

УДК 574.583

СОСТОЯНИЕ ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ОЗЕР БАННОЕ (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ) И ХОЛМОВСКОЕ (БАСЕЙН РЕКИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ)

© 2024 г. А. П. Новоселов^а, *, Е. Н. Имант^а, Г. А. Дворянкин^а, Н. Ю. Матвеев^а

^аФедеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, Россия, 163020, Архангельск, просп. Никольский, 20

*e-mail: alexander.novoselov@rambler.ru

Поступила в редакцию 09.11.2023 г.

После доработки 28.11.2023 г.

Принята к публикации 02.12.2023 г.

Ключевые слова: зоопланктон, озера, Архангельская область, видовое разнообразие, биоиндикация, трофический статус озер

DOI: 10.31857/S0367059724020084 **EDN:** DKFHOW

Усиливающееся влияние человека на водные экосистемы привело к значительному снижению биоразнообразия. Изучение экологических последствий этого влияния и оценка реакции разных организмов на загрязнение являются определяющими в экологии [1]. В условиях разнотипного антропогенного воздействия при мониторинге состояния пресноводных экосистем используют показатели зоопланктона [2–5]. По состоянию его сообществ можно оценить влияние процессов, происходящих на водосборе [6], степень различных форм загрязнения, включая антропогенную эвтрофикацию [7]. В этой связи значительный интерес представляет рассмотрение сообществ зоопланктона островного и материкового озер различного происхождения, но находящихся в условиях схожего антропогенного воздействия и имеющих хозяйственное значение для региона.

Цель работы – сравнительный анализ зоопланктонных сообществ озер, располагающихся на островной территории Соловецкого архипелага (оз. Банное) и на материковой части бассейна р. Северной Двины (оз. Холмовское) Архангельской области, находящихся в условиях сходной антропогенной нагрузки.

Озеро Банное расположено на территории пос. Соловецкий и относится к категории очень малых водоемов по средней глубине [8]. На его берегу в XVII–XVIII вв. располагались монастырское предприятие по переработке кож и банное хозяйство монастыря. С 80-х годов XX в. здесь функционирует Соловецкий филиал

Архангельского опытного водорослевого комбината. Систематические исследования зоопланктона оз. Банное проводились в 60-х годах XX в. Карельским отделением ГосНИОРХ (СевНИОРХ) [11].

Озеро Холмовское (бассейн р. Северной Двины) находится в Приморском районе Архангельской области. По классификации С.П. Китаева [8] оно относится к категории средних водоемов. Озеро используется как источник питьевого водоснабжения и для хозяйственно-бытовых нужд. На режим водоема влияет находящееся на его акватории форелевое хозяйство. Как известно, дополнительное поступление биогенных элементов в водоем (главным образом органических соединений N, P, C) влечет за собой снижение прозрачности воды, ухудшение кислородного режима, увеличение биомассы и первичной продукции фитопланктона, а также других начальных звеньев трофической цепи; возникают новые ассоциации перифитона, отмечается ежегодное цветение сине-зеленых водорослей, что ведет к заиливанию дна, засорению подземных источников, питающих озеро, и, как итог, снижению водообмена [9, 10].

Исследования проводили в июне – июле 2022 г. на одном разрезе в оз. Банное и четырех разрезах в оз. Холмовское. Всего отобрано и проанализировано 14 зоопланктонных проб. Их отбирали с поверхностного горизонта путем процеживания 100 л воды через планктонную сеть с размером ячеи 0.072 мм, последующей их фиксацией

4%-ным раствором формальдегида в соответствии с руководством [12]. Численность зоопланктона пересчитывали на 1 м³; биомассу вычисляли с использованием размерно-весовых зависимостей [13]; видовую принадлежность беспозвоночных устанавливали при помощи определителей [14–16]. Сообщества зоопланктона характеризовали по видовому и таксономическому составу, числу видов, численности (N) и биомассе (B). Доминантные виды выделяли по относительной численности при нижнем уровне доминирования не менее 10%. Рассчитывали индексы видового сходства Чекановского – Сьеренсена, видового разнообразия Шеннона по численности и биомассе (H_N , H_B), сапробности по методу Пантле-Букка в

модификации Сладечека [12, 17, 18]. Экологические группы организмов по способу передвижения и захвата пищи определяли по [6].

Список коловраток и низших ракообразных в озерах насчитывает 29 видов из 20 родов и 10 семейств. Наибольшее число видов отмечено в подклассе Copepoda (см. табл. 1).

