

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



ИБВВ РАН



Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

ВЫПУСК 114(117)

2026

АПРЕЛЬ – ИЮНЬ

Выходит 4 раза в год

п. Борок

2026

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES



IBIW RAS



Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS

ISSUE 114(117)

2026

APRIL – JUNE

The journal is published quarterly

Borok

2026

Редакционная коллегия:

С. А. Поддубный (гл. редактор), д.г.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия
А. В. Крылов (зам. гл. редактора), д.б.н., чл.-кор. РАН, проф., ИБВВ РАН, Борок, Россия
А. А. Бобров, к.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия
Б. К. Габриелян, д.б.н., проф., НАН РА НЦ ЗГЭ, Ереван, Армения
Ю. В. Герасимов, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия
А. Н. Дзюбан, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия
Хай Доан Нё, д.ф., Институт океанографии, ВАНТ, Нячанг, Вьетнам
В. Т. Комов, д.б.н., проф., ИБВВ РАН, Борок, Россия

В. И. Лазарева, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия
Н. М. Минеева, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия
Лам Нгуен Нгок, д.ф., проф., Институт океанографии, ВАНТ, Нячанг, Вьетнам
К. Робинсон, д.ф., EAWAG, Цюрих, Швейцария
В. П. Семенченко, д.б.н., чл.-кор. НППЦ НАН по биоресурсам, Минск, Беларусь
И. Л. Голованова, д.б.н., ИБВВ РАН, Борок, Россия
Ю. С. Даценко, д.г.н., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
М. М. Трофимчук, к.б.н., Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, Россия

Ответственный редактор: **А. В. Крылов**

Ответственный секретарь: **А. А. Сажнева**

ISSN 0320-3557 Print
ISSN 2712-8377 Online

Учредитель (адрес): Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук (152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, д. 109, ИБВВ РАН; Телефон/факс: (48547)24042; e-mail: adm@ibiw.ru).

Издатель (адрес): Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук (152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, п. Борок, д. 109, ИБВВ РАН; Телефон/факс: (48547)24042; e-mail: adm@ibiw.ru).

Адрес редакции: 152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н,
ИБВВ РАН
тел./факс (48547) 2-48-09; e-mail: trud@ibiw.ru

Editorial board:

S. A. Poddubny (editor), Dr. of geogr., IBIW RAS, Borok, Russia
A. V. Krylov (deputy editor), Dr. of biol., corr. member RAS, prof., IBIW RAS, Borok, Russia
A. A. Bobrov, PhD., IBIW RAS, Borok, Russia
Hai Doan Nhu, PhD., Institute of Oceanography, VAST, Nha Trang, Vietnam
A. N. Dzuban, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
B. K. Gabrielyan, Dr. of biol., prof., SC ZHE NAS RA, Yerevan, Armenia
Yu. V. Gerasimov, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
V. T. Komov, Dr. of biol., prof., IBIW RAS, Borok, Russia
V. I. Lazareva, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia

N. M. Mineeva, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
Lam Nguyen Ngoc, PhD., prof., Institute of Oceanography, VAST, Nha Trang, Vietnam
C. Robinson, PhD., EAWAG, Zurich, Switzerland
V. P. Semenchko, Dr. of biol., corr. member NASB, Minsk, Belar
I. L. Golovanova, Dr. of biol., IBIW RAS, Borok, Russia
Y. S. Datsenko, Dr. of geogr., Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
M. M. Trofimchuk, Ph.D., Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don, Russia

Editor-in-chief of the volume: **A. V. Krylov**

Coordinating editor: **A. A. Sazhneva**

ISSN 0320-3557 Print
ISSN 2712-8377 Online

Founder (address): Federal State Budgetary Scientific Institution, the Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences (152742, Yaroslavl oblast, Nekouz region, Borok, 109, IBIW RAS;
Phone/fax: (48547)24042; *e-mail:* adm@ibiw.ru).

Publisher (address): Federal State Budgetary Scientific Institution, the Papanin Institute for Biology of Inland Waters of the Russian Academy of Sciences (152742, Yaroslavl oblast, Nekouz region, Borok, 109, IBIW RAS;
Phone/fax: (48547)24042; *e-mail:* adm@ibiw.ru).

Editorial address: 152742, Borok, Yaroslavl region, Nekouz district,
IBIW RAS
tel./fax (48547) 2-48-09; *e-mail:* trud@ibiw.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Водная флора и фауна

А. Н. Шаров

МАССОВОЕ РАЗВИТИЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ <i>GLOEOTRICHIA ECHINULATA</i> В ОЗЕРЕ ПЛЕЩЕЕВО: ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ	7
---	---

Зоопланктон, зообентос, зооперифитон

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

ЗООПЛАНКТОН МЕЛКОВОДНОГО ПРУДА В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ КОЛОНИИ БОЛЬШОГО БАКЛАНА <i>PHALACROCORAX CARBO SINENSIS</i> (BLUMENBACH, 1798) ..	19
---	----

I. V. Pozdeev

PSAMMORHEOPHILIC BENTHIC MACROINVERTEBRATES OF VISHERA RIVER (KAMA RIVER BASIN, RUSSIA)	29
--	----

Паразитология

А. Е. Жохов, М. Н. Пугачева

МОРФОЛОГИЯ И ВСТРЕЧАЕМОСТЬ <i>ASPIDOGASTER AFRICANUS</i> (TREMATODA: <i>ASPIDOGASTREA</i>) У РЫБ РОДА <i>LABEOBARBUS</i> В ОЗЕРЕ ТАНА (ЭФИОПИЯ)	41
---	----

Экологическая физиология и биохимия гидробионтов

В. В. Крылов, Д. А. Сизов, А. А. Сизова

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С РАЗНОЙ АМПЛИТУДОЙ НА ТЕМПЫ РОСТА ЮВЕНИЛЬНЫХ ОСОБЕЙ <i>DAPHNIA MAGNA</i>	50
---	----

С. В. Кузьмичева, Д. В. Микряков

УРОВЕНЬ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И ОБЩИХ ЛИПИДОВ В ИММУНОКОМПЕТЕНТНЫХ ОРГАНАХ ЛЕЩА (<i>ABRAMIS BRAMA</i>) ВОДОХРАНИЛИЩ СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ВОЛГИ	58
--	----

Памяти наших коллег

К 105-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ НИНЫ АЛЕКСЕЕВНЫ ИЗЮМОВОЙ	69
--	----

CONTENTS

Aquatic Flora and Fauna

A. N. Sharov

CYANOBACTERIUM <i>GLOEOTRICHIA ECHINULATA</i> BLOOM IN LAKE PLESHCHEYEVO: CAUSES AND CONSEQUENCES	7
---	---

Zooplankton, Zoobenthos, Zooperiphyton

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

ZOOPLANKTON OF A SHALLOW POND UNDER THE INFLUENCE OF A COLONY OF THE GREAT CORMORANT <i>PHALACROCORAX CARBO SINENSIS</i> (BLUMENBACH, 1798)	19
---	----

