

УДК 556:574.583

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ВОДОЕМОВ БОЛЬШОГО СОЛОВЕЦКОГО ОСТРОВА НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР ВАРВАРИНСКОЕ И ПИТЬЕВОЕ

Собко Е.И., Болотов М.И., Климов С.И., Быков В.М., Морева О.Ю.

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
имени Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук,  
Архангельск, e-mail: elfisina@yandex.ru*

В настоящее время актуальна проблема охраны водных ресурсов и их эффективного использования. Нарушение стабильности водных экосистем в первую очередь проявляется в перестройке водных зооценозов, изменении таксономического состава и соотношения различных групп гидробионтов в сообществах. Структурно-функциональные характеристики зоопланктона являются наиболее информативными показателями, отражающими трансформации, происходящие в водных экосистемах под влиянием антропогенных и природных факторов, и, следовательно, могут быть использованы для оценки состояния зооценозов. В работе представлены исследования зоопланктона озер Варваринское и Питьевое (Большой Соловецкий остров), дана характеристика современного состояния зооценозов водоемов. Планктонная фауна озер представлена обычными для водоемов бореальной зоны видами. В озере Варваринское было выявлено 19 видов зоопланктона, в озере Питьевое – 30 видов. К числу доминирующих видов в озерах Варваринское и Питьевое относились коловратки *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Filinia longiseta*, *Lecana luna*, *Polyarthra dolichoptera*, *Polyarthra vulgaris*, *Conochilus unicornis*. Исследования показали, что экосистемы озер за последние 50 лет подверглись значительной трансформации. Прежде всего, это отражается в перестройке доминантного комплекса организмов, появлении в сообществах видов индикаторов эвтрофных вод, снижении численности ракообразных и увеличении доли коловраток, снижении средней индивидуальной массы гидробионтов. Озера Варваринское и Питьевое по состоянию развития зоопланктона относятся к олиготрофному типу (средняя биомасса до 1 г/м<sup>3</sup>). По величине индекса сапробности озеро Варваринское относится к мезосапробному типу водных объектов, Питьевое – к олигосапробному типу.

**Ключевые слова:** зоопланктон, Соловецкие острова, водные экосистемы, видовой состав, количественные показатели

## THE MODERN STATE OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES OF RESERVOIRS OF THE BOLSHOY SOLOVETSKY ISLAND ON THE EXAMPLE OF VARVARINSKOYE AND PITEVOE LAKES

Sobko E.I., Bolotov M.I., Klimov S.I., Bykov V.M., Moreva O.Yu.

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, e-mail: elfisina@yandex.ru*

Currently, the problem of protection of water resources and their effective use is of urgent importance. Violation of the stability of aquatic ecosystems, first of all, manifests itself in the restructuring of aquatic zoocenoses, changes in the taxonomic composition and the ratio of various groups of aquatic organisms in communities. The structural and functional characteristics of zooplankton are the most informative indicators reflecting the transformations taking place in aquatic ecosystems under the influence of anthropogenic and natural factors, and, therefore, can be used to assess the state of zoocenoses. The paper presents studies of zooplankton of Varvarinskoye and Pit'evoye lakes (Bolshoy Solovetsky Island), characterizes the current state of zoocenoses of lakes. The planktonic fauna of the lakes is represented by species common to boreal reservoirs. 19 zooplankton species were identified in Varvarinskoye lake, 30 species in Pit'evoye lake. The dominant species in Varvarinskoye and Pit'evoye lakes included rotifers *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Filinia longiseta*, *Lecana luna*, *Polyarthra dolichoptera*, *Polyarthra vulgaris*, *Conochilus unicornis*. Studies have shown that lake ecosystems have undergone a significant transformation over the past 50 years. First of all, this is reflected in the restructuring of the dominant complex of organisms, the appearance of eutrophic water indicators in communities of species, a decrease in the number of crustaceans and an increase in the proportion of rotifers, a decrease in the average individual weight of hydrobionts. The planktonic fauna of Varvarinskoye and Pit'evoye lakes belong to the oligotrophic type according to the state of development (average biomass up to 1 g/m<sup>3</sup>). According to the value of the saprobity index, Varvarinskoye lake belongs to the mesosaprobic type of water bodies, Pit'evoye to the oligosaprobic type.

