

УДК 574.583

ФИТОПЛАНКТОН ОСТРОВНОГО И МАТЕРИКОВОГО ОЗЕР СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ПО ЛЕТНИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ РАЗВИТИЯ

© 2023 г. Ю. В. Новикова^а, А. П. Новосёлов^{а, *}, Г. А. Дворянкин^а, Н. Ю. Матвеев^а^аФедеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова УрО РАН,
Россия 163020 Архангельск, просп. Никольский, 20

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

Поступила в редакцию 07.12.2022 г.

После доработки 01.05.2023 г.

Принята к публикации 11.05.2023 г.

Планктонные сообщества очень важны для функционирования водных экосистем [1, 2]. Фитопланктон — доминирующий первичный продуцент в водной среде, с которого начинается большинство пищевых сетей и который производит кислород, необходимый для гидробионтов [3]. Показатели развития фитопланктона используются для оценки экологического состояния водоемов [4]. Быстро реагируя на изменения водной среды, фитопланктон может служить индикатором состояния всей экосистемы. Цель настоящей работы — сравнительный анализ состояния фитопланктона двух озер, испытывающих антропогенную нагрузку и располагающихся на островной территории Соловецкого архипелага и материковой части Архангельской области в бассейне р. Северная Двина. Озеро Банное (Гагарье) расположено на территории пос. Соловецкий. Ранее на его берегу располагались предприятие по переработке кож и банное хозяйство монастыря. Сейчас здесь находятся здания Соловецкого филиала Архангельского опытного водорослевого комбината. Озеро Холмовское находится в Приморском районе Архангельской области в 18 км от г. Архангельска. На западном берегу озера расположены деревня Холм и дачные участки. Со стороны оз. Холмовское деревня Холм опоясана искусственно вырытой канавой, куда впадают все хозяйственные стоки. На северном берегу находятся бывшие хозбытовые помещения. На акватории озера расположено действующее садковое форелевое хозяйство, являющееся источником дополнительного поступления в озерные воды органики.

Ключевые слова: *Volvox* sp., *Anabaena lemmermannii*, биомасса, цветение воды, качество озерных вод

DOI: 10.31857/S0367059723050074, **EDN:** SRECFZ

Для изучения качественного и количественного состава фитопланктона в июне 2022 г. были отобраны пробы фитопланктона с акватории оз. Банное (2 пробы) и оз. Холмовское (13 проб). Сбор и камеральную обработку материала осуществляли в соответствии со стандартными методами [5]. Фиксацию фитопланктона производили кислотным раствором Утермеля. Микроскопирование выполняли с помощью светового микроскопа “БиОптик С-300”. Видовую принадлежность устанавливали с помощью определителей [6–12]. Численность (кл/м³) фитопланктона в единице объема воды оценивали с использованием камеры Фукса-Розенталя (глубина 0.2 мм) и рассчитывали стандартным методом [5]. Расчет биомассы (г/м³) проводили с помощью таблиц размеров и весов (масс) фитопланктона [13]. Класс качества вод определяли согласно “Комплексной экологической классификации качества поверхностных вод суши” [14], а также с помощью вы-

числения индекса сапробности (по методу Пантле-Букка в модификации Сладечека) [15].

В пробах из оз. Банное обнаружено 14 видовых и надвидовых таксонов фитопланктона, принадлежащих шести отделам микроводорослей (табл. 1, 2). Основу видового состава альгофлоры составили диатомовые и зеленые водоросли (по 5 видов). Абсолютным доминантом по численности и биомассе является колониальная зеленая микроводоросль *Volvox* sp. (в среднем 99.0% от суммарной численности и 98.6% от суммарной биомассы). В одной колонии насчитывалось в среднем 35 тыс. клеток. В большом количестве, но недостаточном, чтобы занять субдоминантную позицию, встречались колониальные микроводоросли: цианопрокариота *Anabaena* sp. и золотистая *Dinobryon sertularia*.