I. V. Pozdeev

PSAMMORHEOPHILIC BENTHIC MACROINVERTEBRATES OF VISHERA RIVER (KAMA RIVER BASIN, RUSSIA)	29
---	----

Parasitology

A. E. Zhokhov, M. N. Pugacheva

MORPHOLOGY AND OCCURRENCE OF <i>ASPIDOGASTER AFRICANUS</i> (TREMATODA: ASPIDOGASTREA) IN FISH OF THE GENUS <i>LABEOBARBUS</i> FROM TANA LAKE (ETHIOPIA)	41
---	----

Ecological Physiology and Biochemistry of Hydrobionts

V. V. Krylov, D. A. Sizov, A. A. Sizova

EFFECTS OF ALTERNATING MAGNETIC FIELDS WITH DIFFERENT AMPLITUDES ON THE GROWTH RATE OF JUVENILE <i>DAPHNIA MAGNA</i>	50
--	----

S. V. Kuzmicheva, D. V. Mikryakov

THE LEVEL OF OXIDATIVE PROCESSES AND TOTAL LIPIDS IN THE IMMUNOCOMPETENT ORGANS OF THE BREAM (<i>ABRAMIS BRAMA</i>) RESERVOIRS OF THE MIDDLE AND LOWER VOLGA	58
--	----

In memory of our colleagues

ON THE 105TH ANNIVERSARY OF NINA ALEKSEEVNA IZYUMOVA'S BIRTH	69
--	----

Водная флора и фауна

УДК 574.5

МАССОВОЕ РАЗВИТИЕ ЦИАНОБАКТЕРИИ *GLOEOTRICHIA ECHINULATA* В ОЗЕРЕ ПЛЕЩЕЕВО: ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ

А. Н. Шаров*

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

152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: *sharov@ibiw.ru

Поступила в редакцию 27.03.2026

В статье представлен обзор публикаций, посвященных экологии и динамике “цветения” цианобактерии *Gloeotrichia echinulata* (J.E. Smith) P. Richter в олиготрофных и мезотрофных озерах. На примере оз. Плещеево обобщены многолетние (за последние 100 лет) данные по составу и продуктивности фитопланктона. Показано, что с 2017 г. в озере ежегодно наблюдаются вспышки вегетации *G. echinulata*, вызывающие интенсивное “цветение” воды. Массовое развитие этого вида обусловлено сочетанием антропогенной эвтрофикации (повышение фосфорной нагрузки за счет стоков с водосбора), климатического потепления и гидрологической изоляции озера. Особое внимание уделено механизму обратной связи: *G. echinulata* не только реагирует на повышение содержания фосфора, но и активно мобилизует его из донных отложений, усиливая эвтрофикацию и создавая условия для собственного доминирования. Обсуждаются экологические последствия: угроза для популяции эндемичной переславской ряпушки (*Coregonus albula*), стимуляция развития сопутствующих токсичных цианобактерий и ухудшение качества воды, что создает риски для водоснабжения г. Переславля-Залесского.

Ключевые слова: глеотрихия, “цветение” воды, фитопланктон, цианотоксины, качество вод.

DOI: 10.47021/0320-3557-2026-114-7-18

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря многочисленным адаптациям, например, более высокому температурному оптимуму по сравнению с другими группами фитопланктона [Paerl, Huisman, 2008], цианобактерии лучше развиваются в меняющемся мире и при таких явлениях, как глобальное потепление, волны жары и эвтрофикация [O'neil et al., 2012; Korneva, Glushenko, 2020]. Размножаясь в больших количествах, цианобактерии создают явления, называемые “цветением” воды, которые влияют на многие аспекты водных экосистем, воздействуя на процессы, протекающие в организмах, обитающих в этих местообитаниях [Havens, 2008; Zaytseva, Medvedeva, 2022]. Особенно уязвимой группой для цветения цианобактерий является зоопланктон, который неразрывно связан с фитопланктоном.

На планктонных животных присутствие цианобактерий может влиять различными способами [Ger et al., 2016]. Считается, что цветение цианобактерий является стрессовым фактором, вызывающим снижение биоразнообразия в водных экосистемах из-за многочисленных ингибирующих воздействий на зоопланктон [Paerl and Otten, 2013], таких как, например, выработка токсинов [Tillmanns et al., 2008] или ухудшение питательной ценности [Wilson et al., 2006]. Большие колонии или длинные трихомы затрудняют питание животных и могут вызывать механические повреждения пищевого аппарата [Wejnerowski et al., 2015].

Одним из видов цианобактерий, способных существенно влиять на озерные экосистемы, является колониальная азотфиксирующая *Gloeotrichia echinulata* (J.E. Smith) P. Richter [Carey et al., 2008]. Довольно большое количество работ показывает, что ее массовое развитие может быть важной силой, структурирующей сообщество [Bruno et al., 2003; Noges et al., 2004; Suikkanen et al., 2005; Halpern et al., 2007; Carey et al., 2017]. *G. echinulata* может усиливать эвтрофикацию, особенно в олиготрофных озерах, где эта цианобактерия недавно начала активно размножаться [Carey, Rengefors, 2010].

Хотя *G. echinulata* исторически наблюдалась в мезоэвтрофных и эвтрофных озерах [Karlsson-Elfgren et al., 2003], в последнее время ее цветение было обнаружено в олиго- и мезотрофных озерах, где ранее не было зафиксировано массовое развитие *G. echinulata* [Carey et al., 2008; Carey et al., 2009]. По крайней мере, в некоторых из этих озер с низким содержанием питательных веществ цветение *G. echinulata* достаточно плотное, чтобы вызвать проблемы в управлении озерами [Carey et al., 2008]. Таким образом, понимание факторов, позволяющих *G. echinulata* доминировать в планктонных сообществах, представляет экологический интерес и важно для управления озерами как в олиготрофных, так и в эвтрофных озерах.

Цель работы — обобщение литературных данных о развитии цианобактерии *Gloeotrichia echinulata* в олиготрофных и мезотрофных

озерах для прогноза изменений экосистемы оз. Плещеево и разработки рекомендаций по ее

сохранению и восстановлению после вселения глеотрихии щетинистой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Плещеево озеро расположено на юго-западе Ярославской области России. Входит в состав национального парка “Плещеево озеро”. Площадь озера — 51.8 км², наибольшая длина 9.5 км, максимальная ширина 6.5 км. Озеро имеет округлую форму, берега ровные, низменные, заболоченные (рис. 1). Максимальная глубина — до 25 м, средняя — 11 м. Объем воды — 0.58 км³, площадь водосборного бассейна —

436 км². Возраст оз. Плещеево около 30 тыс. лет. Оно образовалось после отступления континентальных ледников. Это подтверждается самим положением озера на границе ледниковой морены и древних аллювиальных наносов. Древний водоем был гораздо крупнее нынешнего. Его прежние границы заметны как возвышенная кайма на восточной и южной стороне озера [Экосистема..., 1989 (Ekosistema..., 1989)].



