

Влияние скоплений гусеобразных птиц на сестон и фитопланктон озер полуострова Таймыр

М. И. ГЛАДЫШЕВ^{1, 2}, С. Б. РОЗЕНФЕЛЬД³, Т. Н. АНУФРИЕВА^{1, 2}, Г. В. КИРТАЕВ³,
Е. С. КРАВЧУК¹, А. В. РЯБИЦЕВ⁴, А. А. КОЛМАКОВА¹, Е. А. ИВАНОВА^{1, 2}, О. В. АНИЩЕНКО¹

¹Институт биофизики Федерального исследовательского центра
“Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской Академии наук”
660036, Красноярск, Академгородок, 50/50
E-mail: glad@ibp.ru

²Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79

³Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН
119071, Москва, Ленинский просп., 33

⁴Институт экологии растений и животных УрО РАН
620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

Статья поступила 07.02.2023

После доработки 12.03.2023

Принята к печати 17.03.2023

АННОТАЦИЯ

Определено влияние линных гусеобразных птиц на структуру и элементный состав фитопланктона (сестона) в 20 арктических озерах п-ова Таймыр. На озерах (участке озера), на которых обитали от 50 до 700 особей птиц, принадлежащих к шести видам, стехиометрическое соотношение N : P (моль : моль) в сестоне было в среднем статистически значимо ниже, чем в озерах без гусеобразных птиц: $15,8 \pm 1,4$ и $22,4 \pm 2,7$ соответственно. Отмечена тенденция более высокой средней величины удельной электропроводности в озерах с птицами (113 ± 32 мкСм/см) по сравнению с таковой в озерах без гусеобразных птиц (60 ± 18 мкСм/см). Наблюдаемые изменения с большой вероятностью могут объясняться эффектом гуанотрофикации, а именно поступлением в воду продуктов жизнедеятельности линных гусеобразных птиц. Общая биомасса фитопланктона и доля отделов водорослей и цианобактерий в общей биомассе в озерах с линными гусеобразными птицами и без гусеобразных птиц в среднем статистически значимо не различались. То есть при гуанотрофикации отсутствовала основная угроза эвтрофирования – увеличение биомассы цианобактерий, приводящее к вредоносному “цветению” воды. Более того, обнаружена противоположная тенденция: в озерах с линными гусеобразными птицами доля цианобактерий в биомассе фитопланктона в среднем ниже, чем в озерах без птиц: $16,2 \pm 5,3$ и $30,8 \pm 9,3$ % соответственно. Таким образом, подтверждена гипотеза о том, что искусственная гуанотрофикация потенциально может рассматриваться как приемлемая экотехнология для повышения продуктивности олиготрофных арктических озер.

Ключевые слова: гуанотрофикация, стехиометрия C : N : P, сестон, фитопланктон, Таймыр, гусеобразные птицы.

Одной из глобальных экологических проблем является антропогенное эвтрофирование природных водоемов, т. е. интенсивное поступление элементов минерального питания – азота и фосфора из сточных вод и сельскохозяйственных угодий, вызывающее “цветение” воды цианобактериями и водорослями, которое приводит к резкому ухудшению качества воды и снижению биоразнообразия [Downing, 2014; Ibelings et al., 2016; Lurling et al., 2016; McCrackin et al., 2017; Orihel et al., 2017; Gubelit, 2022; Paul et al., 2022]. Во всем мире предпринимаются усилия для борьбы с “цветением воды”, в первую очередь в озерах и водохранилищах, для которых разработан ряд специальных биотехнологий (экотехнологий), снижающих эффект эвтрофирования [Ibelings et al., 2016; Lurling et al., 2016; McCrackin et al., 2017; Paul et al., 2022].

Однако в арктических озерах, для которых характерно естественное олиготрофное состояние, для повышения их рыбопродуктивности может применяться искусственное эвтрофирование [Hyatt et al., 2004; Persson et al., 2008]. Тем не менее этот метод, при котором возникают опасность “цветения” и потери биоразнообразия, может неоднозначно восприниматься как общественностью, так и специалистами, принимающими меры для предотвращения эвтрофирования [Ibelings et al., 2016; Lurling et al., 2016; McCrackin et al., 2017; Paul et al., 2022].

Между тем наряду с антропогенным эвтрофированием существует естественный процесс, обеспечивающий поступление в водоемы азота и фосфора с продуктами жизнедеятельности птиц, получивший название “гуанотрофикация” [Chaichana et al., 2010; Крылов и др., 2012]. Последствия гуанотрофикации для водных экосистем могут отличаться от таковых при антропогенном эвтрофировании. Если последнее чаще всего приводит к “цветению” воды токсичными цианобактериями, то при гуанотрофикации могут развиваться микроводоросли, способные синтезировать длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты семейства омега-3 (ПНЖК), обладающие высокой питательной ценностью [Крылов и др., 2011, 2012, 2018]. Возможно, выделения птиц имеют особое стехиометрическое соотношение элементов C : N : P, благоприятное для роста некоторых групп водорослей [Крылов и др., 2018].

Различия, возникшие на уровне первичных продуцентов – фитопланктона, трансформируются в различия на последующих трофических уровнях: при гуанотрофикации в звене консументов – зоопланктоне, увеличивается доля веслоногих ракообразных (Copepoda), тогда как при антропогенном эвтрофировании в зоопланктоне преобладают ветвистоусые ракообразные (Cladocera) [Крылов и др., 2011, 2012, 2013a, б, 2018]. Поскольку копеподы, как известно, имеют более высокое содержание ПНЖК и потому являются более ценным кормом для рыб, чем кладоцеры [Gladyshev et al., 2015], неудивительно, что в зонах гуанотрофикации наблюдаются ускоренный рост и развитие рыб [Столбунов и др., 2017; Крылов и др., 2018].

На основании данных об экологических эффектах гуанотрофикации нами выдвинута гипотеза, что искусственная гуанотрофикация (внесение в воду удобрений из продуктов жизнедеятельности птиц) может явиться приемлемой экотехнологией для повышения продуктивности олиготрофных арктических озер с целью их ускоренной реабилитации от накопленного вреда от антропогенного воздействия [Гладышев, 2021]. Также искусственная гуанотрофикация потенциально может рассматриваться как экологически безопасный метод повышения рыбопродуктивности арктических озер.

Целью данной работы было определение влияния гусеобразных птиц на структуру и элементный состав фитопланктона (сестона) в арктических озерах п-ова Таймыр для проверки возможных эффектов гуанотрофикации путем сравнения средних численных значений гидробиологических параметров в двух группах озер: с линными скоплениями гусеобразных и без них.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Выбор района работ и авиаучеты

Работы проводились на озерах Центрального Таймыра, находящихся в бассейнах рек Пясины, Горбита и Логата, где расположены крупнейшие не только на Таймыре, но и в Евразии, линники гусеобразных птиц. Все исследованные тундровые озера имели сходные геоморфологические черты: мелкие, термокарстовые, с интенсивным ветровым перемешиванием.