**Keywords:** zooplankton, Solovetsky Islands, aquatic ecosystems, species composition, quantitative indicators

В настоящее время актуальна проблема охраны водных ресурсов и их эффективного использования. Нарушение стабильности водных экосистем в первую очередь проявляется в перестройке водных зооценозов, изменении таксономического состава и соотношения различных групп гидробионтов в сообществах. Структур-

но-функциональные характеристики зоопланктона являются наиболее информативными показателями, отражающими трансформации, происходящие в водных экосистемах под влиянием антропогенных и природных факторов, и, следовательно, могут быть использованы для оценки состояния зооценозов.

Соловецкий архипелаг образован множеством островов. Наиболее крупными островами являются Большой Соловецкий (222 км<sup>2</sup>), Анзер (48 км<sup>2</sup>) и Большая Муксалма (19 км<sup>2</sup>). Общая площадь архипелага 295 км<sup>2</sup>. Территория Соловков покрыта большим количеством озер. На Большом Соловецком острове их более 300. Большинство водоемов имеют ледниковое происхождение, за исключением реликтовых озер, которые в прошлом являлись частью морских лагун.

Первые исследования планктонной фауны водоемов Соловков относятся к началу XX в. Данные работы в основном посвящены изучению таксономического состава зоопланктона. В этот период были составлены подробные фаунистические списки видов гидробионтов, встречающихся в водоемах архипелага. Повторные исследования зоопланктонных сообществ были выполнены в 1960-х гг. Карельским отделением ГосНИОРХ. В ходе комплексных исследований было изучено 65 озер Большого Соловецкого острова, получены данные по видовому составу и количественному развитию зоопланктонных сообществ [1]. В дальнейшем подобные работы на территории Соловков не проводились, за исключением комплексного исследования озер Петр, Питьево и Святое, проведенного в 2020 г. [2].

Цель данной работы – на примере озер Варваринское и Питьево охарактеризовать современное состояние зоопланктонных сообществ озерных экосистем Большого Соловецкого острова и сравнить результаты с данными, полученными 50 лет назад.

#### Материалы и методы исследования

Исследования зоопланктона проводились в августе 2021 г. на озерах Варваринское и Питьево. Зоопланктон отбирали планктонной сетью Джеди. Образцы фиксировались 4%-ным раствором формалином. Обработка проб производилась в лаборатории стандартными гидробиологическими методами. При обработке проб изучали качественные и количественные характеристики зоопланктона: определяли видовой состав, выделяли доминантные группы, подсчитывали численность ( $N$ ) и биомассу ( $B$ ) организмов. Гидробионтов с относительной численностью  $> 5\%$  считали структурообразующими видами. При вычислении биомассы зоопланктона использовали соответствующие руковод-

ства [3]. Видовое разнообразие оценивали по индексу Шеннона – Уивера. Индекс рассчитан по численности ( $HN$ ). Для выявления фаунистического сходства зооценозов озер использовали индекс Жаккара ( $I_j$ ), ( $I$ ). Индекс сапробности ( $S$ ) рассчитан по методу Пантле и Букка в модификации Сладечека. Трофический тип водоёма определяли по величине биомассы зоопланктона [4].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Озеро Варваринское расположено на территории большого Соловецкого острова (65°05'с.ш., 35°73'в.д.). Площадь водоема составляет 0,093 км<sup>2</sup> (9,3 га). Озеро находится на расстоянии 70 м от залива Долгая губа. Когда-то озеро Варваринское было частью морского залива.