Рис. 1. Космический снимок оз. Плещеево 30 сентября 2024 г. (снимок сделан с использованием Информационной системы “Вега-Гидро” <http://hydro.geosmis.ru/>).

Fig. 1. Satellite image of Lake Pleshcheyevo on September 30, 2024 (the image was taken using the Vega-Hydro Information System <http://hydro.geosmis.ru/>).

Данная работа основана на анализе литературных источников о *G. echinulata* в различных водоемах мира, немногочисленных публикаций по оз. Плещеево и результатах собственных исследований автора в 2020–2026 гг.

Озеро Плещеево — димиктический водоем с весенней и осенней гомотермией, и ярко выраженной температурной стратификацией в летний период [Поддубный и др., 2020 (Poddubniy et al., 2020)]. Крупномасштабные комплексные изучения состояния экосистемы оз. Плещеево были выполнены сотрудниками

ИБВВ РАН в конце 1970-х–начале 1980-х гг. Наряду с всесторонними гидробиологическими и ихтиологическими исследованиями, большое внимание уделялось изучению абиотических факторов среды и, в первую очередь, закономерностям формирования термического режима и структуры течений в озере [Экосистема..., 1989 (Ekosistema..., 1989)].

Следующий этап был связан исследованиями по теме “Комплексное исследование экосистемы оз. Плещеево” 2013–2017 гг. при финансовой поддержке Национального

парка “Плещеево озеро”. На основании опубликованных данных, архивных материалов и результатов оригинальных исследований выявлен ряд изменений, которые произошли в растительном покрове оз. Плещеево с 1899 по 2017 гг. Изучены основные характеристики макробентоса биоценоза *Dreissena polymorpha*. Проанализированы особенности размерно-возрастной и половой структур популяции переславской ряпушки, а также ее плодовитость, темп роста и морфологические признаки двух филогенетических линий ряпушки (Е и ALBP2). Также представлены сведения о фауне паразитов, сезонной динамике основных гематологических показателей, суточном ритме питания переславской ряпушки. Рассматриваются особенности формирования термической стратификации и динамические процессы в оз. Плещеево в вегетационный период.

Исследования 2020-х гг. связаны с анализом и оценкой состояния экосистемы оз. Плещеево как уникального природного объекта, места обитания европейской ряпушки; и разработкой мероприятий по восстановлению популяции Переславской ряпушки; с оценкой

причин и последствий “цветения” воды цианобактерией из рода *Gloeotrichia*.

Озеро Плещеево — источник питьевого водоснабжения г. Переславль-Залесский относится и объект особой охраны национального парка, место обитания переславской ряпушки, которая является эндемиком озера и занесена в Красную книгу РФ. В последние годы состояние экосистемы озера ухудшается. В 2022–2023 гг. по качеству воды оз. Плещеево переходило из категории “слабо загрязненная” в категорию “загрязненная”. В 2024 г. в связи с многоводностью года качество воды вернулось в категорию “слабо загрязненная”. По мнению специалистов национального парка “Плещеево озеро”, одна из причин ухудшения качества воды — активная застройка в последние годы водосборных бассейнов притоков озера. Согласно программе комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры Переславля-Залесского до 2040 г. (утверждена 23.12.2022 №ПОС.03-2869/22), водоотведением обеспечено лишь 57% городского жилищного фонда. Согласно той же программе, городские канализационные коллекторы и сети изношены на 90%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение фитопланктона оз. Плещеево проводилось с 1920–1930-х гг. [Борисов, 1924 (Borisov, 1924); Кастальская-Карзинкина, 1934 (Kastal'skaya-Karzinkina, 1934)]. Более обстоятельные исследования велись Институтом биологии внутренних вод в 1960–80-е гг. [Ильинский, 1970 (Il'inskiy, 1970); Балонов, 1981 (Balonov, 1981); Экосистема..., 1989 (Ekosistema..., 1989)]. С тех пор и до 2014 г. комплексных работ на озере не было. О состоянии фитопланктона водоема имелись лишь отрывочные данные [Костина, 1992 (Kostina, 1992); Ляшенко, 2003 (Lyashenko, 2003); Lyashenko, 2004].

В 2014–2016 гг. биомасса и состав фитопланктона не отличались от таковых в предыдущие годы исследования [Экосистема..., 1989 (Ekosistema..., 1989); Костина, 1992 (Kostina, 1992); Сахарова, 2019 (Sakharova, 2019)] и были свойственны мезотрофным водоемам умеренной зоны [Трифанова, 1990 (Trifanova, 1990)]. При установлении устойчивой температурной стратификации в июле наблюдался пик биомассы фитопланктона за счет динофитовых (*Ceratium hirundinella* (O.F.Müller) Dujardin) и диатомовых (*Asterionella formosa* Hassall, *Fragilaria crotonensis* Kitton) водорослей. Цианопрокариоты (*Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Dolichospermum* spp.) доминировали в поверхностном слое воды.

При этом биомасса фитопланктона в июле в отдельные годы могла достигать 70 мг/л за счет крупных динофлагеллят [Экосистема..., 1989 (Ekosistema..., 1989)].

В составе фитопланктона оз. Плещеева было обнаружено 185 таксонов рангом ниже рода: Cyanoprokaryota 16, Chrysophyta 16, Bacillariophyta 42, Xanthophyta 5, Cryptophyta 7, Dinophyta 5, Chlorophyta 83, Euglenophyta 11 [Сахарова, 2019 (Sakharova, 2019)]. Средняя за вегетационный сезон биомасса фитопланктона оз. Плещеево в 2014 г. составила 1 мг/л, в 2015 г. — 2.62 мг/л, что позволило отнести озеро к водоемам мезотрофного типа [Китаев, 2007 (Kitaev, 2007)]. Полученные величины рассматриваемого показателя не превышали значений, отмеченных ранее. В 1983 г. средняя биомасса фитопланктона за безледный период составила 2.32 мг/л [Экосистема..., 1989 (Ekosistema..., 1989)], а в 1990-е годы зарегистрировано некоторое снижение величин этого показателя и в 1990 г. он не превышал 1 мг/л [Пырина, Ляшенко, 1992 (Pirina, Lyashenko, 1992)]. Такие колебания в значениях средневегетационной биомассы фитопланктона можно считать незначительными. Однако в структуре фитопланктона по сравнению с 1980 и 1990 гг. произошли некоторые изменения. Отмечено увеличение роли криптофитовых водорослей в озере [Сахарова, 2019 (Sakharova, 2019)].

По результатам исследований 2014–2016 гг. экологическое состояние озера по показателям фитопланктона было удовлетворительным, оно характеризовалось как стабильно мезотрофное, олиго-бета-мезосапробное с невысокими биомассами цианобактерий [Сахарова, 2019 (Sakharova, 2019)]. Однако, начиная с 2017 г., в оз. Плещеево ежегодно наблюдают “цветения” воды, вызванные вспышками вегетации *G. echinulata*, и локальные заморы рыбы [Sidelev et al., 2024]. Ранее подобное явление для озера не отмечали [Экосистема..., 1989 (Ekosistema..., 1989); Костина, 1992 (Kostina,

1992); Сахарова, 2019 (Sakharova, 2019)]; Sidelev, Babanazarova, 2020].

