

Влияние гусеобразных птиц на фито- и зоопланктон озер полуострова Таймыр

А. В. КРЫЛОВ¹, А. Н. ШАРОВ¹, Т. Н. АНУФРИЕВА^{2, 3}, Р. З. САБИТОВА¹, И. В. ЧАЛОВА¹, М. И. ГЛАДЫШЕВ^{2, 3}

¹Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН
152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок

²Институт биофизики СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок

³Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: krylov@ibiw.ru

Статья поступила 05.03.2024

После доработки 28.05.2024

Принята к печати 29.05.2024

АННОТАЦИЯ

Полученные данные о качественном и количественном составе летнего фито- и зоопланктона двух озер п-ова Таймыр свидетельствуют о более высоком трофическом статусе водоема, испытывающего нагрузку со стороны гидрофильных птиц. По сравнению с фоновым водоемом здесь зарегистрированы статистически значимо большие численность фитопланктона ($134,6 \pm 16,3$ тыс. кл./л против $60,4 \pm 11,8$ тыс. кл./л), биомасса зоопланктона ($349,0 \pm 170,2$ мг/л против $64,5 \pm 19,5$ мг/л), биомасса коловраток ($15,6 \pm 3,5$ мг/л против $1,6 \pm 0,4$ мг/л) и их доминирование, а также индекс сапробности ($1,71 \pm 0,09$ против $1,48 \pm 0,06$). Одновременно выявлены специфические черты организации сообществ этого водоема – более высокое видовое богатство фито- и зоопланктона; отсутствие в составе фитопланктона Cyanobacteria и статистически значимо более высокие численность Bacillariophyta ($80,7 \pm 11,8$ тыс. кл./л против $31,7 \pm 6,5$ тыс. кл./л), число видов (4 против 2) и биомасса ($326,6$ мг/л против $60,6 \pm 18,8$ мг/л) веслоногих ракообразных, что может определяться особенностями реакции гидробионтов на продукты жизнедеятельности птиц. Это позволяет говорить о перспективах гуанотрофикации для повышения трофического статуса водоемов без значимого ухудшения качества среды и биологического разнообразия сообществ гидробионтов.

Ключевые слова: водоросли, цианобактерии, коловратки, ракообразные, гидрофильные птицы, гуанотрофикация.

ВВЕДЕНИЕ

Питательные вещества поступают в водоемы с атмосферными осадками, в результате деятельности человека – внесение удобрений и сброс сточных вод, а также с мертвыми материалами и экскрементами водных и око-

ловодных организмов. Наиболее распространенный и заметный биогенный источник поступления питательных веществ – жизнедеятельность гидрофильных птиц, скопления которых – неотъемлемая часть водных экосистем [Green, Elmberg, 2014; Adhurya et al.,

2020, 2021]. В понятие “гидрофильные птицы” мы включаем две экологические группы птиц: водоплавающие (все или некоторые представители отрядов Anseriformes, Gaviiformes, Podicipitiformes, Pelecaniformes, Sphenisciformes, Gruiformes, Charadriiformes) и околоводные (виды отрядов Ciconiiformes, Rallidae и др.).

Обогащение водоемов питательными веществами с продуктами жизнедеятельности птиц имеет термин “туанотрофикация” [Leentvaar, 1967; Brandvold et al., 1976; Moss, Leah, 1982; Bales et al., 1993; Don, Donovan, 2002; Chaichana et al., 2010]. Результаты изучения последствий гуанотрофикации на качество воды и сообщества гидробионтов пресноводных экосистем неоднозначны. Ряд исследований показал ухудшение качества воды [Manny et al., 1994; Post et al., 1998; Chaichana et al., 2010], в ряде работ обнаружен незначительный вклад птиц в насыщение водных объектов питательными веществами [Gremillion, Malone, 1986; Marion et al., 1994; Scherer et al., 1995], некоторые авторы отмечают, что птицы поддерживают продуктивность бедных питательными веществами экосистем за счет продуктов своей жизнедеятельности [van Geest et al., 2007; Michelutti et al., 2009] и способствуют трансформации сообществ водных беспозвоночных по сценарию, отличному от последствий, наблюдаемых при антропогенном эвтрофировании [Krylov et al., 2011; Крылов и др., 2012; Sakharova, Korneva, 2017]. По нашему мнению, отмеченное авторами [Manny et al., 1994; Chaichana et al., 2010; и др.] ухудшение качества воды связано с высокой плотностью птиц в исследованных водоемах, намного превышающей оптимальную. Так, изменения зоопланктона по ряду признаков, не отличающихся от реакции на антропогенное эвтрофирование, регистрировались при высокой – более 250 особей/га – плотности населения птиц [Крылов и др., 2012]. Кроме этого большое значение имеет начальный трофический статус водоема, степень его зарастания, время поступления продуктов жизнедеятельности птиц, их видовой состав, состав пищи, скорость переваривания и т. д. [Adhurya et al., 2020, 2021].

