
ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ECOLOGY AND CONSERVANCY

УДК 574.5

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗООПЛАНКТОНА В ОЗЕРАХ РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА

И. Н. СЕЛИВОНЧИК¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Приведены доминирующие комплексы видов зоопланктона пелагиали озер Нарочь, Мясстро, Баторино (2014–2019), Малые и Большие Швакшты (2014–2015), Свирь (2018). Проанализирована сезонная динамика развития зоопланктона, отмечен вклад таксономических групп и отдельных видов в численность и биомассу зоопланктона озер, различающихся по трофическому статусу. В развитии зоопланктона на протяжении вегетационного сезона прослеживалась двухвершинная кривая количественных показателей. В весенний период в зоопланктоне, как правило, преобладали коловратки, в летне-осенний – представители рачкового зоопланктона. По мере повышения трофического статуса озер возрастало относительное значение биомассы ветвистоусых ракообразных и уменьшался удельный вес веслоногих ракообразных.

Ключевые слова: озеро; зоопланктон; видовой состав; численность; биомасса; сезонная динамика.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Б20У-003).

Образец цитирования:

Селивончик И.Н. Сезонная динамика зоопланктона в озерах разного трофического статуса. *Журнал Белорусского государственного университета. Биология.* 2021;3:88–101. <https://doi.org/10.33581/2521-1722-2021-3-88-101>

For citation:

Selivonchik IN. Seasonal dynamics of zooplankton in lakes of different trophic status. *Journal of the Belarusian State University. Biology.* 2021;3:88–101. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-1722-2021-3-88-101>

Автор:

Ирина Николаевна Селивончик – научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гидроэкологии биологического факультета.

Author:

Iryna N. Selivonchik, researcher at the laboratory of hydroecology, faculty of biology.
selivonchik@bsu.by
<https://orcid.org/0000-0003-2120-0055>



SEASONAL DYNAMICS OF ZOOPLANKTON IN LAKES OF DIFFERENT TROPHIC STATUS

I. N. SELIVONCHYK^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

In the article, we present the data about the dominant complexes of zooplankton species in the pelagic zone of lakes Naroch, Myastro, Batorino (2014–2019), Malye and Bolshie Shvakshty (2014–2015), Svir (2018). The seasonal dynamics of zooplankton is analysed. The contribution of taxonomic groups and individual species in the abundance and biomass of zooplankton in lakes with different trophic status is studied. We noted two peaks in the seasonal dynamics of zooplankton. Rotifers prevailed in the spring, while Crustacea dominated in the summer-autumn period. The relative biomass of cladocerans increased and the proportion of copepods decreased with the increasing of trophic status of the lakes.

Keywords: lake; zooplankton; species composition; abundance; biomass; seasonal dynamics.

Acknowledgements. This research has been financially supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (project No. B20U-003).

Введение

Зоопланктон – один из важных компонентов для биологического анализа водных экосистем и мониторинга экологического состояния водных объектов разного типа. Являясь вторичным звеном в трофической цепи водных экосистем, зоопланктон играет важную роль в их структуре и функционировании: потребляя бактерио- и фитопланктон, он участвует в процессах самоочищения, служит кормовой базой для многих видов рыб¹.

Благодаря короткому жизненному циклу зоопланктонные сообщества даже при непродолжительных исследованиях позволяют охарактеризовать современное состояние водного объекта². Сезонная динамика зоопланктона определяется сезонными изменениями численности и биомассы доминирующих видов, количественным соотношением таксономических групп и быстротой реакции организмов на изменения условий окружающей среды [1]. Состояние и динамика видовой структуры сообщества гидробионтов являются достаточно информативными показателями для оценки происходящих в экосистеме процессов. Особую ценность и интерес при гидробиологических исследованиях представляют многолетние и многократные в течение года наблюдения за гидробионтами.

В связи с этим целью данной работы было изучение сезонной динамики развития зоопланктона в озерах разного трофического статуса.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили пробы, отобранные на протяжении вегетационного сезона в озерах Нарочь, Мястро и Баторино с 2014 по 2019 г., Малые и Большие Швакшты с 2014 по 2015 г. и оз. Свирь в 2018 г. Схема расположения данных озер представлена на рис. 1.

Исследованные озера являются крупными водными объектами и входят в состав Белорусского Поозерья [2].

Озера Нарочь, Мястро и Баторино принадлежат к Нарочанской группе озер. Озеро Баторино, являющееся начальным в цепи озер, представляет собой эвтрофный водоем с высокой степенью водообмена. В него впадают ручей и несколько мелиорационных каналов, а вытекает р. Дробня, впадающая в оз. Мястро. Озеро Мястро – крупный среднеглубокий мезотрофный водоем с высокой степенью водообмена. Помимо оз. Баторино, оно связано протоками с озерами Скрипово, Шестаково. Сток происходит по протоке (реке) Скеме в оз. Нарочь [3]. Озеро Нарочь является самым большим в Беларуси и представляет собой олигомезотрофный водоем с низкой степенью водообмена. Приток воды происходит из оз. Мястро, а также по 17 ручьям, сток – по р. Нарочь.

Озера Малые и Большие Швакшты принадлежат к Швакштинской группе озер. Озеро Большие Швакшты – высокоэвтрофный, значительный по площади, но мелководный и слабопроточный водоем. В него впадают 5 небольших ручьев, а вытекает протока, направленная в оз. Малые Швакшты и далее в р. Страчу. В водном балансе значительную роль играют осадки на водное зеркало, а также поверхностный приток. Расход воды примерно в одинаковой мере обусловлен испарением с поверхности водного зеркала и вытоком в хорошо проточное оз. Малые Швакшты [3; 4].

¹Науменко Е. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.18. СПб., 2009. 42 с.

²Кучко Я. А. Влияние форелевого хозяйства на сообщество зоопланктона озерно-речной экосистемы : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.08 ; 03.00.16. Петрозаводск, 2004. 26 с.

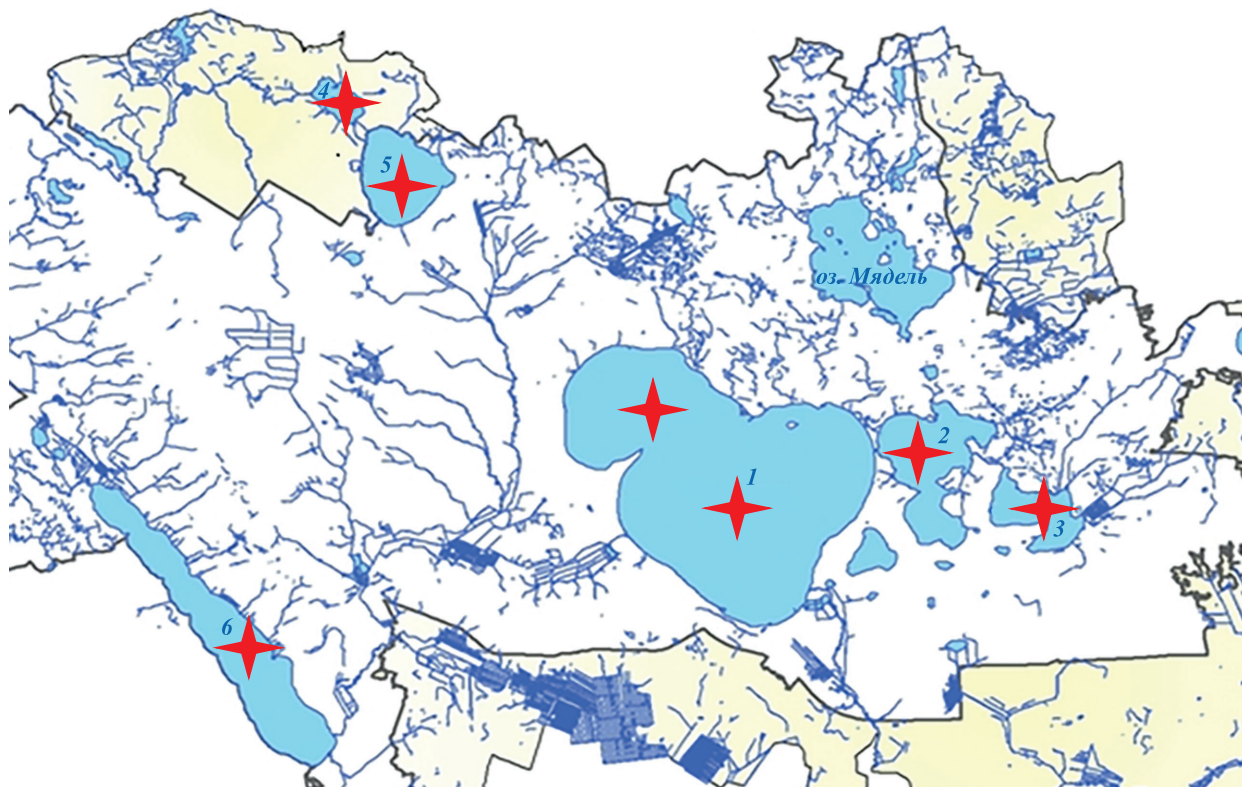


Рис. 1. Карта-схема расположения озер Нарочь (1), Мясро (2), Баторино (3),
Малые Швакшты (4), Большие Швакшты (5), Свирь (6)

Fig. 1. Schematic map of the location of lakes Naroch (1), Myastro (2), Batorino (3),
Malye Shvakshty (4), Bolshie Shvakshty (5), Svir (6)

Озеро Свирь принадлежит к Свирской группе озер. Это крупный, мелководный, проточный, эвтрофный водоем, характеризующийся низким качеством воды. В него впадают реки Смолка, Большой Перекоп, а на севере вытекает р. Свирица [3].

