

Водные биоресурсы и среда обитания
2019, том 2, номер 3, с. 33–40
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online



Aquatic Bioresources & Environment
2019, vol. 2, no. 3, pp. 33–40
<http://journal.azniirkh.ru>, www.azniirkh.ru
ISSN 2618-8147 print, ISSN 2619-1024 online

УДК 574.583(282.247.211)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОНА КОНДОПОЖСКОГО ЗАЛИВА ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

© 2019 М. Т. Сярки, Ю. Ю. Фомина

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск 185030, Россия
E-mail: msyarki@yandex.ru

Аннотация. Многолетнее антропогенное воздействие сточных вод Кондопожского целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК) на экосистему Кондопожского залива Онежского озера привело к ее трансформации. Сброс сточных вод осуществляется в вершинной части, по мере удаления от нее сточные воды разбавляются, степень их влияния на планктон снижается к центральной и открытой частям залива. Мониторинг по показателям зоопланктона позволяет оценить современное состояние глубоководной части залива, ее пространственно-временное распределение и реакцию на снижение интенсивности нагрузки. Дана оценка современного состояния зоопланктона различных частей Кондопожского залива. Уловы зоопланктона производились сетным методом в августе 2017 г. на 5 станциях в районах, различно удаленных от места сброса сточных вод ЦБК. Видовой состав сообщества был устойчивым и не изменился с 60-х гг. прошлого века. Пространственные закономерности распределения зоопланктона, связанные с антропогенным эвтрофированием, сохраняются. Обилие зоопланктона, максимальное в вершинной части (50 тыс. экз./м³ и 1,5 г/м³), закономерно снижалось вдоль залива к открытой его части (4,5 тыс. экз./м³ и 0,12 г/м³). Предложен критерий оценки интенсивности антропогенной нагрузки, которым может служить отношение количественных показателей в вершинной и центральной частях залива. Снижение объема сточных вод привело к стабилизации состояния зоопланктона Кондопожского залива в последние десятилетия.

Ключевые слова: антропогенное влияние, эвтрофирование, загрязнение стоками, целлюлозно-бумажное производство, трансформация, мониторинг

CURRENT STATE OF ZOOPLANKTON IN THE KONDOPOGA BAY OF ONEGO LAKE

M. T. Syarki, Yu. Yu. Fomina

Northern Water Problems Institute KarRC RAS, Petrozavodsk 185030, Russia
E-mail: msyarki@yandex.ru

Abstract. The transformation of the ecosystem in the Kondopoga Bay of Onego Lake occurred as a result of the long-term anthropogenic influence of the pulp and paper mill wastewater discharge. Wastewater enters the upper

part of the bay and then, with distance, it dilutes, so its effect on plankton decreases in the central and open parts of the bay. The monitoring using zooplankton indicators makes possible to assess the current state of the pelagic system in the bay, its spatial and temporal distribution, and its response to the decrease of anthropogenic pressure. The current state of zooplankton in different parts of the bay has been assessed. Zooplankton was sampled in August of 2017, using plankton nets; the sampling was conducted at five stations, unequally distanced from the location of wastewater discharge. The species composition of the zooplankton community was stable and has not changed since the 1960s. The regularities in zooplankton spatial distribution, associated with anthropogenic eutrophication, have persisted. The zooplankton abundance was the highest in the upper part of the bay (50,000 ind./m³ and 1.5 g/m³) and, as expected, gradually decreased along the bay down to its open part (4,500 ind./m³ and 0.12 g/m³). A criterion for the anthropogenic load intensity is proposed; as such, the ratio of quantitative zooplankton characteristics from the upper and central parts of the bay can be used. In the recent decades, the decrease in the volume of wastewater has led to stabilization of the pelagic zooplankton state in the Kondopoga Bay.

Keywords: anthropogenic pressure, eutrophication, wastewater pollution, pulp and paper industry, transformation, environmental monitoring

ВВЕДЕНИЕ

Онежское озеро — одно из великих озер Европы, уникальное по своим размерам и качеству воды. Водоем содержит стратегический запас пресных вод. Экосистема озера в большей части его акватории носит естественный олиготрофный характер [1, 2]. Основные проблемы, связанные с антропогенным давлением на экосистемы и загрязнением воды, сосредоточены в крупных заливах, на берегах которых расположены города и промышленные центры. Так, многолетнее воздействие сточных вод Кондопожского целлюлозно-бумажного комбината привело к трансформации планктонных сообществ залива, сходной с антропогенным эвтрофированием [3, 4].

