

Зоопланктон, зообентос, зооперифитон

УДК 574.583

ЗООПЛАНКТОН МЕЛКОВОДНОГО ПРУДА В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ КОЛОНИИ БОЛЬШОГО БАКЛАНА *PHALACROCORAX CARBO SINENSIS* (BLUMENBACH, 1798)

С. Ю. Арашин*, В. В. Осипов, И. В. Чалова, А. В. Крылов

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук

152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: *ar.serg@rambler.ru

Поступила в редакцию 25.03.2026

Изучены особенности весеннего и летнего зоопланктона мелководного рыбоводного пруда Пензенской обл. в условиях поступления продуктов жизнедеятельности большого баклана *Phalacrocorax carbo sinensis* (Blumenbach, 1798). В мае на контрольном участке пруда количество видов зоопланктеров было больше (50), чем в зоне влияния птиц (35). Пруд характеризовался гипертрофными условиями, однако значение коэффициента трофности в контроле было ниже, чем в месте обитания бакланов (28 и 40 соответственно). На контрольной станции средняя численность зоопланктона была в 1.7 раза больше, а биомасса в 2.1 раза меньше по сравнению с участком пруда, подверженному влиянию птиц. В контроле преобладали Rotifera, в районе влияния бакланов — ювенильные Cyclopoida и Rotifera. В июне на тех же самых участках пруда обнаружено 21–22 вида беспозвоночных. Для пруда по-прежнему были характерны гипертрофные условия, значения коэффициента трофности варьировали от 23.8 в зоне влияния баклана до 54.0 на контрольном участке. Максимальная численность зоопланктона отмечена в зоне влияния птиц, а высокие значения биомассы — в контроле. Основу численности зоопланктона на контрольной станции составляли Rotifera, в районе колонии — Copepoda. В связи с обмелением исследуемого пруда был изучен второй (контрольный) водоем, для которого отмечалось высокое видовое богатство зоопланктеров (42), среди доминирующих по численности организмов преобладали Rotifera и Copepoda, по биомассе — Cladocera.

Ключевые слова: зоопланктон, большой баклан, гуанотрофикация, биоиндикация.

DOI: 10.47021/0320-3557-2026-19-28

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что колонии гидрофильных птиц увеличивают поступление биогенных и органических веществ в прибрежье водных экосистем [Чуйков, Головкин, 1979 (Chuikov, Golovkin, 1979); Крылов и др., 2012 (Krylov et al., 2012); Green, Elmsberg, 2014; Adhurya et al., 2020, 2021], благодаря чему появился термин “гуанотрофикация” [Leentvaar, 1967; Brandvold et al., 1976; Moss, Leah, 1982; Bales et al., 1993]. Последствия влияния гуанотрофикации на водные экосистемы — от негативных и нейтральных до позитивных [Gremillion, Malone, 1986; Manny et al., 1994; Scherer et al., 1995; Post et al., 1998; van Geest et al., 2007; Michelutti et al., 2009; Chaichana et al., 2010; Крылов и др., 2011, 2012 (Krylov et al., 2011, 2012)]. Направление изменений биологического режима участков водоемов в условиях влияния колоний птиц определяется их видовым составом, численностью, гидролого-морфометрическими параметрами и трофическим статусом водных объектов, временем поступления продуктов жизнедеятельности птиц, а также количеством атмосферных осадков [Чуйков, Головкин, 1979 (Chuikov, Golovkin, 1979); Чуйков, 2012 (Chuikov, 2012); Nakamura et al., 2010a, b; Крылов и др., 2012 (Krylov et al., 2012); Adhurya et al., 2020, 2021].

Едва ли не самым популярным и часто упоминаемым в средствах массовой

информации видом птиц стал большой баклан (*Phalacrocorax carbo sinensis* (Blumenbach, 1798)). Особенно активно бьют тревогу на Байкале, в Красноярском и Краснодарском краях, Башкортостане, большие стаи отмечены в Подмоскovie, Белгородской, Липецкой, Воронежской и Саратовской областях. Тревога связана с активным освоением бакланом новых территорий, а также весьма заметным воздействием на окружающий ландшафт и убытками для рыбоводных хозяйств [Елаев и др., 2024 (Yelaev et al., 2024)]. Отметим особенность “чужеродности” баклана в ряде регионов, где он ранее был обычным видом. Например, до середины XIX в. большой баклан обитал и на Волге, и на Байкале, являясь естественным звеном экосистем водотоков и водоемов. Безусловно, повторная экспансия происходит в измененные экосистемы, что ставит задачу внимательного изучения последствий его появления. Первостепенную актуальность имеет оценка воздействия птиц на рыбное население водных объектов: по мнению ряда специалистов и чиновников, баклан существенно нарушает состояние промысловых биоресурсов природных вод. Однако в данном случае мы не вступаем в дискуссию о роли колоний большого баклана в формировании состояния промысловых видов рыб, а ставим задачу изучения реакции сообществ

гидробионтов на продукты жизнедеятельности птиц. На наш взгляд, этот вопрос не менее важен, т.к. поступление дополнительного количества биогенных и органических веществ определяет экологическое состояние локальных участков побережья водоемов, кормовую базу молоди рыб, влияет на биологическое разнообразие гидробионтов, а также на трофические сети водных экосистем.