Отбор и обработку проб зоопланктона проводили стандартными, принятыми в гидробиологии методами [5]. Пробы отбирали батометром Рутнера (2 л), а затем смешивали в черном баллоне (50 л) для получения интегральной пробы, отражающей средний состав озерной воды. Объем воды каждого горизонта в интегральной пробе был пропорционален его доле в общем объеме озера в соответствии с данными батиметрии. Из интегральной пробы отбирали пробу зоопланктона объемом 10 л и процеживали через планктонную сеть Апштейна с длиной стороны ячейки, равной 64 мкм. Полученный осадок объемом 150 мл сливали в пластиковые бутылки. Фиксировали пробы 4 % раствором формалина. Обработку собранного материала выполняли под микроскопом Zeiss Axio Lab (Германия) на счетной пластинке. Размеры организмов измеряли с помощью окуляр-микрометра.

Идентификацию водных беспозвоночных проводили с использованием определителей коловраток по Кутиковой [6], ветвистоусых ракообразных по Мануйловой [7], веслоногих ракообразных по Вежновцу [8], а также пособия «Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР» [9]. Массу ракообразных устанавливали расчетным методом [10] в соответствии со степенными уравнениями зависимости массы тела от его длины. Массу коловраток находили, приравнивая форму их тела к определенным геометрическим фигурам. Общую биомассу зоопланктона вычисляли суммированием биомасс отдельных его представителей.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ *Microsoft Excel*.

Результаты и их обсуждение

Видовой состав зоопланктона исследованных озер представлен обычным для Белорусского Поозерья комплексом видов. Доминирующий комплекс организмов зоопланктона в изученных водоемах имел сходные черты. Из веслоногих ракообразных (Copepoda) преобладающими по численности во всех озерах являлись *Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888), *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863). Доминирующий комплекс ветвистоусых ракообразных (Cladocera) в исследованных водных объектах незначительно различался: в оз. Нарочь он был представлен *Daphnia cristata*



(Sars, 1862), *Daphnia cuculata* (Sars, 1862), *Bosmina longispina* (Leydig, 1860); в оз. Мястро – *D. cristata*, *D. cuculata*, *Bosmina crassicornis* (P. E. Müller, 1867), *Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1785); в оз. Баторино – *D. cuculata*, *Ch. sphaericus*, *Bosmina coregoni* (Baird, 1857), *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848); в озерах Малые и Большие Швакшты – *D. cuculata*, *Ch. sphaericus*, в оз. Свирь – *D. cuculata*, *Ch. sphaericus*, *B. crassicornis*. Из коловраток (Rotifera) в видовом составе в оз. Нарочь преобладали *Conochilus unicornis* (Rousselet, 1892), *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), представители рода *Polyarthra*; в оз. Мястро – *K. cochlearis*, представители рода *Polyarthra*; в оз. Баторино – *C. unicornis*, *K. cochlearis*, представители рода *Polyarthra*; в озерах Малые и Большие Швакшты – *Filinia longiseta* (Ehrenberg, 1834), *K. cochlearis*, представители рода *Brachionus* (*Br. diversicornis homoceros* (Wierzejski, 1891), *Br. angularis* (Gosse, 1851), *Br. diversicornis diversicornis* (Daday, 1883)); в оз. Свирь – *C. unicornis*, *K. longispina*, *K. cochlearis*, *Keratella quadrata* (O. F. Müller, 1786).

Развитие зоопланктона в озерах на протяжении вегетационного сезона, как правило, характеризовалось наличием двух максимумов, которые в большинстве случаев приходились на начало (май – июнь) и конец (август – сентябрь) вегетационного периода.

В оз. Нарочь (рис. 2–7) с 2014 по 2016 г. максимальная численность зоопланктона наблюдалась в июне (от 86,0 до 154,9 тыс. экз./м³) и августе (от 86,9 до 239,6 тыс. экз./м³) главным образом за счет развития мелких коловраток и веслоногих ракообразных на разных стадиях онтогенеза. Динамика биомассы зоопланктона в точности повторяла динамику его численности: максимумы пришлись на июнь (от 0,49 до 0,76 г/м³) и август (от 0,63 до 1,47 г/м³). В июне биомассу формировали веслоногие ракообразные, в августе – в равной степени веслоногие и ветвистоусые ракообразные (представители родов *Daphnia* и *Bosmina*, *D. brachyurum*, единично отмечены *Leptodora kindti* (Focke, 1844)). В 2017 г. пики численности сместились в сторону мая (124,0 тыс. экз./м³) и июля (216,9 тыс. экз./м³). В начале сезона наблюдалось развитие веслоногих ракообразных на ранних стадиях онтогенеза, которые внесли основной вклад в биомассу (1,27 г/м³), в июле была отмечена вспышка численности коловраток *C. unicornis*. Вегетационный сезон 2018 г. отличался наличием одного пика численности в середине лета (178,0 тыс. экз./м³) за счет развития мелких коловраток (*C. unicornis*) и веслоногих ракообразных на ранних стадиях онтогенеза. Биомасса была высокой в мае (1,20 г/м³) благодаря обилию веслоногих ракообразных на разных стадиях онтогенеза и присутствию в составе крупных коловраток *Asplanchna priodonta* (Gosse, 1850) и в сентябре (1,55 г/м³) ввиду развития *D. brachyurum*, *A. priodonta* и веслоногих ракообразных на разных стадиях онтогенеза. В 2019 г. подъемы численности были отмечены в июне (148,5 тыс. экз./м³) и сентябре (126,6 тыс. экз./м³). Биомасса на протяжении сезона колебалась в пределах от 0,46 до 1,28 г/м³, ее формировали веслоногие ракообразные на разных стадиях развития и крупные формы ветвистоусых ракообразных (*D. cuculata*, *D. brachyurum*), под конец сезона дополнительный вклад вносила коловратка *A. priodonta*.

В оз. Нарочь как олигомезотрофном водоеме количественные показатели зоопланктона были невелики. Среднесезонная численность за период исследований колебалась от (64,2 ± 33,3) до (125,9 ± 65,1) тыс. экз./м³, а биомасса – от (0,44 ± 0,12) до (0,94 ± 0,32) г/м³, составив в среднем (93,1 ± 20,7) тыс. экз./м³ и (0,77 ± 0,19) г/м³ соответственно. По значениям биомассы (по Андрониковой [1]) озеро соответствовало трофическому статусу, который определен для него по другим гидробиологическим и гидрохимическим характеристикам.

В оз. Мястро в рассматриваемые годы численность зоопланктона колебалась, пики смещались на протяжении сезона, но в развитии зоопланктона сохранялась двухвершинная кривая количественных показателей (см. рис. 2–7). С 2014 по 2016 г. первый пик численности приходился на май (от 309,8 до 470,0 тыс. экз./м³), в 2017 г. – на июнь (362,0 тыс. экз./м³), в 2018 г. – на июль (213,0 тыс. экз./м³), в 2019 г. – снова на май (354,0 тыс. экз./м³). Второй пик в большинстве случаев отмечался в сентябре (от 153,0 до 418,0 тыс. экз./м³ в разные годы), лишь в 2015 г. он наблюдался в августе (218,0 тыс. экз./м³), в 2016 г. – в июле (182,0 тыс. экз./м³). В начале сезона численность создавали коловратки (*C. unicornis*, *K. longispina*, *K. cochlearis*) и веслоногие ракообразные, под конец сезона – в основном ракообразные. Сезонная динамика биомассы зоопланктона, как правило, повторяла динамику его численности. В разные годы в начале сезона (май – июнь) биомасса колебалась в пределах от 0,59 до 5,75 г/м³ (максимальные значения были отмечены в мае 2015 г. при развитии взрослых форм *E. graciloides*), под конец сезона (сентябрь – октябрь) – от 0,46 до 3,30 г/м³. За период исследований биомассу формировали ветвистоусые (*D. cuculata*, *D. cristata*, *D. brachyurum*, *L. kindti*, представители рода *Bosmina*), веслоногие ракообразные и коловратки *A. priodonta*. Среднесезонная численность зоопланктона в рассматриваемые годы колебалась в пределах от (146,2 ± 113,4) до (249,9 ± 124,9) тыс. экз./м³, биомасса – от (0,58 ± 0,47) до (1,79 ± 1,05) г/м³, составив в среднем (173,4 ± 39,9) тыс. экз./м³ и (1,26 ± 0,47) г/м³ соответственно. По значениям биомассы (по Андрониковой [1]) в 2017 г. озеро соответствовало олиготрофному трофическому статусу, в остальные годы – мезотрофному.



