

МАРИЯ ТАГЕВНА СЯРКИ

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук (Петрозаводск, Российская Федерация)
msyarki@yandex.ru

ЮЛИЯ ЮРЬЕВНА ФОМИНА

младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра Российской академии наук (Петрозаводск, Российская Федерация)
rambler7780@rambler.ru

ЗООПЛАНКТОН ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА В ПОДЛЕДНЫЙ ПЕРИОД*

Подробные исследования подледного состояния зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера проходили в рамках проекта «Lake Ladoga: Life under ice» в марте 2015 и 2016 годов. Зимний зоопланктон характеризовался бедностью видового состава (24 вида) и количества (0,5 тыс. экз./м³ и 0,016 г/м³). Основу его по численности (91 %) и по биомассе (98 %) составляли взрослые веслоногие рачки и их науплиальные стадии. Биомасса зоопланктона в столбе воды увеличивалась с глубиной и уменьшалась в прибрежной зоне. Изучено вертикальное распределение зоопланктона и отдельных его видов. Количество зоопланктона достоверно различалось по годам. В 2015 году наблюдалась фаза конвективного перемешивания, а в 2016 году – нет, что связано со смещением фазы термического режима. Состав, структура и количество зоопланктона не изменились с 60-х годов прошлого века, что указывает на устойчивость его функционирования.

Ключевые слова: зоопланктон, зимний период, Онежское озеро, сезонная динамика

Зоопланктон является важной частью пелагической озерной экосистемы, и его функционирование тесно связано с цикличностью факторов среды [3]. Подледное состояние водных сообществ является важной частью годового цикла. В последние годы значительно возрос интерес к функционированию планктона в зимний период. Подробные исследования проводились в Новосибирском [1] и Рыбинском водохранилищах [5], озерах бассейна Верхней Волги (Стерж, Селигер, Белое и др.) [9], Телецком озере [7], в озере Байкал [17] и др.

Сокращение продолжительности ледового и снежного покрова в озерах и реках по всему миру [13], [17] делает все более актуальным изучение динамики планктона подо льдом и роли этого периода в процессах всей экосистемы. Показано, что характеристики зимнего льда влияют на весенний и летний рост водорослей в озерах [16]. В последние десятилетия на Онежском озере наблюдается сокращение продолжительности периода ледостава на 12 дней [11], что может вызвать сдвиги важных фенологических процессов, таких как весенняя сукцессия планктона, а также привести к изменениям в трофической сети и потоках углерода в экосистеме [15].

Специфические условия среды подо льдом обуславливают особое зимнее состояние зоопланктона, которое отличается бедностью со-

става, низкими количественными и функциональными характеристиками. Несмотря на это подо льдом продолжается активная жизнедеятельность планктонных животных, жизненные циклы которых зимой не прерываются.

Изученность зимнего зоопланктона значительно хуже, чем его динамика в период открытой воды. Отдельные исследования на Петрозаводской губе проводились в 1948–1950 [8], 1963 и 1969 годах [12].

Целью нашей работы являлось изучение подледного состояния зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера, его состава, структуры и пространственно-временного распределения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования подледного зоопланктона были проведены в марте 2015–2016 годов в рамках международного проекта «Lake Ladoga: Life under ice». Большая часть материала была отобрана на станции «Ледовый лагерь» (Ice camp, с координатами N 61°48' E 34°25'), расположенной в центре Петрозаводской губы. С 18 по 23 марта 2015 года были отобраны 16 проб, с 11 по 22 марта 2016 года – 60 проб. В 2015 году станции облавливались интегрально от нижней кромки льда до дна. В 2016 году отбирались пробы с детализацией в 5 или 10 м. В период 22–23 марта 2016 года была отобрана суточная станция с пе-

риодичностью в 4 часа. 20 марта 2016 года кроме Ледового лагеря по продольному разрезу залива были отобраны 3 дополнительные станции (рис. 1). Кроме того, для исследования прибрежной зоны привлекались данные отдельных съемок зимнего зоопланктона Петрозаводской губы за февраль – март 2009–2014 годов.