Чувствительным индикатором воздействия разнообразных факторов на водоемы выступает структура, качественный и количественный состав сообществ зоопланктона [Андроникова, 1996 (Andronikova, 1996)]. Планктонные беспозвоночные определяют биологический режим водных объектов, передавая вещества и энергию от первичных продуцентов на более высокие трофические уровни. Наиболее подробные исследования последствий влияния колоний большого баклана на гидрохимические параметры и зоопланктон проведены Ю.С. Чуйковым в дельте Волги [Чуйков, Головкин, 1979 (Chuikov, Golovkin, 1979); Чуйков, 2012 (Chuikov, 2012)]. Показано, что их влияние зависит от морфометрических характеристик водных объектов: в малых водоемах наблюдается нарушение кислородного режима, возрастает концентрация биогенных веществ, до максимальных величин возрастает биомасса зоопланктона за счет увеличения доли хищников и собирателей, связанных с субстратом. Однако результатов исследований гидробиологического режима пресноводных экосистем в условиях первичной или вторичной экспансии большого баклана в России найти не удалось, но в мире такие работы проводятся. Так, польскими исследователями представлен подробный обзор распространения большого баклана, его многогранного воздействия на наземные и водные экосистемы [Klimaszyk, Rzymiski, 2016]. Отмечены значительные изменения в качестве воды: в одном

из озер снизилась прозрачность воды, повысилась электропроводность, содержание азота, фосфора и хлорофилла *a*, сократилась численность наиболее чувствительных макрофитов (*Littorella uniflora* (L.) Asch. и *Myriophyllum alterniflorum* DC.), зарегистрировано появление новых, типично мезо- и эвтрофных макрофитов (*Myriophyllum spicatum* L. и *Ceratophyllum demersum* L.). Описаны сезонные изменения в составе и численности гетеротрофных наноплассид, инфузорий, коловраток и ракообразных в зависимости от количества водорослей, цианобактерий и концентрации питательных веществ в мелководном эвтрофном озере, подверженном сильному воздействию бакланов [Kalinowska et al., 2024]. Показано, что многочисленные гнездовые колонии большого баклана способствовали нарушению энергетического потока в классических пищевых сетях [Napiórkowska-Krzebietke et al., 2021].

Для выявления закономерностей реакции сообществ гидробионтов на колонизационные поселения большого баклана необходимы масштабные исследования с учетом типологии водных объектов, региона, а также плотности птиц. Настоящее исследование проведено на территории Пензенской области, где баклан в XIX в. имел статус гнездящегося вида, а на рубеже XX и XXI веков стал залетным летне-кочующим видом, что связывали с созданием Пензенского водохранилища. Первое гнездование больших бакланов в районе Узинских рыбободных прудов в бассейне Пензенского водохранилища зарегистрировано в 2020 г. [Фролов и др., 2023 (Frolov et al., 2023)].

Цель работы — установить качественный и количественный состав весеннего и летнего зоопланктона рыбободных прудов и выявить особенности их трансформации в условиях влияния колонии большого баклана.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены 7 мая и 18 июня 2025 г. на рыбободных прудах в районе с. Усть-Уза Пензенской обл., Шемышейского района (52.917803 N, 45.323268 E). Площадь прудов 10 га, глубины исследованных участков варьировали от 0.2 до 1.0 м (табл. 1). Колония большого баклана в мае насчитывала 13 гнезд, в июне — 19. Гнезда располагались на высоте 10–12 м в 6 м от уреза воды (см. рисунок). Под деревьями растительность отсутствовала.

В мае контрольный и подверженный влиянию бакланов участки располагались в пределах одного пруда (500 м друг от друга). В июне

в связи с сильным обмелением водоема и сокращением его площади в качестве контроля также проведены сборы во втором пруду. Участок в районе колонии характеризовался меньшими глубинами, более низкой в мае и более высокой в июне температурой воды (табл. 1). В июне степень зарастания контрольного участка в пруду I была выше, а в пруду II ниже, чем в зоне влияния колонии бакланов. Концентрация растворенного в воде кислорода не достигала критических для беспозвоночных величин.

Таблица 1. Глубина, температура воды, концентрация растворенного в воде кислорода и степень зарастания исследованных участков рыбоводных прудов в мае и июне 2025 г.**Table 1.** The depth, water temperature, concentration of dissolved oxygen in the water and degree of overgrowth of the studied fish ponds in May and June 2025

Показатель / Index	Пруд I / Pond I				Пруд II / Pond II
	Контроль / Control		Колония / Colony		Контроль / Control
	V	VI	V	VI	VI
Глубина, м	0.5–1.2	0.5–1.0	0.2–0.5	0.2	0.5–0.8
T _{воды} , °C	15.0	22.8	12.9	28.0	24.7
O ₂ мг/л	7.8	6.3	8.8	9.3	7.6
Степень зарастания, %	<1	65	<1	10	<1

**Рис.** Колония большого баклана в районе исследования (2025 г.).**Fig.** The colony of the great cormorant in the study area (2025).

Пробы зоопланктона собирали ведром, процеживая 40 л воды через сеть Апштейна (размер ячеи 64 мкм), фиксировали 40%-ным формалином до конечной концентрации 4%. На каждом участке собрано по 3–4 пробы, однако в июне в зоне колонии была собрана лишь одна проба, что связано с сильным обмелением. Камеральную обработку проводили стандартными методами [Методика ..., 1975 (Metodika ..., 1975); Методы ..., 2024 (Metody ..., 2024)]. Виды идентифицировали с помощью ряда определителей и руководств [Кутикова, 1970 (Kutikova, 1970); Монченко, 1974 (Monchenko, 1974); Определитель..., 2010 (Opredelitel' ..., 2010); Стойко и др., 2016 (Stoiko et al., 2016); Коровчинский и др., 2021 (Korovchinsky et al., 2021)]. Номенклатура