Полуостров Таймыр уникален тем, что там обитают птицы, использующие три из четырех глобальных пролетных путей: Афро-Евразийский, Централно- и Восточноазиатский [Deinet et al., 2015], и является важнейшим регионом воспроизводства и линьки гусеобразных [Ebbinge et al., 2013]. На Таймыре линяют не только гнездящиеся в тундрах полуострова гусеобразные птицы, но и прилетающие туда (не размножавшиеся или потерявшие кладки и птенцов) из соседних регионов: Ямала, Гыдана, Европейского Севера и Якутии, проводящие на Таймыре период линьки.

Для выбора района работ использовано 137 источников данных, содержащих сведения о распространении и численности околотовдных птиц в более чем 100 пунктах тундровой зоны Таймыра, за период с 1928 по 2017 г. (<http://taimyrbirds.ru/>), а также данные наших авиаучетов 2018–2020 гг. (База данных по результатам авиаучетов и дистанционного прослеживания гусеобразных птиц России [Электронный ресурс] URL: <http://rggsurveys.ru/>).

Гусеобразные выбраны нами как объект в связи с тем, что из всех групп птиц они наиболее долго связаны с озерами и могут образовывать огромные скопления на ограниченной акватории и долгое время почти не выходят на сушу. Гусеобразные птицы трибы Anserini (гуси, казарки и лебеди) являются одним из важнейших средообразующих компонентов арктических экосистем. Массовое вылупление птенцов у гусей и казарок в районе работ происходит в середине июля, а в годы с поздней весной – еще позже [Сыроечковский, 2013]. После этого выводки держатся в районе гнездования иногда до отлета, который происходит в сентябре. В период линьки гуси, казарки и лебеди теряют способность к полету на значительный срок: от трех до четырех недель. Размножающиеся и неразмножающиеся птицы линяют в разные сроки, что обуславливает общую продолжительность периода линьки гусеобразных на срок более полутора месяцев: с середины июля по конец августа, с образованием огромных скоплений (линников) на ограниченных территориях. Линяющие птицы для защиты от наземных хищников обычно проводят большую часть времени на акватории озер, по берегам которых они кормятся [Сыроечковский, 2013]. Как правило, линники постоянны, поскольку мест,

сочетающих безопасное озеро с достаточным запасом корма по берегам, в принципе немного, и их наличие во многом определяет общую численность гусеобразных [Розенфельд, 2009].

Колонии крупных чаек [*Larus hyperboreus* (Gunnerus, 1767), *Larus heuglinii* (Bree, 1876)], расположенные на озерах, становятся местом притяжения линных гусеобразных, поскольку чайки обеспечивают им дополнительную защиту как от наземных, так и от пернатых хищников. Следует отметить, что в обследованной части Таймыра практически нет озер без птиц. В разгар сезона линьки озера без гусеобразных, в основном водоемы ледникового происхождения в гористой части полуострова, посещаются другими видами птиц (ржанкообразные, соколообразные), которые не проводят там много времени. Кулики никак не могут влиять на состав воды озер, поскольку на воде они много времени не проводят и не оставляют в воде озер продукты своей жизнедеятельности, и покидают Таймыр уже в июле – начале августа. Что касается чаек, то после периода гнездования они широко перемещаются, не оставаясь постоянно на одних и тех же озерах.

По результатам наших авиаучетных работ, проведенных в 2018–2020 гг. на п-ове Таймыр (за исключением его северо-восточной части), в конце гнездового и в послегнездовой период концентрируются 1635 408 белолобых гусей *Anser albifrons* (Scopoli, 1769), 846 810 гуменников *Anser fabalis* (Latham, 1787), 78 430 краснозобых казарок *Branta ruficollis* (Pallas, 1769), 6 738 пискулек *Anser erythropus* (Linnaeus, 1758), 14 830 малых лебедей *Cygnus columbianus bewickii* (Yarrell, 1830) (База данных по результатам авиаучетов и дистанционного прослеживания гусеобразных птиц России [Электронный ресурс] URL: <http://rggsurveys.ru/>).

Таким образом, численность гусеобразных птиц на полуострове в летний период одна из самых высоких в мире и несопоставимо выше численности любых других групп птиц, связанных с водоемами. Из птиц, влияние которых на состав воды значимо, можно рассматривать только гусеобразных, которые остаются на водоеме в период инкубации, выведения выводков и линьки, что составляет в общей сложности более полутора месяцев.

Определение численности и видового состава птиц

Поиск и подсчет линных птиц проводили с помощью гидросамолета Superstol с поплавковым шасси (единичный экземпляр воздушного судна СТЕРХ С1), штатная высота полета для поиска скоплений гусеобразных птиц 50–80 м, ширина полосы учета 1600 м (по 800 м с каждого борта). Каждое из обследованных озер также облетали по периметру на высоте 20–25 м для фотосъемки всех находящихся на озере птиц. Подробно методика учета скоплений гусеобразных птиц описана в статье С. Б. Розенфельд с соавт. [2017].

Всех встреченных птиц фотографировали на камеру Canon Mark IV с объективом 100–400 мм, с обоих бортов. Фотография была привязана как к координатам с точностью до 0001 градуса, так и к моменту времени встречи птицы с точностью до 1 с. Для поиска линников использовали бинокль Swarovski 10 × 42. Обработка данных проведена в программе QuantumGIS 3.16.5.

Трек полета самолета и координаты записывали с помощью GPS-навигатора Garmin. Подсчет численности птиц и соотношений видов в скоплениях осуществляли путем непосредственного подсчета особей на фотоснимках. При этом использовали растровую решетку, делящую фотографии на квадраты. Чтобы исключить завышение числа птиц, участки перекрывания на фотографиях определяли с помощью программы Photoshop CS4 (11.0.2).

Карта района исследований с точками учетов гусеобразных и одновременного отбора гидробиологических проб приведена на рисунке. Координаты исследованных озер приведены в табл. 1. Для относительно большого оз. Аятурку указаны координаты точек отбора на участке, населенном птицами, и на участке без птиц (см. табл. 1).

Названия птиц приведены по Списку птиц Российской Федерации [Коблик и др., 2006].