Массовое “цветение” воды наблюдалось ежегодно в конце лета по всей акватории водоема (рис. 2). Связано это, видимо, с глобальными климатическими изменениями: высокие уровни воды в озере могли задействовать покоящиеся жизненные стадии; рост поверхностной и глубинной температуры озер; увеличение продолжительности летней стратификации и усиление придонной аноксии; увеличение количества аномальных ветров, приводящих к летней дестратификации.



Рис. 2. Космический снимок оз. Плещеево 9 сентября 2024 г. в момент активного “цветения” воды. (снимок сделан с использованием Информационной системы “Вега-Гидро” <http://hydro.geosmis.ru/>).

Fig. 2. Satellite image of Lake Pleshcheyevo on September 9, 2024, during the water bloom. (The image was taken using the Vega-Hydro Information System <http://hydro.geosmis.ru/>).

G. echinulata — крупная (диаметром 1–3 мм) нитевидная цианобактерия (рис. 3), образующая поверхностные пленки летом и способная продуцирующая гепатотоксин микроцистин-LR [Carey et al., 2007]. *G. echinulata* образует акинеты, имеет как пелагическую, так и бентосную фазы. После прорастания акинеты следует короткая фаза роста на осадке, после чего нити образуют газовые вакуоли и мигрируют в воду. Во время роста на поверхности осадка проростки поглощают питательные вещества. Эти питательные вещества используются в пелагической фазе, поскольку

пелагические колонии не обладают очень эффективным поглощением питательных веществ [Karlsson, 2003]. Истощение запасов фосфора ограничивает продолжительность планктонной фазы 15–20 сут. в “оптимальных” условиях роста. Наиболее важным фактором потерь из эпилимниона, по-видимому, является дрейф по поверхности, вызванный ветром. Массовое пополнение богатых фосфором бентосных колоний составляет две трети от общей чистой внутренней нагрузки фосфора (3.8 мг Р/м² в сут.) наблюдается в период с середины июля по середину августа [Istvánovics et al., 1993].

G. echinulata может быть видом, активно взаимодействующим с другими организмами в озерах с низким содержанием питательных веществ, и потенциально способным повысить устойчивость сообществ фитопланктона к будущим нарушениям за счет повышения стабильности состава и сложности сети [Carey et al., 2017]. *G. echinulata* могут выделять питательные вещества, такие как запасенный фосфор [Noges et al., 2004; Carey et al., 2008] или фиксированный азот [Stewart et al., 1967]. Цианобактерии продуцируют множество биологически активных вторичных метаболитов [Gross, 2003; Legrand et al., 2003], которые фитопланктон, возможно, научился распознавать и использовать для собственного метаболизма [Suikkanen et al., 2004]. Многие виды фитопланктона способны использовать растворенные органические соединения [Sanders et al., 1990; Tittel, Kamjunke, 2004]. *G. echinulata*, подобно другим цианобактериям, могут продуцировать антибактериальные или противогрибковые соединения, полезные для других видов фитопланктона [Legrand et al., 2003].



Рис. 3. Колония цианобактерии *Gloeotrichia echinulata* (фото А.С. Семеновой).

Fig. 3. Colony of *Gloeotrichia echinulata* (photo by A.S. Semenova).

В 2024 г. впервые получены данные о цианобактериальных токсинах и генах их биосинтеза в фитопланктоне мезотрофного оз. Плещеево в период “цветения” воды цианобактерией *G. echinulata* [Sidelev et al., 2024]. В фитопланктоне озера методом хромато-масс-спектрометрии обнаружено присутствие гепатотоксинов микроцистинов, а в ДНК, выделенной из планктона, методом ПЦР детектирован ген *mcuE* биосинтеза этих цианотоксинов. В период проведения исследования других типов цианотоксинов (цилиндроспермопсин, анатоксин-а, сакситоксины) и наличия генов их синтеза

в фитопланктоне не идентифицировано. В 30 колониях *G. echinulata*, изолированных из озера, гены *mcuA* и *mcuE* биосинтеза микроцистинов отсутствовали, что согласуется с их неспособностью к продуцированию цианотоксина. Показана потенциальная способность к биосинтезу микроцистинов цианобактерии *Microcystis aeruginosa* (Kützinger) Kützinger и видов рода *Dolichospermum*, обитающих в озере, с использованием молекулярных методов. Обсуждаются вопросы токсичности *G. echinulata* и необходимость дальнейшего долгосрочного мониторинга токсигенных цианобактерий в оз. Плещеево.

Изменения в экосистеме оз. Плещеево, предшествующие появлению *G. echinulata*

На основании анализа опубликованных данных, архивных материалов и результатов оригинальных исследований Е.В. Чемерис с соавторами [2020 (Chemeris et al., 2020)] выявлен ряд изменений, произошедших в растительном покрове оз. Плещеево с 1899 по 2017 гг. Произошли заметные изменения в структуре доминантов растительного покрова: полностью исчезли харовые луга из *Chara* sp., практически исчезли ценозы *Zannichellia palustris* L., уменьшение проективного покрытия характерных для озера ценозов (*Potamogeton perfoliatus*, *Ranunculus circinatus* Sibth.). Появились сообщества, типичные для загрязненных вод (*Ceratophyllum demersum* L., *Cladophora* sp.) и сообщества, характерные для нарушенных местообитаний (*Elodea canadensis* Michx.) [Чемерис и др., 2020 (Chemeris et al., 2020)]. Наблюдается незначительное возрастание площадей прибрежно-водной растительности (особенно сообществ *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.). Эти процессы связаны с естественным старением водоема и возрастанием антропогенной нагрузки. Общая степень зарастания озера остается низкой (~5%) и не будет возрастать в ближайшей и отдаленной перспективе из-за незначительной площади литорали, доступной для водных растений, преобладания песчаного грунта и гидродинамических особенностей водоема [Чемерис и др., 2020 (Chemeris et al., 2020)].

Харовые водоросли (Charophyta), относящиеся к погруженным макрофитам, играют важную роль в поддержании прозрачности воды в водоемах, активно подавляя развитие цианобактерий. *Chara* sp. выделяют в воду вторичные метаболиты, которые действуют как природные альгициды [Kurashov, 2021]. Аллелохимикаты, выделяемые харовыми, способны ингибировать фотосинтез цианобактерий, в частности, нарушая работу фотосистемы II. Помимо воздействия на фотосинтез, эти вещества подавляют рост, деление клеток и жизнеспособность

цианобактерий, тем самым предотвращая “цветение” воды [Zhu et al., 2010].