Обор проб производили сетью Джеди (с размером отверстий 100 мкм) по слоям. Камеральная обработка и расчет биомасс производились стандартными методами [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Всего в период исследований 2015–2016 годов в зоопланктоне Петрозаводской губы обнаружено 24 вида и группы с рангом ниже рода, из них: веслоногих рачков – 10, ветвистоусых рачков – 3, коловраток – 11 (таблица). Основу зоопланктона составляли как круглогодичные виды (*Limnocalanus macrurus* Sars, 1863, *Eudiaptomus gracilis* Sars, 1863, *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879)), так и типично зимние (*Cyclops kolensis* Lilljeborg, 1901, *Megacyclops gigas* (Claus, 1857), *Notholca cinetura* Skorikov, 1914, *Keratella hiemalis* Carlin, 1943). Также в планктоне отмечены *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851) и *Asplanchna* sp. Кладоцеры встречаются редко и представлены в основном круглогодичным видом *Daphnia* (*Daphnia*) *cristata* (Sars, 1862).

Плотность зоопланктона по различным горизонтам варьировала от 0,2 до 1,3 тыс. экз./м³, в среднем составляя 0,50 тыс. экз./м³, а биомасса – от 0,9 до 48 мг/м³, в среднем 16 мг/м³. Для столба воды средняя за 2 года исследований численность составляла 14 тыс. экз./м², биомасса – 0,40 г/м².

По структуре зимний зоопланктон центральной части губы носил каланоидно-циклопоидный характер (91 % по численности и 98 % по биомассе). Основную его часть составляли науплии веслоногих рачков (50 %), взрослые рачки *Eudiaptomus gracilis* (30 %) и представители циклопид (12 %). Количество ветвистоусых рачков

Состав зоопланктона и частота встречаемости видов в зимний период (март 2015–2016 годов)

Вид	Частота встречаемости
<i>Limnocalanus macrurus</i> Sars, 1863	1
<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)	1
<i>Megacyclops gigas</i> (Claus, 1857)	1
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	1
<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)	0,96
<i>Cyclops kolensis</i> Lilljeborg, 1901	0,79
<i>Daphnia cristata</i> Sars, 1862	0,71
<i>Asplanchna</i> sp.	0,63
<i>Keratella cochlearis</i> (Gosse, 1851)	0,46
<i>Notholca cinetura</i> Skorikov, 1914	0,42
<i>Conochilus</i> sp.	0,42
<i>Synchaeta stylata</i> Wierzejski, 1893	0,33
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	0,29
<i>Eutytemora lacustris</i> (Poppe, 1887)	0,21
<i>Cyclops strenuus</i> Fischer, 1851	0,17
<i>Diacyclops abyssicola</i> (Lilljeborg, 1901)	0,125
<i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)	0,125
<i>Lecane</i> sp.	0,125
<i>Daphnia longiremis</i> Sars, 1862	0,08
<i>Bosmina coregoni lacustris</i> Sars, 1862	0,08
<i>Notholca caudata</i> Carlin, 1943	0,08
<i>Cyclops abyssorum taticus</i> Kozminski, 1927	0,08
<i>Polyarthra vulgaris</i> Carlin, 1943	0,04
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	0,04

было незначительным. Коловратки по численности в среднем составляли 8 % и менее 1 % по биомассе. В прибрежной части на глубинах <10 м отмечено заметное увеличение количества коловраток (до 20–30 % по численности), что связано с влиянием рек Лососинки и Неглинки.