Полевые измерения и сбор проб

Отбор гидробиологических проб и регистрацию показателей качества воды осуществляли с гидросамолета Superstol с поплавковым шасси (ЕЭВС СТЕРХ С1) в пелагиали озер с глубины 0,3–0,5 м неподалеку от места

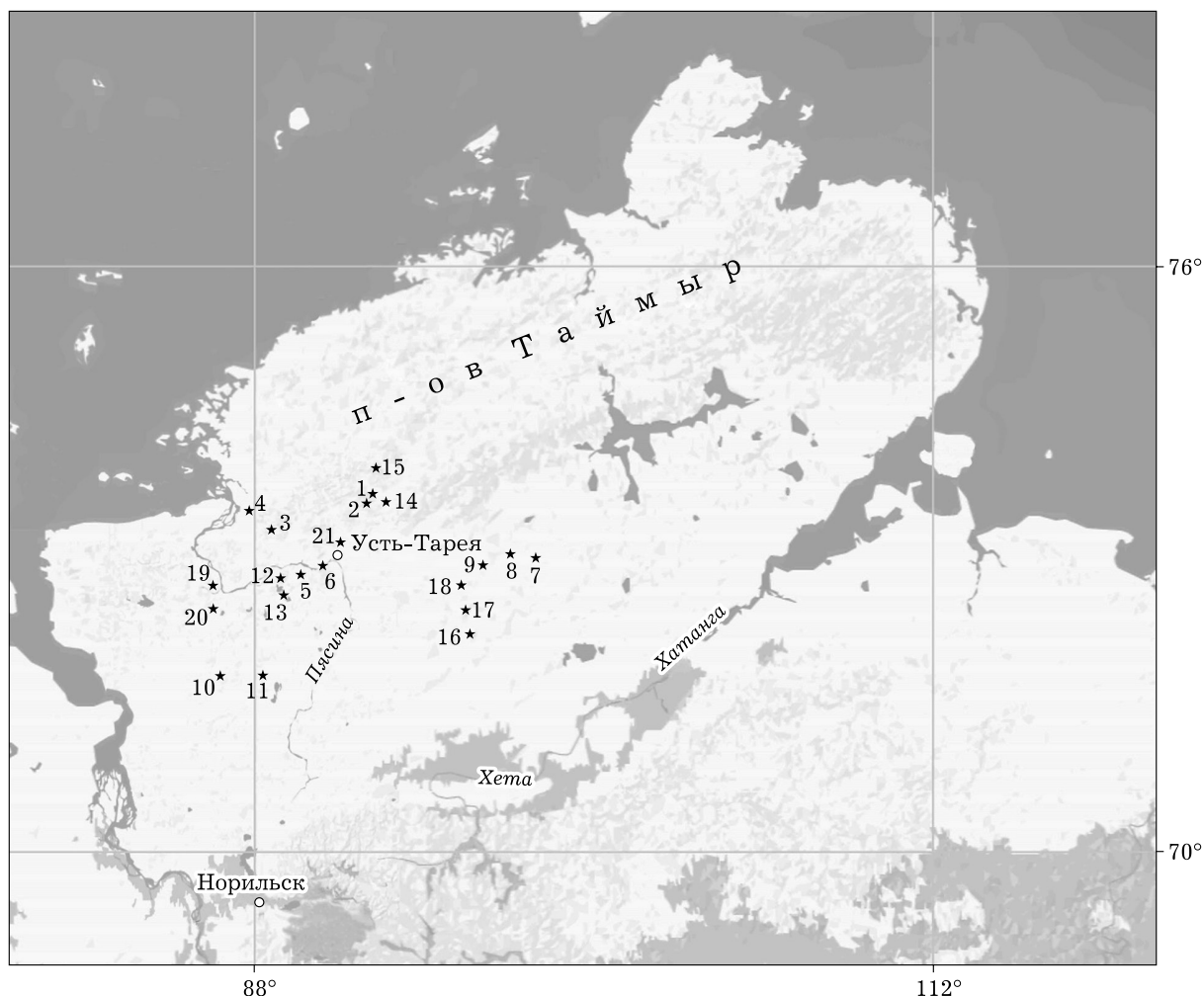
расположения скоплений или линника птиц либо на некотором расстоянии от берега при их отсутствии. Температуру воды, pH, удельную электропроводность измеряли погружным зондом модели HI98194 (Hanna, Германия).

Пробы фитопланктона и сестона (на азот и фосфор) отбирали емкостью 2,5 л с глубины 0,3–0,5 м в полиэтиленовую канистру, которую транспортировали в полевую лабораторию. Пробы воды на общий углерод и азот сестона фильтровали через предварительно прокаленные (2 ч при 450 °C) стекловолокнистые фильтры GF/F (Whatman, Германия). Пробы воды на общий фосфор сестона фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм (Владисарт, Россия). Все фильтры сушили в эксикаторе с адсорбентом в течение 24–48 ч, после чего хранили в герметично закрывающемся алюминиевом боксе. Пробы воды на фитопланктон фильтровали через фильтровальную установку Зейца на мембранный фильтр диаметром пор 0,45 мкм до забивания пор фильтра. Фильтр помещали в пенициллиновый флакон, наполненный на половину отфильтрованной водой, и фиксировали 4–5 каплями фиксирующей жидкости (модифицированный раствор Люголя).

Лабораторные анализы

Для определения содержания углерода и азота высушенные стекловолокнистые фильтры с осадком измельчали, помещали в оловянные контейнеры, взвешивали. Анализ проб выполняли на элементном анализаторе Flash 2000 NC Soil Analyzer (Thermo Fisher Scientific, Германия). Калибровку прибора проводили перед каждой серией анализов по трем значениям стандарта (образец почвы, Thermo Scientific, США).

Содержание фосфора в сестоне определяли с помощью эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ИСП) iCAP 6300 Duo (Thermo Scientific, Англия). Перед анализом пробы высушивали до постоянного веса, затем озоляли в смеси хлорной и азотной кислот (в соотношении 1 : 1). Минерализованный осадок переносили в полипропиленовые пробирки и разводили деионизированной водой (18 МОм) до 10 мл. Вместе с пробами готовили холостой образец – озоляли фильтр из той же партии, на которые фильтровали



Карта исследованных озер п-ова Таймыр, 2022 г.:

1, 2 – Аятурку (точки отбора проб в северной и южной части озера); 3 – Дягонде; 4 – Безымянное-1; 5 – Дюйхока; 6 – Безымянное-2; 7 – Сатубалатурку; 8 – Безымянное-3; 9 – Безымянное-4; 10 – Безымянное-5; 11 – Безымянное-6; 12 – Безымянное-7; 13 – Хелалитурку; 14 – Безымянное-8; 15 – Безымянное-9; 16 – Безымянное-10; 17 – Безымянное-11; 18 – Безымянное-12; 19 – Дялидараму; 20 – Безымянное-13; 21 – Безымянное-14

пробы сестона. Калибровка прибора выполнена с использованием стандарта фосфора (P, CGP10) для ИСП-спектрометрии (Inorganic ventures, США). В качестве внутреннего стандарта использовали скандий (Sc, 5 мг/л) (Scandium standard for ICP, Fluka, Швейцария). При приготовлении калибровочных стандартов и разбавлении проб использовали деионизированную воду (18 МОм). В стандарты добавляли концентрированную соляную кислоту (1 : 100).