зоопланктеров представлена на основе базы данных WoRMS. Расчет индивидуальной массы ракообразных и коловраток выполнен на основе уравнений зависимости этого показателя от длины тела организма [Балушкина, Винберг, 1979 (Balushkina, Vinberg, 1979); Ruttner-Kolisko, 1976]. Для описания сообществ использованы данные по видовому богатству, численности, биомассе, соотношению таксономических групп в общей численности и биомассе, индексу Шеннона-Уивера [Shannon, Weaver, 1963]. Доминантными считали виды, формирующие $\geq 10\%$ суммарного обилия [Методы..., 2024 (Metody ..., 2024)]. Трофический статус прудов определяли по коэффициенту трофности [Мяэметс, 1980 (Myaemets, 1980)].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В мае на контрольном участке пруда отмечено 50 видов беспозвоночных (40 — Rotifera, 6 — Copepoda, 4 — Cladocera). В районе поселения больших бакланов обнаружено 35 видов (28 — Rotifera, 5 — Copepoda, 2 — Cladocera). По величине коэффициента трофности,

рассчитанного на основе видового состава, оба участка характеризовались гипертрофными условиями, однако в контроле абсолютная величина коэффициента была ниже, чем в зоне влияния птиц (28 против 40).

Средняя численность зоопланктона на контрольном участке в 1.7 раза превышала величины в зоне влияния бакланов (табл. 2). В контроле доля коловраток была существенно выше, а доля веслоногих ракообразных ниже, чем в районе колонии птиц. Среди доминирующих организмов на контрольном участке обнаружены *Polyarthra dolichoptera* Idelson, 1925, *P. remata* Skorikov, 1896, *Brachionus angularis* Gosse, 1851, *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *K. tecta* (Gosse, 1851), в зоне колонии бакланов — ювенильные Cyclopoida и *Brachionus angularis*. Индекс Шеннона, рассчитанный по численности, в контроле был незначительно выше, чем в районе колонии (табл. 2).

Биомасса зоопланктона на контрольном участке была в 2.1 раза меньше, чем в зоне влияния колонии бакланов, что определялось высокой долей веслоногих ракообразных (табл. 2). На контрольном участке к доминантам по биомассе относились *Brachionus angularis*, *Polyarthra dolichoptera*, *P. remata*, *Cyclops vicinus* (Uljanin, 1875), в районе колонии — ювенильные Cyclopoida, *Eucyclops macrurus* (Sars, 1863), *Diacyclops bicuspidatus* (Claus, 1857), *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857), *Brachionus angularis*. Индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе, в районе колонии был значительно ниже, чем на контрольном участке (табл. 2).

Таблица 2. Показатели зоопланктона на контрольном участке и в районе колонии больших бакланов в мае

Table 2. Zooplankton's indexes at the control site and in the area of the cormorant colony in May

Показатель / Index	Контроль / Control	Колония / Colony
Численность, тыс. экз./м ³	<u>443.9</u> 195–657	<u>262.3</u> 175–340
Rotifera (N, %)	<u>94.8</u> 88.5–98.4	<u>58.9</u> 55.3–60.9
Copepoda (N, %)	<u>5.0</u> 1.6–10.8	<u>41.1</u> 39.1–44.6
Cladocera (N, %)	<u>0.2</u> 0–0.7	<u>0.03</u> 0–0.1
Биомасса, мг/м ³	<u>36.9</u> 25.0–43.4	<u>79.3</u> 41.2–153.1
Rotifera (B, %)	<u>63.7</u> 25.9–90.3	<u>13.4</u> 3.3–19.5
Copepoda (B, %)	<u>32.0</u> 9.7–62.1	<u>83.0</u> 76.7–89.6
Cladocera (B, %)	<u>4.3</u> 0–12.0	<u>3.7</u> 0–7.1
Индекс Шеннона, бит/экз.	<u>3.2</u> 2.90–3.59	<u>3.0</u> 2.76–3.14
Индекс Шеннона, бит/мг	<u>3.5</u> 3.06–3.76	<u>2.6</u> 2.51–2.69

Примечание. В числителе — среднее арифметическое, в знаменателе — минимальное и максимальные значения.

Note. The numerator contains the average, and the denominator contains the minimum and maximum values.

В июне на контрольном участке пруда обнаружен 21 вид планктонных беспозвоночных: 18 — Rotifera, 1 — Copepoda, 2 — Cladocera, в районе колонии — 22 вида, среди которых 17 — Rotifera, 3 — Copepoda, 2 — Cladocera. Выбранный для сравнительного анализа второй (контрольный) пруд, характеризовавшийся отсутствием влияния бакланов, отличался большим видовым богатством зоопланктона, чем первый, и насчитывал 42 вида: 33 — Rotifera, 2 — Copepoda, 7 — Cladocera. Тем не менее, коэффициент трофности обоих прудов соответствовал гипертрофным условиям. Наибольшее абсолютное значение коэффициента отмечено на контрольном участке первого пруда — 54.0,

наименьшее — в районе влияния колонии — 23.8, во втором контрольном пруду — 46.2.

Максимальная численность зоопланктона зарегистрирована в зоне влияния колонии бакланов, в контроле и во втором пруду она была меньше в 2.4 и 2.7 раз (табл. 3). Основу численности зоопланктона на контрольном участке составляли Rotifera, в районе колонии — Copepoda. Среди доминантов по численности на контрольном участке отмечены *Polyarthra dolichoptera*, *Brachionus budapestinensis*, *B. angularis* и науплиусы Cyclopoida, во втором (контрольном) пруду — *Chydorus sphaericus* (Müller, 1776), *Brachionus angularis*, науплиусы Cyclopoida, в зоне влияния колонии бакланов — науплиусы Cyclopoida

и *Brachionus calyciflorus* Pallas, 1776. Зоопланктон в районе колонии птиц отличался минимальной величиной индекса Шеннона, рассчитанного по численности, а максимальное значение обнаружено во втором (контрольном) пруду (табл. 3).