Токсичное влияние неочищенных сточных вод Кондопожского комбината на водные сообщества начали изучать с 1960-х гг. [5, 6]. Строительство биологических очистных сооружений в 1980-х гг. привело к снижению токсичности, обогащению сточных вод биогенными элементами и органическим веществом [7], что привело к значительному улучшению трофических условий для зоопланктона и заметному росту его количественных показателей, а также к изменению структуры сообщества [3, 8]. Исследования показали, что наиболее ярко трансформация зоопланктона проявлялась в период 1980–1990-х гг. Именно в это время в районе сброса сточных вод сформировалось особое зоопланктонное сообщество с преобладанием 1–2 видов фильтраторов и сдвигом соотношений основных таксономических групп в сторону увеличения ветвистоусых [9–11]. Снижение производства вызвало уменьшение объема сточных вод в начале

2000-х гг. и, соответственно, интенсивности нагрузки на экосистему Кондопожского залива. Количественные характеристики зоопланктона снизились [2, 12]. В середине 2000-х гг. в заливе появился новый фактор — развитие аквакультуры, хозяйств по выращиванию форели и других рыб, что также вносит свой вклад в антропогенную нагрузку [2].

Зоопланктон является одним из важнейших звеньев и индикатором состояния экосистемы озера. Поэтому изучение современного состояния зоопланктонных сообществ актуально для познания планктонной системы и функционирования ее в условиях влияния антропогенных факторов.

Цель работы — оценка современного состояния глубоководного зоопланктона Кондопожского залива по данным лета 2017 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Кондопожский залив находится в северо-западной части Онежского озера и простирается на 33 км. В его вершинной части находится место сброса сточных вод Кондопожского целлюлозно-бумажного комбината (рис. 1). Станции располагаются вдоль залива на разном расстоянии от него (табл. 1). Максимальная глубина отмечается в центральной части залива (до 80 м).

Зоопланктон собирался и обрабатывался стандартными методами [13, 14]. Уловы производились сетью Джели, с диаметром входного отверстия 18 или 20 см, с ячейей сита 100 мкм. Всего было отобрано 15 проб на 5 станциях по стандартным горизонтам (0–5, 5–10, 10–25, 25–50, 50–75 и далее до дна). На станции К4 отобрано 0–10, 10–дно. Пробы фиксировали 4%-ным формалином. Биомасса планк-

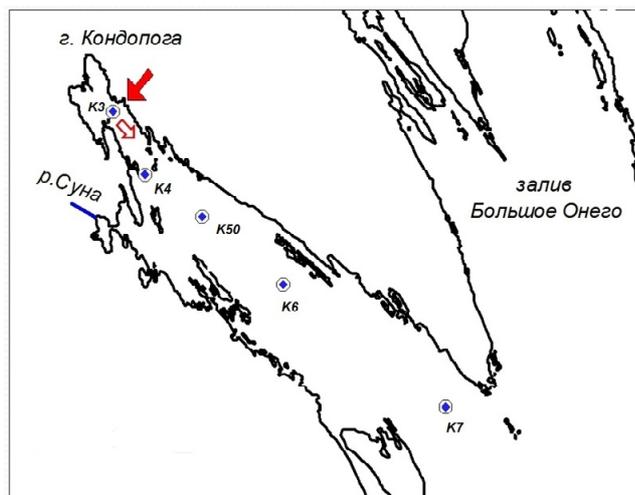


Рис. 1. Карта-схема станций в Кондопожском заливе Онежского озера. Стрелкой показано место сброса сточных вод Кондопожского ЦБК

Fig. 1. Outline map of stations in the Kondopoga Bay of Onego Lake. The arrow indicates the place of wastewater discharge from the Kondopoga pulp and paper mill

Таблица 1. Характеристика станций отбора проб
Table 1. Characteristics of sampling stations

| Станция Station | Расстояние от места сброса сточных вод, км Distance from the wastewater discharge place, km | Глубина, м Depth, m | Кол-во проб Number of samples |
|--------------------|--|------------------------------|--|
| K3 | 0,2 | 13 | 2 |
| K4 | 4 | 21 | 2 |
| K50 | 10 | 35 | 3 |
| K6 | 15 | 75 | 5 |
| K7 | 28 | 35 | 3 |