В 1980-е гг. в оз. Плещеево появился моллюск *Dreissena polymorpha* Pallas, 1771 [Жгарева, 1992 (Zhigareva, 1992)]. Взрослые моллюски зарегистрированы с 1984 г., а личинки дрейссены отмечены впервые осенью 1987 г. [Жгарева, 1992 (Zhigareva, 1992); Столбунова, 2006 (Stolbunova, 2006)] и с тех пор ежегодно встречаются в планктоне озера [Zhdanova, 2018]. Вселение дрейссены повлекло за собой изменения в сообществах озера. В зоопланктоне с появлением личинки дрейссены средняя численность зоопланктона уменьшилась в 1.8 раза, коловраток — в 2.1 раза [Столбунова, 2006 (Stolbunova, 2006); Zhdanova, 2018]. Плотва, один из массовых видов рыб, всего за одно поколение образовала быстрорастущую дрейссеноядную форму [Касьянов, Изюмов, 1995 (Kasyanov, Izyumov, 1995)]. Дрейссениды способствуют деэвтрофированию пелагиали водоемов, поскольку активно осаждают и аккумулируют сестон на дне водоема. Они перераспределяют поток вещества и энергии от планктона к бентосу (бентификация) и в мелководных водоемах усиливают динамическое взаимодействие между пелагиалью и бенталью [MacIsaac et al., 1999]. Дрейссена в больших количествах осаждает содержащуюся в воде взвесь, которая сконцентрирована в виде агглютинатов и фекалий и представляет собой хороший корм для многих детритофагов. Прямые трофические связи определяются накоплением в поселениях фекалий и агглютинатов дрейссенид [Пряничникова, 2020 (Pryanichnikova, 2020)]. Снижение уровня сапробности озера по организмам бентоса также может свидетельствовать о значительной роли дрейссены в водоеме, как естественного биофильтра [Pryanichnikova, Tsvetkov, 2018].

Дрейссены — активные фильтраторы. Они эффективно поедают многие виды фитопланктона, но часто “отвергают” крупные колониальные цианобактерии, такие как *G. echinulata*. Это создает конкурентное преимущество для последних, способствуя их цветению в присутствии мидий. Фильтруя воду, дрейссены повышают ее прозрачность, что позволяет солнечному свету проникать глубже. Это может стимулировать рост донных водорослей и колониальных форм, таких как глеотрихия, которые могут подниматься из донных осадков в толщу воды. Свет проникает на большую глубину. Поскольку глеотрихия на ранних стадиях развивается в донных отложениях, улучшение освещенности дна стимулирует их более быстрый рост и массовый “всплыв”

(рекрутирование) в толщу воды [Pettersson, 2012]. Пропуская через себя воду, моллюски выделяют азот и фосфор в биодоступной форме прямо в придонный слой и толщу воды. Эти локальные выбросы биогенных веществ (преимущественно фосфора) служат отличным удобрением для глеотрихии, которая начинает свой жизненный цикл на дне, а затем поднимается на поверхность.

Присутствие *D. polymorpha* в водоеме часто становится катализатором для массового развития глеотрихии. Вместо того, чтобы очищать воду от всех микроводорослей, дрейссены “выкашивают” только полезные виды, косвенно поддерживая размножение потенциально токсичных цианобактерий.

Режим водного питания озера определяется как климатическими факторами, так и особенностями геологического строения водосбора. Основной приток озера — р. Трубеж — берет начало в Берендеевском болоте на водоразделе бассейнов Оки и Верхней Волги. Длина р. Трубеж 32 км, ширина и глубина в устье 36 и 2–3 м соответственно. Река имеет несколько десятков мелких притоков. В ее устьевой области расположен г. Переславль-Залесский, оказывающий существенное влияние на качество воды. Остальные притоки озера представляют собой мелкие речки и ручьи длиной <10 км. Вытекает из озера р. Векса, впадающая в оз. Сомино. Длина реки 8 км, ширина у истока 21 м, наибольшая глубина ~1.5 м. Водное питание озера тесно связано с подземными водами, о чем свидетельствуют родники и самоизливающиеся скважины на его побережье [Otyukova, 2021].

Наблюдается обмеление р. Трубеж, впадающей в озеро, которая подпитывается водами Берендеева болота. В 1950-е гг. была создана система осушительных каналов для интенсификации торфоразработок, основной поток вод болота был направлен в р. Малый Киржач, что нарушило питание реки, привело к заиливанию, снижению уровня грунтовых вод и критическому обмелению. В 1980 г. благодаря отводу основной части стоков в оз. Сомино, минуя р. Трубеж, снизился уровень основных элементов солевого состава в реке и стабилизировался их режим [Экосистема..., 1989 (Ekosistema..., 1989)]. О влиянии города на качество воды р. Трубеж свидетельствует значительное увеличение содержания натрия, калия, сульфатов, хлоридов, биогенных элементов [Отюкова, 2020 (Otyukova, 2020)].

На оз. Плещеево практически отсутствует система гидрометеорологического мониторинга, за исключением уровнемерного поста на акватории озера и периодических

измерений расходов воды сотрудниками национального парка. Этого явно недостаточно, чтобы судить о многолетних тенденциях водности выпадающих в озеро рек и делать

обоснованные заключения о происходящих климатических изменениях в его бассейне и количественных характеристиках приходной и расходной составляющих водного баланса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

До недавнего времени оз. Плещеево считалось одним из самых чистых водоемов в Центральной России, но уже в 2022 г. получило класс “загрязненный”. Вследствие нарушения экологического баланса пострадать может не только рыба — озеро является источником водоснабжения для г. Переславль-Залесский. Существует высокий риск, что через несколько лет его нельзя будет использовать как источник питьевого водоснабжения из-за вероятного наличия в воде цианотоксинов и других метаболитов, которые могут выделять водоросли. Участвовавшие случаи гипоксии в озере приводят к смерти рыбы и других гидробионтов и способствуют выделению в воду фосфора из донных отложений, стимулирующего эвтрофированию.

Массовое развитие *Gloeotrichia echinulata* в оз. Плещеево вызвано комплексом антропогенных и климатических факторов. Увеличение концентрации питательных веществ, в частности фосфора в донных осадках, стимулирует активный рост водорослей. Это связано с хозяйственной деятельностью, поступлением сточных вод с прилегающих территорий. Повышение температуры воды создает благоприятные условия для теплолюбивых цианобактерий, способствуя их бурному размножению. Снижение скорости водообмена в озере приводит к застою воды, что создает благоприятную среду для цветения *G. echinulata*. Глеотрихия способна эффективно усваивать фосфор из донных отложений и накапливать его, что

дает преимущество перед другими видами планктона в условиях изменения экосистемы.

Развитие глеотрихии представляет угрозу для экосистемы озера, в частности для эндемика — переславской ряпушки, из-за отмирания водорослей и последующего снижения уровня кислорода. Высокая численность глеотрихии стимулирует развитие других видов токсичных цианобактерий. Глеотрихия способна переносить фосфор из донных отложений в толщу воды, ускоряя процесс “цветения” и ухудшая качество воды. Ее массовое развитие создает угрозу не только для экосистемы, но и для системы водоснабжения г. Переславля-Залесского.

