: ab-stepanova@yandex.ru