В оз. Холмовское обнаружено 40 видовых и надвидовых таксонов фитопланктона из семи отделов. Основу видового разнообразия альгофло-

Таблица 1. Таксономический состав и количественные показатели фитопланктона озер Банное и Холмовское в июне 2022 г.

Таксон	Озеро Банное		Озеро Холмовское	
	% от суммарной численности	% от суммарной биомассы	% от суммарной численности	% от суммарной биомассы
Bacillariophyta	0.003	0.015	1.501	2.257
<i>Achnanthes</i> sp.	0.0004	0.002	0.011	0.026
<i>Amphora ovalis</i>	—	—	0.030	0.030
<i>Amphora</i> sp.	—	—	0.006	0.004
<i>Asterionella formosa</i>	0.001	0.001	0.006	0.003
<i>Aulacoseira granulata</i>	0.001	0.003	1.000	0.150
<i>Closterium moniliferum</i>	0.0001	0.001	—	—
<i>Cyclotella</i> sp.	—	—	0.040	0.030
<i>Cymbella ventricosa</i>	—	—	0.005	0.008
<i>Fragilaria capucina</i>	—	—	0.240	0.090
<i>Gomphonema acuminatum</i>	—	—	0.006	0.009
<i>Gyrosigma acuminatum</i>	—	—	0.010	0.710
<i>Navicula</i> sp.	0.0002	0.001	0.090	0.023
<i>Nitzschia</i> sp.	0.0003	0.008	0.036	0.004
<i>Stauroneis anceps</i>	—	—	0.002	0.017
<i>Surirella biseriata</i>	—	—	0.010	1.010
<i>Synedra ulna</i>	—	—	0.005	0.005
<i>Tropidoneis lepidoptera</i>	—	—	0.005	0.137
Chlorophyta	99.026	98.550	0.374	0.592
<i>Closterium</i> sp.	—	—	0.050	0.150
<i>Coelastrum microporum</i>	—	—	0.010	0.030
<i>Cosmarium</i> sp.	—	—	0.005	0.007
<i>Crucigenia quadrata</i>	—	—	0.040	0.010
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	0.0003	0.00001	0.030	0.001
<i>Mougeotia</i> sp.	—	—	0.005	0.105
<i>Pediastrum boryanum</i>	—	—	0.021	0.014
<i>Pediastrum duplex</i>	—	—	0.047	0.214
<i>Pediastrum tetras</i>	—	—	0.110	0.040
<i>Phacus alatus</i>	0.0001	0.0002	—	—
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	—	—	0.006	0.001
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	—	—	0.050	0.013
<i>Schroederia setigera</i>	0.0000	0.0001	—	—
<i>Staurastrum</i> sp.	—	—	0.001	0.006
<i>Tetraedron incus</i>	0.0001	0.0001	—	—
<i>Volvox</i> sp.	99.025	98.549	—	—
Chrysophyta	0.082	0.078	9.877	5.845
<i>Dinobryon bavaricum</i>	—	—	0.090	0.060
<i>Dinobryon divergens</i>	—	—	9.680	5.770
<i>Dinobryon sertularia</i>	0.082	0.078	—	—
<i>Mallomonas</i> sp.	—	—	0.002	0.005
<i>Synura</i> sp.	—	—	0.105	0.010
Cryptophyta	0.003	0.002	0.150	0.050
<i>Cryptomonas</i> sp.	0.003	0.002	0.150	0.050
Cyanophyta	0.886	1.356	87.970	86.480
<i>Anabaena lemmermannii</i>	—	—	85.030	84.600
<i>Anabaena</i> sp.	0.886	1.356	—	—
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	—	—	2.940	1.880
Dinophyta	0	0	0.122	4.774
<i>Ceratium hirundinella</i>	—	—	0.020	2.490
<i>Gymnodinium fuscum</i>	—	—	0.090	2.210
<i>Gymnodinium</i> sp.	—	—	0.006	0.063
<i>Peridinium</i> sp.	—	—	0.006	0.011
Xanthophyta	0	0	0.006	0.004
<i>Centritractus belonophorus</i>	—	—	0.006	0.004

Таблица 2. Количественные показатели, индексы сапробности и индексы разнообразия фитопланктона озер Банное и Холмовское в июне 2022 г.