тергов определялась с учетом индивидуальных весов каждой размерно-возрастной группы, представленной в сводке [15], которая вычислялась по уравнениям связи линейной длины и сырой массы тела [16, 17]. Из-за больших различий станций по глубине анализировались величины в столбе воды или под кв. м, которые отражают продукционно-деструкционные характеристики планктона. Основная масса зоопланктона в столбе воды была сосредоточена в эпилимнионе или в 10-метровом верхнем слое. Размеры малонаселенного гиполимниона не столь значительно влияли на общие количественные характеристики.

Индексы Шеннона-Уивера и сапробности рассчитывались с использованием средневзвешенных численностей и биомасс по станциям [18, 19].

Для анализа многолетних изменений использовалась информация из Базы данных «Зоопланктон Онежского озера» [20], объединяющей показатели по зоопланктону Онежского озера с 1964 по 2011 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав. В зоопланктоне Кондопожского залива, согласно собственным и литературным данным, выявлено 169 таксонов, в т. ч. коловраток — 87, ракообразных — 82 (Cladocera — 47, Calanoida — 5, Cyclopoida — 28, Harpacticoida — 2) [10, 21]. Отмечено, что общее количество видов в зоопланктоне Кондопожского залива на протяжении всего периода исследований в целом было сходным и зависело от методов лова и детальности таксономической идентификации. В глубоководной зоне залива видовое богатство ниже, чем в прибрежной и литоральной зонах.

В период исследований отмечено 36 таксономических групп с рангом до рода (11 веслоногих, 16 ветвистоусых и 9 коловраток). По станциям количество групп колеблется незначительно — от 26 до 29. Видовое разнообразие соответствует наблюдавшемуся в заливе ранее. Наименьшие показатели отмечались в вершинной части (3,00 по численности и 2,61 по биомассе). Далее вдоль залива индекс Шеннона-Уивера варьировал от 3,51 до 3,68 по численности и от 3,12 до 3,29 по биомассе.

Индекс сапробности был максимален в вершинной части (1,73) и находился в диапазоне от 1,62 до 1,69 в остальных районах залива. Столь невысокие различия в показателях сапробности отражают равномерное распределение видов-индикаторов по акватории. Современные показатели сапробности зоопланктона характеризуют планктонную систему как β -мезосапробную.

В районе сброса сточных вод лидирующее положение занимали ветвистоусые рачки-фильтраторы *Daphnia cristata* Sars 1862 (37 % общей численности и 50 % общей биомассы) и *Bosmina (E.) cf. crassicornis* Lilljeborg 1887 (23 и 18 %, соответственно). В центральной и открытой частях залива их доля снижалась до 10 % и ниже. Здесь в численности зоопланктона возрастала роль науплий веслоногих рачков (до 22 %) и рачка *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863) (12 %). Коловратка *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879) составляла

более 20 % по численности, а крупная коловратка *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850 обеспечивала до 25 % сырой биомассы.

Общее обилие зоопланктона закономерно изменялось по районам залива. Максимальные величины отмечены в вершинной его части (табл. 2).

Структура зоопланктона или соотношение основных таксономических групп в летний период

отражает трофические условия его существования (табл. 3). Так, в благоприятных трофических условиях вершинной части залива преобладали ветвистоусые. Практически до станции К4 доля ветвистоусых в биомассе превышает 50 %. По мере удаления от места сброса сточных вод доля ветвистоусых рачков снижалась за счет роста числа веслоногих или коловраток.