Определение видового состава и численности фитопланктона проводили под микроскопом в камере Фукса–Розенталя объемом 3,2 мкл. Размеры клеток определяли с помощью окуляр-микрометра. Биомассу рассчиты-

вали по объему клеток, приравнивая удельную массу к единице [Руководство..., 1992].

Статистическая обработка

При статистическом анализе все озера разделялись на две группы: с линными гусеобразными птицами и без птиц. Таким образом, согласно поставленной задаче исследований, определялось наличие различий между этими двумя группами (т. е. наличие или отсутствие влияния птиц) на фоне неизбежной вариабельности гидрохимических и гидробиологических параметров внутри групп озер, а также различий в численности населявших их птиц. Полученные данные проверяли на нормальность

Т а б л и ц а 1
Характеристики исследованных озер п-ова Таймыр (2022 г.)

Озеро	Координаты	<i>S</i>	Дата	Птицы	<i>T</i>	pH	ЕС
Аятурку (север)	73°52' с. ш., 92°09' в. д.	79,5	23.07	+	9,2	8,0	138
Аятурку (юг)	73°49' с. ш., 91°53' в. д.		23.07	–	7,3	8,4	194
Дягонде	73°31' с. ш., 88°33' в. д.	2,7	25.07	–	8,8	7,7	81
Безымянное-1	73°43' с. ш., 87°42' в. д.	0,2	25.07	+	14,0	6,3	42
Дюйхока	73°05' с. ш., 89°33' в. д.	3,3	26.07	–	11,4	7,6	64
Безымянное-2	73°10' с. ш., 90°19' в. д.	0,5	26.07	–	13,7	7,5	23
Сатубалатурку	73°15' с. ш., 97°38' в. д.	2,2	27.07	–	13,3	7,8	41
Безымянное-3	73°17' с. ш., 96°45' в. д.	0,3	27.07	+	14,8	8,4	120
Безымянное-4	73°10' с. ш., 95°50' в. д.	0,3	27.07	–	15,4	7,9	40
Безымянное-5	72°02' с. ш., 88°14' в. д.	0,7	28.07	–	16,2	7,5	24
Безымянное-6	72°02' с. ш., 86°48' в. д.	0,5	28.07	+	15,9	8,4	54
Безымянное-7	73°03' с. ш., 88°53' в. д.	0,7	3.08	+	9,7	8,1	102
Хелалитурку	72°52' с. ш., 88°58'1 в. д.	44,0	3.08	–	10,2	7,2	36
Безымянное-8	73°50' с. ш., 92°18' в. д.	0,6	5.08	+	12,4	8,7	377
Безымянное-9	74°05' с. ш., 92°10' в. д.	0,6	5.08	+	9,3	8,6	290
Безымянное-10	72°29' с. ш., 95°22' в. д.	0,5	7.08	+	14,7	7,7	33
Безымянное-11	72°43' с. ш., 95°14' в. д.	0,8	7.08	–	14,3	8,3	40
Безымянное-12	72°59' с. ш., 95°03' в. д.	0,6	7.08	+	14,2	8,1	41
Дялидараму	72°58' с. ш., 86°33' в. д.	3,8	13.08	+	11,6	7,6	61
Безымянное-13	72°44' с. ш., 86°33' в. д.	0,8	13.08	+	12,0	7,5	42
Безымянное-14	73°21' с. ш., 90°49' в. д.	0,8	14.08	+	13,1	7,5	52

П р и м е ч а н и е . *S* – площадь озера, км²; *T* – температура воды, °С; ЕС – удельная электропроводность, мкСм/см; +/- – наличие/отсутствие линных гусеобразных птиц.

распределения при помощи критерия Колмогорова–Смирнова. Для сравнения значений средних в независимых выборках с нормальным распределением применяли критерий Стьюдента. Расчеты проводили с использованием программного пакета STATISTICA 9.0 (StatSoft, США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

На исследованных озерах обнаружены следующие виды гусеобразных птиц: гуменник, краснозобая казарка, белолобый гусь, морянка *Clangula hyemalis* (Linnaeus, 1758), морская чернеть *Aythya marila* (Linnaeus, 1761) и малый лебедь. Численность и видовой состав птиц на исследованных озерах приведены в табл. 2.

Температура воды, pH и электропроводность ЕС в озерах с гусеобразными птицами и без птиц (см. табл. 1) в среднем статистически значимо не различались по критерию Стьюдента ($p > 0,05$). Однако следует отметить тенденцию более высокой средней величины ЕС в озерах с птицами (113 ± 32 мкСм/см) по сравнению с таковой в озерах без птиц (60 ± 18 мкСм/см).

Содержание элементов в сестоне и стехиометрические соотношения C : N и C : P в озерах с птицами и без птиц в среднем статистически значимо не отличались (табл. 3). Однако среднее соотношение N : P в озерах с птицами оказалось статистически значимо ниже, чем в озерах без птиц (см. табл. 3).

Биомасса и видовой состав доминантов и субдоминантов фитопланктона приведены в табл. 4. Общая биомасса фитопланктона и доля отделов водорослей и цианобактерий в общей биомассе в озерах с птицами и без птиц в среднем статистически значимо не различались (табл. 5). Однако следует отметить в качестве тенденции более высокую среднюю долю цианобактерий (*Cyanobacteria*) в озерах без птиц и более высокую среднюю долю зеленых водорослей (*Chlorophyta*) в озерах с птицами (см. табл. 5).

ОБСУЖДЕНИЕ

Из гусеобразных, обнаруженных в массовом количестве в ходе проведенных исследований, основную долю составляли гуменник и белолобый гусь. Гуси и казарки питаются в основном наземными растениями [Розенфельд, 2009]. Малый лебедь также много кормится на воде, добывая водные растения и, возможно, водных беспозвоночных [Поповкина, Розенфельд, 2012]. Желудочный тракт у гусей и лебедей устроен так, что им приходится проводить через него большие объемы растительной массы, поскольку эти птицы не имеют целлюлозорасщепляющих симбионтов [Sedinger, 1986; Кондратьев, 2008]. Дефекация происходит не реже чем один раз в пять минут. Гуси выделяют фекалии не только на суше, но и в воде, особенно в период линьки [van Geest et al., 2007]. Морянка и морская чернеть, встреченные на одном из озер совместно с белолобыми гусями, кормятся водными беспозвоночными [Полевой определитель..., 2011].