В оз. Баторино за исследуемый период (см. рис. 2–7) максимальные значения численности зоопланктона отмечались в мае (от 272,0 до 958,0 тыс. экз./м³). Вклад в численность вносили ветвистоусые ракообразные (*Bosmina longirostris* (O. F. Müller, 1785)), коловратки (*K. longispina*, *K. cochlearis*, *C. unicornis*) и веслоногие ракообразные на разных стадиях онтогенеза. Под конец вегетационного сезона наблюдался второй пик (от 246,1 до 634,0 тыс. экз./м³) за счет развития ветвистоусых (доминант *B. coregoni*) и веслоногих ракообразных. Также в конце сезона (сентябрь – октябрь) было отмечено максимальное развитие биомассы зоопланктона (от 3,24 до 7,22 г/м³), что связано с массовым развитием и встречаемостью в составе взрослых форм веслоногих ракообразных и крупных форм ветвистоусых ракообразных, в 2018 г. дополнительный вклад в биомассу вносила коловратка *A. priodonta*. Среднесезонная численность зоопланктона за период исследований колебалась в пределах от (216,2 ± 44,5) до (488,8 ± 158,2) тыс. экз./м³, биомасса – от (1,68 ± 0,79) до (4,90 ± 0,94) г/м³, составив в среднем (333,6 ± 114,9) тыс. экз./м³ и (3,43 ± 1,19) г/м³ соответственно. По значениям биомассы (по Андрониковой [1]) в 2014–2015 гг. трофность озера превышала эвтрофный статус, в 2016 г. снизилась до мезотрофного статуса, с 2017 по 2019 г. озеро находилось в эвтрофном состоянии.

В оз. Малые Швакшты (см. рис. 2 и 3) развитие зоопланктона в 2014 г. характеризовалось наличием двух отчетливо выраженных пиков численности – в мае (620,0 тыс. экз./м³) и сентябре (1486,0 тыс. экз./м³). Максимум численности под конец сезона главным образом обусловлен массовым развитием ветвистоусых ракообразных *B. crassicornis*, *B. longirostris*, *Ch. sphaericus*. Под конец сезона зафиксированы и высокие значения биомассы (8,1 г/м³). В 2015 г. максимальная численность зоопланктона отмечена в мае (1912,0 тыс. экз./м³) и связана с массовым развитием коловраток (*K. longispina*, *K. cochlearis*, *K. quadrata*, *F. longiseta*, *A. priodonta*, *Brachionus calyciflorus* (Pallas, 1766)). Второй пик численности зоопланктона зарегистрирован в августе (872,0 тыс. экз./м³) и вызван развитием ветвистоусых ракообразных (*Ch. sphaericus*, *D. cuculata*, *B. longirostris*), веслоногих ракообразных на разных стадиях онтогенеза и коловраток (*Br. diversicornis homoceros*, *Brachionus forficula* (Wierzejski, 1891), *F. longiseta*, *Trichocerca cylindrica* (Imhof, 1891)). Высокие значения биомассы отмечены в августе (6,19 г/м³) за счет развития веслоногих (*M. leuckarti*, *Th. oithonoides* и представителей подкласса на ранних стадиях онтогенеза) и ветвистоусых (крупных форм *D. cuculata*, *L. kindti*, доминирующих по численности *Ch. sphaericus*) ракообразных. Среднесезонная численность зоопланктона за период исследований составила от (638,0 ± 500,4) до (860,0 ± 573,7) тыс. экз./м³, биомасса – от (3,34 ± 1,53) до (3,91 ± 2,45) г/м³. По количественным показателям зоопланктона (по Андрониковой [1]) озеро соответствовало эвтрофному статусу.

В оз. Большие Швакшты (см. рис. 2 и 3) в 2014 г. в развитии зоопланктона сохранялась двухвершинная кривая количественных показателей. Пики численности и биомассы наблюдались в июне (906,0 тыс. экз./м³ и 6,37 г/м³ соответственно) и сентябре, когда отмечалось максимальное развитие зоопланктона (1478,0 тыс. экз./м³ и 24,1 г/м³ соответственно) за счет представителей ветвистоусых ракообразных (*B. crassicornis*, *Ch. sphaericus*, *D. cuculata*). В 2015 г. максимальная численность зоопланктона зафиксирована в мае (3108,0 тыс. экз./м³). Очень высокие значения численности в начале сезона были связаны с массовым развитием мелких коловраток (*K. longispina*, *K. cochlearis* и *K. quadrata*). Биомассу в мае (10,11 г/м³) формировали коловратки (*A. priodonta*), ветвистоусые (*B. longirostris*) и веслоногие ракообразные, в сентябре (7,57 г/м³) – ветвистоусые (*B. crassicornis*, *Ch. sphaericus*, *D. cuculata*, *Bythotrephes longimanus* (Leydig, 1860)) и веслоногие ракообразные. Среднесезонная численность зоопланктона за период исследований составила от (811,8 ± 386,6) до (936,5 ± 1067,5) тыс. экз./м³, биомасса – от (6,95 ± 1,78) до (8,51 ± 7,91) г/м³. По значениям биомассы (по Андрониковой [1]) в период исследований трофность озера превышала эвтрофный статус.

В оз. Свирь в 2018 г. (см. рис. 6) наиболее высокие численность и биомасса зоопланктона зарегистрированы в начале вегетационного сезона (332,2 тыс. экз./м³ и 4,47 г/м³ соответственно). Это обусловлено присутствием ветвистоусых ракообразных *B. longirostris*, *B. longispina* и крупных форм *D. cristata*; веслоногих ракообразных с преобладанием в составе главным образом взрослых форм *E. graciloides*, а также представителей подкласса на науплиальной и копеподидной стадиях развития; доминированием в составе коловраток мелких форм *C. unicornis* (91,0 экз./л) и крупных форм *A. priodonta* (2,54 г/м³). Второй пик численности был отмечен в июле (219,5 тыс. экз./м³), биомасса повторно возрастала под конец сезона. На протяжении всего сезона основную численность и биомассу из веслоногих ракообразных создавали взрослые формы *E. graciloides*, *M. leuckarti* и представители подкласса на разных стадиях развития. Из ветвистоусых ракообразных наибольший вклад в середине лета (июнь – июль) вносили *Ch. sphaericus*, *B. crassicornis*, с августа по октябрь доминировали крупные формы *D. cuculata*, в августе – сентябре – *D. brachyurum*. Численность коловраток с июня по октябрь практически не менялась, за исключением июля, когда наблюдалось массовое развитие *C. unicornis*. Высокие значения биомассы коловраток с июля по сентябрь связаны со встречаемостью крупных форм *A. priodonta*. Среднесезонная



численность зоопланктона в 2018 г. составила $(180,4 \pm 85,3)$ тыс. экз./м³, биомасса – $(2,31 \pm 1,20)$ г/м³. По значениям биомассы (по Андрониковой [1]) озеро находилось в мезотрофном состоянии.

В исследуемых озерах прослеживается сходство в динамике развития зоопланктона в течение вегетационного сезона, что в первую очередь связано с климатическими и гидрологическими особенностями каждого года. Средняя температура воды различалась в разных озерах. В оз. Нарочь в первой половине лета наблюдалась незначительная температурная стратификация, а затем она сменялась гомотермией. В отдельные годы температурная стратификация зафиксирована в июле и даже начале августа. Температура воды в оз. Нарочь на протяжении сезона была ниже, чем в озерах Мястро и Баторино [11–16]. Озерам Мястро, Баторино, Малые и Большие Швакшты и оз. Свирь свойственна гомотермия, которая совместно с развитием потенциальной кормовой базы (бактерио- и фитопланктона) благоприятно сказывается на развитии зоопланктона.

Зимне-весенний период 2014 г. характеризовался поздним коротким ледоставом, небольшим количеством атмосферных осадков (снега), что обусловило высокую прозрачность ледового покрова и способствовало развитию фитопланктона [12]. На протяжении сезона отмечалась аномально высокая температура воздуха. Прогрев воды в озерах до оптимальных для развития зоопланктона температур (в оз. Нарочь температура достигла оптимума в июне) и обилие кормовых ресурсов способствовали развитию зоопланктона в начале сезона. Благоприятные климатические условия в течение всего года привели к тому, что в вегетационном сезоне 2014 г. в Нарочанских озерах отмечено наиболее высокое количественное развитие зоопланктона по сравнению с другими рассмотренными годами. В исследованных озерах (см. рис. 2) максимум численности наблюдался во второй половине сезона при наличии двух пиков, за исключением оз. Баторино, в котором показатели численности в начале и конце сезона были равны. Динамика биомассы повторяла динамику численности, наиболее высокие значения отмечены в летне-осенний период.

Вегетационному сезону 2015 г. предшествовал зимне-весенний период с коротким ледоставом, что способствовало интенсивному развитию фитопланктона еще подо льдом. В оз. Нарочь по сравнению с другими озерами температура воды в начале вегетационного сезона (май) являлась невысокой (в пределах 10,4–11,0 °C). Среднесезонная температура воды в поверхностном слое в оз. Нарочь была близка к таковой в предыдущие годы, а в озерах Мястро и Баторино оказалась несколько ниже [13]. В озерах Мястро, Баторино, Малые и Большие Швакшты в 2015 г. (см. рис. 3), в отличие от предыдущего года, высокое развитие зоопланктона отмечено в начале вегетационного сезона за счет преобладания в составе коловраток. Развитие коловраток вносило основные различия в количественные показатели зоопланктона близких по трофическому статусу озер Баторино, Малые и Большие Швакшты при равном вкладе представителей рачкового зоопланктона. В динамике биомассы зоопланктона прослеживалась зависимость от динамики численности рачкового зоопланктона, вклад коловраток был невелик, за исключением оз. Большие Швакшты, в котором наблюдалось развитие крупных форм коловраток в начале сезона. В оз. Нарочь ход сезонной динамики соответствовал предыдущему году.