На контрольном участке пруда отмечена максимальная биомасса зоопланктона, в зоне влияния бакланов и во втором (контрольном) пруду биомасса была ниже. При этом в контрольном пруду основу биомассы составляли ветвистоусые ракообразные, а на контрольном участке и в районе гнездования бакланов —

веслоногие. Во втором (контрольном) пруду доминировали по биомассе копепоиды Cyclopoida, *Chydorus sphaericus*, *Polyphemus pediculus* (Linnaeus, 1761), *Sida crystallina* (Müller, 1776), на фоновом участке — *Eudiaptomus vulgaris* (Schmeil, 1897), копепоиды Calanoida, *Asplanchna sieboldii* (Leydig, 1854), *Polyarthra dolichoptera*, в районе колонии — *Mesocyclops leuckarti*, науплиусы и копепоиды Cyclopoida. Зоопланктон в районе колонии птиц отличался наибольшей величиной индекса Шеннона, рассчитанного по биомассе (табл. 3).

Таблица 3. Показатели зоопланктона на контрольных участках и в районе колонии больших бакланов в июне

Table 3. Zooplankton's indexes in the control areas and in the area of the cormorant colony in June

Показатель / Index	Пруд I / Pond I		Пруд II / Pond II
	Контроль / Control	Колония / Colony	Контроль / Control
Численность, тыс. экз./м ³	<u>159.0</u> 72–301	<u>394.0</u> –	<u>144.0</u> 43–284
Rotifera (N, %)	<u>75.7</u> 70.2–84.4	<u>25.0</u> –	<u>51.4</u> 44.1–61.5
Copepoda (N, %)	<u>23.4</u> 14.5–29.5	<u>74.9</u> –	<u>41.3</u> 38.5–43.1
Cladocera (N, %)	<u>0.9</u> 0.3–1.2	<u>0.1</u> –	<u>7.3</u> 0–12.8
Биомасса, мг/м ³	<u>609.4</u> 62.1–1506.0	<u>162.7</u> –	<u>154.3</u> 112.5–206.9
Rotifera (B, %)	<u>20.8</u> 16.3–29.1	<u>8.4</u> –	<u>11.5</u> 2.2–27.4
Copepoda (B, %)	<u>78.2</u> 68.7–83.5	<u>89.1</u> –	<u>25.7</u> 15.8–40.8
Cladocera (B, %)	<u>1.0</u> 0.2–2.2	<u>2.5</u> –	<u>62.8</u> 31.9–79.1
Индекс Шеннона, бит/экз.	<u>2.9</u> 2.46–3.20	<u>1.7</u> –	<u>3.2</u> 2.61–3.55
Индекс Шеннона, бит/мг	<u>1.9</u> 1.34–2.62	<u>2.28</u> –	<u>2.1</u> 1.51–2.83

Примечание. В числителе — среднее арифметическое, в знаменателе — минимальное и максимальные значения; “–” — нет данных.

Note. The numerator contains the average, and the denominator contains the minimum and maximum values; “–” — not date.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о ряде особенностей сообществ зоопланктона, обитающих в районе колонии большого баклана в период гнездования. Изменения мы связываем с поступлением продуктов жизнедеятельности птиц. Известно, что с фекалиями (20–50 г в день) бакланы выделяют значительное количество химических веществ. Так, диапазон содержания азота и фосфора в продуктах жизнедеятельности баклана варьирует от 3.2–14.5 до 5.9–14% соответственно [Marion et al., 1994; Kameda et al., 2000; Klimaszuk et al., 2015]. Под гнездом одна птица ежедневно откладывает 4 г азота и 2.5 г фосфора [Klimaszuk, Rzymiski, 2016]. Нет сомнений, что эти вещества с поверхностным стоком

поступают в водоем, способствуя эвтрофированию [Крылов и др., 2012 (Krylov et al., 2012)]. Необходимо заметить, что исследованные водоемы, в том числе контрольный, характеризовались гипертрофными условиями, о чем свидетельствовало высокое видовое богатство коловраток, среди которых на контрольном участке и во втором пруду обнаружено 7 видов рода *Brachionus* (*B. angularis*, *B. bidentata*, *B. calyciflorus*, *B. diversicornis*, *B. leydigii*, *B. nilsoni*, *B. quadridentatus*), что характерно для высокопродуктивных вод.

При дополнительной нагрузке со стороны бакланов весной наблюдалось сокращение видового богатства зоопланктона, но в основном

за счет коловраток. Одновременно наблюдалась более низкая численность и высокая биомасса зоопланктона, а основу количественных характеристик составляли веслоногие ракообразные, в то время как на контрольном участке — коловратки. В июне в районе колонии численность зоопланктона была выше, а биомасса ниже, чем на контрольном участке, что мы связываем с более высокой степенью его зарастания макрофитами. Одновременно важно учесть сильное обмеление и сокращение площади пруда, и вполне вероятно, что влияние продуктов жизнедеятельности бакланов могло проявляться и на контрольном участке. Об этом свидетельствует высокая доля веслоногих ракообразных в общей биомассе зоопланктона, в то время во втором контрольном пруду преобладали ветвистоусые ракообразные. Однако на участке пруда, который наиболее приближен к колонии, влияние поступающих веществ было выражено сильнее, в результате чего возрастала численность зоопланктона, сокращалось число доминантов и снижалась величина индекса Шеннона, рассчитанного по численности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трофический статус исследованного рыбноводного пруда характеризовался гипертрофными условиями. На контрольном участке водоема в период наблюдения по численности и биомассе доминировали Rotifera. В районе колонии большого баклана ведущая роль по численности принадлежала Rotifera (в мае) и Copepoda (в июне), по биомассе — Copepoda (в оба месяца). Вероятно, поступление питательных веществ с экскрементами птиц способствовало увеличению азота, что отразилось на перестройке зоопланктонного сообщества, а при