Основной фон зоопланктона оз. Банное по качественному составу кладоцерный. Зоопланктон озера в летний период был бедный по видовому составу – идентифицировано 11 видов, из них 5 относились к семейству Daphniidae надотряда Cladocera. В зоопланктоне оз. Холмовское

Таблица 1. Таксономический состав и экологическая характеристика зоопланктона в озерах

Таксон	Распространение, экотип, троф. группа, зона и индекс сапробности	Озеро	
		Банное	Холмовское
Тип Rotifera			
<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850	К, Пл, Хв-вс, β-о – 1.55	–	+
<i>A. herricki</i> Guerne, 1888	К, Пл, Хв-вс, о – 1.0	–	+
<i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)	П, Пл, В, о-β – 1.25	–	+
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832	К, Пл, В, β-о – 1.5	–	+
<i>Ploesoma hudsoni</i> (Imhof, 1891)	Пл, Хв-вс, о – 1.0	+	+
Надотряд Cladocera			
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller, 1785)	К, Пл, Ф, β-о – 1.75	–	+
<i>Bosmina (Eubosmina) coregoni</i> Baird, 1857	К, Пл, Ф, о – 0.95	–	+
<i>B. (Bosmina) longirostris</i> (O.F. Müller, 1776)	К, Пл, Ф, о-β – 1.55	+	+
<i>Ceriodaphnia dubia</i> Richard, 1894	П, Ф, о-β – 1.5	+	–
<i>C. pulchella</i> G.O. Sars, 1862	Ф, о-β – 1.4	+	–
<i>C. quadrangula</i> (O.F. Müller, 1785)	К, Ф, о – 1.15	+	–
<i>Daphnia (Daphnia) cucullata</i> G.O. Sars, 1862	П, Пл, Ф, β-о – 1.75	+	+
<i>D. (D.) cristata</i> G.O. Sars, 1862	П, Пл, Ф	–	+
<i>D. (D.) longispina</i> (O.F. Müller, 1776)	К, Пл, Ф, β – 2.0	+	+
<i>Sida crystallina</i> (O.F. Müller, 1776)	П, Пл, Ф, о-β – 1.3	+	–
Подкласс Copepoda			
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Lievin, 1848)	Пл, о – 1.4	–	+
Подкласс Copepoda			
<i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fischer, 1853)	П, М, Хв, β-о – 1.85	–	+
<i>Acanthocyclops</i> sp.		–	+
<i>Cyclops scutifer</i> Sars G.O., 1863	П, Пл, Хв	–	+
<i>C. strenuus</i> Fischer, 1851	П, М, Хв, β-α – 2.25	–	+
<i>Cyclops</i> sp.		–	+
<i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus, 1857)	К, М, Хв, о – 1.15	–	+
<i>Eucyclops macrurus</i> (Sars G.O., 1863)	К, М, С, о-β – 1.4	–	+
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine, 1820)	К, П, Хв, β-о – 1.65	–	+
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	К, М, Хв, о-β – 1.25	+	+
<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer, 1853)	П, М, о – 1.25	–	+
<i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars G.O., 1863)	К, Пл, Хв, о-β – 1.3	–	+
<i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars G.O., 1863)	П, Пл, Ф, о-β – 1.25	+	+
<i>Heterocope appendiculata</i> Sars G.O., 1863	П, Пл, Ф	+	+

Примечание. Распространение: К – космополит, П – палеаркт, Г – голаркт; экотип: Пл – планктонный, М – мейобентосный; трофическая группа: С – собиратели, Ф – фильтраторы, Хв – хвататели, Хв-вс – хвататели-всасыватели, В – вертикоры [6, 14–17].

преобладали Соперода — в нем было 25 видов, из которых 11 относились к семейству Cyclopidae. При оценке сходства по качественным признакам состава зоопланктона двух озер значение индекса Чекановского — Серенсена составляло 0.28, т. е. сходство двух исследованных водоемов было низким.