Т а б л и ц а 2
Численность линных гусеобразных птиц на обследованных озерах п-ова Таймыр в 2022 г.

Озеро	Виды птиц	Численность особей
Аятурку (север)	Гуменник	511
	Краснозобая казарка	16
Аятурку (юг)		0
Дягонде		0
Безымянное-1	Белолобый гусь	554
	Гуменник	85
Дюйхока		0
Безымянное-2		0
Сатубалатурку		0
Безымянное-3	Гуменник	42
	Белолобый гусь	20
Безымянное-4		0
Безымянное-5		0
Безымянное-6	Белолобый гусь	64
	Гуменник	80
Безымянное-7	Гуменник	206
Хелалитурку		0
Безымянное-8	Гуменник	209
Безымянное-9	Гуменник	53
Безымянное-10	Белолобый гусь	62
	Шилохвость	4
	Морянка	65
	Морская чернеть	21
Безымянное-11		0
Безымянное-12	Белолобый гусь	58
Дялидараму	Гуменник	216
Безымянное-13	Гуменник	107
Безымянное-14	Белолобый гусь	112
	Малый лебедь	61

Т а б л и ц а 3
Среднее ($\pm$ стандартная ошибка, n – число проб) содержание элементов в сестоне (мг/л) и их стехиометрические соотношения (моль : моль) в озерах п-ова Таймыр, населенных линными гусеобразными птицами и без них в июле – августе 2022 г.

Элемент	С линными гусеобразными птицами ($n = 12$)	Без гусеобразных птиц ($n = 9$)	t
C	0,62 $\pm$ 0,18	0,80 $\pm$ 0,25	0,58
N	0,08 $\pm$ 0,03	0,11 $\pm$ 0,04	0,47
P	0,012 $\pm$ 0,003	0,013 $\pm$ 0,004	0,07
C : N	8,0 $\pm$ 0,2	7,9 $\pm$ 0,3	0,27
C : P	132,6 $\pm$ 12,2	162,8 $\pm$ 18,4	1,37
N : P	15,8 $\pm$ 1,4	22,4 $\pm$ 2,7	2,22

П р и м е ч а н и е. t – статистическая значимость различий по критерию Стьюдента; статистически значимые различия ($p < 0,05$) выделены жирным шрифтом.

Т а б л и ц а 4

Общая биомасса (В, мкг/л) и видовой состав доминантов и субдоминантов (% от общей биомассы) фитопланктона в озерах с линными гусеобразными птицами (+) и без них (-); п-ов Таймыр, 2022 г.

Озеро	Птицы	В	Доминант, %	Субдоминант (%)
Аятурку (север)	+	249	<i>Dinobryon cylindricum</i> (37,9)	<i>Dinobryon divergens</i> (19,6)
Аятурку (юг)	-	181	<i>Dinobryon sociale</i> (57,5)	<i>Trachellomonas</i> sp. (9,0)
Дягонде	-	383	<i>Melosira islandica</i> (54,5)	<i>Melosira italica</i> (24,0)
Безымянное-1	+	139	<i>Dinobryon cylindricum</i> (27,5)	<i>Chlorococcales</i> (18,0)
Дюйхока	-	113	<i>Dinobryon divergens</i> (45,6)	<i>Trachellomonas</i> sp. (10,1)
Безымянное-2	-	561	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (34,4)	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (26,7)
Сатубалатурку	-	563	<i>Anabaena</i> sp. (35,4)	<i>Dinobryon bavaricum</i> (25,1)
Безымянное-3	+	66	<i>Navicula</i> sp. (34,1)	<i>Centricae</i> (25,7)
Безымянное-4	-	321	<i>Anabaena</i> sp. (25,1)	<i>Asterionella formosa</i> (16,8)
Безымянное-5	-	2120	<i>Anabaena</i> sp. (58,2)	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (7,9)
Безымянное-6	+	1292	<i>Anabaena</i> sp. (43,4)	<i>Melosira italica</i> (20,5)
Безымянное-7	+	277	<i>Synedra acus</i> (28,7)	<i>Melosira</i> sp. (17,8)
Хелалитурку	-	205	<i>Surirella biseriata</i> (53,3)	<i>Anabaena</i> sp. (15,5)
Безымянное-8	+	109	<i>Cosmarium formosum</i> (65,5)	<i>Gomphonema acuminatum</i> (15,9)
Безымянное-9	+	185	<i>Centricae</i> (63,6)	<i>Peridinium</i> sp. (23,3)
Безымянное-10	+	2238	<i>Anabaena</i> sp. (32,1)	<i>Staurodesmus subtriangularis</i> (19,2)
Безымянное-11	-	2074	<i>Anabaena</i> sp. (61,5)	<i>Cosmarium</i> sp. (7,6)
Безымянное-12	+	1294	<i>Anabaena</i> sp. (21,7)	<i>Staurastrum</i> sp. (19,5)
Дялидараму	+	243	<i>Cymatopleura solea</i> (25,3)	<i>Centricae</i> (22,5)
Безымянное-13	+	159	<i>Anabaena</i> sp. (21,2)	<i>Centricae</i> (20,2)
Безымянное-14	+	1317	<i>Anabaena</i> sp. (37,1)	<i>Dinobryon</i> sp. (24,9)

Т а б л и ц а 5

Средняя ($\pm$ стандартная ошибка, n – число проб) биомасса фитопланктона (В, мкг/л) и доля отделов в биомассе (%) в озерах п-ова Таймыр, населенных гусеобразными птицами и без них в июле – августе 2022 г.

Фитопланктон	С линными гусеобразными птицами ($n = 12$)	Без гусеобразных птиц ($n = 9$)	t
Биомасса	630 $\pm$ 206	725 $\pm$ 265	0,28
Cyanobacteria	16,2 $\pm$ 5,3	30,8 $\pm$ 9,3	1,36
Bacillariophyta	37,0 $\pm$ 8,0	33,2 $\pm$ 10,3	0,29
Chlorophyta	21,5 $\pm$ 7,1	9,2 $\pm$ 2,4	1,63
Chrysophyta	21,8 $\pm$ 7,1	23,1 $\pm$ 9,1	0,11
Dinophyta	2,6 $\pm$ 2,2	1,1 $\pm$ 0,1	0,67

П р и м е ч а н и е. t – статистическая значимость различий по критерию Стьюдента.

Таким образом, согласно классификации, предложенной для водных птиц в отношении их участия в круговороте питательных элементов [Boros, 2021], основная масса обнаруженных видов относится к гильдии “чистых импортеров” (net-importer guild). Относительно малочисленные утки – морянка и морская

чернеть – представляют гильдию “чистых экспортеров” (net-exporter guild), а малый лебедь – гильдию “импортеров-экспортеров” (importer-exporter guild) [Boros, 2021]. То есть большинство встреченных на исследованных озерах птиц обеспечивали перенос питательных веществ и минеральных элемен-

тов, в том числе – азота и фосфора, с суши в воду.