Озеро Питьево находится к западу (65°04'с.ш., 35°69'в.д.) от озера Варваринское. Площадь озера Питьево – 0,173 км<sup>2</sup> (17,3 га). Из водоема осуществляется отбор воды на питьевые нужды населения острова.

По площади зеркала водной поверхности исследуемые объекты относятся к категории озерков ( $< 0,1$  км<sup>2</sup> – Варваринское) и очень малых озер (0,1–1,0 км<sup>2</sup> – Питьево). Тем не менее по показателю относительной глубины озера относятся к глубоким (4–10 м) (табл. 1).

В период исследования в водоемах наблюдалась температурная стратификация водной толщи. Температура в поверхностном горизонте составляла +15–+17°C, в придонном – +5–+7 °C, pH среды в озерах близка к нейтральной. Поверхностные и придонные слои в озере Питьево хорошо насыщены кислородом (31–94%). В озере Варваринское на глубине 3 м наблюдается анаэробная зона, кислород полностью отсутствует. От других водоемов озеро Варваринское отличается повышенной минерализацией.

Зоопланктонные сообщества озер представлены видами типичными для холодноводных олиготрофных водоёмов северных широт [5]. По зоогеографическому районированию зооценозы преимущественно состояли из видов, имеющих палеарктическое (39%), космополитное (32%) и голарктическое (29%) распространение. В зоопланктонном сообществе водоёмов преобладали олиго- и олиго-β-мезосапробы (83% от общего числа видов).

Таблица 1

Морфометрические и гидрохимические характеристики озер Варваринское и Питьевое

Характеристики	Озера	
	Варваринское	Питьевое
Длина озера, км	0,5	0,98
Максимальная ширина, км	0,28	0,4
Глубина (средняя), м	4,2	3,7
Максимальная глубина, м	9,0	11,1
Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	0,093	0,173
Объем озера, км <sup>3</sup>	0,0004	0,0006
Прозрачность воды, м	0,4	2,5
Температура, °С*	+15	+17
Кислород, мг О <sub>2</sub> /л*	7,4	8,9
рН*	6,5	6,6
Минерализация, мг/л*	193,4	58,6

Примечание: \* – поверхностный горизонт

В зоопланктоне исследованных водоемов отмечено 37 видов гидробионтов: 14 видов коловраток и 23 вида ракообразных. Сообщества зоопланктона озера Варваринское представлены 18 видами беспозвоночных: 10 видов коловраток, 3 вида ветвистоусых и 5 видов веслоногих ракообразных. В озере Питьевое отмечено 30 видов, из которых 10 видов составляли коловратки, 10 видов кладоцеры и 10 видов копеподы.

Ниже приведен список обнаруженных в озерах видов зоопланктонных организмов.

**Тип Rotifera Коловратки**

**Asplanchnidae:** 1) *Asplanchna priodonta* Gosse, 1850 – В, П; 2) *Asplanchna herriskie* Guerne, 1888 – В, П.

**Brachionidae:** 3) *Kellicottia longispina* Kellicott, 1879 – В, П; 4) *Keratella cochlearis* Gosse, 1851 – В, П; 5) *Keratella quadrata* Müller, 1786 – В; 6) *Brachionus quadridentatus* Hermann, 1783 – П; 7) *Notholca sp.* – П.

**Synchaetidae:** 8) *Polyarthra vulgaris* Carlin, 1943 – В, П; 9) *Polyarthra dolichoptera* Idelson, 1925 – П.

**Conochilidae:** 10) *Conochilus unicornis* Rousselet, 1892 – В, П.

**Filiniidae:** 11) *Filinia longiseta* Ehrenberg, 1834 – В.

**Trichocercidae:** 12) *Trichocerca weberi* Jennings, 1903 – В; 13) *Trichocerca sp.* – В, П.

**Lecanidae:** 14) *Lecane luna* Müller, 1776 – В.

**Класс Crustacea Ракообразные**

**Надотряд Cladocera Ветвистоусые**

**Daphniidae:** 15) *Daphnia cucullata* G.O. Sars, 1862 – В, П; 16) *Daphnia galeata* G.O. Sars, 1864 – В; 17) *Daphnia cristata* Sars, 1862 – П; 18) *Daphnia obtusa* Kurz, 1875 – П; 19) *Daphnia longiremis* G.O. Sars, 1862 – П; 20) *Daphnia hyalina* Leydig, 1860 – П.