Хотя большое количество водоемов и водотоков арктической и субарктической зон испытывает значительное антропогенное эвтрофирование и загрязнение, имеется целый ряд водных объектов, отличающихся олиготроф-

ными условиями, для которых актуально повышение трофического статуса с целью увеличения биоресурсного потенциала. В связи с этим важен поиск подходов, способствующих повышению их кормности при условии сохранения биологического разнообразия всего комплекса гидробионтов.

На основе мнения, что в засушливых районах и/или в олиготрофных озерах гидрофильные птицы вносят значительное количество питательных веществ и в большинстве случаев поддерживают продуктивность водоемов [Adhurya et al., 2020, 2021], и с учетом особенностей структуры сообществ фито- и зоопланктона в этих условиях [Sakharova, Korneva, 2017; Krylov et al., 2011, 2018] перспективным методом мы считаем зоогенное эвтрофирование в результате поступления продуктов жизнедеятельности гидрофильных птиц. Ранее в 20 арктических озерах п-ова Таймыр было показано влияние гусеобразных птиц на структуру и элементный состав фитопланктона [Гладышев и др., 2023]. Выявлено, что общая биомасса фитопланктона и доля основных таксономических групп водорослей и цианобактерий в общей биомассе в озерах с птицами и без птиц статистически значимо не различались. При этом доля цианобактерий в общей биомассе фитопланктона в присутствии птиц была практически в 2 раза ниже. Таким образом, при гуанотрофикации отсутствовала основная угроза эвтрофирования – увеличение биомассы цианобактерий, приводящее к вредоносному “цветению” воды.

С целью продолжения исследований влияния продуктов жизнедеятельности гусеобразных птиц проведено исследование видового состава, численности и биомассы фито- и зоопланктона двух озер п-ова Таймыр.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Полевые сборы выполнены с 26 по 30 июля 2023 г. в литоральной зоне двух озер бассейна р. Пясина, где собирали по 10 проб фито- и зоопланктона: на фоновом оз. Ситниково (73.034868 с. ш., 88.909669 в. д.) и оз. Безымянное-7 (73°03'52.8156 с. ш., 88°53'02.4288 в. д.), где зарегистрировано гнездование около 100 гусей-гуменников *Anser fabalis* (Latham, 1787). Глубина в местах отбора проб варьировала от 1 до 2 м, прозрачность до дна, температу-

ра воздуха во время отбора проб на оз. Ситниково составляла 13 °С, воды – 7,9 ± 0,3 °С (7,0–9,8 °С), на оз. Безымянное-7–17 °С и 14,0 ± 0,3 °С (12,6–15,4 °С) соответственно.

Пробы фитопланктона отбирали с поверхности воды. Пробы воды 0,5 л концентрировали путем прямой фильтрации при слабом давлении через мембранные фильтры с диаметром пор 1,2 мкм. Фиксацию осуществляли раствором Люголя с добавлением формалина и ледяной уксусной кислоты. Камеральную обработку проводили по общепринятой методике [Методика..., 1975] под световым микроскопом “Биоптик В-200” (“Биомед”, Санкт-Петербург, Россия) при увеличении ×420 и ×600 в счетной камере “Нажотта” объемом 0,02 мл. Биомассу фитопланктона определяли счетно-объемным методом [Olenina et al., 2006]. Состояние сообществ оценивали по видовому богатству, общей численности и биомассе, численности и биомассе таксономических групп, доминирующими видами, к числу которых относили виды, составляющие более 10 % от суммарной биомассы фитопланктона [Okh apkin et al., 2022].

Пробы зоопланктона собирали ведром, проциживая 100 л воды через сеть Апштейна (размер ячеи 0,64 мкм), фиксировали 4%-м формалином. Камеральную обработку проб проводили по стандартной методике [Методика..., 1975]. Для идентификации таксонов использовали определители [Кутикова, 1970; Монченко, 1974; Определитель..., 2010; Коровчинский и др., 2021]. Биомассу зоопланктона рассчитывали на основе уравнений размерно-весовой зависимости [Балушкина, Винберг, 1979]. Состояние зоопланктона оценивали по видовому богатству, числу видов в пробе, численности, биомассе, индексу Шеннона, рассчитанному по численности и по биомассе, соотношению таксономических групп беспозвоночных в общей численности и биомассе. Для определения органической нагрузки вычисляли индекс сапробности Пантле и Букка [Pantle, Buck, 1955] в модификации Сладечека [Sladeczek, 1971], для определения трофического статуса – коэффициент трофности [Мяэметс, 1980].