Потоки питательных веществ и элементов, возникавшие в результате жизнедеятельности линных гусеобразных птиц, вероятно, явились причиной различий, обнаруженных в сестоне и фитопланктоне исследованных озер. В первую очередь необходимо отметить статистически значимые различия в стехиометрическом соотношении $N : P$, которое было в среднем почти в полтора раза ниже в озерах, населенных птицами. Полученный нами результат согласуется с данными других авторов, согласно которым с фекалиями гусей фосфор поступает в воду в большей пропорции, чем азот, по сравнению с пропорциями этих элементов в поверхностном стоке [Dessborn et al., 2016]. Стехиометрическое соотношение азота и фосфора в фекалиях гусей из водно-болотных угодий Дании, рассчитанное по данным Хан с соавт. [Hahn et al., 2008], составляло 16,2 моль : моль, т.е. оказалось практически одинаковым со средней величиной $N : P = 15,8$, зарегистрированной нами для сестона озер, населенных птицами. В воде экспериментальных микрокосмов, в которые были добавлены продукты жизнедеятельности птиц, соотношение общего азота и фосфора, рассчитанное по данным А. В. Крылова с соавт. [Крылов и др., 2013б], составило 14,5 моль : моль, тогда как в контроле это соотношение было 38,4 моль : моль, что согласуется с нашими данными по сестону исследованных озер с птицами и без них.

Наряду со статистически значимо более низким средним стехиометрическим соотношением $N : P$ в сестоне и тенденцией более низкого соотношения $C : P$, в озерах с линными гусеобразными птицами обнаружена тенденция более высокой средней величины электропроводности ЕС, свидетельствующей о более высокой концентрации растворенных солей. Последняя тенденция может иметь существенное значение для фитопланктона, поскольку экспериментально установлено, что в арктических озерах его рост лимитирован не только низким содержанием азота и фосфора, но и некоторыми микроэлементами [van Geest et al., 2007], вероятно, содержащимися в продуктах жизнедеятельности птиц.

В противоположность обнаруженным качественным гидрохимическим различиям, ко-

личество фитопланктона в озерах с линными гусеобразными птицами и без них в среднем статистически значимо не различалось. Аналогичный феномен отмечен другими авторами в арктических озерах о. Шпицберген: концентрация хлорофилла фитопланктона не коррелировала с увеличением концентраций азота и фосфора в воде под воздействием гусей [van Geest et al., 2007]. Авторы объяснили отсутствие прироста биомассы фитопланктона тем, что в озерах увеличилось количество первичных консументов – дафний, интенсивно выедавших фитопланктон [van Geest et al., 2007]. То есть, предположительно, вся дополнительная продукция фитопланктона, образованная за счет дополнительных элементов минерального питания, поступающих от птиц, транзитом переходила на следующий трофический уровень [van Geest et al., 2007]. Таким образом, измерение продукции фитопланктона и зоопланктона в арктических озерах, подверженных влиянию продуктов жизнедеятельности линных гусеобразных птиц, является актуальной задачей для будущих исследований.

Таксономический состав фитопланктона в озерах с линными гусеобразными птицами и без них статистически значимо не отличался. То есть основная угроза эвтрофирования – увеличение биомассы цианобактерий, приводящее к “цветению” воды, отсутствовала. Более того, обнаружена противоположная тенденция: в озерах с птицами доля цианобактерий в биомассе фитопланктона была в среднем ниже, а доля диатомовых (Bacillariophyta), зеленых (Chlorophyta) и динофитовых (Dinophyta) водорослей выше, чем в озерах без птиц. Увеличение доли динофитовых водорослей под влиянием птиц отмечено и другими авторами [Крылов и др., 2012, 2018]. Водоросли, как известно, представляют более ценный корм для консументов, чем цианобактерии, в том числе из-за более благоприятного стехиометрического соотношения элементов и состава жирных кислот [Gulati, DeMott, 1997]. В целом, наши данные подтвердили имеющиеся представления о более высокой питательной ценности фитопланктона и сестона для консументов при поступлении в озера продуктов жизнедеятельности птиц [Крылов и др., 2012, 2018; Vizzini et al., 2016].

Следует отметить, что в озерах и водохранилищах средних широт в результате воздействия птиц, принадлежащих к иным отрядам, чем Гусеобразные, в некоторых случаях наблюдалось увеличение доли цианобактерий и снижение доли диатомей [Крылов и др., 2011]. Действительно, чайки, цапли, пеликаны, бакланы и некоторые другие птицы, в основном плотоядные (рыбоядные) и всеядные, могут усиливать эвтрофирование, приводящее к “цветению” воды цианобактериями в водоемах средних и низких широт [Martín-Vélez et al., 2019; Verstijnen et al., 2021]. Не исключено, что наблюдаемые различия могут быть вызваны разным составом выделяемых метаболитов растительноядных и плотоядных птиц. Как считается, плотоядные птицы экскретируют значительно больше азота и фосфора, чем растительноядные [Hahn et al., 2007]. Возможно, также играет роль принадлежность птиц разных видов к различным гильдиям импортеров и экспортеров [Mukherjee, Borad, 2001; Boros, 2021].

В целом, согласно имеющимся данным, в пустынных регионах с бедными почвами и ледниками вклад гусеобразных птиц в аллохтонные потоки азота и фосфора может быть весьма значительным [Manny et al., 1994; Dessborn et al., 2016]. Наши данные согласуются с представлениями о значимом вкладе гусеобразных птиц в функционирование водных экосистем арктических водоемов, расположенных в тундре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В арктических озерах, расположенных в тундре п-ова Таймыр, населенных гусеобразными птицами, обнаружены различия в стехиометрических соотношениях элементов минерального питания в сестоне по сравнению с таковыми в озерах без птиц, а также более высокие величины удельной электропроводности. Наблюдаемые изменения с большой вероятностью могут объясняться эффектом гуанотрофикации, а именно поступлением в воду продуктов жизнедеятельности линных гусеобразных птиц. Таксономический состав фитопланктона в озерах с птицами и без них статистически значимо не отличался. То есть при гуанотрофикации отсутствовала основная угроза эвтрофирования – увеличение

биомассы цианобактерий, приводящее к вредоносному “цветению” воды. Более того, обнаружена противоположная тенденция: в озерах с линными гусеобразными птицами доля цианобактерий в биомассе фитопланктона была в среднем ниже, а доля микроводорослей (Bacillariophyta, Chlorophyta и Dinophyta) – выше, чем в озерах без птиц. В целом, наши данные подтвердили имеющиеся представления о более высокой питательной ценности фитопланктона (сестона) для консументов при поступлении в озера продуктов жизнедеятельности птиц. Таким образом, подтверждена гипотеза о том, что искусственная гуанотрофикация потенциально может рассматриваться как приемлемая экотехнология для повышения продуктивности олиготрофных арктических озер.