**Chydoridae:** 21) *Chydorus ovalis* Kurz, 1875 – В.

**Bosminidae:** 22) *Bosmina longirostris* O.F. Müller, 1785 – П.

**Macrothricidae:** 23) *Macrothrix hirsuticornis* Norman et Brady, 1867 – П.

**Sididae:** 24) *Diaphanosoma brachyurum* Liévin, 1848 – П; 25) *Sida crystallina* O.F. Müller, 1776 – П.

**Polyphemidae:** 26) *Polyphemus pediculus* Linne, 1778 – П.

**Надотряд Copepoda Веслоногие**

**Diaptomidae:** 27) *Eudiaptomus gracilis* G.O. Sars, 1863 – В, П; 28) *Eudiaptomus graciloides* Lilljeborg, 1888 – П.

**Cyclopidae:** 29) *Cyclops scutifer* G.O. Sars, 1863 – В; 30) *Cyclops abyssorum* G.O. Sars, 1863 – В; 31) *Cyclops strenuus* Fischer, 1851 – В, П; 32) *Cyclops kolensis* Lilljeborg, 1901 – П; 33) *Mesocyclops leuckarti* Claus, 1857 – В, П; 34) *Macrocyclus albidus* Jurine, 1820 – П; 35) *Acanthocyclops vernalis* Fischer, 1853 – П; 36) *Eucyclops macrurus* Sars, 1863 – П; 37) *Eucyclops serrulatus* Fischer, 1851 – П; 38) *Thermocyclops crassus* Fischer, 1853 – П.

Принятые сокращения: В – озеро Варваринское, П – озеро Питьевое.

Таблица 2

Основные структурные показатели развития зоопланктонных сообществ озер Варваринское и Питьево в различные периоды исследований

Показатель	Озеро Варваринское		Озеро Питьево	
	1965 г.	2021 г.	1965 г.	2021 г.
Число видов	12	18	18	30
$N_{\text{clad}}:N_{\text{rot}}:N_{\text{cop}},\%$	1:0:99	1:94:5	52:14:34	5:77:18
$B_{\text{clad}}:B_{\text{rot}}:B_{\text{cop}},\%$	9:0:91	5:38:57	52:5:43	65:8:27
Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup>	40,2	182,3	91,9	110,1
Биомасса, г/м <sup>3</sup>	0,86	0,2	1,5	0,8
Wcp., мг	0,02	0,001	0,02	0,007
$B_{\text{crus}}/B_{\text{rot}}$	–	2,92	–	13,18
$N_{\text{clad}}/N_{\text{cop}}$	–	0,13	–	0,49
Индекс Шеннона – Уивера, бит/экз.	–	2,09	–	2,63
Индекс сапробности	–	1,61	–	1,41
Виды доминанты по численности	<i>Mesocyclops leuckarti</i> , <i>Eudiaptomus gracilis</i> , <i>Chydorus sphaericus</i> , <i>Daphnia longispina</i>	<i>Keratella cochlearis</i> , <i>Keratella quadrata</i> , <i>Filinia longiseta</i> , <i>Lecane luna</i>	<i>Ceriodaphnia affinis</i> , <i>Daphnia cristata</i> , <i>Bosmina obtusirostris</i>	<i>Polyarthra dolichoptera</i> , <i>Polyarthra vulgaris</i> , <i>Conochilus unicornis</i> , <i>Keratella cochlearis</i> , <i>Kellicottia longispina</i>
Тип водоема	–	мезотрофный	–	олиготрофный

Примечание. N, B – численность и биомасса зоопланктона в летний период; Rot – Rotifera, Clad – Cladocera, Cop – Copepoda; Wcp. – средняя масса организма

Видовое разнообразие в озере Варваринское определяли коловратки. К числу доминирующих видов коловраток (Rotifera) в водоеме относятся *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Filinia longiseta*, *Lecane luna*. Наименьшим количеством видов в зооценозе представлены ветвистоусые ракообразные (3 видами), что, по-видимому, связано с кислородным режимом в водоеме. Как известно, кладоцеры чутко реагируют на недостаток кислорода в воде [6, 7].