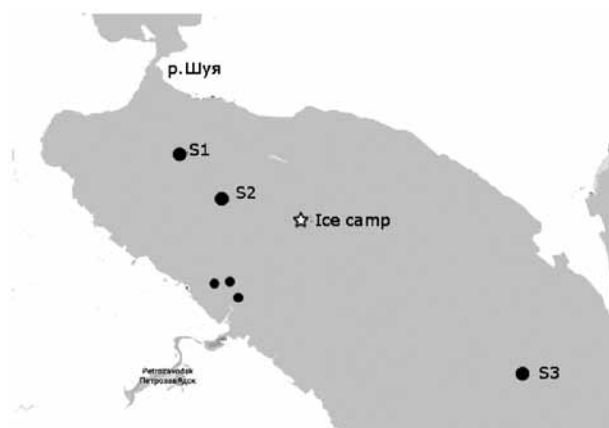


Рис. 1. Схема расположения станций и Ледового лагеря в Петрозаводской губе Онежского озера

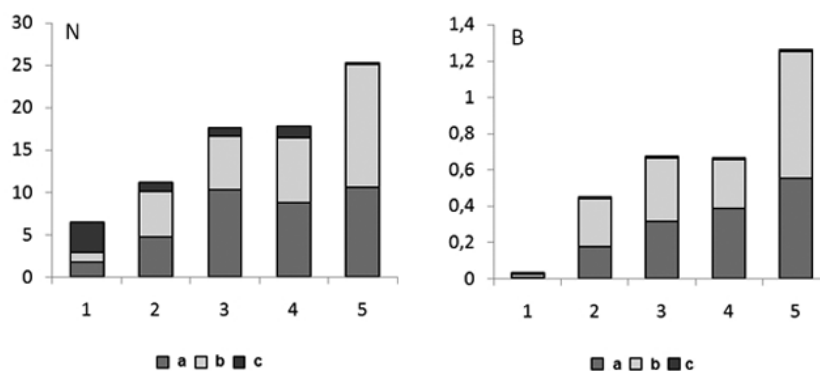


Рис. 2. Пространственное распределение численности (N, тыс. экз./м³) и биомассы (B, г/м³) зоопланктона 20 марта 2016 года: 1 – прибрежная зона с глубиной <10 м, 2 – станция S1 (20 м), 3 – станция S2 (21 м), 4 – Ледовый лагерь (26 м), 5 – станция S3 (30 м). а – калянойды, б – циклопиды, с – коловратки

Пространственное распределение зоопланктона по заливу в этот период определяется глубинами. Неравномерное вертикальное распределение планктонных животных и приуроченность многих из них к глубоким слоям и ко дну вызывают увеличение общей численности и, особенно, биомассы с глубиной (рис. 2). В прибрежной зоне на глубинах менее 10 м количество зоопланктона не превышало 5–6 тыс. экз./м³, причем доля коловраток здесь достигала иногда 50 % общей численности. Крупные веслоногие рачки малых глубин избегают и встречаются в этом районе спорадически, что определяет меньшие, чем в центральной части залива, биомассы. На станциях с глубинами более 20 м преобладающую часть в сообществе играли веслоногие рачки, взрослые и науплии. Следует отметить, что количество зоопланктона постепенно увеличивается от станции S1 по направлению к открытой части губы, где отмечены максимальные величины зоопланктона в столбе воды. Причем доля коловраток здесь составляла менее 1 % (рис. 2).

Неравномерность в распределении планктона вызывает также влияние вод р. Шуя, которые распространяются подо льдом и несут большое количество гуминовых веществ. В зоне их перемешивания с водами залива наблюдаются фронтальные явления и происходит активизация функционирования микроорганизмов, что, в свою очередь, привлекает зоопланктон. В 2015 году за период исследования на станции в Ледовом лагере количество зоопланктона изменялось в 2 раза, а биомассы – в 6 раз. Так, 18–19 марта 2015 года численность колебалась в пределах 20–25 тыс. экз./м³, а биомасса варьировала в диапазоне 0,40–0,50 г/м³. В период 20–21 марта количество зоопланктона снизилось до 12–14 тыс. экз./м³ и 0,08–0,18 г/м³. Количество зоопланктона вновь увеличилось 22 марта – до 14–18 тыс. экз./м³ и 0,30–0,35 г/м³. По-видимому, эта изменчивость была обусловлена как движением вод, так и активными горизонтальными миграциями рачков.