Работа выполнена при финансовой и организационной поддержке Проектного офиса развития Арктики (ПОРА). Также исследования частично поддержаны средствами ФГБУ “Объединенная дирекция заповедников Таймыра”, Ассоциации РГТ и государственного бюджета по госзаданию ИБФ СО РАН № 0287-2021-0019.

ЛИТЕРАТУРА

- Гладышев М. И. Разливы нефти в пресных водах и состояние экосистемы оз. Пясино до аварийного разлива 2020 г. // Сиб. экол. журн. 2021. Т. 28, № 4. С. 395–407. [Gladyshev M. I. Oil spills in fresh waters and state of ecosystem of Lake Pyasino before the incidental spill of 2020 // Contemporary Problems of Ecology. 2021. Vol. 14, N 4. P. 313–322.]
- Коблик Е. А., Редькин Я. А., Архипов В. Ю. Список видов птиц Российской Федерации. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 256 с.
- Кондратьев А. В. Экология питания гусей в Арктике и на пути к ней // Казарка. 2008. № 8. С. 79–99.
- Крылов А. В., Гладышев М. И., Косолапов Д. Б., Суццик Н. Н., Корнева Л. Г., Махутова О. Н., Кулаков Д. В., Калачева Г. С., Дубовская О. П. Влияние колонии серой цапли (*Ardea cinerea* L.) на планктон малого озера и содержание в нем незаменимых полиненасыщенных жирных кислот // Сиб. экол. журн. 2011. Т. 18, № 1. С. 59–68. [Krylov A. V., Gladyshev M. I., Kosolapov D. B., Sushchik N. N., Korneva L. G., Makhutova O. N., Kulakov D. V., Kalacheva G. S., Dubovskaya O. P. Small lake plankton and its essential polyunsaturated fatty acids content as affected by a colony of the common heron (*Ardea cinerea* L.) // Contemporary Problems of Ecology. 2011. Vol. 4, N 1. P. 42–49.]
- Крылов А. В., Косолапов Д. Б., Косолапова Н. Г., Румянцева Е. В. Структура гетеротрофного планктона литоральной зоны равнинного водохранилища в условиях влияния гидрофильных птиц // Изв. РАН. Сер. биол. 2013а. № 2. С. 235–239.

- Крылов А. В., Кулаков Д. В., Чалова И. В., Папченков В. Г. Зоопланктон пресных водоемов в условиях влияния гидрофильных птиц. Ижевск: Издатель Пермьяков С. А., 2012. 204 с.
- Крылов А. В., Кулаков Д. В., Чалова И. В., Цельмович О. Л. Влияние продуктов жизнедеятельности гидрофильных птиц и степени зарастания экспериментальных микрокосмов на планктонных животных // Биология внутр. вод. 2013. № 2. С. 34–43. [Krylov A. V., Kulakov D. V., Chalova I. V., Tselmovich O. L. The effect of vital activity products of hydrophilic birds and the degree of overgrowth on zooplankton in experimental microcosms // Inland Water Biol. 2013. Vol. 6. P. 114–123.]
- Крылов А. В., Махутова О. Н., Сахарова Е. Г., Сушиц Н. Н., Павлов Д. Д., Колмакова А. А., Столбун И. А., Гладышев М. И. Неоднозначное влияние поселений околородных птиц на биохимический состав сестона, планктонных организмов и молоди рыб равнинного водохранилища // Журн. общ. биологии. 2018. Т. 79, № 6. С. 449–460. [Krylov A. V., Makhutova O. N., Sakharova E. G., Sushchik N. N., Pavlov D. D., Kolmakova A. A., Stolbunov I. A., Gladyshev M. I. Diverse impacts of semiaquatic bird colonies on biochemical composition of seston, plankton, and fish fry in a plain reservoir // Zhurnal Obshchei Biologii. 2018. Vol. 79. P. 449–460.]
- Полевой определитель гусеобразных птиц России / под ред. Е. Е. Сыроечковского. М.: RedАкция, 2011. 223 с.
- Поповкина А. Б., Розенфельд С. Б. О питании малого лебедя (*Cygnus bewickii*) на юго-восточном Таймыре // Зоол. журн. 2012. Т. 91, № 7. С. 881–887.
- Розенфельд С. Б. Питание казарок и гусей в российской Арктике. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2009. 236 с.
- Розенфельд С. Б., Соловьев М. Ю., Киртаев Г. В., Рогова Н. В., Иванов М. Н. Оценка пространственно-биотопического распределения водоплавающих птиц в Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском округах: опыт использования сверхлегкой авиации // Зоол. журн. 2017. Т. 96, № 2. С. 201–221.
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
- Столбун И. А., Кутузова О. Р., Крылов А. В. Влияние поселения цапель (*Ardea cinerea* L. и *A. alba* L.) на прибрежные группировки молоди рыб Рыбинского водохранилища // Биология внутр. вод. 2017. № 4. С. 75–85. [Stolbunov I. A., Kutuzova O. R., Krylov A. V. Impact of heron (*Ardea cinerea* L. and *A. alba* L.) habitat on coastal juvenile fish assemblages in Rybinsk Reservoir // Inland Water Biology. 2017. Vol. 10. P. 427–435.]
- Сыроечковский Е. В. Пути адаптации гусеобразных трибы Anserini к обитанию в Арктике. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2013. 297 с.
- Boros E. Classification method for quantification of waterbird nutrient cycling guilds // Methods X. 2021. Vol. 8. P. 101597.
- 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.
- Deinet S., Zöckler C., Jacoby D., Tresize E., Marconi V., McRae L., Svoboda M., Barry T. The Arctic species trend index: migratory birds index. Conservation of Arctic flora and fauna, Akureyri, Iceland. 2015. 131 p.
- Dessborn L., Hessel R., Elmberg J. Geese as vectors of nitrogen and phosphorus to freshwater systems // Inland Waters. 2016. Vol. 6. P. 111–122.
- Downing J. A. Limnology and oceanography: two estranged twins reuniting by global change // Inland Waters. 2014. Vol. 4. P. 215–232.
- Ebbinge B. S., Blew J., Clausen P., Günther K., Hall C., Holt C., Koffijberg K., le Dréan-Quénechdu S., Mahéo R., Pihl S. Population development and breeding success of Dark-bellied Brent Geese *Branta b. bernicla* from 1991–2011 // Wildfowl. 2013. Vol. 3. P. 74–89.
- Gladyshev M. I., Sushchik N. N., Dubovskaya O. P., Buseva Z. F., Makhutova O. N., Fefilova E. B., Feniova I. Y., Semenchenko V. P., Kolmakova A. A., Kalachova G. S. Fatty acid composition of Cladocera and Copepoda from lakes of contrasting temperature // Freshwater Biol. 2015. Vol. 60. P. 373–386.
- Gubelit Y. I. Opportunistic macroalgae as a component in assessment of eutrophication // Diversity. 2022. Vol. 14. P. 1112. doi.org/10.3390/d14121112
- Gulati R. D., DeMott W. R. The role of food quality for zooplankton: remarks on the state-of-the-art, perspectives and priorities // Freshwater Biol. 1997. Vol. 38. P. 753–768.
- Hahn S., Bauer S., Klaassen M. Estimating the contribution of carnivorous waterbirds to nutrient loading in freshwater habitats // Freshwater Biol. 2007. Vol. 52. P. 2421–2433.
- Hahn S., Bauer S., Klaassen M. Quantification of allochthonous nutrient input into freshwater bodies by herbivorous waterbirds // Freshwater Biol. 2008. Vol. 53. P. 181–193.
- Hyatt K. D., McQueen D. J., Shortreed K. S., Rankin D. P. Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) nursery lake fertilization: Review and summary of results // Envir. Rev. 2004. Vol. 12. P. 133–162.
- Ibelings B. W., Bormans M., Fastner J., Visser P. M. CYANOCOST special issue on cyanobacterial blooms: synopsis – a critical review of the management options for their prevention, control and mitigation // Aquat. Ecol. 2016. Vol. 50. P. 595–605.
- Lurling M., Mackay E., Reitzel K. Spears BM Editorial – A critical perspective on geo-engineering for eutrophication management in lakes // Water Res. 2016. Vol. 97. P. 1–10.
- 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. 279/280. P. 121–132.
- Martín-Vélez V., Sánchez M. I., Shamoun-Baranes J., Thaxter C. B., Stienen E. W. M., Camphuysen K. C. J., Green A. J. Quantifying nutrient inputs by gulls to a fluctuating lake, aided by movement ecology methods // Freshwater Biol. 2019. Vol. 64. P. 1821–1832. doi: 10.1111/fwb.13374
- McCrackin M. L., Jones H. P., Jones P. C., Moreno-Mateos D. Recovery of lakes and coastal marine ecosystems from eutrophication: A global meta-analysis // Limnol. Oceanogr. 2017. Vol. 62. P. 507–518.
- Mukherjee A., Borad C. K. Effects of waterbirds on water quality // Hydrobiologia. 2001. Vol. 464. P. 201–205.
- Orihel D. M., Baulch H. M., Casson N. J., North R. L., Parsons C. T., Seckar D. C. M., Venkiteswaran J. J. Internal phosphorus loading in Canadian fresh waters: a critical review and data analysis // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2017. Vol. 74. P. 2005–2029.