Таблица 2. Общая численность и биомасса зоопланктона по станциям

Table 2. Total zooplankton abundance and biomass by stations

| Станция Station | Общая численность Total abundance | | Общая биомасса Total biomass | |
|--------------------|--|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | тыс. экз./м ³ / th. ind./m ³ | тыс. экз./м ² / th. ind./m ² | г/м ³ / g/m ³ | г/м ² / g/m ² |
| К3 | 49,0 | 636 | 1,48 | 19,2 |
| К4 | 15,0 | 314 | 0,44 | 9,3 |
| К50 | 10,9 | 383 | 0,30 | 10,4 |
| К6 | 4,4 | 327 | 0,10 | 7,8 |
| К7 | 4,5 | 156 | 0,12 | 4,2 |

Таблица 3. Состав зоопланктона по численности и биомассе (соотношение основных таксономических групп в %)

Table 3. Zooplankton composition by abundance and biomass (ratio of main taxonomic groups in %)

| Станция Station | Численность / Abundance | | | Биомасса / Biomass | | |
|--------------------|-------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|
| | веслоногие copepods | ветвистоусые cladoceran | коловратки rotifers | веслоногие copepods | ветвистоусые cladoceran | коловратки rotifers |
| К3 | 29,1 | 48,8 | 22,1 | 26,0 | 68,7 | 5,3 |
| К4 | 31,7 | 46,9 | 21,4 | 28,4 | 56,4 | 15,2 |
| К50 | 38,8 | 35,7 | 25,5 | 34,5 | 45,8 | 19,7 |
| К6 | 32,5 | 41,0 | 26,5 | 45,5 | 42,2 | 12,2 |
| К7 | 31,4 | 36,8 | 31,8 | 28,9 | 42,1 | 28,9 |

Видовой состав зоопланктона и его доминантного комплекса с 1960-х гг. до настоящего времени не претерпел существенных изменений. Естественные различия в соотношении видов и групп объяснялись сезонными и межгодовыми колебаниями.

Многолетние исследования трансформации зоопланктона выявили ее зависимость от интенсивности антропогенной нагрузки и ее природы [2, 3, 5, 6, 8–10].

В 1960–1970-е гг. зоопланктон залива характеризовался невысоким развитием, близким к естественному (рис. 2). С начала 1980-х гг. влияние сточных вод комбината, прошедших биологическую очистку, привело к росту количественных показателей и колебаниям структуры сообщества. В районе сброса сточных вод значительно выросли общая численность и биомасса зоопланктона, увеличилась неравномерность в распределении

организмов в заливе. К концу 1980-х – началу 1990-х гг. в вершинной части залива под влиянием значительного количества органического вещества сформировалось особое сообщество. Рост численности почти всех видов определил высокое общее обилие зоопланктона. Преобладание 1–2 видов (в основном фильтраторов) привело к уменьшению разнообразия сообщества. Вследствие этого здесь было сдвинуто соотношение основных таксономических групп в сторону увеличения доли ветвистоусых. В то же время в центральной части залива воздействие сточных вод наблюдалось лишь эпизодически, проявляясь во вспышках численности мелких быстроразмножающихся организмов [8, 9]. В связи с уменьшением объема сточных вод и усовершенствованием природоохранных мероприятий на ЦБК количество органического вещества и фосфора, попадающего в воды залива, умень-

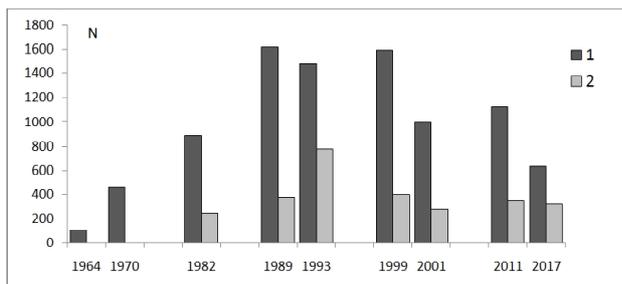


Рис. 2. Многолетнее изменение численности летнего зоопланктона (N, тыс. экз./м³) в вершинной (1) и в центральной (2) части залива

Fig. 2. Long-term changes in the summer zooplankton abundance (N, thousand ind./m³) in the upper (1) and central (2) parts of the bay

шилось. Трофическая база зоопланктона к началу XXI века сократилась, что привело к снижению и стабилизации уровня его развития [12].

Зоопланктон вершинной части залива (станция К3) летом 2017 г. не превышал 50 тыс. экз./м³ по численности и 1,5 г/м³ по биомассе, что близко к средним летним показателям за последние десятилетия (2001–2011 гг.) [12]. В его структуре отмечались особенности, характерные для этой зоны, а именно преобладание ветвистоусых рачков-фильтраторов (по численности 66 %, по биомассе 77 %).