Статистический анализ, выполненный в пакете программы STATISTICA 13, включал проверку нормальности распределения, оценку статистической значимости различий средних с помощью однофакторного дисперсионного анализа ANOVA ($p < 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В фитопланктоне оз. Ситниково обнаружено 33 внутривидовых таксона из шести систематических групп: Cyanobacteria – 1, Cryptophyta – 1, Chrysophyta – 4, Dynophyta – 1, Bacillariophyta – 24, Charophyta – 2. В оз. Безымянное-7 зарегистрировано 36 внутривидовых таксона из пяти систематических групп: Cryptophyta – 5, Chrysophyta – 4, Bacillariophyta – 23, Chlorophyta – 3, Charophyta – 1.

Общая биомасса фитопланктона оз. Ситниково в среднем составляла $0,026 \pm 0,005$ мг/л при численности $60,4 \pm 11,7$ тыс. кл./л, в оз. Безымянное-7 биомасса и численность были выше – $0,044 \pm 0,007$ мг/л и $134,6 \pm 16,3$ тыс. кл./л, причем плотность – статистически значимо ($F = 13,1$, $p = 0,002$) (рис. 1).

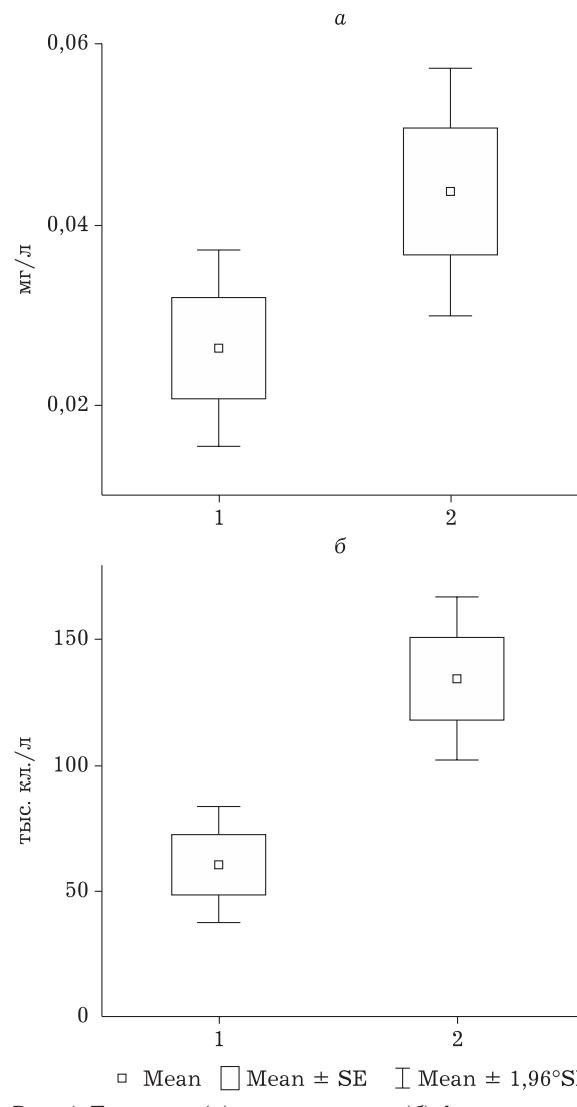


Рис. 1. Биомасса (а) и численность (б) фитопланктона озер Ситниково (1) и Безымянное-7 (2)

Т а б л и ц а 1

Средние ($m \pm SE$) численность и биомасса таксономических групп фитопланктона исследованных озер

Таксон	Ситниково	Безымянное-7	F	p
Биомасса, мг/л				
Cyanobacteria	0,00001 ± 0,00001	0	1,1	0,305
Cryptophyta	0,00024 ± 0,00019	0,0006 ± 0,0004	0,6	0,442
Chrysophyta	0,0042 ± 0,0009	0,0076 ± 0,0007	8,6	0,009
Dynophyta	0,0002 ± 0,0001	0	3,6	0,074
Bacillariophyta	0,0213 ± 0,0047	0,0351 ± 0,0062	3,0	0,100
Chlorophyta	0	0,0003 ± 0,0001	3,7	0,071
Charophyta	0,0003 ± 0,0002	0,00005 ± 0,00002	2,6	0,127
Численность, тыс. кл./л				
Cyanobacteria	0,36 ± 0,36	0	1,1	0,305
Cryptophyta	0,13 ± 0,10	0,67 ± 0,38	1,7	0,211
Chrysophyta	28,09 ± 6,13	50,49 ± 4,91	8,3	0,010
Dynophyta	0,09 ± 0,05	0	3,6	0,074
Bacillariophyta	31,65 ± 6,48	80,65 ± 11,83	12,4	0,003
Chlorophyta	0	2,36 ± 1,27	3,1	0,098
Charophyta	0,09 ± 0,05	0,42 ± 0,23	1,8	0,202

П р и м е ч а н и е. Здесь и в табл. 2: F – критерий Фишера; p – уровень значимости; статистически значимые различия между озерами по ANOVA ($p < 0,05$) выделены жирным шрифтом.