В марте подо льдом наблюдается обратная температурная стратификация, при которой придонные температуры выше, чем температуры в поверхностных слоях.

Вертикальное распределение зоопланктона было связано с температурными и трофическими предпочтениями планктеров [14]. Так, большая часть науплий рачка *Limnocalanus macrurus* была сосредоточена в верхних слоях воды (до 10 м), науплии циклопид распределялись по вертикали более равномерно. Взрослые особи рачков *Eudiaptomus gracilis* и *Limnocalanus macrurus* собирались в стаи и концентрировались в нижних слоях (глубже 20 м).

Среднее количество зоопланктона в столбе воды по годам достоверно различалось (уровень значимости <0,05). Так, средняя численность зоопланктона в 2015 году составляла $17,0 \pm 3,0$ тыс. экз./м³, биомасса $0,30 \pm 0,1$ г/м³, а в 2016 году – $13,0 \pm 1,8$ и $0,46 \pm 0,09$ соответственно. Досто-

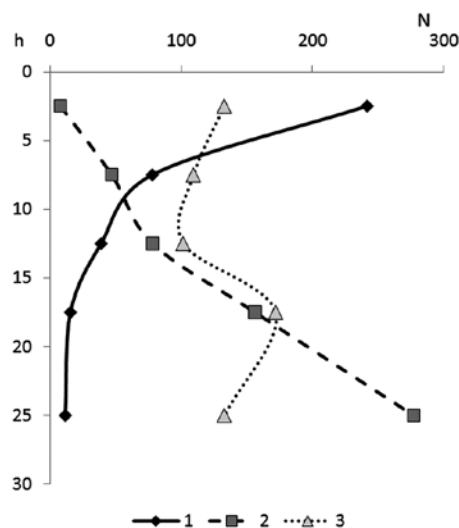


Рис. 3. Вертикальное распределение плотности (N, тыс. экз./м³) науплий *Limnocalanus macrurus* (1), науплий циклопид (3) и взрослых рачков *Eudiaptomus gracilis* (2) 22 марта 2016 года

верно различались и средние индивидуальные веса организмов (w_i). В 2015 году ($w_i = 0,017$ мкг) они были почти в два раза меньше, чем в 2016 году ($w_i = 0,036$). Подобные различия вызывались большей долей коловраток в 2015 году, достигающей в среднем 15 % (максимум 28 %) общей численности. В 2016 году доля коловраток в среднем составляла 8 % (максимум 14 %). Известно, что роль коловраток в сообществе отражает его трофические условия. Исследуемые годы различались по характеру ледового покрова и температурному режиму. В 2015 году лед был прозрачным, практически без снега, и подо льдом началась конвекция, активизирующая продукционные процессы [2]. В 2016 году лед был покрыт слоем снега, затрудняющего процессы прогревания, и конвективные перемешивания еще не начались.

Зимние показатели зоопланктона Петрозаводской губы в сезонном цикле невысоки и меньше летних показателей в десятки раз (в 40 раз по численности и в 60 – по биомассе) [10], тем не менее этот период важен для устойчивого функционирования сообщества в годовом цикле. В этот период размножается глубоководный реликтовый рачок *Limnocalanus*, начинает размножаться *Eudiaptomus*. Эти рачки являются основными кормовыми объектами для рыб-планктофагов (ряпушки, корюшки) в зимний, весенний и осенний периоды.