Зимне-весенний период 2016 г. характеризовался несколько большей, чем в предыдущие два года, продолжительностью ледостава. В начале сезона температура воды в оз. Нарочь была невысокой, а в озерах Мястро и Баторино являлась оптимальной для развития зоопланктона. Температурный режим воды в оз. Нарочь характеризовался стратификацией водной массы в мае – августе и гомотермией в конце сезона. В оз. Мястро стратификация наблюдалась в мае – июле, но была менее выраженной. В оз. Баторино стратификация отсутствовала [14]. Вегетационный сезон отличался снижением показателей численности и биомассы зоопланктона практически вдвое по сравнению с предыдущими годами. В близких по трофности озерах Нарочь и Мястро (см. рис. 4) веслоногие ракообразные получили наибольшее развитие в течение сезона, развитие коловраток в весенний и летний периоды способствовало проявлению двух пиков численности. В оз. Баторино высокая численность была зафиксирована в мае и октябре, на протяжении сезона отмечалось развитие ветвистоусых ракообразных. Биомасса в озерах зависела от численности ракообразных и повторяла ее развитие. Несмотря на невысокие показатели среднесезонной биомассы зоопланктона в оз. Баторино, характеризующие его как мезотрофный водоем, высокое развитие ветвистоусых ракообразных на протяжении сезона указывает на его эвтрофный статус.

Вегетационный сезон 2017 г. отличался неустойчивой погодой: холодные дождливые периоды с сильными ветрами сменялись резким кратковременным потеплением, особенно в мае и июне. В оз. Нарочь в мае температура воды по всему столбу водного слоя была в пределах 7,4–8,0 °C (наиболее низкая величина для этого периода за последние 10 лет). В целом во время вегетационного сезона 2017 г. температурный режим воды в оз. Нарочь характеризовался гомотермией в мае и октябре и прямой стратификацией водной массы в июне – сентябре. В оз. Мястро небольшая стратификация наблюдалась в первой половине вегетационного сезона (май – июль) с максимальным градиентом в мае и последующей гомотермией в августе – октябре. В оз. Баторино необычно развитая стратификация была отмечена в мае (градиент температуры от 14,4 °C в поверхностном слое до 8,4 °C в придонном), в дальнейшем она сменилась



гомотермией [15]. Вегетационный сезон характеризовался невысоким развитием зоопланктона. В оз. Нарочь (см. рис. 5) в начале сезона наблюдалось развитие веслоногих ракообразных, в летний период – коловраток. Биомассу на протяжении сезона в основном формировали веслоногие ракообразные. В озерах Мясро и Баторино (см. рис. 5) коловратки получили большее развитие в начале сезона, вклад в летние месяцы был невысоким. Биомассу создавали веслоногие и ветвистоусые ракообразные.

В 2018 г. в связи с ранним вскрытием оз. Нарочь в апреле содержание хлорофилла оказалось выше величин, наблюдаемых в летние месяцы. Длительный период существования температурной стратификации в озере (июнь – август), по всей видимости, обусловил низкое содержание хлорофилла в мае – июле, лишь с началом полного перемешивания водной массы в августе – сентябре содержание хлорофилла увеличилось. В оз. Мясро гомотермия наблюдалась с августа – сентября, в оз. Баторино температурная стратификация была отмечена лишь в мае. Среднемесячная температура воды, особенно в поверхностном слое, была несколько выше многолетних значений [16]. В 2018 г. (см. рис. 6) в близких по трофности озерах Нарочь и Мясро первый пик численности был отмечен в летний период при развитии всех групп зоопланктона, второй пик в оз. Мясро приходился на сентябрь. Отсутствие пика в начале сезона, вероятнее всего, обусловлено недостатком кормовой базы в связи с неблагоприятными климатическими условиями. В озерах Баторино и Свирь высокое развитие зоопланктона отмечалось в начале сезона, далее численность с рядом колебаний постепенно снижалась к концу сезона. Подъемы и максимумы биомассы частично совпадали с таковыми численности и зависели от индивидуальной массы доминирующих видов.

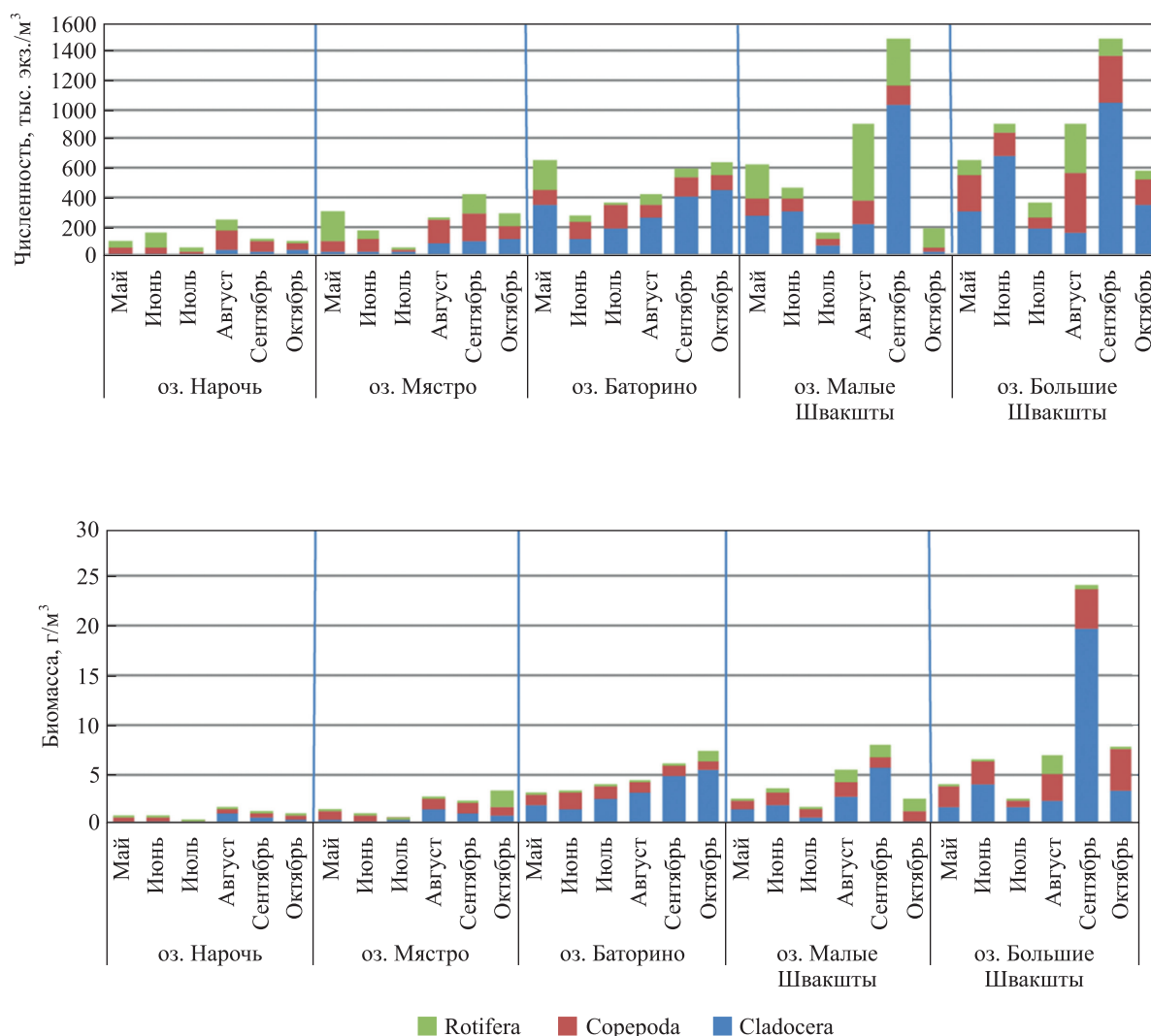


Рис. 2. Сезонная динамика численности и биомассы зоопланктона озер Нарочь, Мясро, Баторино, Малые и Большие Швакшты в 2014 г.