В целом для исследуемого мелководного водоема, находящегося в условиях влияния гнездовой колонии большого баклана, отмечены сходные черты изменений зоопланктона с другими высокотрофными водоемами в условиях гуанотрофикации [Крылов и др., 2011 (Krylov et al., 2011)]. Так, в оз. Чистое (Ярославская обл.) также наблюдалось увеличение количественных показателей зоопланктона в начале вегетационного периода, снижение доли Rotifera и увеличение доли Copepoda в структуре сообщества. Повышение численности и биомассы веслоногих ракообразных мы связываем с высоким содержанием азота в экскрементах птиц [Крылов и др., 2011, 2012 (Krylov et al., 2011, 2012); Adhurya et al., 2021]. Увеличение количества азота в воде способствует повышению стехиометрического соотношения N/P в кормовых объектах зоопланктона до величин, благоприятных для развития Copepoda [Andersen, Hessen, 1991; Sterner, Schulz, 1998]. Результаты других исследователей показывают, что увеличению концентрации азота также могут способствовать травоядные птицы (гуси), а птицы-бентофаги (утки, чирки) влияют на различные параметры [Tóth et al., 2023].

обмелении водоема влияние биогенов могло распространиться и на контрольный участок.

Полученные данные — первый шаг в исследованиях последствий вторичной экспансии большого баклана на гидробиологический режим пресноводных экосистем. Для выявления закономерностей реакции сообществ гидробионтов необходимо проведение масштабных исследований с учетом морфометрического и трофического разнообразия водных объектов, особенностей побережий, а также численности самих птиц.

БЛАГОДАРНОСТИ

Искренне благодарим за помощь при сборе первичного материала Фролова В.В. (руководитель экспедиций Пензенского регионального отделения общероссийской общественной организации “Центр экологической политики и культуры”, г. Пенза, Россия).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания № 124032500016-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. СПб.: Наука, 1996. 186 с.
- Балушкина Е.В., Винберг Г.Г. Зависимость между массой и длиной тела у планктонных животных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: Зоологический институт АН СССР, 1979. С. 58–79.
- Елаев Э.Н., Ананин А.А., Доржиев Ц.З. и др. Большой баклан (*Phalacrocorax carbo*): экология, эволюция и мониторинг байкальской популяции. Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета имени Доржи Банзарова, 2024. 110 с.
- Коровчинский Н.М., Котов А.А., Синев А.Ю., Неретина А.Н., Гарибян П.Г. Ветвистоусые ракообразные (Crustacea: Cladocera) Северной Евразии. Т. II. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2021. 544 с.