Основу численности и биомассы фитопланктона в обоих водоемах составляли диатомовые и золотистые водоросли (табл. 1). Численность и биомасса золотистых, численность диатомовых были статистически значимо выше в оз. Безымянное-7. В оз. Ситниково по

биомассе доминировали *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) (12–30 %), *A. granulata* Ehrenberg (12–14 %), *Stephanodiscus* sp. (17–38 %), *Asterionella formosa* Hassall (12–25 %), *Dinobryon cylindricum* O. E. Imhof (11–42 %), *D. sociale* (Ehrenberg) Ehrenberg (10–26 %), в оз. Безы-

Т а б л и ц а 2

Средние ($m \pm SE$) показатели зоопланктона литоральной зоны исследованных озер

Показатель	Ситниково	Безымянное-7	F	p	
Число видов	Rotifera _t	5,0 ± 0,5	5,7 ± 0,3	1,6	0,218
	Cladocera	1,8 ± 0,3	1,6 ± 0,3	0,2	0,650
	Copepoda	2,0 ± 0,0	2,2 ± 0,1	2,0	0,174
	Всего	8,9 ± 0,6	9,5 ± 0,4	1,7	0,214
Численность, экз./м ³	Rotifera	2145,2 ± 537,6	4605,2 ± 1112,8	3,7	0,072
	Cladocera	169,6 ± 63,6	394,8 ± 106,1	3,1	0,095
	Copepoda	5674,2 ± 2026,7	9805,9 ± 4737,9	0,6	0,452
Биомасса, мг/м ³	Rotifera	1,6 ± 0,4	15,6 ± 3,5	14,3	0,001
	Cladocera	2,4 ± 1,0	6,9 ± 2,4	2,8	0,112
	Copepoda	60,6 ± 18,8	326,6 ± 169,8	13,2	0,001
Индекс Шеннона	бит/экз.	1,80 ± 0,09	1,74 ± 0,16	0,1	0,732
	бит/мг	1,83 ± 0,08	1,74 ± 0,16	0,1	0,768
Индекс сапробности		1,48 ± 0,06	1,71 ± 0,09	4,8	0,042

мянное-7 – *Asterionella formosa* (14–31 %), *Aulacoseira ambigua* (Grunow) Simonsen (9–17 %), *Dinobryon cylindricum* (7–21 %), *D. sociale* (12–29 %).

Планктонных беспозвоночных в оз. Ситниково обнаружено 15 видов, из них коловраток – 10, ветвистоусых ракообразных – 3, веслоногих – 2. Величина коэффициента трофности – $3,9 \pm 0,6$ – характеризовала воды озера как эвтрофные. В составе зоопланктона оз. Безымянное-7 обнаружено 18 видов планктонных беспозвоночных, среди которых 11 – коловраток, 3 – ветвистоусых ракообразных, 4 – веслоногих. Величина коэффициента трофности была ниже – $3,3 \pm 0,4$, но также соответствовала эвтрофным водам.

Число видов беспозвоночных в пробе в оз. Ситниково варьировало от 6 до 13, в оз. Безымянное-7 – от 8 до 12, а среднее значение было выше, хотя различия не подтверждались статистически (табл. 2). Основу удельного видового богатства в обоих озерах составляли Rotifera.

Биомасса планктонных беспозвоночных в озерах Ситниково и Безымянное-7 колебалась соответственно от 6,9 до 193,4 мг/м³ и от 20,0 до 1422,8 мг/м³, численность – от 0,69 до 22,8 тыс. экз./м³ и от 3,6 до 50,0 тыс. экз./м³. Средняя биомасса зоопланктона в оз. Безымянное-7 статистически значимо выше, чем в оз. Ситниково ($F = 12,5$; $p = 0,001$), средняя численность на уровне тенденции также была выше (рис. 2). Кроме этого в оз. Безымянное-7 была выше биомасса и численность всех таксономических групп беспозвоночных, причем биомасса коловраток и веслоногих ракообразных статистически значимо (см. табл. 2).