- Paul B., Purkayastha K. D., Bhattacharya S., Gogoi N. Eco-bioengineering tools in ecohydrological assessment of eutrophic water bodies // *Ecotoxicology*. 2022. Vol. 31. P. 581–601.
- Persson J., Vrede T., Holmgren S. Responses in zooplankton populations to food quality and quantity changes after whole lake nutrient enrichment of an oligotrophic sub-alpine reservoir // *Aquat. Sci.* 2008. Vol. 70. P. 142–155.
- Sedinger J. S. Biases in comparison of proventriculus and esophageal food samples from cackling Canada geese // *J. Wildlife Manag.* 1986. Vol. 50, N 2. P. 221–222.
- Van Geest G. J., Hessen D. O., Spierenburg P., Dahl-Hansen G. A.P., Christensen G., Faerovig 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.
- Verstijnen Y. J. M., Maliaka V., Catsadorakis G., Lüring M., Smolders A. J. P. Colonial nesting waterbirds as vectors of nutrients to Lake Lesser Prespa (Greece) // *Inland Waters*. 2021. Vol. 11. P. 191–207. doi: 10.1080/20442041.2020.1869491
- Vizzini S., Signa G., Mazzola A. Guano-derived nutrient subsidies drive food web structure in coastal ponds // *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11, N 3. P. e0151018. doi: 10.1371/journal.pone.0151018

The effect of flocks of anseriform birds on seston and phytoplankton of lakes in Taimyr Peninsula

M. I. GLADYSHEV^{1, 2}, S. B. ROSENFELD³, T. N. ANUFRIEVA^{1, 2}, G. V. KIRTAEV³,
E. S. KRAVCHUK¹, A. V. RYABITSEV⁴, A. A. KOLMAKOVA¹, E. A. IVANOVA^{1, 2}, O. V. ANISHCHENKO¹

¹*Institute of Biophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Federal Research Center
“Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/50
E-mail: glad@ibp.ru*

²*Siberian Federal University
660041, Krasnoyarsk, Svobodny av., 79*

³*Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences,
119071, Moscow, Leninsky av., 33*

⁴*Institute of Plant and Animal Ecology of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
620144, Yekaterinburg, 8 Marta str., 202*

An effect of molting anseriform birds on structure and elemental composition of phytoplankton (seston) was evaluated in 20 Arctic lakes of the Taimyr Peninsula. In lakes (lake area) inhabited with ~50–700 birds of 6 species, an average stoichiometric ratio N : P (mol: mol) was statistically significantly lower, than in lakes without anseriforms: 15.8 ± 1.4 и 22.4 ± 2.7 , respectively. Besides, there was a tendency of higher average specific electrical conductivity in lakes with the birds, 113 ± 32 $\mu\text{S}/\text{cm}$, compared with those without anseriforms, 60 ± 18 $\mu\text{S}/\text{cm}$. The differences observed could be likely explained by an effect of guanotrophication, namely by a flow in water of metabolites of molting anseriforms. Total biomass of phytoplankton and proportions of algal taxa and cyanobacteria in the total biomass did not differ statistically significantly in lakes with and without molting anseriforms. Thereby, under the guanotrophication, the main threat of eutrophication was absent: an increase of biomass of cyanobacteria causing nuisance “bloom” of water. Moreover, an opposite tendency occurred: in lakes with molting anseriforms, the proportion of cyanobacteria in total biomass of phytoplankton was on average lower, than that in lakes without the birds, 16.2 ± 5.3 and 30.8 ± 9.3 %, respectively. Thus, a hypothesis was confirmed, that an artificial guanotrophication should be regarded as a suitable ecotechnology for an increase of productivity of oligotrophic Arctic lakes.

Key words: guanotrophication, C : N : P stoichiometry, seston, phytoplankton, Taimyr, anseriform birds.