План мероприятий (“дорожная карта”) по сохранению и реабилитации оз. Плещеево в Ярославской области был утвержден в 2025 г. Он разработан совместно с участием различных министерств и ведомств. К сожалению, в Дорожную карту вошли не все мероприятия, которые направлены на снижение поступления загрязненных сточных вод в озеро, — важнейшее направление для сохранения и реабилитации озера. Озеро Плещеево может стать полигоном для разработки российских природоподобных технологий в сфере очистки сточных вод, удаление биомассы высшей водной растительности и водорослей (для изъятия фосфора и других нежелательных веществ из экосистемы). Следует учитывать, что сохранение и реабилитация оз. Плещеево напрямую связано с благополучием жителей г. Переславля-Залесского и его развитием.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность сотрудникам национального парка “Плещеево озеро” за помощь в организации экспедиционных работ и сборе необходимого материала.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания № 124032100076-2 и 1025121900005-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балонов И.М. Изменение сапробности озера Плещеево // Вопросы формирования природных вод в условиях антропогенного воздействия. Л.: Гидрометеиздат, 1981. С. 87–89.
- Борисов П.Г. Ряпушка озера Переславского // Тр. Науч. ин-та рыб. хоз-ва. 1924. Т. 1. С. 53–127.
- Жгарева Н.Н. Состав и распределение фауны зарослей озера Плещеево // Факторы и процессы эвтрофикации оз. Плещеево. Ярославль: Ярославский государственный университет, 1992. С. 95–105.
- Ильинский А.Л. О фитопланктоне озер Ярославской области // Озера Ярославской области и перспективы их хозяйственного использования. Ярославль: Ярославский государственный педагогический институт, 1970. С. 273–303.
- Кастальская-Карзинкина М.А. Количественный и весовой учет планктона Переславского озера // Тр. Лимнол. ст. в Косине. 1934. Вып. 17. С. 71–83.

- Касьянов А.Н., Изюмов Ю.Г. К изучению роста и морфологии плотвы *Rutilus rutilus* оз. Плещеево в связи с все-лением дрейссены // Вопросы ихтиологии. 1995. Т. 35, № 4. С. 546–548.
- Китаев С.П. Основы лимнологии для гидробионтов и ихтиологов. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 395 с.
- Костина Т.Б. Фитопланктон озера Плещеево в 1990 г. // Факторы и процессы эвтрофикации озера Плещеево. Ярославль: Ярославский государственный университет, 1992. С. 28–39.
- Ляшенко О.А. Сравнительный анализ планктонных альгофлор озер Неро и Плещеево // Бот. журн. 2003. Т. 88, № 3. С. 30–35.
- Отюкова Н.Г. Гидрохимический режим притоков озера Плещеево (Ярославская область) // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2020. Вып. 90(93). С. 27–32. DOI: 10.24411/0320-3557-2020-10010.
- Поддубный С.А., Цветков А.И., Иванова И.Н. и др. Термические и динамические процессы в озере Плещеево // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2020. Вып. 90(93). С. 7–26. DOI: 10.34680/90-93-2020-7-26.
- Пряничникова Е.Г. Макробентос биоценоза *Dreissena polymorpha* озера Плещеево // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2020. Вып. 90(93). С. 53–65. DOI: 10.34680/90-93-2020-53-65.
- Пырина И.Л., Ляшенко О.А. Состав и продуктивность фитопланктона озера Плещеево на современном этапе // Труды Всерос. науч. конф. 1992. Вып. 3. С. 48–54.
- Сахарова Е.Г. Фитопланктон озера Плещеево в 2014–2016 гг. // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2019. Вып. 86(89). С. 23–33. DOI: 10.34680/86-89-2019-23-29.
- Столбунова В.Н. Зоопланктон озера Плещеево. М.: Наука, 2006. 152 с.
- Чемерис Е.В., Кутузов А.В., Ефимов Д.Ю., Гришуткин О.Г. Изменение растительного покрова оз. Плещеево (Ярославская обл.) с 1899 по 2017 гг. // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2020. Вып. 90(93). С. 33–52. DOI: 10.24411/0320-3557-2020-10011.
- Экосистема озера Плещеево. Л.: Наука, 1989. 264 с.
- Becker A. Beitrage zu meinen Verzeichnissen der um Sarepta und am Bogdo vorkommenden Pflanzen und Insekten etc. // Bull. Soc. Imp. Nat. Moscou. 1880. Vol. 55, № 1. P. 115–156.
- Bennas N., Abellán P., Sánchez-Fernández D., Millán A. Ochthebius (Ochthebius) lanarotis Ferro, 1985 (Coleoptera, Hydraenidae), un coleoptere endemique marocain specifique des milieux aquatiques hypersalin // Bol. Soc. Entomol. Aragon. 2008. № 43. P. 361–366.
- Bruno J.F., Stachowicz J.J., Bertness M.D. Inclusion of facilitation into ecological theory // Trends Ecol. Evol. 2003. Vol. 18. P. 119–125. DOI: 10.1016/S0169-5347(02)00045-9.
- Carey C.C., Brown B.L., Cottingham K.L. The cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* increases the stability and network complexity of phytoplankton communities // Ecosphere. 2017. Vol. 8, № 7. Art. e01830. DOI: 10.1002/ecs2.1830.
- Carey C.C., Ewing H.A., Cottingham K.L. et al. Occurrence and toxicity of the cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* in low-nutrient lakes in the northeastern United States // Aquat. Ecol. 2012. Vol. 46, № 4. P. 395–409. DOI: 10.1007/s10452-012-9409-9.
- Carey C.C., Haney J.F., Cottingham K.L. First report of microcystin-LR in the cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* // Environ. Toxicol. 2007. Vol. 22. P. 337–339. DOI: 10.1002/tox.20277.
- Carey C.C., Rengefors K. The cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* stimulates the growth of other phytoplankton // J. Plankton Res. 2010. Vol. 32, № 9. P. 1349–1354. DOI: 10.1093/plankt/fbq046.
- Carey C.C., Weathers K.C., Cottingham K.L. *Gloeotrichia echinulata* blooms in an oligotrophic lake: helpful insights from eutrophic lakes // J. Plankton Res. 2008. Vol. 30. P. 893–904. DOI: 10.1093/plankt/fbn055.
- Ger K.A., Urrutia-Cordero P., Frost P.C. et al. The interaction between cyanobacteria and zooplankton in a more eutrophic world // Harmful Algae. 2016. Vol. 54. P. 128–144. DOI: 10.1016/j.hal.2015.12.005.
- Gross E.M. Allelopathy of aquatic autotrophs // Crit. Rev. Plant Sci. 2003. Vol. 22. P. 313–339. DOI: 10.1080/713608316.
- Halpern B.S., Silliman B.R., Olden J.D. et al. Incorporating positive interactions in aquatic restoration and conservation // Front. Ecol. Environ. 2007. Vol. 5. P. 153–160. DOI: 10.1890/1540-9295(2007)5[153:IPIAR]2.0.CO;2.
- Havens K.E. Cyanobacteria blooms: effects on aquatic ecosystems // Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs / ed. Hudnell H.K. New York: Springer, 2008. P. 733–747. DOI: 10.1007/978-0-387-75865-7_33.
- Istvánovics V., Pettersson K., Rodrigo M.A. et al. *Gloeotrichia echinulata*, a colonial cyanobacterium with a unique phosphorus uptake and life strategy // J. Plankton Res. 1993. Vol. 15, № 5. P. 531–552. DOI: 10.1093/plankt/15.5.531.
- Karlsson I. Benthic growth of *Gloeotrichia echinulata* Cyanobacteria // Hydrobiologia. 2003. Vol. 506. P. 189–193. DOI: 10.1023/B:HYDR.0000008570.03256.00.
- Karlsson-Elfgren I., Rydin E., Hyenstrand P. et al. Recruitment and pelagic growth of *Gloeotrichia echinulata* (Cyanophyceae) in Lake Erken // J. Phycol. 2003. Vol. 39. P. 1050–1056.
- Korneva L.G., Glushchenko G.Y. Composition and Seasonal Succession of Phytoplankton of Taganrog Bay in the Sea of Azov and the Downstream Reaches of the Don River under a Changing Climate // Inland Water Biol. 2020. Vol. 13. P. 23–30. DOI: 10.1134/S1995082920010071.
- Kurashov E., Krylova J., Protopopova E. The use of allelochemicals of aquatic macrophytes to suppress the development of cyanobacterial “blooms” // Plankton Communities. London: IntechOpen, 2022. DOI: 10.5772/intechopen.95609.