Зоопланктон центральной и открытой частей залива также имел биомассу очень близкую к средней (0,24 г/м³). Численность в период наших исследований была в 1,5 раза ниже средней (14,83 тыс. экз./м³).

Известно, что на некоторых этапах процесса эвтрофирования количество зоопланктона увеличивается [18, 22]. По мере продвижения вдоль залива сточные воды разбавляются и трансформируются, количество органического вещества и биогенов в воде уменьшается, и, соответственно, снижается трофическая база для зоопланктона. В центральной части залива (станция К6) воздействие сточных вод наблюдается эпизодически, проявляясь во вспышках численности мелких коловраток в поверхностных теплых слоях.

Был предложен критерий оценки интенсивности антропогенной нагрузки, в основе которого лежит пространственная неоднородность распределения зоопланктона по акватории залива. Критерий представляет собой отношение обилия зоопланктона в столбе воды в вершинной части залива, характеризующейся максимальной антропогенной нагрузкой, к обилию организмов в центральной части залива. В многолетнем плане величина

критерия изменялась от 1,0 до 5,1. Максимальные значения критерия были зафиксированы в теплом 1989 г. (4,3 по численности и 5,1 по биомассе), когда несколько дней штилевой погоды резко усилили развитие зоопланктона вершинной части залива. В период сильной антропогенной нагрузки (конец 1980-х – начало 1990-х гг.) значение критерия достигало 3–4. В августе 2017 г. это отношение составляло 2,0 по численности и 2,5 по биомассе, что отразило снижение показателей зоопланктона вершинной части из-за падения антропогенной нагрузки.

Отбор проб в заливе происходит в течение одной съемки за 1–2 дня, поэтому зоопланктон в разных районах находится в одинаковых сезонных и синоптических условиях. Они не влияют на величину критерия, который отражает лишь влияние антропогенного фактора.

ВЫВОДЫ

Современное состояние летнего зоопланктона отражает продолжающееся влияние сточных вод Кондопожского ЦБК на планктонные сообщества. В последние десятилетия количественные показатели развития зоопланктона свидетельствуют о снижении нагрузки, особенно в вершинной части залива.

Пространственные закономерности распределения зоопланктона, связанные с антропогенным эвтрофированием, сохраняются. Район сброса сточных вод ЦБК выделяется высокими показателями обилия зоопланктона (50 тыс. экз./м³ и 1,5 г/м³) и изменением структуры, характерным для планктонных систем при эвтрофировании. Обилие зоопланктона закономерно снижалось в направлении от вершинной части залива к открытой его части до 4,5 тыс. экз./м³ и 0,12 г/м³.

Предложен критерий интенсивности нагрузки, которым может служить отношение количественных показателей зоопланктона вершинной и центральной частей залива.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Карелия в рамках научного проекта № 18-44-100007 р_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Филатов Н.Н. Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России:

- современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2015. 375 с.
2. Калинин Н.М., Теканова Е.В., Сярки М.Т. Экосистема Онежского озера: реакция водных сообществ на антропогенные факторы и климатические изменения // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2017. № 1. С. 4–18.
 3. Тимакова Т.М., Куликова Т.П., Литвинова И.А., Полякова Т.Н., Сярки М.Т., Теканова Е.В., Чекрыжева Т.А. Изменение биоценозов Кондопожской губы Онежского озера под влиянием сточных вод целлюлозно-бумажного комбината // *Водные ресурсы*. 2014. Т. 41, № 1. С. 74–82.
 4. Филатов Н.Н. Онежское озеро. Атлас. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2010. 151 с.
 5. Филимонова З.И. Влияние сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов на развитие зоопланктона // *Вопросы гидрологии, озераведения и водного хозяйства Карелии*. Петрозаводск: Изд-во Карельского филиала АН СССР, 1969. С. 154–182.
 6. Филимонова З.И. Зоопланктон Кондопожской губы Онежского озера // *Водные ресурсы Карелии и их использование*. Петрозаводск: Изд-во Карельского филиала АН СССР, 1975. С. 117–132.
 7. Сабылина А.В. Химический состав губ Онежского озера, подверженных антропогенному загрязнению // *Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада европейской территории России. Современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях* / Под ред. Н.Н. Филатова. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2015. С. 72–88.
 8. Калинин Н.М., Куликова Т.П., Литвинова И.А., Полякова Т.Н., Сярки М.Т., Теканова Е.В., Тимакова Т.М., Чекрыжева Т.А. Биоиндикация загрязнения вод и донных отложений в Кондопожской губе Онежского озера // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*. 2011. № 3. С. 265–273.
 9. Куликова Т.П., Кустовлянкина Н.Б., Сярки М.Т. Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 1997. 112 с.
 10. Куликова Т.П., Сярки М.Т. Влияние антропогенного эвтрофирования на распределение зоопланктона в Кондопожской губе Онежского озера // *Водные ресурсы*. 2004. Т. 31, № 1. С. 91–97.
 11. Сярки М.Т. Зоопланктон // *Онежское озеро. Атлас* / Под ред. Н.Н. Филатова. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2010. С. 117–119.
 12. Сярки М.Т. Оценка современного состояния экосистемы Онежского озера по гидробиологическим показателям и устойчивости функционирования водных сообществ. Зоопланктон // *Крупнейшие озера-водохранилища северо-запада европейской территории России. Современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях* / Под ред. Н.Н. Филатова. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 2015. С. 121–127.
 13. Винберг Г.Г., Лаврентьева Г.М. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов в гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1984. 33 с.
 14. Моисеенко Т.И. Методика комплексного гидрохимического и биологического исследования качества вод и состояния водных и околоводных экосистем: методическое руководство. Часть 1. Полевые исследования. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2011. 63 с.
 15. Куликова Т.П., Сярки М.Т. Размерно-весовая характеристика массовых видов ракообразных и коловраток Онежского озера (справочно-информационный материал). Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 1994. 16 с.
 16. Балущкина Е.В., Винберг Г.Г. Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных // *Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер* / Под ред. Г.Г. Винберга. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР, 1979. С. 58–72.
 17. Горбунов А.К. К методике определения биомассы коловраток // *Трофические связи и их роль в продуктивности природных водоемов* / Под ред. Г.Г. Винберга. Л.: Изд-во ЗИН АН СССР, 1983. С. 122–124.
 18. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб: Наука, 1996. 190 с.
 19. Унифицированные методы исследования качества вод / Под ред. З. Губачека. М.: Типография Управления делами Секретариата СЭВ, 1975. 176 с.
 20. Сярки М.Т., Куликова Т.П. Зоопланктон Онежского озера: база данных. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2012621150. Правообладатель: ФГБУН «Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН» (ИВПС КарНЦ РАН) (RU). Дата регистрации в Реестре баз данных: 9 ноября 2012 г.
 21. Куликова Т.П., Сярки М.Т. Особенности структуры и функционирования биологических сообществ под влиянием природных и антропогенных факторов. Структура и количественные показатели зоопланктона // *Онежское озеро. Экологические проблемы* / Под ред. Н.Н. Филатова. Петрозаводск: Изд-во Карельского научного центра РАН, 1999. С. 191–211.
 22. Алимов А.А. Введение в продукционную гидробиологию. Л.: Наука, 1989. 152 с.