Fig. 2. Seasonal dynamics of the abundance and biomass of zooplankton in lakes Naroch, Myastro, Batorino, Malye and Bolshie Shvakshty in 2014

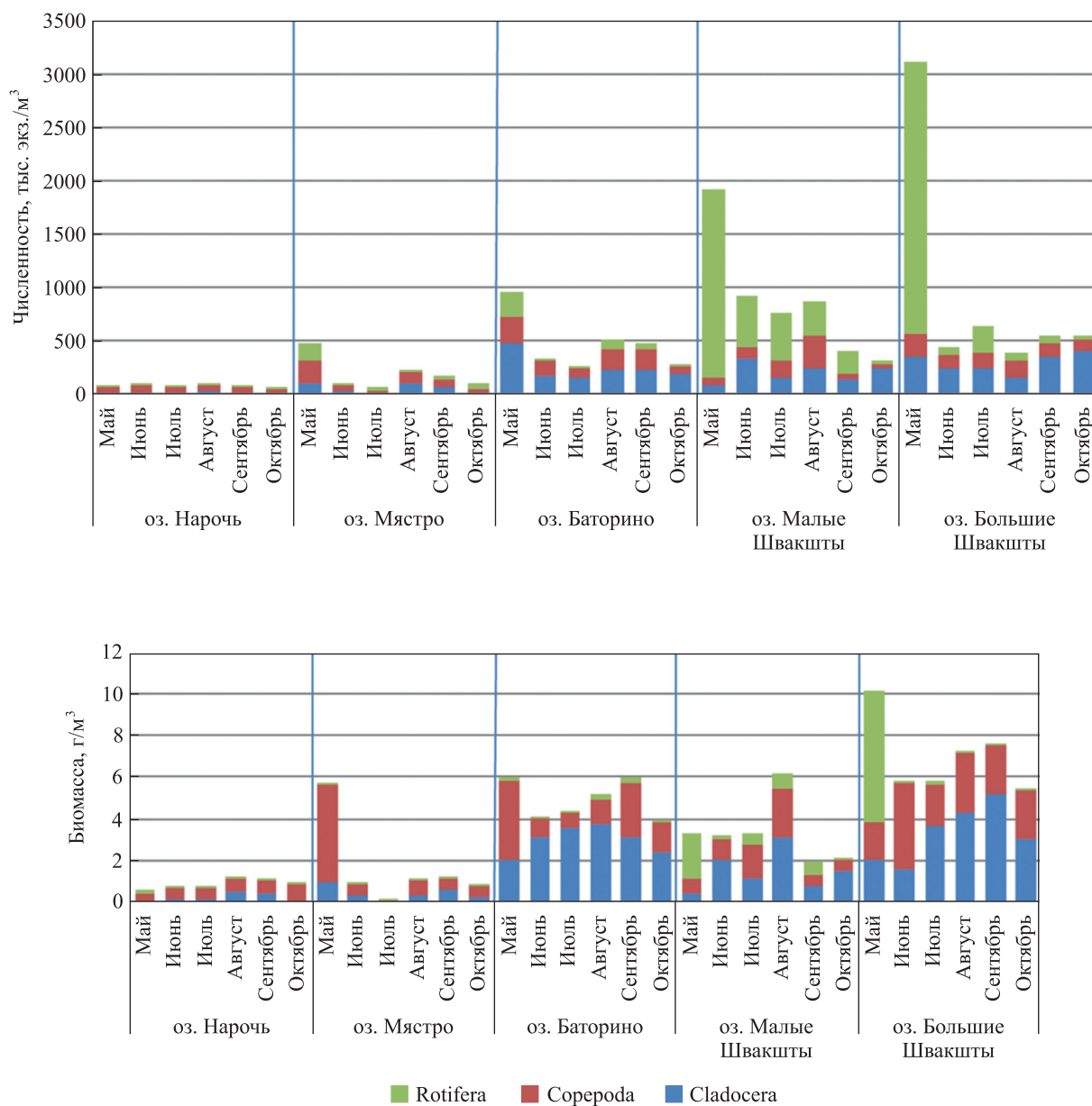


Рис. 3. Сезонная динамика численности и биомассы зоопланктона озер Нарочь, Мястро, Баторино, Малые и Большие Швакшты в 2015 г.

Fig. 3. Seasonal dynamics of the abundance and biomass of zooplankton in lakes Naroch, Myastro, Batorino, Malye and Bolshie Shvakshty in 2015

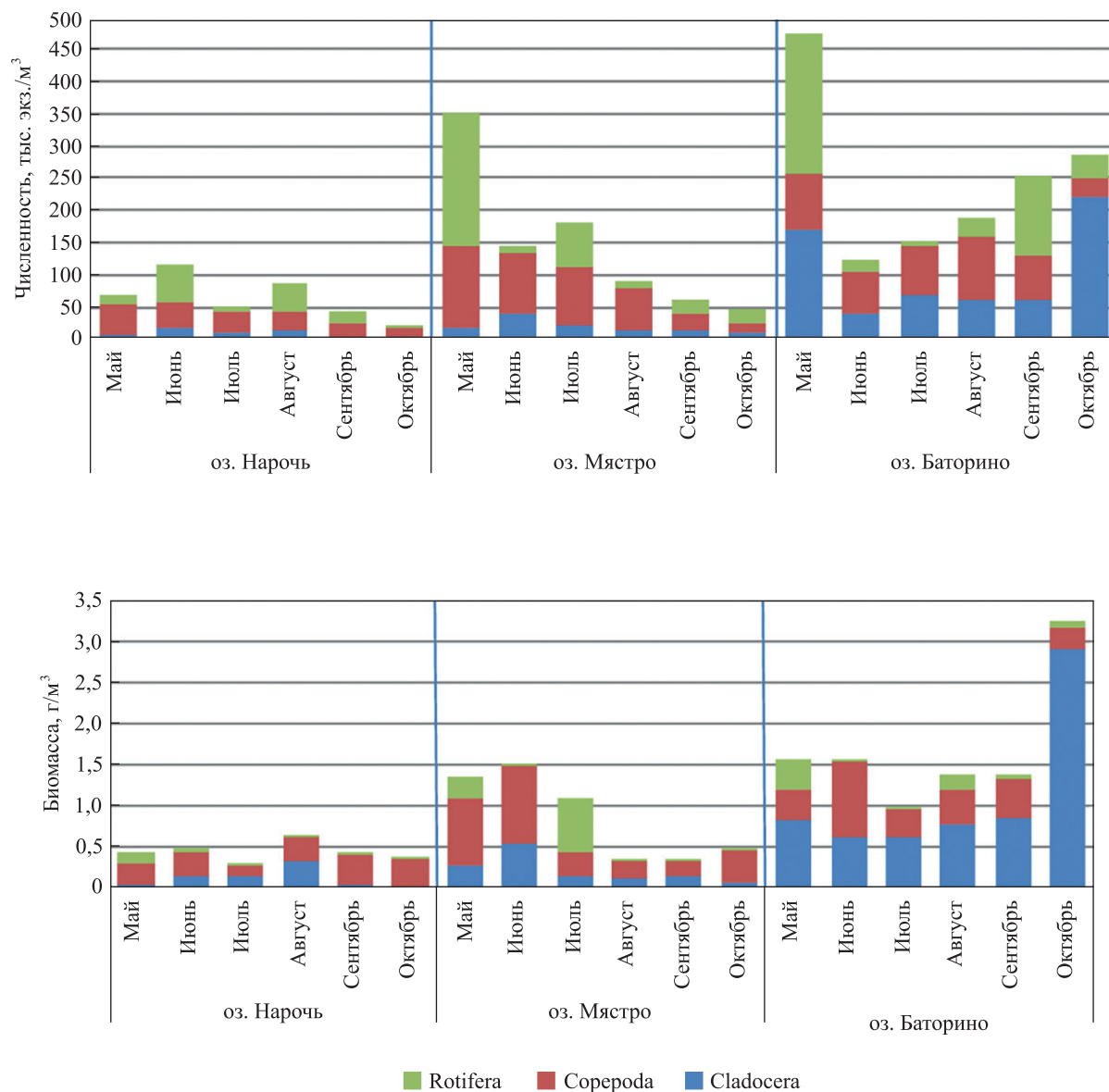


Рис. 4. Сезонная динамика численности и биомассы зоопланктона озер Нарочь, Мястро, Баторино в 2016 г.

Fig. 4. Seasonal dynamics of the abundance and biomass of zooplankton in lakes Naroch, Myastro, Batorino in 2016