Сравнение современных данных с таковыми предыдущих лет исследования [3], [12] показало, что в марте состав зоопланктона и его количество были сходны. Так, по данным З. И. Филимоновой [12], в 60-е годы прошлого века численность зим-

него зоопланктона Петрозаводской губы колебалась по станциям от 0,014 до 1,4 тыс. экз./м³ при средней численности 0,61 тыс. экз./м³. В наших исследованиях при меньшем охвате акватории губы численность колебалась от 1 тыс. экз./м³ в прибрежной зоне до 0,30–0,50 тыс. экз./м³ в центральной части губы при среднем показателе 0,50 тыс. экз./м³. Сходные данные свидетельствуют об устойчивом функционировании зимнего планктона Петрозаводской губы Онежского озера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зимний зоопланктон Петрозаводской губы характеризовался бедностью видового состава (24 вида) и количества, со средней численностью 0,5 тыс. экз./м³ и биомассой – 0,016 г/м³. Основу его по численности и биомассе составляли взрослые веслоногие рачки и их науплиальные стадии. Большая часть биомассы сообщества была сосредоточена в глубоких слоях, поэтому показатели зоопланктона в столбе воды увеличивались с глубиной и уменьшались в прибрежной зоне.

Количество зоопланктона достоверно различалось по годам, что связано со смещением фазы термического режима. В 2015 году в период исследования подо льдом наблюдалась фаза конвективного перемешивания, а в 2016 году снег, лежащий на льду, замедлил прогрев воды и конвекцию.

Состав, структура и количество зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера не изменились с 1960-х годов прошлого века, что указывает на устойчивость его функционирования.

* Исследование проведено за счет проекта «Lake Ladoga: life under ice. Interplay of under-ice processes by global change. A Russian-Swiss multi-disciplinary project» (50 %) и в рамках выполнения госзадания в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН № 0223-2014-0012 «Эволюция озерно-речных систем Севера России. Реакция озер на антропогенное воздействие и изменения климата в северном полушарии» (50 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолаева Н. И. Состав и функционирование зимних зоопланктонных сообществ Новосибирского водохранилища // Сибирский экологический журнал. 2000. № 2. С. 165–171.
2. Здоровеннова Г. Э., Здоровеннов Р. Э., Пальшин Н. И., Ефремова Т. В., Волков С. Ю., Гавриленко Г. Г., Богданов С. Р., Тержевик А. Ю. Распределение хлорофилла «А» в Петрозаводской губе Онежского озера в период подледной конвекции // Всероссийская конференция по крупным внутренним водоемам (V Ладужский симпозиум): Сборник научных трудов конференции. СПб.: Лема, 2016. С. 153–156.
3. Куликова Т. П., Кустовлянкина Н. Б., Сярки М. Т. Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1997. 112 с.
4. Куликова Т. П., Сярки М. Т. Сезонная динамика зоопланктонного сообщества Петрозаводской губы Онежского озера // Проблемы лососевых на Европейском Севере. Петрозаводск, 1993. С. 186–197.
5. Лазарева В. И., Соколова Е. А. Состав и обилие зимнего зоопланктона в Рыбинском водохранилище // Поволжский экологический журнал. 2017. № 2. С. 136–146.
6. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов в гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Под ред. Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 33 с.
7. Митрофанова Е. Ю., Бурмистрова О. С. Разнообразие и обилие подледного планктона как показатели функционирования экосистемы глубокого олиготрофного Телецкого озера // МНКО. 2007. № 3. С. 31–34.
8. Поливанная М. Ф. Материалы к познанию зоопланктона Онежского озера: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 1950. 18 с.