Показатели	Озеро Банное	Озеро Холмовское
Численность, $\times 10^{10}$ кл/м ³	12.30 $\pm$ 4.50	0.30 $\pm$ 0.05
Биомасса, г/м ³	80.39 $\pm$ 0.60	2.93 $\pm$ 0.50
Количество видов, шт.	10 $\pm$ 0.05	12 $\pm$ 0.84
Индекс сапробности	1.60 $\pm$ 0.01	1.91 $\pm$ 0.01
Индекс Шеннона (H _n) по численности	0.15 $\pm$ 0.03	0.75 $\pm$ 0.13
Индекс Шеннона (H _b) по биомассе	0.20 $\pm$ 0.12	0.84 $\pm$ 0.14

ры составили диатомовые (16 видов) и зеленые (12 видов) водоросли. Абсолютным доминантом по численности и биомассе был представитель цианопрокариот *Anabaena lemmermannii* (в среднем 85.0% от суммарной численности и 84.6% от суммарной биомассы). Этот представитель водорослей широко распространен в северных областях умеренной зоны, являясь пресноводно-соленоватоводным видом и одним из обычных возбудителей летнего цветения воды. Как субдоминант на некоторых станциях отмечен *Dinobryon divergens* (в среднем 9.7% от суммарной численности и 5.8% от суммарной биомассы).

Фитопланктон оз. Банное был бедным по видовому составу (в среднем 10 видов). Численность в среднем составила 12.3×10^{10} кл/м³ (см. табл. 2). Среднее значение биомассы — 80.4 г/м³, что свидетельствует об интенсивном цветении воды [16]. Наибольшую долю в суммарной численности и биомассе имели представители зеленых водорослей, и лишь 1% и менее привнесла колониальная цианопрокариота *Anabaena* sp. (см. табл. 1). Низкие значения индекса Шеннона (см. табл. 2), рассчитанные по численности (в среднем 0.15) и биомассе (в среднем 0.20), обусловлены абсолютным доминированием одного вида по численности и биомассе, что свидетельствует о низком таксономическом разнообразии.

Фитопланктон оз. Холмовское также имел бедный видовой состав (число видов от 7 до 16). Низкие значения индекса Шеннона, рассчитанные по численности (в среднем 0.75) и биомассе (в среднем 0.84), обусловлены доминированием одного вида, что также свидетельствует о низком разнообразии. Численность фитопланктона изменялась от 0.1×10^{10} до 0.5×10^{10} кл/м³, в среднем составляя 0.3×10^{10} кл/м³ (см. табл. 2). Значения биомассы фитопланктона, находившиеся в диапазоне от 1.3 до 5.6 г/м³, свидетельствуют о цветении воды в умеренных пределах [16].

Наибольшую долю и по суммарной численности, и по биомассе имели представители цианопрокариот, доля которых достигала свыше 90.0%. Иногда значительный вклад в суммарную чис-

ленность привносили золотистые микроводоросли (в среднем 13.4 и 14.5% от общей численности соответственно) за счет представителей рода *Dinobryon* или динофитовые (в среднем 13.0% от общей биомассы) за счет крупной микроводоросли *Ceratium hirundinella*.

Оценка качества вод оз. Банное показала, что индикаторные виды составляли 57.0% от общего числа видов, из них большинство являются показателями β - и олиго- β -мезосапробных условий. Индекс сапробности в среднем составил 1.6, что соответствует II классу качества вод и характеризует воды как “слабозагрязненные”.