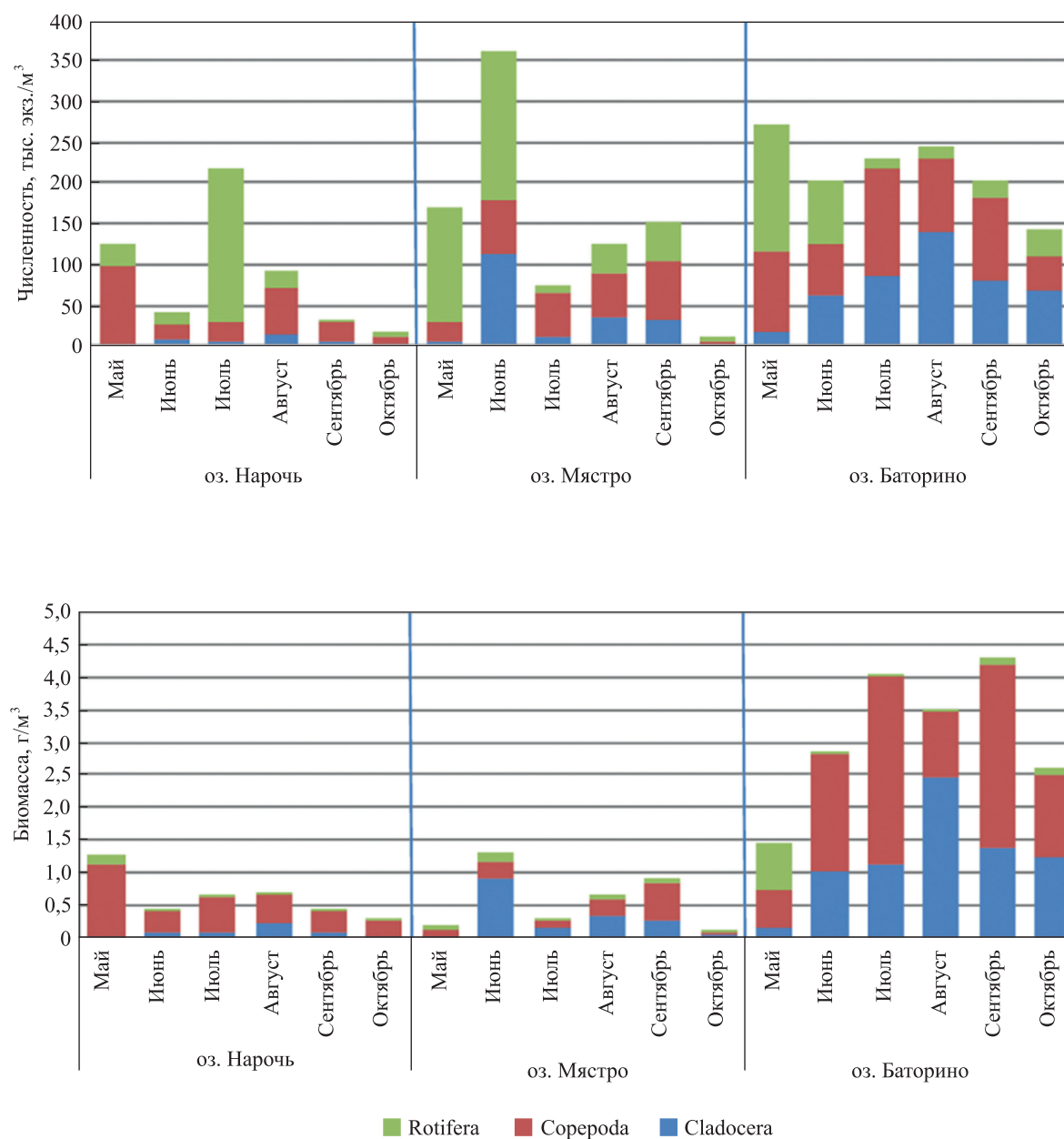


Рис. 5. Сезонная динамика численности и биомассы зоопланктона озер Нарочь, Мястро, Баторино в 2017 г.

Fig. 5. Seasonal dynamics of the abundance and biomass of zooplankton in lakes Naroch, Myastro, Batorino in 2017

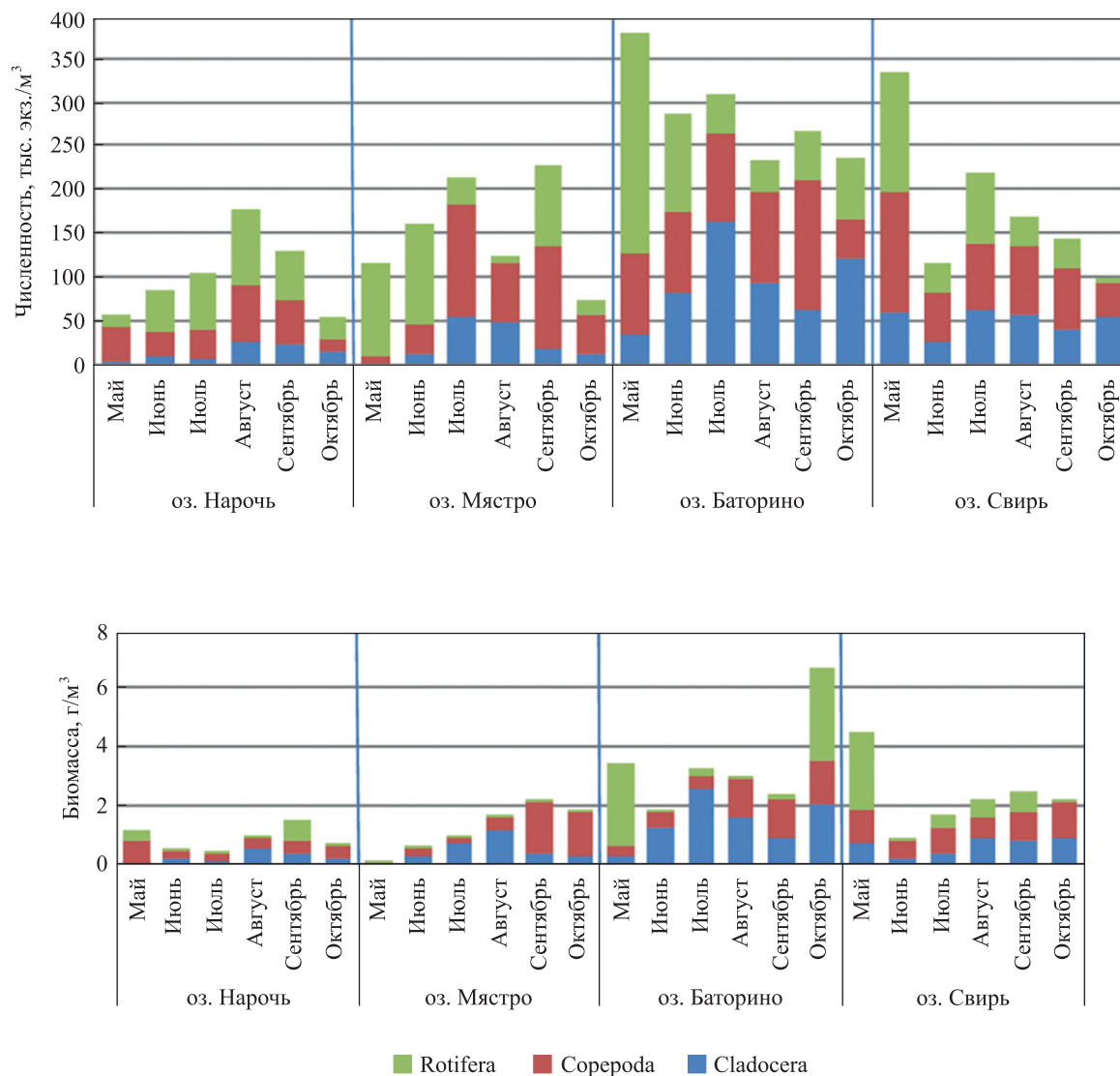


Рис. 6. Сезонная динамика численности и биомассы зоопланктона озер Нарочь, Мястро, Баторино, Свирь в 2018 г.
Fig. 6. Seasonal dynamics of the abundance and biomass of zooplankton in lakes Naroch, Myastro, Batorino, Svir in 2018

В 2019 г., как и в предыдущие годы с относительно коротким сроком ледостава, уже в мае в озерах Нарочь и Мястро была отмечена температурная стратификация. Теплый июнь с большим количеством штилевых дней обусловил дальнейший прогрев водной толщи с нарастанием температурных градиентов. В более холодных и ветреных июле и августе температурная стратификация постепенно исчезала, и в сентябре – октябре водная масса озер Нарочь и Мястро была термически однородной. В мелководном оз. Баторино некоторая температурная стратификация наблюдалась лишь в аномально теплом июне, когда в середине месяца разница значений температуры составляла от 25,2 °С в поверхностном слое воды до 20,2 °С в придонном. В развитии зоопланктона в этих трех озерах (см. рис. 7) четко прослеживались два подъема. В оз. Нарочь с мая по июнь отмечался рост развития коловраток, которые вносили основной вклад в проявление пика в июне, второй пик при их развитии приходился на сентябрь. В озерах Мястро и Баторино подъемы численности наблюдались в мае и сентябре. Развитие биомассы повторяло развитие численности рачкового зоопланктона.