- Legrand C., Rengefors K., Fistarol G.O. et al. Allelopathy in phytoplankton – biochemical, ecological and evolutionary aspects // *Phycologia*. 2003. Vol. 42. P. 406–419.
- MacIsaac, H.J., Johannsson, O.E., Ye, J. et al. Filtering impacts of an introduced Bivalve (*Dreissena polymorpha*) in a shallow lake: application of a hydrodynamic model // *Ecosystems*. 1999. Vol. 2. P. 338–350.
- Nõges T., Tonno I., Laugaste R. et al. The impact of changes in nutrient loading on cyanobacterial dominance in Lake Peipsi (Estonia/Russia) // *Arch. Hydrobiol.* 2004. Vol. 160. P. 261–279. DOI: 10.1127/0003-9136/2004/0160-0261.
- O'Neil J.M., Davis T.W., Burford M.A. et al. The rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change // *Harmful Algae*. 2012. Vol. 14. P. 313–334. DOI: 10.1016/j.hal.2011.10.027.
- Otyukova N.G. Organic Matter in Water Bodies in Especially Protected Natural Territories: Case Study of Tributaries of Lake Pleshcheyevo, Yaroslavl Oblast, and Tributaries of the Tadenka River in Prioksko-Terrasnyi Nature Reserve, Moscow Oblast // *Water Resour.* 2021. Vol. 48. P. 449–458. DOI: 10.1134/S0097807821030118.
- Paerl H.W., Huisman J. Blooms like it hot // *Science*. 2008. Vol. 320, № 5872. P. 57–58. DOI: 10.1126/science.1155398.
- Paerl H.W., Otten T.G. Harmful cyanobacterial blooms: causes, consequences, and controls // *Microb. Ecol.* 2013. Vol. 65, № 4. P. 995–1010. DOI: 10.1007/s00248-013-0234-1.
- Pettersson K. Limnological Studies in Lake Erken Sweden // *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs. Encyclopedia of Earth Sciences Series* / eds. Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. Dordrecht: Springer, 2012. DOI: 10.1007/978-1-4020-4410-6_120.
- Pryanichnikova E.G., Tsvetkov A.I. Main characteristics of the Lake Pleshcheyevo population of *Dreissena polymorpha* (Bivalvia, Dreissenidae) // *Ecosystem Transformation*. 2018. Vol. 1, Iss. 2. P. 11–18. DOI: 10.23859/estr-180723a.
- Sanders R.W., Porter K.G., Caron D.A. Relationship between phototrophy and phagotrophy in the mixotrophic chrysophyte *Poterioochromonas malhamensis* // *Microb. Ecol.* 1990. Vol. 19. P. 97–109. DOI: 10.1007/BF02015056.
- Sidelev S.I., Babanazarova O.V. Detection of cyanobacterial toxins in water supply sources and tap water in some Russian cities: searching producers and testing removal methods // *Water Resour.* 2020. Vol. 47, Iss. 2. P. 304–314. DOI: 10.1134/S0097807820020189.
- Sidelev S.I., Korneva L.G., Chernova E.N. et al. First Data on Cyanotoxins and Genes of Their Biosynthesis in the Phytoplankton of the Mesotrophic Lake Pleshcheyevo (Russia) during the Bloom Formation of *Cyanobacterium Gloeotrichia echinulata* // *Inland Water Biol.* 2024. Vol. 17. P. 1161–1171. DOI: 10.1134/S1995082924700688.
- Stewart W.D., Fitzgerald G.P., Burris R.H. In situ studies on N₂ fixation using the acetylene reduction technique // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1967. Vol. 58. P. 2071–2078. DOI: 10.1073/pnas.58.5.2071.
- Suikkanen S., Fistarol G.O., Granéli E. Allelopathic effects of the Baltic cyanobacteria *Nodularia spumigena*, *Aphanizomenon flos-aquae*, and *Anabaena lemmermannii* on algal monocultures // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2004. Vol. 308. P. 85–101. DOI: 10.1016/j.jembe.2004.02.012.
- Suikkanen S., Fistarol G.O., Granéli E. Effects of cyanobacterial allelochemicals on a natural plankton community // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2005. Vol. 287. P. 1–9. DOI: 10.3354/meps287001.
- Tillmanns A.R., Wilson A.E., Pick F.R., Sarnelle O. Meta-analysis of cyanobacterial effects on zooplankton population growth rate: species-specific responses // *Fundam. Appl. Limnol.* 2008. Vol. 171, № 4. P. 285–295. DOI: 10.1127/1863-9135/2008/0171-0285.
- Tittel J., Kamjunke N. Metabolism of dissolved organic carbon by planktonic bacteria and mixotrophic algae in lake neutralization experiments // *Freshwater Biol.* 2004. Vol. 49. P. 1062–1071. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2004.01241.x.
- Wejnerowski L., Cerbin S., Dziuba M.K. Thicker filaments of *Aphanizomenon gracile* are more harmful to *Daphnia* than thinner *Cylindrospermopsis raciborskii* // *Zool. Stud.* 2015. Vol. 54, № 1. P. 2. DOI: 10.1186/s40555-014-0084-5.
- Wilson A.E., Sarnelle O., Tillmanns A.R. Effects of cyanobacterial toxicity and morphology on the population growth of freshwater zooplankton: meta-analyses of laboratory experiments // *Limnol. Oceanogr.* 2006. Vol. 51, № 4. P. 1915–1924. DOI: 10.4319/lo.2006.51.4.1915.
- Zaytseva T.B., Medvedeva N.G. Impact of Biogenic Elements on the Growth of Bloom-Forming Filamentous Cyanobacteria and Formation of Metabolites // *Inland Water Biol.* 2022. Vol. 15. P. 305–314. DOI: 10.1134/S1995082922030166.
- Zhdanova S.M. Veliger larvae of *Dreissena* (Bivalvia, Dreissenidae) in the zooplankton of Lake Pleshcheyevo (Yaroslavl Region, Russia) // *Ecosystem Transformation*. 2018. Vol. 1, № 2. P. 19–29. DOI: 10.23859/estr-180424.
- Zhu J., Liu B., Wang J. et al. Study on the mechanism of allelopathic influence on cyanobacteria and chlorophytes by submerged macrophyte (*Myriophyllum spicatum*) and its secretion // *Aquat. Toxicol.* 2010. Vol. 98, № 2. P. 196–203. DOI: 10.1016/j.aquatox.2010.02.011.