Основа биомассы в обоих озерах представлена Copepoda, основу численности в оз. Ситниково также составляли веслоногие ракообразные, а в оз. Безымянное-7 – коловратки и веслоногие ракообразные (см. табл. 2). В оз. Ситниково среди доминирующих по биомассе видов отмечены *Cyclops strenuus* (Fisher, 1851), *Eudiaptomus gracilis* G. O. Sars, 1863, копеподиты Cyclopoida и науплиусы Calanoida, а также *Bosmina longirostris* O. F. Müller, 1776; по численности – *Conochilus unicornis* Rousset, 1892, *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879), *Cyclops strenuus*, *Eudiaptomus gracilis*, копеподиты Calanoida и Cyclopoida, а также науплиусы Calanoida. В оз. Безымянное-7 по биомассе

доминировали *Asplanchna henrietta* Langhans, 1906, *A. priodonta* Gosse, 1850, *Synchaeta pectinata* Ehrenberg, 1832, *Cyclops strenuus*, *Eudiaptomus gracilis* и копеподиты Cyclopoida; по численности – *Kellicottia longispina*, *Keratella cochlearis cochlearis* (Gosse, 1851), *Synchaeta pectinata*, *Cyclops strenuus*, копеподиты Calanoida и Cyclopoida, науплиусы Calanoida.

Величина индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе, в оз. Ситниково варьировала от 0,61 до 2,13 бит/г, по численности – 1,42 до 2,18 бит/экз., в оз. Безымянное-7 – от 0,1 до 1,88 бит/г и от 0,87 до 2,27 бит/экз. Средние значения индекса, рассчитанного по численности, были незначительно выше в

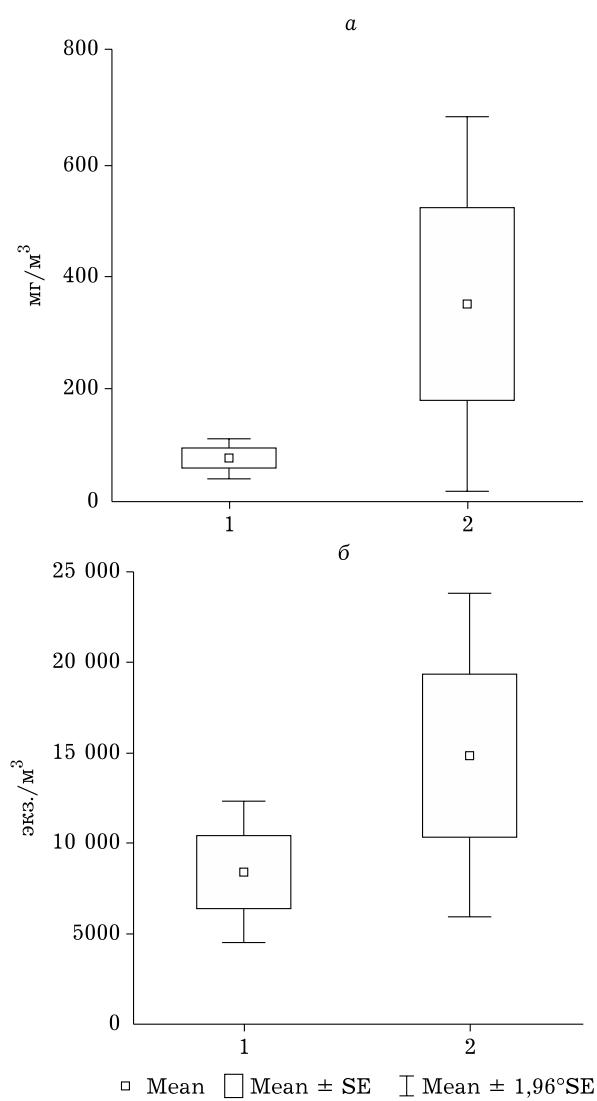


Рис. 2. Биомасса (а) и численность (б) зоопланктона озер Ситниково (1) и Безымянное-7 (2)

оз. Ситниково, по биомассе – в оз. Безымянное-7 (см. табл. 2).

Величина индекса сапробности в оз. Ситниково колебалась от 1,32 до 1,88, в оз. Безымянное-7 – от 1,7 до 2,21. Среднее значение индекса в оз. Безымянное-7 было статистически значимо выше, чем в оз. Ситниково, причем в первом водоеме оно соответствует β -мезосапробному статусу, во втором находится на границе олиго- и β -мезосапробных вод (см. табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты показали ряд отличительных особенностей структурной организации сообществ фито- и зоопланктона обследованных озер. Так, наибольшие численность и биомасса фитопланктона характерны для оз. Безымянное-7, хотя, согласно существующим классификациям [Китаев, 2007], по уровню количественного развития сообществ воды обоих озер соответствуют олиготрофному статусу. В составе фитопланктона оз. Безымянное-7 не отмечено Cyanobacteria и Dypophyta, в составе фитопланктона оз. Ситниково – Chlorophyta. Согласно морфофункциональной классификации пресноводных планктонных водорослей [Reynolds et al., 2002; Padisák et al., 2009], фитопланктон озер в период исследования был представлен ассоциациями С, Е, свойственными эвтрофным мелким и средним озерам с видами, чувствительными к наступлению стратификации, обычно небольшим, неглубоким, бедным озерам или гетеротрофным прудам. Необходимо отметить, что в фитопланктоне оз. Безымянное-7 обнаружено большее количество видов водорослей, типичных для эвтрофных вод.