Оценка качества вод оз. Холмовское показала, что в летний период индикаторные виды составляли 55% от общего числа видов, из которых большинство являются показателями β -мезосапробных условий. Также в значительном количестве обнаружены виды-индикаторы олиго-, олиго- β -мезосапробных вод. Индекс сапробности изменялся в малом диапазоне — от 1.84 до 1.99 и в среднем составил 1.91, что соответствует II классу качества вод и характеризует воды как “слабозагрязненные”.

Таким образом, исследуемые фитопланктонные сообщества характеризуются низким таксономическим богатством планктона, структура и количественные показатели свидетельствуют о низкой устойчивости сообществ. В озерах отмечено цветение воды, причиной которого может служить поступление в водоемы минеральных, особенно фосфоросодержащих, синтетических моющих веществ и органических загрязнителей. Высокие значения количественных показателей в оз. Банное могут свидетельствовать об эвтрофикации. Цветение цианопрокариот, наблюдаемое в середине лета в оз. Холмовское, также может служить признаком эвтрофирования экосистемы [17], происходящим в результате как вероятного естественного старения водоема, так и антропогенного воздействия. Антропогенные воздействия в большинстве случаев приводят к исчезновению из сообществ и экосистем наиболее специализированных видов. За этим следуют сокращение трофических связей, упрощение трофических сетей, изме-

нение структуры сообществ и экосистем. Под влиянием загрязнения и эвтрофирования водоемов разнообразие и стабильность систем уменьшаются. При анализе индикаторных видов и расчете индекса сапробности водам озер Банное и Холмовское присвоен II класс качества, что характеризует их как “слабозагрязненные”.

Исследование выполнено в рамках государственного задания “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” № 122011800593-4 (оз. Холмовское) и при финансовой поддержке гранта РНФ “Оценка современного состояния пресноводных экосистем Соловецкого архипелага (фундаментальный и прикладной аспекты)” № 22-14-20045 (оз. Банное).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов А.В. Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 263 с.
2. Алимов А.Ф. Изменения структуры сообществ животных при эвтрофировании и загрязнении водных экосистем // Докл. РАН. 2010. Т. 433. № 2. С. 1–4.
3. Yongzhen Pei, Yunfei Lv., Changguo Li. Evolutionary consequences of harvesting for a two-zooplankton one-phytoplankton system // Appl. Math. Model. 2012. V. 36. Iss. 4. P. 1752.
<https://doi.org/10.1016/j.apm.2011.09.015>
4. Коновалова О.А. Фитопланктон как показатель качества воды разнотипных водоемов территории г. Омска // Вестник АлтГАУ. 2010. № 5. С. 64–67.
5. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Ред. Абакумов В.А. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 318 с.
6. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 2. Сине-зеленые водоросли. М.: Советская наука, 1953. 653 с.
7. Дедусенко-Шеголева Н.Т., Голлербах М.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 5. Желто-зеленые водоросли. Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 272 с.
8. Диатомовый анализ. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Порядки Centrales и Mediales. Л.: Государственное изд-во геологич. лит-ры, 1949. 446 с.
9. Диатомовый анализ. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Порядок Pennales. Л.: Государственное изд-во геологич. лит-ры, 1950. 630 с.
10. Еленкин А.А. Сине-зеленые водоросли СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 984 с.
11. Комаренко Л.Е., Васильева И.И. Пресноводные зеленые водоросли водоемов Якутии. М.: Наука, 1978. 284 с.
12. Матвиенко А.М. Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 3. Золотистые водоросли. М.: Советская наука, 1954. 188 с.
13. Михеева Т.М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог. Минск: БГУ, 1999. 396 с.
14. РД 52.24.643-2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2003. 55 с.
15. РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ “ГХИ”, 2016. 104 с.
16. Протасов В.Ф., Матвеев А.С. Экология: Термины и понятия. Стандарты, сертификация. Нормативы и показатели: Учеб. и справочное пос. М.: Финансы и статистика, 2001. 208 с.
17. Никулина В.Н. Планктонные сине-зеленые водоросли восточной части Финского залива // Исследование водных экосистем / Тр.ЗИН АН СССР. 1989. Т. 205. С. 26–37.