9. Ривьер И. К. Холодноводный зоопланктон озер бассейна верхней Волги. Ижевск: Издатель Пермьяков С. А., 2012. 390 с.
10. Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю. Сезонные изменения в зоопланктоне Петрозаводской губы Онежского озера // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 1. С. 63–68.
11. Филатов Н. Н., Руховец Л. А., Назарова Л. Е., Георгиев А. П., Ефремова Т. В., Пальшин Н. И. Влияние изменения климата на экосистемы озер Севера Европейской территории России // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014. № 34. С. 48–55.
12. Филимонова З. И. Зоопланктон Петрозаводской губы Онежского озера // Охрана и использование водных ресурсов Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1974. С. 212–247.
13. Benson B. J., Magnuson J. J., Jensen O. P., Card V. M., Hodgkins G., Korhonen J., Livingstone D. M., Stewart K. M., Weyhenmeyer G. A., Granin N. G. Extreme events, trends, and variability in Northern Hemisphere lake-ice phenology (1855–2005) // *Clim. Change*. 2012. Vol. 112. P. 299–323.
14. Cunningham L. Vertical migrations of *Daphnia* and copepods under the ice // *Limnol. Oceanogr.* 1972. Vol. 17. P. 301–303.
15. Hampton S. E., Moore M. V., Ozersky T., Stanley E. H., Poleshenski C. M., Galloway A. W. E. Heating up a cold subject: prospects for under-ice research in lakes // *Journal of Plankton Research*. 2015. Vol. 37. P. 277–284.
16. Hampton S. E., Galloway A. W. E., Powers S. M. et al. Ecology under lake ice // *Ecology Letters*. 2017. Vol. 20. P. 98–111.
17. Hampton S. E., Gray D. K., Izvest'eva L. R., Moore M. V., Ozersky T. The rise and fall of plankton: long-term changes in the vertical distribution of algae and grazers in Lake Baikal, Siberia // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9. Issue 2. P. 1–10.

Syarki M. T., Northern Water problems Institute of Karelian Research Center, RAS
(Petrozavodsk, Russian Federation)

Fomina Yu.Yu., Northern Water Problems Institute of Karelian Research Center, RAS
(Petrozavodsk, Russian Federation)

UNDER ICE ZOOPLANKTON IN PETROZAVODSK BAY OF ONEGO LAKE

A detailed study of the under-ice zooplankton in Petrozavodsk Bay of Onega Lake was made in the frames of the project “Lake Ladoga: Life under ice” in March of 2015 and 2016. The winter zooplankton was characterized by scarce species composition (24 species) and low quantity (0,5 th. ind./m³ and 0,016 g /m³). The basis of its numerical strength (91 %) and biomass (98 %) was presented by adult copepods and their naupliar stages. The zooplankton biomass in the water column increased with the depth of the water and decreased in the coastal zone. The vertical distribution of zooplankton and its some species has been studied. The zooplankton characteristics significantly differed by years. The phase of convective mixing was observed in 2015; in contrast, in 2016 it was not registered, which was conditioned by the shift in the thermal regime phase. The composition, structure and numerical strength of the studied zooplankton have not changed since the 60s of the last century, which indicates its functioning stability.

Key words: zooplankton, winter period, Lake Onega, seasonal dynamics

REFERENCES

1. Ermolaeva N. I. Composition and functioning of winter zooplankton communities of Novosibirsk reservoir [Sostav i funkcionirovanie zimnikh zooplanktonnykh soobshchestv Novosibirskogo vodokhranilishcha]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal]. 2000. № 2. P. 165–171.
2. Zdorovenнова G. E., Zdorovenнов R. E., Palshin N. I., Efremova T. V., Volkov S. Yu., Gavrilenko G. G., Bogdanov S. R., Terzhevik A. Yu. Dispersion of chlorophyll “A” in Petrozavodsk Bay of Onega Lake during under-ice convection period [Raspreedelenie khlorofilla “A” v Petrozavodskoy gube Onezhskogo ozera v period podlednoy konveksii]. *Vserossiyskaya konferentsiya po krupnym vnutrennim vodoemam (V Ladozhskiy simpozium): Sbornik nauchnykh trudov konferentsii*. St. Petersburg, Lema Publ., 2016. P. 153–156.
3. Kulikova T. P., Kustovlyankina N. B., Syarki M. T. *Zooplankton kak komponent ekosistemy Onezhskogo ozera* [Zooplankton as a component of the ecosystem of Onega Lake]. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 1997. 112 p.
4. Kulikova T. P., Syarki M. T. Seasonal dynamics of zooplankton community in Petrozavodsk Bay of Onega Lake [Sezonnaya dinamika zooplanktonnogo soobshchestva Petrozavodskoy guby Onezhskogo ozera]. *Problemy lososevykh na Evropeyskom Severe*. Petrozavodsk, 1993. P. 186–197.
5. Lazareva V. I., Sokolova E. A. Composition and abundance of winter zooplankton in Rybinsk reservoir [Sostav i obilie zimnego zooplanktona v Rybinskom vodokhranilishche]. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal*. 2017. № 2. P. 136–146.
6. *Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov v gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh. Zooplankton i ego produktiya* [Methodical recommendations for the collection and processing of materials in hydrobiological research on freshwater reservoirs. Zooplankton and its products]. Ed. G. G. Vinberg, G. M. Lavrentyev. Leningrad, GosNIORKh Publ., 1984. 33 p.
7. Mitrofanova E. Yu., Burmistrova O. S. Variety and abundance of under-ice plankton as indicators of functioning ecosystems in deep oligotrophic Teletskoye Lake [Raznoobrazie i obilie podlednogo planktona kak pokazateli funktsionirovaniya ekosistemy glubokogo oligotrofnogo Teletskogo ozera]. *MNKO*. 2007. № 3. P. 31–34.