В обоих озерах преобладали планктонные формы (58.6%). Наибольшее число видов (44.8%) являлись космополитами. Индикаторные виды составили 82.8% от общего числа и были показателями олигосапробной и переходных α - β -, β - α -мезосапробных зон. При делении гидробионтов на основании объединенных трофических и топических классификаций [6] выяснилось, что в зоопланктоне озер преобладают организмы, которые добывают пищу в толще воды. По способу питания и перемещению в пространстве доминировали плавающие фильтраторы, представленные преимущественно видами *Ceriodaphnia dubia*, *Bosmina longirostris* в оз. Банное и *Eudiaptomus gracilis*, *Daphnia cristata* в оз. Холмовское. Во всех пробах из оз. Банное преобладали ветвистоусые ракообразные, в оз. Холмовское — представленность ветвистоусых и веслоногих ракообразных была близкой.

В период исследований зоопланктон оз. Банное характеризовался слабым развитием: его средняя численность составляла 24 тыс. экз/м³, биомасса — 354 мг/м³ (см. табл. 2). Индексы видового разнообразия, рассчитанные по численности и биомассе, были низкими, что указывает на нестабильные условия [6, 19]. В оз. Холмовское численность и биомасса были больше в 2–3 раза, чем в оз. Банное (см. табл. 2). Значительными были и амплитуды колебаний этих параметров: численность изменялась в пределах от 16 до 163 тыс. экз/м³, биомасса — от 342 до 3362 мг/м³. Относительно высокие значения индекса видового разнообразия в оз. Холмовское характеризуют сообщества как сложно организованные [19].

Сапробиологический анализ по индикаторным видам показал, что в оз. Банное β -мезосапробный уровень отмечался на всех станциях отбора проб. Индекс сапробности в оз. Холмовское изменялся от 1.25 до 1.57, что соответствует I–II классам качества вод или олиго- β -мезосапробному уровню (см. табл. 2). В целом воды оз. Банное характеризовались как слабо загрязненные, в оз. Холмовское — как условно чистые. На наш взгляд, имеется достаточно хорошо выраженная

связь между морфометрическими особенностями водоемов и процессами самоочищения внутри них.

Таким образом, установлены различия в зоопланктонных сообществах озер, располагающихся на островной территории Соловецкого архипелага и материковой части бассейна р. Северной Двины, находящихся в условиях достаточно сильной антропогенной нагрузки. Зоопланктон оз. Банное был представлен относительно малым числом видов (11) и характеризовался слабым количественным развитием. Основной фон зоопланктона как по качественному, так и количественному составу — кладоцерный, с преобладанием в трофической структуре первичных фильтраторов, добывающих пищу в толще воды. Зоопланктон оз. Холмовское характеризовался относительно большим числом видов и довольно высокими значениями индекса Шеннона.

Ракообразные в планктоне озер занимали доминирующее положение над коловратками; в общей биомассе зоопланктона оз. Банное последние составляли менее 0.10%, в оз. Холмовское — 10.54%. Преобладание в зоопланктоне озер ветвистоусых ракообразных обуславливает его высокую кормовую ценность.

Продуктивность зоопланктона в оз. Холмовское оказалась значительно выше, чем в оз. Банное. Согласно рыбохозяйственной классификации [20], уровень развития зоопланктона в

Таблица 2. Показатели структуры и разнообразия зоопланктона в двух озерах (приведены минимальные и максимальные значения показателей, а также ошибка средней арифметической)

Показатели	Озеро	
	Банное	Холмовское
Соотношение видов		
Rotifera:	1:7:3	5:7:13
Cladocera:		
Copepoda		
Численность (N), экз/м ³	23755 ± 2685 (21070–26440)	43165 ± 11548 (15680–162940)
Биомасса (B), мг/м ³	354.39 ± 35.74 (318.65–390.14)	1128.92 ± 256.18 (342.31–3361.71)
Индекс Шеннона (H_N), бит/экз	1.31 ± 0.15	2.85 ± 0.15
Индекс Шеннона (H_B), бит/мг	1.30 ± 0.19	2.23 ± 0.21
Индекс сапробности	1.63 ± 0.01 (1.62–1.64)	1.44 ± 0.02 (1.25–1.57)