Зооценозы озера Питьево более разнообразны и характеризуются большим количеством видов. Анализ фаунистического сходства показал незначительное подобие зоопланктона озер. Индекс сходства Жаккара составил 29% соответственно.

Индекс видового разнообразия Шеннона для озера Варваринское варьировал в пределах 1,90–2,39 бит/экз (средние значения 2,09), для озера Питьево от 1,34 бит/экз до 3,06 бит/экз (средние значения 2,63). Значения индекса позволяют отнести озеро Варваринское к мезотрофному типу, озеро Питьево – к олиготрофному типу водо-

емов. Индекс выравненности (I) для озера Варваринское в среднем равен 0,6, для озера Питьево – 0,7, что свидетельствует об устойчивом состоянии экосистем.

Количественные характеристики зоопланктона в водоемах варьировали в широких пределах. Максимальная численность планктона в озере Варваринское составляла 288,0 тыс. экз./м<sup>3</sup>, минимальная – 26,9 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Средние значения численности и биомассы зоопланктона в озере составляли 182,3 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,19 г/м<sup>3</sup> соответственно. Значения биомассы варьировали в пределах от 0,03 г/м<sup>3</sup> до 0,47 г/м<sup>3</sup>. По численности в зоопланктонных сообществах озера Варваринское доминировали коловратки (94% от общей численности), по биомассе – копеподы (57% от общей биомассы).

Анализ вертикального распределения гидробионтов в озере Варваринское в период летней стратификации показал приуроченность зоопланктона к верхнему слою воды (0–3 м). В поверхностных слоях интенсивно развивались представители всех

групп зоопланктона. На всех горизонтах коловратки составляли от 90 до 96% от общей численности. С глубиной роль ракообразных снижалась. В слое 3–8 м наблюдается полное отсутствие кладоцер, что связано с кислородным режимом в водоеме: с глубины 3 м начинается анаэробная зона.

Средняя численность и биомасса зоопланктона в озере Питьево составляли 110,1 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 0,80 г/м<sup>3</sup> соответственно. Максимальная численность зоопланктона составляла 202,8 тыс. экз./м<sup>3</sup>, минимальная – 56,8 тыс. экз./м<sup>3</sup>. Значения биомассы варьировали в пределах от 0,21 г/м<sup>3</sup> до 2,04 г/м<sup>3</sup>. По уровню развития планктонной фауны озера Варваринское и Питьево можно отнести к олиготрофному малокормному типу водоемов (средняя биомасса до 1 г/м<sup>3</sup>) [5].

Сравнение полученных нами результатов с данными исследований 1960-х гг. [1] показало, что за последние полвека в структуре зоопланктонных сообществ озер Варваринское и Питьево произошли изменения (табл. 2).

Прежде всего, в зооценозах отмечена смена доминантных видов. За последние годы значительно снизилась доля в сообществах ветвистоусых ракообразных. В зооценозах озер доминирующая роль принадлежит коловраткам. В составе зоопланктона водоемов обнаружены индикаторы эвтрофных вод *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Filinia longiseta*, *Brachionus quadridentatus*, *Polyarthra vulgaris*, *Cyclops strenuous*, что указывает на усиление процессов эвтрофирования.

В озере Варваринское наблюдается увеличение общей численности зоопланктона и уменьшение общей биомассы за счет массового развития Rotifera. Для озера Питьево также отмечено снижение суммарной биомассы. В настоящее время наблюдается уменьшение средней индивидуальной массы гидробионтов, что свидетельствует о преобладании в сообществах озер коловраток и меньшей кормовой ценности зоопланктона.