Следовательно, показатели фитопланктона выявили признаки эвтрофирования оз. Безымянное-7, о чем свидетельствуют большие, чем в фоновом водоеме, численность и биомасса, а также количество видов, характерных для эвтрофных вод. Одновременно при этом отмечен ряд специфических черт, в частности, отсутствие в составе фитопланктона цианобактерий, увеличение количественных характеристик диатомовых, что, возможно, связано с реакцией на поступление продуктов жизнедеятельности птиц.

Зоопланктон оз. Безымянное-7 также характеризовался более высокими качественными и количественными характеристиками за счет

Rotifera и Сорерода. Отмечены различия в составе доминирующих таксонов: в оз. Ситниково в составе доминантов по численности было два вида коловраток, а в оз. Безымянное-7 – три, среди доминантов по биомассе в первом озере коловраток не выявлено, в то время как во втором – три вида, причем два из них – *Asplanchna henrietta* и *A. priodonta* – хищники.

Следовательно, в оз. Безымянное-7 наблюдаются изменения зоопланктона, характерные для водоемов при эвтрофировании, о чем свидетельствуют более высокие количественные показатели сообществ, в том числе за счет коловраток, которые появляются и в составе доминирующих видов, наиболее высокая величина индекса сапробности [Андроникова, 1996]. Одновременно отмечен ряд специфических черт – более высокое видовое богатство зоопланктона, включая число видов веслоногих ракообразных, а также их численность и биомассу. С одной стороны, увеличение количественных характеристик может быть связано с более благоприятными в оз. Безымянное-7 температурными условиями, чем наблюдались в оз. Ситниково, с другой, увеличение представленности Сорерода указывает на специфическую реакцию, которая в большинстве случаев наблюдается при поступлении продуктов жизнедеятельности водных и околоводных птиц [Krylov et al., 2011; Крылов и др., 2012; Adhurya et al., 2021].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали различия сообществ гидробионтов двух озер бассейна р. Пясины. Полученные данные свидетельствуют о более высоком трофическом статусе оз. Безымянное-7, которое испытывает дополнительную нагрузку со стороны гидрофильных птиц. На более высокий трофический статус этого водоема указывает ряд показателей: статистически значимо большие количественные характеристики фитопланктона и зоопланктона, в том числе за счет коловраток, которые появляются и среди доминирующих видов; наиболее высокая величина индекса сапробности. Одновременно обнаружен ряд специфических черт, которые могут определяться именно особенностями реакции на продукты жизнедеятельности гидрофильных птиц: более высокое видовое богатство фито-

и зоопланктона; отсутствие в составе фитопланктона *Cyanobacteria* и статистически значимое повышение численности *Bacillariophyta*; более высокие число видов и биомасса веслоногих ракообразных.

Таким образом, продукты жизнедеятельности птиц способствуют увеличению количественных показателей развития планктонных организмов, стоящих в основе трофических сетей. При этом не наблюдается большинства последствий, характерных для антропогенного эвтрофирования. Все это свидетельствует о перспективности гуанотрофикации для повышения трофического статуса водоемов без значимого ухудшения качества среды и биологического разнообразия. Однако требуется продолжение детальных исследований, в рамках которых необходим анализ численности поселений птиц, скорости и времени поступления продуктов их жизнедеятельности, а также сборы первичного материала как в течение периода гнездования, так и после его окончания.

Благодарности

Авторы выражают благодарность Д. Г. Загуменому (ИБВВ РАН) за помощь в сборе проб.

Вклад авторов

Крылов А. В. и Гладышев М. И. – разработка концепции, постановка задачи, анализ данных, написание статьи; Шаров А. Н. – обработка проб и описание данных по фитопланктону; Ануфриева Т. Н. – сбор проб; Сабитова Р. З. и Чалова И. В. – обработка проб и описание данных по зоопланктону.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой и организационной поддержке Проектного офиса развития Арктики (ПОРА), государственного задания Института биофизики СО РАН № FWES-2024-0024, государственного задания Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН № 121051100109-1 и 121051100099-5.