- Крылов А.В., Кулаков Д.В., Чалова И.В., Папченков В.Г. Зоопланктон пресных водоемов в условиях влияния гидрофильных птиц. Ижевск: Издатель Пермиков С.А., 2012. 204 с.
- Крылов А.В., Кулаков Д.В., Папченков В.Г. Влияние колоний гидрофильных птиц на зоопланктон литоральной зоны водоемов разных типов // Экология. 2011. № 6. С. 467–473.
- Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР. Л.: Наука, 1970. 744 с.
- Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов / ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. М.: Наука, 1975. 240 с.
- Методы гидробиологических исследований внутренних вод / ред. А.В. Крылов. Ярославль: Филигрань, 2024. 592 с.
- Монченко В.І. Щелепнороти циклопоподібні. Циклопи (Cyclopidae). Фауна України. Т. 27, вып. 3. Киев: Наук. думка, 1974. 452 с. (На укр. яз.)
- Мягметс А.Х. Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л.: Наука, 1980. С. 54–64.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / ред. В.Р. Алексеев. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2010. 495 с.
- Стойко Т.Г., Мазей Ю.А., Сенкевич В.А. Планктонные коловратки пензенских водоемов: монография. Пенза: Изд-во ПГУ, 2016. 166 с.
- Фролов В.В., Анисимова Г.А., Ермаков О.А. Большой баклан *Phalacrocorax carbo* в Пензенской области // Русский орнитологический журнал. 2023. Т. 32. Экспресс-выпуск 2262. С. 97–100.
- Чуйков Ю.С. Особенности структуры биогеоценозов колониальных гнездовых веслоногих и голенастых птиц в дельте Волги // Русский орнитологический журнал. 2012. Т. 21. Экспресс-выпуск 776. С. 1659–1672.
- Чуйков Ю.С., Головкин А.Н. Влияние колониальных поселений больших бакланов на гидрохимический режим и зоопланктон водоемов дельты Волги // Природная среда и птицы побережий Каспийского моря и прилегающих низменностей. Баку, 1979. С. 220–231.
- Adhurya S., Das S., Ray S. Guantrophication by Waterbirds in Freshwater Lakes: A Review on Ecosystem Perspective. // Mathematical Analysis and Applications in Modeling (ed. by P. Debnath). Singapore: Springer, 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. Model. 2021. Vol. 445. P. 109495. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2021.109495.
- Andersen T., Hessen D.O. Carbon, nitrogen, and phosphorus content of freshwater zooplankton // Limnol. Oceanogr. 1991. Vol. 36. P. 807–814. DOI: 10.4319/lo.1991.36.4.0807.
- Bales M., Moss B., Phillips G. et al. 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. DOI: 10.1111/j.1365-2427.1993.tb00751.x.
- Brandvold D.K., Popp C.J., Brierley J.A. Waterfowl refuge effect on water quality: chemical and physical parameters // J. Water Pollut. Control Fed. 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. DOI: 10.1007/s10750-010-0166-2.
- Green A.J., Elmberg J. Ecosystem services provided by waterbirds // Biol. Rev. 2014. Vol. 28, № 1. P. 105–122. DOI: 10.1111/brev.12045.
- 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. DOI: 10.1080/07438148609354650.
- Kalinowska K., Napiórkowska-Krzebietke A., Bogacka-Kapusta E. et al. Algae–zooplankton relationships during the year-round cyanobacterial blooms in a shallow lake // Hydrobiologia. 2024. Vol. 851. P. 2025–2040. DOI: 10.1007/s10750-023-05435-9.
- Kameda K., Koba K., Yoshimizu C. et al. Nutrient flux from aquatic to terrestrial ecosystem mediated by Great Cormorant // Sylvia. 2000. Vol. 36. P. 54–55.
- Klimaszyk P., Piotrowicz R., Rzymiski P. Changes in the ecosystem of shallow softwater lake induced by the great cormorant roosting colony // J. Limnol. 2015. Vol. 74. P. 114–122. DOI: 10.4081/jlimnol.2014.1044.
- Klimaszyk P., Rzymiski P. The complexity of ecological impacts induced by great cormorants // Hydrobiologia. 2016. Vol. 771. P. 13–30. DOI: 10.1007/s10750-015-2618-1.
- Leentvaar P. Observations in guantrophic 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. DOI: 10.1007/978-94-011-1128-7_12.
- Marion L., Clergeau P., Briant L. et al. The importance of avian-contributed nitrogen (N) and phosphorus (P) to Lake Grand-Lieu, France // Hydrobiologia. 1994. Vol. 279–280. P. 133–147. DOI: 10.1007/BF00027848.
- Michelutti N., Keatley B.E., Brimble S. et al. Seabird-driven shifts in Arctic pond ecosystems // Proc. R. Soc. B. 2009. Vol. 276. P. 591–596. DOI: 10.1098/rspb.2008.1103.
- Moss B., Leah R.T. Changes in the ecosystem of a guantrophic and brackish shallow lake in eastern England: potential problems in its restoration // Int. Rev. Gesamten Hydrobiol. 1982. Vol. 67. P. 625–659.
- Nakamura M., Yabe T., Ishii Y. et al. Extreme eutrophication in a small pond adjacent to a forest colonized by great cormorant (*Phalacrocorax carbo*) // Jpn. J. Limnol. 2010a. Vol. 71. P. 19–26.
- Nakamura M., Yabe T., Ishii Y. et al. Seasonal changes of shallow aquatic ecosystems in a Bird Sanctuary pond // J. Water Environ. Technol. 2010b. Vol. 8. P. 393–401.

- Napiórkowska-Krzebietke A., Kalinowska K., Bogacka-Kapusta E. et al. Persistent blooms of filamentous cyanobacteria in a cormorant-affected aquatic ecosystem: Ecological indicators and consequences // *Ecol. Indic.* 2021. Vol. 124. P. 107421. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107421.
- Post D.M., Taylor J.P., Kitchel J.F. et al. The role of migratory waterfowl as nutrient vector in a managed wetland // *Conserv. Biol.* 1998. Vol. 12. P. 910–920. DOI: 10.1111/j.1523-1739.1998.97112.x.
- Ruttner-Kolisko A. Proposed formula for calculating body volume of planktonic rotifers. A review of some problems in zooplankton production studies // *J. Zool.* 1976. Vol. 24. P. 419–456.
- Scherer N.M., Gibbons H.L., Stoops K.B. et al. Phosphorus Loading of an Urban Lake by Bird Droppings // *Lake Reserv. Manag.* 1995. Vol. 11. P. 317–327. DOI: 10.1080/07438149509354213.
- Shannon C.E., Weaver W.W. *The Mathematical Theory of Communications*. Urbana: University of Illinois Press, 1963. 117 p.
- Stern R.W., Schulz K.L. Zooplankton nutrition: recent progress and a reality check // *Aquat. Ecol.* 1998. Vol. 32. P. 261–279.
- Tóth P., Tarcay B.L., Kovács Z. et al. Assessment of the correlation between the nutrient load from migratory bird excrement and water quality by principal component analysis in a freshwater habitat. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2023. Vol. 30. P. 66033–66049. DOI: 10.1007/s11356-023-27065-3.
- van Geest G.J., Hessen D.O., Spierenburg P. et al. Goose-mediated nutrient enrichment and planktonic grazer control in arctic freshwater ponds // *Oecologia*. 2007. Vol. 153. P. 653–662. DOI: 10.1007/s00442-007-0770-7.