REFERENCES

1. Filatov N.N. Krupneyshie ozera-vodokhranilishcha Severo-Zapada evropeyskoy territorii Rossii:

- современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях [The largest lakes-reservoirs of the north-west of the European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]. Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyy tsentr RAN [Karelian Research Centre of RAS] Publ., 2015, 375 p. (In Russian).
2. Kalinkina N.M., Tekanova Ye.V., Syarki M.T. Ekosistema Onezhskogo ozera: reaktsiya vodnykh soobshchestv na antropogennye faktory i klimaticheskie izmeneniya [The Lake Onego ecosystem: aquatic communities response to anthropogenic factors and climate change]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii [Water Sector of Russia]*, 2017, no. 1, pp. 4–18. (In Russian).
 3. Timakova T.M., Kulikova T.P., Litvinova I.A., Polyakova T.N., Syarki M.T., Tekanova E.V., Chekryzheva T.A. Izmenenie biotsenozov Kondopozhskoy guby Onezhskogo ozera pod vliyaniem stochnykh vod tsellyulozno-bumazhnogo kombinata [Changes in the biocenoses of Kondopoga Bay, Lake Onego, under the effect of effluents from a pulp and paper mill]. *Vodnye resursy [Water Resources]*, 2014, vol. 41, no. 1, pp. 74–82. (In Russian).
 4. Filatov N.N. Onezhskoe ozero. Atlas [The Lake Onego. Atlas]. Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyy tsentr RAN [Karelian Research Centre of RAS] Publ., 2010, 151 p. (In Russian).
 5. Filimonova Z.I. Vliyanie stochnykh vod tsellyulozno-bumazhnykh kombinatov na razvitie zooplanktona [Effect of wastewater from pulp and paper plants on zooplankton development]. In: *Voprosy gidrologii, ozerovedeniya i vodnogo khozyaystva Karelii [Problems of hydrology, limnology and water industry in Karelia]*. Petrozavodsk: Karelskiy filial AN SSSR [Karelian Branch of the USSR AS] Publ., 1969, pp. 154–182. (In Russian).
 6. Filimonova Z.I. Zooplankton Kondopozhskoy guby Onezhskogo ozera [Zooplankton of Kondopoga Bay in Lake Onego]. In: *Vodnye resursy Karelii i ikh ispol'zovanie [Karelian water resources and their use]*. Petrozavodsk: Karelskiy filial AN SSSR [Karelian Branch of the USSR AS] Publ., 1975, pp. 117–132. (In Russian).
 7. Sabylina A.V. Khimicheskiy sostav gub Onezhskogo ozera, podverzhennykh antropogennomu zagryazneniyu [The chemical composition of the bays of Lake Onego, subject to anthropogenic pollution]. In: *Krupneyshie ozera-vodokhranilishcha severo-zapada evropeyskiy territorii Rossii. Sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeystviyakh [The largest lakes-reservoirs of the north-west of the European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]*. N.N. Filatov. (Ed.). Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyy tsentr RAN [Karelian Research Centre of RAS] Publ., 2015, pp. 72–88. (In Russian).
 8. Kalinkina N.M., Kulikova T.P., Litvinova I.A., Polyakova T.N., Syarki M.T., Tekanova E.V., Timakova T.M., Chekryzheva T.A. Bioindikatsiya zagryazneniya vod i donnykh otlozheniy v Kondopozhskoy gube Onezhskogo ozera [Bioindication of water and bottom sediment pollution in the Kondopozhskaya Bay of Lake Onega]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya [Environmental Geoscience]*, 2011, no. 3, pp. 265–273. (In Russian).
 9. Kulikova T.P., Kustovlyankina H.B., Syarki M.T. Zooplankton kak komponent ekosistemy Onezhskogo ozera [Zooplankton as a component of Lake Onego ecosystem]. Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyy tsentr RAN [Karelian Research Centre of RAS] Publ., 1997, 112 p. (In Russian).
 10. Kulikova T.P., Syarki M.T. Vliyanie antropogenogo evtrofirovaniya na raspredelenie zooplanktona v Kondopozhskoy gube Onezhskogo ozera [Effect of anthropogenic eutrophication on zooplankton distribution in Kondopoga Bay of Lake Onega]. *Vodnye resursy [Water Resources]*, 2004, vol. 31, no. 1, pp. 91–97. (In Russian).
 11. Syarki M.T. Zooplankton [Zooplankton]. In: *Onezhskoe ozero. Atlas [The Lake Onego. Atlas]*. N.N. Filatov. (Ed.). Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyy tsentr RAN [Karelian Research Centre of RAS] Publ., 2010, pp. 117–119. (In Russian).
 12. Syarki M.T. Otsenka sovremennogo sostoyaniya ekosistemy Onezhskogo ozera po gidrobiologicheskim pokazatelyam i ustoychivosti funktsionirovaniya vodnykh soobshchestv. Zooplankton [Assessment of the current state of the ecosystem of Lake Onego in terms of hydrobiological indicators and the sustainability of the functioning of aquatic communities. Zooplankton]. In: *Krupneyshie ozera-vodokhranilishcha severo-zapada evropeyskiy territorii Rossii. Sovremennoe sostoyanie i izmeneniya ekosistem pri klimaticheskikh i antropogennykh vozdeystviyakh [The largest lakes-reservoirs of the north-west of the European part of Russia: current state and changes of ecosystems under climate variability and anthropogenic impact]*. N.N. Filatov. (Ed.). Petrozavodsk: Karelskiy nauchnyy tsentr RAN [Karelian Research Centre of RAS] Publ., 2015, pp. 121–127. (In Russian).
 13. Vinberg G.G., Lavrent'eva G.M. Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov v gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnovodnykh vodoemakh. Zooplankton i ego produktsiya [Methodological recommendations on collection and processing of samples for hydrobiological research in fresh waterbodies. Zooplankton and its production]. Leningrad: GosNIORKH [State Research Institute on Lake and River Fisheries] Publ., 1984, 33 p. (In Russian).
 14. Moiseenko T.I. Metodika kompleksnogo gidrokhimicheskogo i biologicheskogo issledovaniya kachestva vod i sostoyaniya vodnykh i okolovodnykh ekosistem: metodicheskoe rukovodstvo. Chast' 1.