В развитии зоопланктона в озерах на протяжении вегетационного сезона прослеживалось явное сходство с сезонной динамикой, описываемой PEG-моделью [17]. Только в 2018 г. в озерах Нарочь и Мястро наблюдались некоторые отличия от данной модели: первый пик в развитии зоопланктона сместился в летний период. В начале весны при высоком содержании в озерах накопившихся за зиму минеральных форм биогенных веществ и увеличении количества света происходил быстрый рост популяций мелких водорослей, пригодных для питания зоопланктона. Благодаря этому в начале вегетационного сезона

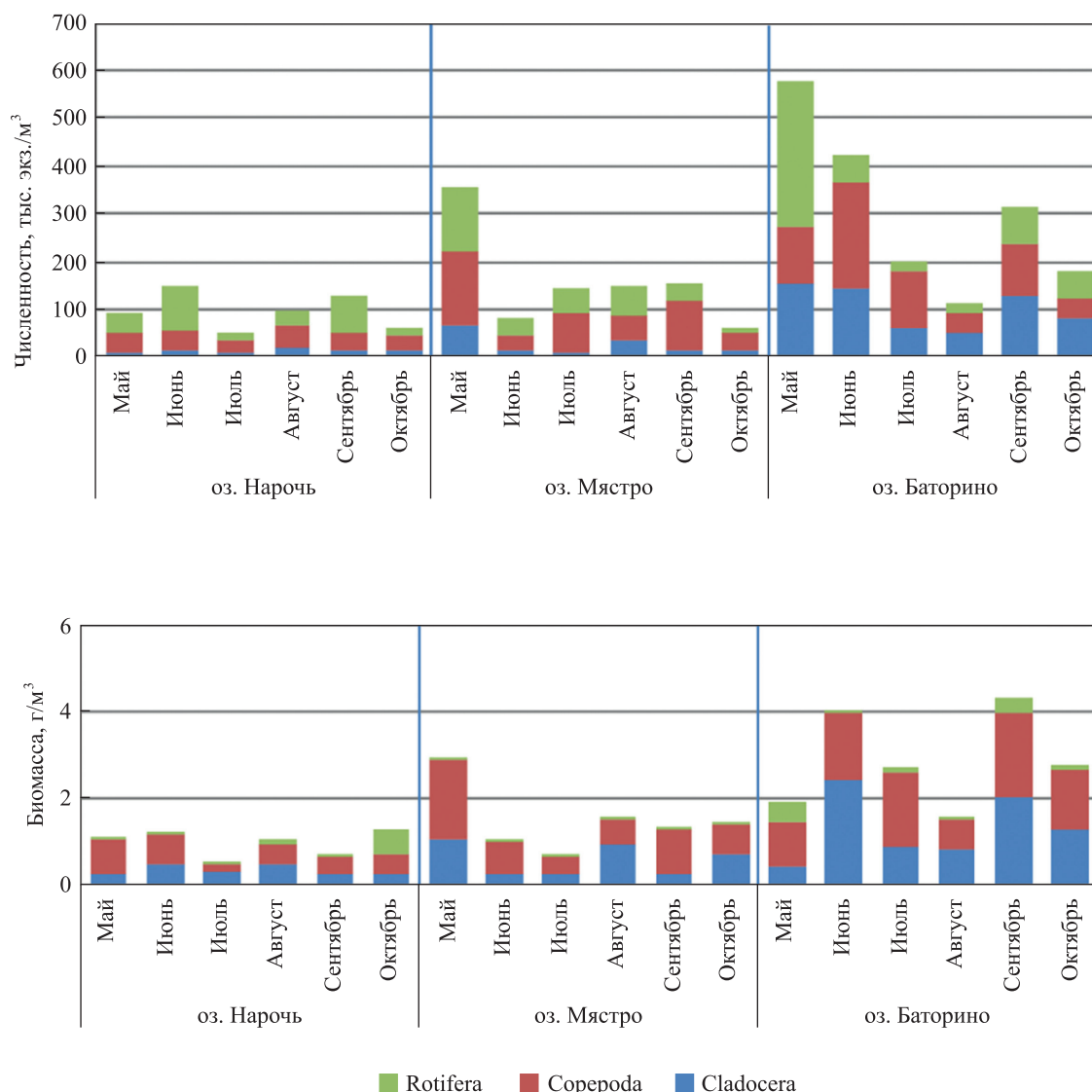


Рис. 7. Сезонная динамика численности и биомассы зоопланктона озер Нарочь, Мястро, Баторино в 2019 г.

Fig. 7. Seasonal dynamics of the abundance and biomass of zooplankton in lakes Naroch, Myastro, Batorino in 2019

наблюдался первый пик численности зоопланктона, в составе которого преобладали организмы с высокой скоростью оборота биомассы (как правило, коловратки) и веслоногие ракообразные на начальных стадиях развития. По мере истощения кормовой базы происходило снижение численности зоопланктона. В течение всего лета на плотность и видовой состав зоопланктона влияли наличие кормовой базы, пресс рыбного населения и температура. Под конец вегетационного периода (август – сентябрь) при снижении давления рыбного населения и развитии кормовой базы (фитопланктона) наблюдался второй пик численности зоопланктона. В летне-осенний период по развитию в основном преобладал рачковый зоопланктон. В октябре при снижении температуры воды и биомассы водорослей отмечалось уменьшение численности зоопланктона.

Сезонная структура зоопланктона озер отражает основные черты жизненных циклов массовых видов. В близких по трофическому статусу озерах наблюдалась сходная картина развития зоопланктона, соотношения таксономических групп.

В оз. Нарочь как олигомезотрофном водоеме плотность зоопланктона была невысокой по сравнению с его плотностью в озерах более высокого трофического статуса. Кривая сезонного хода количественных показателей двухвершинная, обусловленная наличием весенней и летней генераций доминирующих видов веслоногих ракообразных, дополненная развитием коловраток и в меньшей степени ветвистоусыми ракообразными. Численность и биомасса зоопланктона в оз. Мястро были незначительно выше, чем в оз. Нарочь, в развитии сезонной динамики и соотношении таксономических групп имелись сходные



черты с оз. Свирь и другими изученными озерами более высокого трофического статуса. Следует отметить, что для озер более высокого трофического статуса (Баторино, Малые и Большие Швакшты) было характерно преобладание в составе ветвистоусых ракообразных и коловраток. Как правило, по мере повышения трофности водоемов возрастало относительное значение биомассы ветвистоусых ракообразных и, соответственно, уменьшался удельный вес веслоногих ракообразных.

Заключение

Видовой состав зоопланктона исследованных озер представлен обычным для Белорусского Поозерья комплексом видов. Доминирующий комплекс веслоногих ракообразных включал *E. graciloides*, *M. leuckarti*, *Th. oithonoides*. Ветвистоусые ракообразные в оз. Нарочь были представлены *D. cristata*, *D. cuculata*, *B. longispina*; в оз. Мястро – *D. cristata*, *D. cuculata*, *B. crassicornis*, *Ch. sphaericus*; в оз. Баторино – *D. cuculata*, *Ch. sphaericus*, *B. coregoni*, *D. brachyurum*; в озерах Малые и Большие Швакшты – *D. cuculata*, *Ch. sphaericus*; в оз. Свирь – *D. cuculata*, *Ch. sphaericus*, *B. crassicornis*. Из коловраток в оз. Нарочь доминировали *C. unicornis*, *K. longispina*, *K. cochlearis*, представители рода *Polyarthra*; в оз. Мястро – *K. cochlearis*, представители рода *Polyarthra*; в оз. Баторино – *C. unicornis*, *K. cochlearis*, представители рода *Polyarthra*; в озерах Малые и Большие Швакшты – *F. longiseta*, *K. cochlearis*, представители рода *Brachionus* (*Br. diversicornis homoceros*, *Br. angularis*, *Br. diversicornis diversicornis*); в оз. Свирь – *C. unicornis*, *K. longispina*, *K. cochlearis*, *K. quadrata*.

Развитие зоопланктона в озерах на протяжении вегетационного сезона, как правило, характеризовалось наличием двух максимумов, которые в большинстве случаев приходились на начало (май – июнь) и конец (август – сентябрь) вегетационного периода, т. е. наблюдалось явное сходство с сезонной динамикой, описываемой PEG-моделью. В весенний период в зоопланктоне преобладали в основном коловратки, в летне-осенний – представители рачкового зоопланктона. По мере повышения трофности водоемов возрастало относительное значение биомассы ветвистоусых ракообразных и, соответственно, уменьшался удельный вес веслоногих ракообразных.

В озерах прослеживалась связь количественного развития зоопланктона и его динамики в течение вегетационного сезона с климатическими условиями каждого года. Длительность ледостава, время вскрытия озера, температурный режим на протяжении сезона совместно с развитием потенциальной кормовой базы (бактерио- и фитопланктона) сказывались на развитии зоопланктона. Так, короткий ледостав, способствующий интенсивному развитию фитопланктона еще подо льдом, прогрев воды до оптимальных температур приводили к развитию зоопланктона в начале сезона. Длительность и периодичность температурной стратификации оказывали сдерживающий эффект на развитие фитопланктона, соответственно, влияли и на развитие зоопланктона. Периоды гомотермии при благоприятных температурных условиях положительно сказывались на развитии зоопланктона.

Среднесезонные значения численности и биомассы зоопланктона за период исследований в оз. Нарочь колебались в пределах от 64,2 до 125,9 тыс. экз./м³ ((93,1 ± 20,7) тыс. экз./м³) и от 0,44 до 0,94 г/м³ ((0,77 ± 0,19) г/м³); в оз. Мястро – от 146,2 до 249,9 тыс. экз./м³ ((173,4 ± 39,9) тыс. экз./м³) и от 0,58 до 1,79 г/м³ ((1,26 ± 0,47) г/м³); в оз. Баторино – от 216,2 до 488,8 тыс. экз./м³ ((333,6 ± 114,9) тыс. экз./м³) и от 1,68 до 4,90 г/м³ ((3,43 ± 1,19) г/м³); в оз. Малые Швакшты – от 638,0 до 860,0 тыс. экз./м³ и от 3,34 до 3,91 г/м³; в оз. Большие Швакшты – от 811,8 до 936,5 тыс. экз./м³ и от 6,95 до 8,51 г/м³; в оз. Свирь составили 180,4 тыс. экз./м³ и 2,31 г/м³ соответственно.