REFERENCES

- Adhurya S., Das S., Ray S. Guantrophication by Waterbirds in Freshwater Lakes: A Review on Ecosystem Perspective. *Mathematical Analysis and Applications in Modeling* (ed. by P. Debnath). Singapore, Springer, 2020, pp. 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. Model.*, 2021, vol. 445, 109495. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2021.109495.
- Andersen T., Hessen D.O. Carbon, nitrogen, and phosphorus content of freshwater zooplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 1991, vol. 36, pp. 807–814. doi: 10.4319/lo.1991.36.4.0807.
- Andronikova I.N. Strukturno-funktsional'naya organizatsiya zooplanktona ozernykh ekosistem [Structural and Functional Organization of Zooplankton in Lacustrine Ecosystems]. St. Petersburg, Nauka, 1996. 186 p. (In Russia)
- Bales M., Moss B., Phillips G. et al. 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, pp. 141–165. doi: 10.1111/j.1365-2427.1993.tb00751.x.
- Balushkina E.V., Vinberg G.G. Zavisimost' mezhdu dlinoy i massoy tela planktonnykh rakoobraznykh [The relationship between the length and body mass planktonic crustaceans]. *Experimental and Field Studies of the Biological Bases of the Productivity of Lakes*. Leningrad, Zoologicheskii Institut AN SSSR, 1979, pp. 58–72. (In Russia)
- Brandvold D.K., Popp C.J., Brierley J.A. Waterfowl refuge effect on water quality: chemical and physical parameters. *J. Water Pollut. Control Fed.*, 1976, vol. 48, pp. 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, pp. 111–121. doi: 10.1007/s10750-010-0166-2.
- Chuikov Yu.S. Features of the structure of ecosystems within nesting colonies of Pelecaniformes and Ciconiiformes in the Volga delta. *Russ. Ornithol. J.*, 2012, vol. 21(776), pp. 1659–1672. (In Russia)
- Chuikov Yu.S., Golovkin A.N. Vliyaniye kolonial'nykh poseleniy bol'shikh baklanov na gidrokhimicheskiy rezhim i zooplankton vodoyomov del'ty Volgi [The influence of colonial settlements of large cormorants on the hydrochemical regime and zooplankton of the Volga Delta reservoirs]. *Natural Environment and Birds of the Caspian Sea Coasts and Adjacent Lowlands*. Baku, 1979, pp. 220–231. (In Russia)
- Frolov V.V., Anisimova G.A., Ermakov O.A. Bolshoy baklan *Phalacrocorax carbo* v Penzenskoy oblasti [The great cormorant *Phalacrocorax carbo* in the Penza oblast]. *Russ. Ornithol. J.*, 2023, vol. 32(2262), pp. 97–100. (In Russia)
- Green A.J., Elmberg J. Ecosystem services provided by waterbirds. *Biol. Rev.*, 2014, vol. 28, no. 1, pp. 105–122. doi: 10.1111/brev.12045.
- 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, pp. 319–322. doi: 10.1080/07438148609354650.
- Kalinowska K., Napiórkowska-Krzebietke A., Bogacka-Kapusta E. et al. Algae–zooplankton relationships during the year-round cyanobacterial blooms in a shallow lake. *Hydrobiologia*, 2024, vol. 851, pp. 2025–2040. doi: 10.1007/s10750-023-05435-9.
- Kameda K., Koba K., Yoshimizu C. et al. Nutrient flux from aquatic to terrestrial ecosystem mediated by Great Cormorant. *Sylvia*, 2000, vol. 36, pp. 54–55.
- Klimaszyk P., Piotrowicz R., Rzymiski P. Changes in the ecosystem of shallow softwater lake induced by the great cormorant roosting colony. *J. Limnol.*, 2015, vol. 74, pp. 114–122. doi: 10.4081/jlimnol.2014.1044.
- Klimaszyk P., Rzymiski P. The complexity of ecological impacts induced by great cormorants. *Hydrobiologia*, 2016, vol. 771, pp. 13–30. doi: 10.1007/s10750-015-2618-1.
- Korovchinsky N.M., Kotov A.A., Sinev A.Yu. et al. Vetvistousyye rakoobraznyye (Crustacea: Cladocera) Severnoy Yevrazii [Branchious Crustaceans (Crustacea: Cladocera) of Northern Eurasia]. Vol. II. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2021. 544 p. (In Russia)