Соблюдение этических стандартов

Работы выполнены в соответствии с протоколом № 13 от 29.01.2024 комиссии по биоэтике Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина Российской академии наук.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. СПб.: Наука, 1996. 186 с.
- Балушкина Е. В., Винберг Г. Г. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л., 1979. С. 58–80.
- Гладышев М. И., Розенфельд С. Б., Ануфриева Т. Н., Киртаев Г. В., Кравчук Е. С., Рябицев А. В., Колмакова А. А., Иванова Е. А., Анищенко О. В. Влияние скоплений гусеобразных птиц на сестон и фитопланктон озер полуострова Таймыр // Сиб. экол. журн. 2023. Т. 30, № 6. С. 735–746.
- Китаев С. П. Основы лимннологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск, 2007. 395 с.
- Коровчинский Н. М., Котов А. А., Синёв А. Ю., Неретина А. Н., Гарибян П. Г. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. II. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2021. 544 с.
- Крылов А. В., Кулаков Д. В., Чалова И. В., Пагченков В. Г. Зоопланктон пресных водоемов в условиях влияния гидрофильных птиц. Ижевск: Издатель ПермЯков С. А., 2012. 204 с.
- Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1970. 744 с.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. М., 1975. 240 с.
- Монченко В. И. Щелепнороті циклопоподібні. Циклопи (Cyclopidae). Київ: Наук. думка, 1974. 452 с. (Фауна України; Т. 27, вип. 3).
- Мяэмets A. X. Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1980. С. 54–64.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / ред. В. Р. Алексеев. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 495 с.
- Adhurya S., Das S., Ray S. Guanotrophication by Waterbirds in Freshwater Lakes: A Review on Ecosystem Perspective // Mathematical Analysis and Applications in Modeling. 2020. P. 253–269. doi: 10.1007/978-981-15-0422-8_22
- Adhurya S., Das S., Ray S. Simulating the effects of aquatic avifauna on the Phosphorus dynamics of aquatic systems // Ecol. Modelling. 2021. Vol. 445. 109495. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109495>
- Bales M., Moss B., Phillips G., Irvine K., Stansfield J. The changing ecosystem of a shallow, brackish lake, Hickling Broad, Norfolk, UK. II Long-term trends in water chemistry and ecology and their implications for restoration of the lake // Freshwater Biol. 1993. Vol. 29. P. 141–165.
- Brandvold D. K., Popp C. J., Brierley J. A. Waterfowl refuge effect on water quality: chemical and physical parameters // J. Water Pollut. Control Federat. 1976. Vol. 48. P. 685–687.
- Chaichana R., Leah R., Moss B. Birds as eutrophicating agents: a nutrient budget for a small lake in a protected area // Hydrobiologia. 2010. Vol. 646. P. 111–121.
- Don G. L., Donovan W. F. First Order Estimation of the Nutrient and Bacterial Input from Aquatic Birds to Twelve Rotorua Lakes. Bioresearches, Auckland, 2002. 58 p.