оз. Банное позволяет отнести его к малокормным водным объектам, оз. Холмовское — к категории средnekормных водоемов для молоди рыб независимо от их дальнейшей трофической спецификации. Воды оз. Банное в период проведения исследования соответствовали β -мезосапробному уровню, оз. Холмовское — олигосапробному уровню.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование в оз. Холмовское финансировалось за счет средств бюджета Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук (“Изучение изменений в экосистеме р. Северная Двина и в водоемах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Европейского Северо-Востока России в условиях климатических сукцессий и воздействия антропогенных факторов”, гос. № 122011800593-4), а в оз. Банное — при финансовой поддержке гранта РНФ “Оценка современного состояния пресноводных экосистем Соловецкого архипелага (фундаментальный и прикладной аспекты)” № 22-14-20045.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cardinale B.J., Duffy J.E., Gonzalez A.* et al. Biodiversity loss and its impact on humanity // *Nature*. 2012. V. 486. P. 59–67.
2. *Imant E.N., Novoselov A.P.* Dynamics of zooplankton composite on in the lower Northern Dvina river and some factors determining zooplankton abundance // *Russ. J. of Ecology*. 2021. V. 52. № 1. P. 59–69. DOI: 10.1134/S1067413621010045
3. *Фомина Ю.Ю., Сярки М.Т.* Современное состояние зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера и его отклик на изменение климата // *Труды КарНЦ РАН. Сер.: Лимнология. Океанология*. 2018. № 9. С. 54–64.
4. *Pociecha A., Bielańska-Grajner I., Kuciel H.* et al. Is zooplankton an indicator of the water trophic level in dam reservoirs? // *Oceanological and Hydrobiological Studies*. 2018. V. 47. Issue 3. P. 288–295.
5. *Xiong W., Huang X., Chen Y.* et al. Zooplankton biodiversity monitoring in polluted freshwater ecosystems: A technical review // *Environmental Science and Ecotechnology*. 2020. V. 1. P. 1–11.
6. *Крылов А.В.* Зоопланктон равнинных малых рек / Отв. ред. Комов В.Т. М.: Наука, 2005. 263 с.
7. *Сярки М.Т., Фомина Ю.Ю.* Современное состояние Кондопожского залива Онежского озера // *Водные биоресурсы и среда обитания*. 2019. Т. 2. № 3. С. 33–40.
8. *Кутаев С.П.* Экологические основы биопродуктивности озер различных природных зон. М.: Наука, 1984. 208 с.
9. *Решетников Ю.С.* Изменение озерных экосистем // *Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема*. М.: Наука, 1982. С. 5–12.
10. *Кучко Я.А., Кучко Т.Ю.* Динамика сообщества зоопланктона озера Тарасмозеро в условиях длительного антропогенного загрязнения // *Принципы экологии*. 2014. № 3. С. 28–39. DOI: 10.15393/j1.art.2014.3501
11. *Соловецкие озера. Материалы по комплексному изучению Соловецких озер*. Т. 6. Петрозаводск: Изд-во “Карелия”, 1972. 120 с.
12. *Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем* / Под ред. Абакумова В.А. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 319 с.
13. *Кононова О.Н.* Методическое руководство по определению размерно-весовых характеристик организмов зоопланктона Европейского Севера России. Сыктывкар, 2018. 152 с.
14. *Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР* / Под ред. Кутикова Л.А., Старобогатова Я.И. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 510 с.
15. *Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России*. Т. 1. Зоопланктон / Под ред. Алексеева В.Р., Цалолихина С.Я. М.: СПб.: Тов-во науч. изд. КМК, 2010. 495 с.
16. *Коровчинский Н.М., Котов А.А., Синев А.Ю.* и др. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. II. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2021. 544 с.
17. *Унифицированные методы исследования качества вод* // *Методы биологического анализа вод*. М.: Изд-во СЭВ, 1976. Ч. III. 186 с.
18. РД 52.24.309-2016 “Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши”. М.: ГХИ, Росгидромет, 2016.
19. *Алимов А.Ф.* Биологическое разнообразие и структура сообществ организмов // *Биология внутренних вод*. 2010. № 3. С. 3–10.
20. *Пидгайко М.Л., Александров Б.М., Иоффе Ц.И.* и др. Краткая биолого-продукционная характеристика водоемов Северо-Запада СССР // *Изв. ГосНИОРХ*. Л., 1968. Т. 67. С. 205–225.

**STATE OF ZOOPLANKTON COMMUNITIES IN LAKES BANNOE
(SOLOVETSKY ARCHIPELAGO) AND KHOLMOVSKOE
(NORTHERN DVINA RIVER BASIN)**

A. P. Novoselov^{1, *}, E. N. Imant¹, G. A. Dvoryankin¹, N. Yu. Matveev¹

¹Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch, Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, 163000, Russia

**e-mail: alexander.novoselov@rambler.ru*

Keywords: zooplankton, lakes, Arkhangelsk region, species diversity, bioindication, trophic status of lakes