- Krylov A.V., Kulakov D.V., Chalova I.V. et al. Zooplankton presnykh vodoyemov v usloviyakh vliyaniya gidrofil'nykh ptits [Zooplankton of Freshwater Reservoirs under the Influence of Hydrophilic Birds]. Izhevsk, Publisher Permyakov S.A., 2012. 204 p. (In Russia)
- 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. *Russ. J. Ecol.*, 2011, vol. 42, no. 6, pp. 518–524. (In Russia)
- Kutikova L.A. Kolovratki fauny SSSR [Rotifers of the USSR Fauna]. Leningrad, Nauka, 1970. 744 p. (In Russia)
- Leentvaar P. Observations in guantrophic environments. *Hydrobiologia*, 1967, vol. 29, pp. 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, pp. 121–132. doi: 10.1007/978-94-011-1128-7_12.
- Marion L., Clergeau P., Briant L. et al. The importance of avian-contributed nitrogen (N) and phosphorus (P) to Lake Grand-Lieu, France. *Hydrobiologia*, 1994, vol. 279–280, pp. 133–147. doi: 10.1007/BF00027848.
- Metodika izucheniya biogeotsenozov vnutrennikh vodoyemov [Methodology for Studying Biogeocenoses of Inland Water Bodies] (ed. by F.D. Mordukhai-Boltovskiy). Moscow, Nauka, 1975. 240 p. (In Russia)
- Metody gidrobiologicheskikh issledovaniy vnutrennikh vod [Methods of Hydrobiological Studies of Inland Waters] (ed. by A.V. Krylov). Yaroslavl, Filigran', 2024. 592 p. (In Russia)
- Myaemets A.Kh. Izmeneniya zooplanktona [Changes in zooplankton]. *Anthropogenic Impact on Small Lakes*. Leningrad, Nauka, 1980, pp. 54–64. (In Russia)
- Michelutti N., Keatley B.E., Brimble S. et al. Seabird-driven shifts in Arctic pond ecosystems. *Proc. R. Soc. B*, 2009, vol. 276, pp. 591–596. doi: 10.1098/rspb.2008.1103.
- Monchenko V.I. Shchelepnoroti tsyklopodibni. Tsyklopy (Cyclopidae) [Jaw-Cyclopoids (Cyclopidae)]. Kyev, Naukova dumka, 1974. 452 p. (In Ukraine)
- Moss B., Leah R.T. Changes in the ecosystem of a guantrophic and brackish shallow lake in eastern England: potential problems in its restoration. *Int. Rev. Gesamten Hydrobiol.*, 1982, vol. 67, pp. 625–659.
- Nakamura M., Yabe T., Ishii Y. et al. Extreme eutrophication in a small pond adjacent to a forest colonized by great cormorant (*Phalacrocorax carbo*). *Jpn. J. Limnol.*, 2010a, vol. 71, pp. 19–26.
- Nakamura M., Yabe T., Ishii Y. et al. Seasonal changes of shallow aquatic ecosystems in a Bird Sanctuary pond. *J. Water Environ. Technol.*, 2010b, vol. 8, pp. 393–401.
- Napiórkowska-Krzebietke A., Kalinowska K., Bogacka-Kapusta E. et al. Persistent blooms of filamentous cyanobacteria in a cormorant-affected aquatic ecosystem: Ecological indicators and consequences. *Ecol. Indic.*, 2021, vol. 124, p. 107421. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107421.
- Oprelidel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod yevropeyskoy Rossii. Zooplankton [Guide to Identifying Zooplankton and Zoobenthos of Fresh Water in European Russia. Zooplankton]. Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010. 495 p. (In Russia)
- Post D.M., Taylor J.P., Kitchel J.F. et al. The role of migratory waterfowl as nutrient vector in a managed wetland. *Conserv. Biol.*, 1998, vol. 12, pp. 910–920. doi: 10.1111/j.1523-1739.1998.97112.x.
- Ruttner-Kolisko A. Proposed formula for calculating body volume of planktonic rotifers. A review of some problems in zooplankton production studies. *J. Zool.*, 1976, vol. 24, pp. 419–456.
- Scherer N.M., Gibbons H.L., Stoops K.B. et al. Phosphorus Loading of an Urban Lake by Bird Droppings. *Lake Reserv. Manag.*, 1995, vol. 11, pp. 317–327. doi: 10.1080/07438149509354213.
- Shannon C.E., Weaver W.W. The Mathematical Theory of Communications. Urbana, University of Illinois Press, 1963. 117 p.
- Sterner R.W., Schulz K.L. Zooplankton nutrition: recent progress and a reality check. *Aquat. Ecol.*, 1998, vol. 32, pp. 261–279.
- Stoiko T.G., Mazey Yu.A., Senkevich V.A. Planktonnyye kolovratki penzenskikh vodoyemov [Planktonic Rotifers of Penza Reservoirs]. Penza, Izd-vo PGU, 2016. 166 p. (In Russia)
- Tóth P., Tarsay B.L., Kovács Z. et al. Assessment of the correlation between the nutrient load from migratory bird excrement and water quality by principal component analysis in a freshwater habitat. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2023, vol. 30, pp. 66033–66049. doi: 10.1007/s11356-023-27065-3.
- van Geest G.J., Hessen D.O., Spierenburg P. et al. Goose-mediated nutrient enrichment and planktonic grazer control in arctic freshwater ponds. *Oecologia*, 2007, vol. 153, pp. 653–662. doi: 10.1007/s00442-007-0770-7.
- Yelaev E.N., Ananin A.A., Dorzhiev Ts.Z. et al. Bol'shoy baklan (*Phalacrocorax carbo*): ekologiya, evolyutsiya i monitoring baykal'skoy populyatsii [Great Cormorant (*Phalacrocorax carbo*): Ecology, Evolution and Monitoring of the Baikal Population]. Ulan-Ude, Izdatel'stvo Buryatskogo gosuniversiteta im. Dorzhi Banzarova, 2024. 110 p. (In Russia)

ZOOPLANKTON OF A SHALLOW POND UNDER THE INFLUENCE OF A COLONY OF THE GREAT CORMORANT *PHALACROCORAX CARBO SINENSIS* (BLUMENBACH, 1798)

S. Yu. Arashin*, V. V. Osipov, I. V. Chalova, A. V. Krylov

Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences
152742 Borok, Russia, e-mail: *ar.serg@rambler.ru

Revised 25.03.2026

This study is dedicated to zooplankton of a shallow-water fish pond in the Penza region under the influence of great cormorant *Phalacrocorax carbo sinensis* (Blumenbach, 1798). In May, a larger number of zooplankton

species were found in the control area of the pond (50) compared to the bird area (35). The pond was characterized by hypertrophic conditions, but the value of the trophic coefficient in the control was lower than in the cormorant area (28 and 40, respectively). The average abundance of zooplankton was higher in the control area; the biomass was lower in the cormorant area. Rotifera were dominated in the control, juvenile Cyclopoida and Rotifera were dominated in the bird area. In June, were found 21–22 species of zooplankton. The pond was still characterized by hypertrophic conditions, and the values of the trophic coefficient ranged from 23.8 in the cormorant's zone of influence to 54.0 in the control area. The maximum zooplankton abundance was observed in the area affected by birds, while high biomass values were observed in control area. Rotifera were a dominated taxonomic group of zooplankton in control area, and Copepoda were dominated in the cormorant area. This pond showed the bigger list of zooplankton species (42) compared to the first pond, Rotifera and Copepoda prevailed among the dominant organisms in terms of abundance, and Cladocera prevailed in terms of biomass.

Keywords: zooplankton, great cormorant, guantrophication, bioindication