- Polevye issledovaniya [Methods of multi-faceted hydrochemical and biological research of water quality and the state of aquatic and riparian ecosystems: a methodological guide. Part 1. Field studies]. Tyumen: Tyumenskiy gosudarstvennyy universitet [Tyumen State University] Publ., 2011, 63 p. (In Russian).
15. Kulikova T.P., Syarki M.T. Razmerno-vesovaya kharakteristika massovykh vidov rakoobraznykh i kolovratok Onezhskogo ozera (spravochno-informatsionnyy material) [Size and weight characteristics of mass species of crustaceans and rotifers of Lake Onega (reference and information material)]. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN [Karelian Research Centre of RAS] Publ., 1994, 16 p. (In Russian).
 16. Balushkina E.V., Vinberg G.G. Zavisimost' mezhdumassoy i dlinoy tela u planktonnykh zhitovnykh [The relationship between weight and body length in plankton animals]. In: *Ekspierimental'nye i polevye issledovaniya biologicheskikh osnov produktivnosti ozer* [Experimental and field studies of the biological bases of lake productivity]. G.G. Vinberg. (Ed.). Leningrad: ZIN AN SSSR [Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences] Publ., 1979, pp. 58–72. (In Russian).
 17. Gorbunov A.K. K metodike opredeleniya biomass kolovratok [On the methods for estimation of rotifer biomass]. In: *Troficheskie svyazi i ikh rol' v produktivnosti prirodnykh vodoemov* [Trophic relationships and their role in the productivity of natural water bodies]. Leningrad: ZIN AN SSSR [Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences] Publ., 1983, pp. 122–124. (In Russian).
 18. Andronikova I.H. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem raznykh troficheskikh tipov [Structural and functional organization of zooplankton in lake ecosystems of different trophic status]. Saint-Petersburg: Nauka [Science], 1996, 190 p. (In Russian).
 19. Gubachek Z. Unifitsirovannye metody issledovaniya kachestva vod [Unified methods for investigating water quality]. Moscow: Tipografiya Upravleniya delami Sekretariata SEV [Typography Office of the Secretariat of the Council for Mutual Economic Assistance], 1975, 176 p. (In Russian).
 20. Syarki M.T., Kulikova T.P. Zooplankton Onezhskogo ozera: baza dannykh [Zooplankton of Lake Onego. A database]. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii bazy dannykh [Certificate of registration of a database] No. 2012621150. Right-holder: FSBSI "Northern Water Problems Institute of the Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences" (NWPI KRC of RAS) (RU). The date of registration in the Database Registry — 9 November, 2012. (In Russian).
 21. Kulikova T.P., Syarki M.T. Osobennosti struktury i funktsionirovaniya biologicheskikh soobshchestv pod vliyaniem prirodnykh i antropogennykh faktorov. Struktura i kolichestvennye pokazateli zooplanktona [Features of the biological communities structure and functioning under the influence of natural and anthropogenic factors. Zooplankton structure and quantitative characteristics]. In: *Onezhskoe ozero. Ekologicheskie problemy* [Lake Onega: environmental problems]. N.N. Filatov. (Ed.). Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN [Karelian Research Centre of RAS] Publ., 1999, pp. 191–211. (In Russian).
 22. Alimov A.A. Vvedenie v produktsionnyuyu gidrobiologiyu [An introduction to production hydrobiology]. Leningrad: Nauka [Science], 1989, 152 p. (In Russian).

Поступила 27.06.2019

Принята к печати 02.08.2019