- Green A. J., Elmberg J. Ecosystem services provided by waterbirds // Biol. Rev. 2014. Vol. 28, Is. 1. P. 105–122.
- Gremillion P. T., Malone R. F. Waterfowl waste as a source of nutrient enrichment in two Urban hypereutrophic lakes // Lake Reserv. Manag. 1986. Vol. 2. P. 319–322. <https://doi.org/10.1080/07438148609354650>
- Krylov A. V., Kulakov D. V., Papchenkov V. G. Effect of water-loving bird colonies on zooplankton in littoral zones of water bodies of different types // Russian Journal of Ecology. 2011. Vol. 42, N 6. P. 518–524.
- Krylov A. V., Sakharova E. G., Sabitova R. Z., Tsvetkov A. I., Pavlov D. D., Movergos E. A., Poddubny S. A. Phyto- and zooplankton of open overgrown shallows of the Rybinsk reservoir adjacent to a mixed Grey Heron-Great Egret (*Ardea cinerea* L. and *A. alba* L.) colony at a high water level // Inland Water Biol. 2018. Vol. 11, N 3. P. 310–316. doi: 10.1134/S1995082918020116
- Leentvaar P. Observations in guanotrophic environments // Hydrobiologia. 1967. Vol. 29. P. 441–489.
- Manny B. A., Johnson W. C., Wetzel R. G. Nutrient additions by waterfowl to lakes and reservoirs: predicting their effects on productivity and water quality // Hydrobiologia. 1994. Vol. 279. P. 121–132. https://doi.org/10.1007/978-94-011-1128-7_12
- Marion L., Clergeau P., Brient L., Bertru G. The importance of avian-contributed nitrogen(N) and phosphorus (P) to Lake Grand-Lieu. France // Hydrobiologia. 1994. Vol. 279/280. P. 133–147. <https://doi.org/10.1007/BF00027848>
- Michelutti N., Keatley B. E., Brimble S., Blais J. M., Liu H. J., Douglas M. S. V., Mallory M. L., Macdonald R. W., Smol J. P. Seabird-driven shifts in Arctic pond ecosystems // Proc. Royal Soc. Ser. B: Biol. Sci. 2009. Vol. 276. P. 591–596.
- Moss B., Leah R. T. Changes in the ecosystem of a guanotrophic and brackish shallow lake in eastern England: potential problems in its restoration // Inter. Rev. Gesamten Hydrobiol. 1982. Vol. 67. P. 625–659.
- Okhaphkin A., Sharagina E., Kulizin P., Startseva N., Vodeneeva E. Phytoplankton community structure in highly-mineralized small gypsum karst lake (Russia) // Microorganisms. 2022. Vol. 10 (2). P. 386. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020386>
- Olenina I., Hajdu S., Edler L., Andersson A., Wasmund N., Busch S., Göbel J., Gromisz S., Huseby S., Huttunen M., Jaanus A., Kokkonen P., Ledaine I., Niemkiewicz E. Biovolumes and size-classes of phytoplankton in the Baltic Sea // HELCOM Balt. Sea Environ. Proc. 2006. N 106. 144 p.
- Padisák J., Crossetti L. O., Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates // Hydrobiologia. 2009. Vol. 621. P. 1–19.
- Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserfach. 1955. Bd. 96, N 18. S. 604.
- Post D. M., Taylor J. P., Kitchel J. F., Olson M. H., Schindler D. E., Herwig B. R. The role of migratory waterfowl as nutrient vector in managed wetland // Conserv. Biol. 1998. Vol. 12. P. 910–920. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.97112.x>
- Reynolds C. S., Huszar V., Kruk C., Naselli-Flores L., Melo S. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton // J. Plankton Research. 2002. Vol. 24, N 5. P. 417–428.
- Sakharova E. G., Korneva L. G. Phytoplankton communities of Volga reach open shallows of Rybinsk reservoir at the area affected by the vital activity products of grey heron (*Ardea cinerea* L.) // Contemporary Problems of Ecology. 2017. Vol. 10, N 2. P. 140–146. doi: 10.1134/S199542551702010X
- Scherer N. M., Gibbons H. L., Stoops K. B., Muller M. Phosphorus Loading of an Urban Lake by Bird Droppings // Lake Reserv. Manag. 1995. Vol. 11. P. 317–327. <https://doi.org/10.1080/07438149509354213>
- Sladecek V. System of Water Quality from the Biological Point View // Arch. Hydrobiol., Beih. Ergeb. Limnol. N 7. Stuttgart, 1971. S. 1–218.
- van Geest G. J., Hessen D. O., Spierenburg P., Dahl-Hansen G. A. P., Christensen G., Faeravig P. J., Brehm M., Loonen M. J. J. E., van Donk E. Goose-mediated nutrient enrichment and planktonic grazer control in arctic freshwater ponds // Oecologia. 2007. Vol. 153. P. 653–662. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0770-7>

Impact of goose-like birds on phyto- and zooplankton of lakes in the Taimyr Peninsula

A. V. KRYLOV¹, A. N. SHAROV¹, T. N. ANUFRIEVA^{2, 3}, R. Z. SABITOVA¹, I. V. CHALOVA¹, M. I. GLADYSHEV^{2, 3}

¹*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences
Yaroslavl oblast, Borok, 152742, Russia*

²*Institute of Biophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
50/50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russia*

³*Siberian Federal University
79, pr. Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia
E-mail: krylov@ibiw.ru*

The data obtained on the qualitative and quantitative composition of summer phyto- and zooplankton of two lakes of the Taimyr Peninsula indicate a higher trophic status of the water body, which is under pressure from hydrophilic birds. Compared to the background water body, statistically significantly higher phytoplankton abundance (134.6 ± 16.3 thousand cells/l vs. 60.4 ± 11.8 thousand cells/l), zooplankton biomass (134.6 ± 16.3 thousand cells/l vs. 60.4 ± 11.8 thousand cells/l), zooplankton biomass (349.0 ± 170.2 mg/l vs. 64.5 ± 19.5 mg/l), rotifer biomass (15.6 ± 3.5 mg/l vs. 1.6 ± 0.4 mg/l) and their dominance, as well as saprobic index (1.71 ± 0.09 vs. 1.48 ± 0.06). At the same time, specific features of community organization were revealed – higher species richness of phyto- and zooplankton; absence of Cyanobacteria in phytoplankton composition and statistically significantly higher abundance of Bacillariophyta (80.7 ± 11.8 thousand kl/l vs. 31.7 ± 6.5 thousand kl/l), number of species (4 vs. 2) and biomass (326.6 mg/l vs. 60.6 ± 18.8 mg/l) of paddle-bearing crustaceans, which may be determined by the peculiarities of hydrobionts reaction to the products of bird activity. This allows us to speak about the prospects of guanotrophication to improve the trophic status of water bodies without significant deterioration of environmental quality and biodiversity of hydrobiont communities.

Key words: algae, cyanobacteria, rotifers, crustaceans, hydrophilic birds, guanotrophication.