Озеро Варваринское по характеристикам зоопланктонного сообщества можно отнести к категории мезотрофных водоемов с умеренно загрязненным качеством воды, озеро Питьево – к категории олиготрофных. Качество водных масс озер на протяжении периода исследований соответствовало чистым (II класс – озеро Питьево) и умеренно загрязненным водам (III класс – озеро Варваринское).

### Заключение

Соловецкие озера находятся на разных стадиях развития, что обуславливается особенностями рельефа и площадью водосбора. Развитие планктонной фауны в озерах острова определяется гидрологическим и гидрохимическим режимами водоемов.

Озеро Питьево входит в состав западной канальной системы. Для озер канальной группы характерна значительная однородность минерального и органического состава, что связано с их проточностью. Озеро Питьево имеет самый большой водосбор. Через него проходят воды, поступающие из других озер системы. Водная толща озера Питьево хорошо насыщена кислородом, кислород фиксируется до самого дна, что положительно сказывается на развитии зоопланктона. В последнее время в экосистеме озера наблюдается увеличение доли коловраток и снижение численности ракообразных.

Озеро Варваринское имеет малый сток и водосбор. Озеро обособлено от других водоемов. В прошлом Варваринское являлось частью лагуны, отделившись от нее в результате поднятия рельефа. Для водоема характерны застойные явления, накопление органики и биогенов у дна. Кислородный режим в водоеме неблагоприятен для развития гидробионтов: с 3 м начинается анаэробная зона, где численность зоопланктона снижается в 10 раз. Изменения в функционировании зооценозов в озере Варваринское могут быть связаны с особенностью гидрологического и гидрохимического режима водоема, а также с его происхождением.

За последние 50 лет в экосистемах исследованных водоемов произошли значительные трансформации, особенно четко изменения в структуре и функционировании зоопланктонных сообществ прослеживаются в озере Варваринское. Прежде всего, это отражается в перестройке доминантного комплекса, появлении в сообществах видов индикаторов эвтрофных вод, снижении численности ракообразных и увеличении доли коловраток и, как следствие, снижении средней индивидуальной массы гидробионтов.

В связи с тем, что водоемы региона имеют хозяйственное значение как основные источники пресной воды для населения, а также с возрастающей рекреационной и антропогенной нагрузкой на водные объекты необходимо продолжить комплексные исследования озер Соловецкого архипелага.

*Работа подготовлена при финансовой поддержке темы ФНИР: FUUW-2022-0065 (№ гос. регистрации 122011800149-3) и гранта РНФ: № 22-14-20045.*

#### Список литературы

1. Новосельцева Р.И., Русакова С.А. Зоопланктон озер Большого Соловецкого острова // Соловецкие острова. Материалы по комплексному изучению озер. Труды СевНИОРХ. Т. 6. Петрозаводск: Изд-во Карелия, 1972. С. 45–66.
2. Титова К.В., Жибарева Т.А., Морева О.Ю., Собко Е.И., Слобода А.А., Попов С.С., Прилуцкая Н.С. Гидрохимические и гидробиологические исследования озер Большого Соловецкого острова // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 125–131.
3. Конова О.Н., Фефилова Е.Б. Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона Европейского Севера России. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2018. 151 с.
4. Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. 395 с.
5. Куликова Т.П. Зоопланктон водных объектов Республики Карелия (Россия): история изучения, основные направления исследований, видовой состав, библиография. Германия: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2017. 132 с.
6. Терехова В.А. Практическая экотоксикология: оценка чувствительности биотесткультур: учебное пособие. М.: ГЕОС, 2016. 54 с.
7. Алексеевнина М.С., Поздеев И.В. Санитарная гидробиология с основами водной токсикологии. Пермь: ПГНИУ, 2016. 205 с.