Библиографические ссылки

1. Андроникова ИН. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. Санкт-Петербург: Наука; 1996. 189 с.
2. Лопух ПС, Якушко ОФ. Общая лимнология. Минск: БГУ; 2011. 365 с.
3. Аронов АГ, Аронова ТИ, Власов БП, Ежова ОС, Жукова ТВ, Ковалевская РЗ и др. Водные ресурсы Национального парка «Нарочанский». Люштык ВС, Жукова ТВ, редакторы. Минск: Рифтур принт; 2012. 128 с.
4. Жукоўская ГС, Логінава АУ, Лопух ПС, Макарэвіч АА, Пірожнік ІІ, Рудакоўскі ІА і інш. *Блакітны скарб Беларусі: рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патэнцыял водных аб'ектаў*. Пашкоў ГП, Календа ЛВ, Жукоўская ТІ, рэдактары. Мінск: Беларуская энцыклапедыя імя Петруся Броўкі; 2007. 480 с.
5. Абакумов ВА, редактор. *Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1983. 240 с.
6. Кутикова ЛА. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (Отряды Ploimida, Monimetrochida, Paedotrochida). Ленинград: Наука; 1970. 744 с. (Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим институтом Академии наук СССР; 104).
7. Мануйлова ЕФ. Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. Москва: Наука; 1964. 328 с. (Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим институтом Академии наук СССР; 88).
8. Вежновец ВВ. Ракообразные (Cladocera, Copepoda) в водных экосистемах Беларуси. Минск: Белорусская наука; 2005. 150 с.



9. Кутикова ЛА, Старобогатов ЯИ, редакторы. *Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (Планктон и бентос)*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1977. 512 с.
10. Балушкина ЕВ, Винберг ГГ. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных. В: Винберг ГГ, редактор. *Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер*. Ленинград: Зоологический институт АН СССР; 1979. с. 58–79.
11. Винберг ГГ, редактор. *Экологическая система Нарочанских озер*. Минск: Университетское; 1985. 302 с.
12. Жукова ТВ, Михеева ТМ, Ковалевская РЗ, Верес ЮК, Лукьянова ЕВ, Никитина ЛВ и др. *Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мясстро, Баторино (2014 год)*. Михеева ТМ, редактор. Минск: БГУ; 2015. 111 с.
13. Жукова ТВ, Михеева ТМ, Адамович БВ, Ковалевская РЗ, Верес ЮК, Лукьянова ЕВ и др. *Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мясстро, Баторино (2015 год)*. Михеева ТМ, редактор. Минск: БГУ; 2016. 99 с.
14. Жукова ТВ, Михеева ТМ, Адамович БВ, Ковалевская РЗ, Верес ЮК, Лукьянова ЕВ и др. *Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мясстро, Баторино (2016 год)*. Михеева ТМ, редактор. Минск: БГУ; 2017. 107 с.
15. Жукова ТВ, Михеева ТМ, Адамович БВ, Ковалевская РЗ, Верес ЮК, Лукьянова ЕВ и др. *Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мясстро, Баторино (2017 год)*. Михеева ТМ, редактор. Минск: БГУ; 2018. 119 с.
16. Жукова ТВ, Михеева ТМ, Адамович БВ, Ковалевская РЗ, Жукова АА, Верес ЮК и др. *Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мясстро, Баторино (2018 год)*. Михеева ТМ, редактор. Минск: БГУ; 2019. 111 с.
17. Sommer U, Gliwicz ZM, Lampert W, Duncan A. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie*. 1986;106(4):433–471.

References

1. Andronikova IN. *Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipov* [Structural and functional organisation of zooplankton in lake ecosystems of different trophic types]. Saint Petersburg: Nauka; 1996. 189 p. Russian.
2. Lopukh PS, Yakushko OF. *Obshchaya limnologiya* [General limnology]. Minsk: Belarusian State University; 2011. 365 p. Russian.
3. Aronov AG, Aronova TI, Vlasov BP, Ezhova OS, Zhukova TV, Kovalevskaya RZ, et al. *Vodnye resursy Natsional'nogo parka «Narochanskii»* [Water resources of the National Park «Narochansky»]. Lyushtyk VS, Zhukova TV, editors. Minsk: Riftur print; 2012. 128 p. Russian.
4. Zhukowskaja GS, Loginava AU, Lopuh PS, Makarjevich AA, Pirozhnik II, Rudakowski IA, et al. *Blakitny skarb Belarusi: rjeki, azjory, vadashovichy, turyjski patjencyjal vodnyh ab'ektaw* [Blue treasure of Belarus: rivers, lakes, reservoirs, tourist potential of water objects]. Pashkow GP, Kalenda LV, Zhukowskaja TI, editors. Minsk: Belaruskaja jencyklapedyja imja Petrusja Browki; 2007. 480 p. Belarusian.
5. Abakumov VA, editor. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverkhnostnykh vod i donnykh otlozhenii* [Guide to methods for hydrobiological analysis of surface water and bottom sediments]. Leningrad: Gidrometeizdat; 1983. 240 p. Russian.
6. Kutikova LA. *Kolovratki fauny SSSR (Rotatoria). Podklass Eurotatoria (Otryady Ploimida, Monimetrochida, Paedotrochida)* [Rotifers of the fauna of the USSR (Rotatoria). Eurotatoria subclass (Orders Ploimida, Monimetrochida, Paedotrochida)]. Leningrad: Nauka; 1970. 744 p. (Opredeliteli po faune SSSR, izdavaemye Zoologicheskim institutom Akademii nauk SSSR; 104). Russian.
7. Manuilova EF. *Vetvistousye rachki (Cladocera) fauny SSSR* [Cladocera of the fauna of the USSR]. Moscow: Nauka; 1964. 328 p. (Opredeliteli po faune SSSR, izdavaemye Zoologicheskim institutom Akademii nauk SSSR; 88). Russian.
8. Vezhnovets VV. *Rakoobraznye (Cladocera, Copepoda) v vodnykh ekosistemakh Belarusi* [Crustaceans (Cladocera, Copepoda) in aquatic ecosystems of Belarus]. Minsk: Belorusskaya nauka; 2005. 150 p. Russian.
9. Kutikova LA, Starobogатов ЯИ, редакторы. *Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (Планктон и бентос)* [Keys to freshwater invertebrates of the European part of the USSR (Plankton and benthos)]. Leningrad: Gidrometeizdat; 1977. 512 p. Russian.
10. Balushkina EV, Vinberg GG. [The relationship between length and body weight of planktonic crustaceans]. In: Vinberg GG, editor. *Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер* [Experimental and field studies of the biological foundations of lake productivity]. Leningrad: Zoological Institute of the Academy of Sciences of the USSR; 1979. p. 58–79. Russian.
11. Vinberg GG, editor. *Экологическая система Нарочанских озер* [Ecological system of Narochanskie lakes]. Minsk: Universitetskoe; 1985. 302 p. Russian.
12. Zhukova TV, Mikheeva TM, Kovalevskaya RZ, Veres YuK, Luk'yanova EV, Nikitina LV, et al. *Byulleten' ekologicheskogo sostoyaniya ozer Naroch', Myastro, Batorino (2014 god)* [Bulletin of ecological state of lakes Naroch, Myastro, Batorino (2014)]. Mikheeva TM, editor. Minsk: Belarusian State University; 2015. 111 p. Russian.
13. Zhukova TV, Mikheeva TM, Adamovich BV, Kovalevskaya RZ, Veres YuK, Luk'yanova EV, et al. *Byulleten' ekologicheskogo sostoyaniya ozer Naroch', Myastro, Batorino (2015 god)* [Bulletin of ecological state of lakes Naroch, Myastro, Batorino (2015)]. Mikheeva TM, editor. Minsk: Belarusian State University; 2016. 99 p. Russian.
14. Zhukova TV, Mikheeva TM, Adamovich BV, Kovalevskaya RZ, Veres YuK, Luk'yanova EV, et al. *Byulleten' ekologicheskogo sostoyaniya ozer Naroch', Myastro, Batorino (2016 god)* [Bulletin of ecological state of lakes Naroch, Myastro, Batorino (2016)]. Mikheeva TM, editor. Minsk: Belarusian State University; 2017. 107 p. Russian.
15. Zhukova TV, Mikheeva TM, Adamovich BV, Kovalevskaya RZ, Veres YuK, Luk'yanova EV, et al. *Byulleten' ekologicheskogo sostoyaniya ozer Naroch', Myastro, Batorino (2017 god)* [Bulletin of ecological state of lakes Naroch, Myastro, Batorino (2017)]. Mikheeva TM, editor. Minsk: Belarusian State University; 2018. 119 p. Russian.
16. Zhukova TV, Mikheeva TM, Adamovich BV, Kovalevskaya RZ, Zhukova AA, Veres YuK, et al. *Byulleten' ekologicheskogo sostoyaniya ozer Naroch', Myastro, Batorino (2018 god)* [Bulletin of ecological state of lakes Naroch, Myastro, Batorino (2018)]. Mikheeva TM, editor. Minsk: Belarusian State University; 2019. 111 p. Russian.
17. Sommer U, Gliwicz ZM, Lampert W, Duncan A. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie*. 1986;106(4):433–471.

Получена 01.05.2021 / исправлена 24.05.2021 / принята 23.06.2021.
Received 01.05.2021 / revised 24.05.2021 / accepted 23.06.2021.