8. Polivannaya M. F. *Materialy k poznaniyu zooplanktona Onezhskogo ozera: Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Materials for knowledge about zooplankton of Onego Lake: Author's abstract. dis. for academic competition. degree of Cand. Biol. Sciences]. Petrozavodsk, 1950. 18 p.
9. Rivier I. K. *Kholodnovodnyy zooplankton ozer basseyna verkhney Volgi* [Cold-water zooplankton of lakes basin of the upper Volga]. Izhevsk, Izdatel' Permyakov S. A. Publ., 2012. 390 p.
10. Syarki M. T., Fomina Yu. Yu. Seasonal changes in zooplankton of Petrozavodsk Bay of Onego Lake [Sezonnye izmeneniya v zooplanktone Petrozavodskoy guby Onezhskogo ozera]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences]. 2015. № 1. P. 63–68.
11. Filatov N. N., Rukhovets L. A., Nazarova L. E., Georgiev A. P., Efremova T. V., Palshin N. I. Influence of the climate change on the ecosystems of the Northern lakes in the European territory of Russia [Vliyaniye izmeneniya klimata na ekosistemy ozer Severa Evropeyskoy territorii Rossii]. *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta* [Proceedings of Petrozavodsk State University]. 2014. № 34. P. 48–55.
12. Filimonova Z. I. Zooplankton of Petrozavodsk Bay of Onego Lake [Zooplankton Petrozavodskoy guby Onezhskogo ozera]. *Okhrana i ispol'zovanie vodnykh resursov Karelii*. Petrozavodsk, Karel'skiy filial AN SSSR Publ., 1974. P. 212–247.
13. Benson B. J., Magnuson J. J., Jensen O. P., Card V. M., Hodgkins G., Korhonen J., Livingstone D. M., Stewart K. M., Weyhenmeyer G. A., Granin N. G. Extreme events, trends, and variability in Northern Hemisphere lake-ice phenology (1855–2005) // *Clim. Change*. 2012. Vol. 112. P. 299–323.
14. Cunningham L. Vertical migrations of *Daphnia* and copepods under the ice // *Limnol. Oceanogr.* 1972. Vol. 17. P. 301–303.
15. Hampton S. E., Moore M. V., Ozersky T., Stanley E. H., Poleshenski C. M., Galloway A. W. E. Heating up a cold subject: prospects for under-ice research in lakes // *Journal of Plankton Research*. 2015. Vol. 37. P. 277–284.
16. Hampton S. E., Galloway A. W. E., Powers S. M. et al. Ecology under lake ice // *Ecology Letters*. 2017. Vol. 20. P. 98–111.
17. Hampton S. E., Gray D. K., Izmet'seva L. R., Moore M. V., Ozersky T. The rise and fall of plankton: long-term changes in the vertical distribution of algae and grazers in Lake Baikal, Siberia // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9. Issue 2. P. 1–10.

Поступила в редакцию 22.09.2017