REFERENCES

- Balonov I.M. Izmeneniye saprobnosti ozera Pleshcheyevo [Changes in the saprobity of Lake Pleshcheyevo]. *Voprosy formirovaniya prirodnikh vod v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya*, 1981, pp. 17–23. (In Russia)
- Becker A. Beitrage zu meinen Verzeichnissen der um Sarepta und am Bogdo vorkommenden Pflanzen und Insekten etc. *Bull. Soc. Imp. Nat. Moscou*, 1880, vol. 55, no. 1, pp. 115–156.
- Bennas N., Abellán P., Sánchez-Fernández D., Millán A. Ochthebius (Ochthebius) lanarotis Ferro, 1985 (Coleoptera, Hydraenidae), un coleoptere endemique marocain specifique des milieux aquatiques hypersalin. *Bol. Soc. Entomol. Aragon.*, 2008, no. 43, pp. 361–366.
- Borisov P.G. Ryapushka ozera Pereslavskogo [Vendace of Lake Pereslavskoye]. *Tr. Nauch. Inst. Ryb. Khoz.*, 1924, vol. 1, pp. 53–127. (In Russia)

- Bruno J.F., Stachowicz J.J., Bertness M.D. Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends Ecol. Evol.*, 2003, vol. 18, no. 3, pp. 119–125. doi: 10.1016/S0169-5347(02)00045-9.
- Carey C.C., Brown B.L., Cottingham K.L. The cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* increases the stability and network complexity of phytoplankton communities. *Ecosphere*, 2017, vol. 8, no. 7, pp. e01830. doi: 10.1002/ecs2.1830.
- Carey C.C., Ewing H.A., Cottingham K.L. et al. Occurrence and toxicity of the cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* in low-nutrient lakes in the northeastern United States. *Aquat. Ecol.*, 2012, vol. 46, no. 4, pp. 395–409. doi: 10.1007/s10452-012-9409-9.
- Carey C.C., Haney J.F., Cottingham K.L. First report of microcystin-LR in the cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata*. *Environ. Toxicol.*, 2007, vol. 22, no. 3, pp. 337–339. doi: 10.1002/tox.20277.
- Carey C.C., Rengefors K. The cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* stimulates the growth of other phytoplankton. *J. Plankton Res.*, 2010, vol. 32, no. 9, pp. 1349–1354. doi: 10.1093/plankt/fbq046.
- Carey C.C., Weathers K.C., Cottingham K.L. *Gloeotrichia echinulata* blooms in an oligotrophic lake: helpful insights from eutrophic lakes. *J. Plankton Res.*, 2008, vol. 30, no. 8, pp. 893–904. doi: 10.1093/plankt/fbn055.
- Chemeris E.V., Kutuzov A.V., Efimov D.Y., Grishutkin O.G. Changes in the vegetation cover of Lake Pleshcheyevo (Yaroslavl region) from 1899 to 2017. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2020, iss. 90(93), pp. 33–52. doi: 10.34680/90-93-2020-33-52. (In Russia)
- Ekosistema озера Pleshcheyevo [Ecosystem of Lake Pleshcheyevo]. Leningrad, Nauka, 1989. 264 p. (In Russia)
- Ger K.A., Urrutia-Cordero P., Frost P.C. et al. The interaction between cyanobacteria and zooplankton in a more eutrophic world. *Harmful Algae*, 2016, vol. 54, pp. 128–144. doi: 10.1016/j.hal.2015.12.005.
- Gross E.M. Allelopathy of aquatic autotrophs. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 2003, vol. 22, no. 3–4, pp. 313–339. doi: 10.1080/713608316.
- Halpern B.S., Silliman B.R., Olden J.D. et al. Incorporating positive interactions in aquatic restoration and conservation. *Front. Ecol. Environ.*, 2007, vol. 5, no. 3, pp. 153–160. doi: 10.1890/1540-9295(2007)5[153:IPIAR]2.0.CO;2.
- Havens K.E. Cyanobacteria blooms: effects on aquatic ecosystems. *Cyanobacterial harmful algal blooms: state of the science and research needs*, New York, Springer, 2008, pp. 733–747. doi: 10.1007/978-0-387-75865-7_33.
- Il'inskiy A.L. On the phytoplankton of lakes in the Yaroslavl Region. *Ozera Yaroslavskoy oblasti i perspektivy ikh khozyaystvennogo ispol'zovaniya*, Yaroslavl, Yaroslavskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy institut, 1970, pp. 273–303. (In Russia)
- Istvánovics V., Pettersson K., Rodrigo M.A. et al. *Gloeotrichia echinulata*, a colonial cyanobacterium with a unique phosphorus uptake and life strategy. *J. Plankton Res.*, 1993, vol. 15, no. 5, pp. 531–552. doi: 10.1093/plankt/15.5.531.
- Karlsson I. Benthic growth of *Gloeotrichia echinulata* Cyanobacteria. *Hydrobiologia*, 2003, vol. 506, no. 1, pp. 189–193. doi: 10.1023/B:HYDR.0000008570.03256.00.
- Karlsson-Elfgren I., Rydin E., Hyenstrand P., Erken L. Recruitment and pelagic growth of *Gloeotrichia echinulata* (Cyanophyceae) in Lake Erken. *J. Phycol.*, 2003, vol. 39, no. 6, pp. 1050–1056. doi: 10.1111/j.0022-3646.2003.03-010.x.
- Kastal'skaya-Karzinkina M.A. Kolichestvennyy i vesovoy uchet planktona Pereslavskogo озера [Quantitative and weight assessment of plankton in Lake Pereslavskoye]. *Tr. Limnol. Stn. Kosine*, 1934, no. 17, pp. 71–83. (In Russia)
- Kas'yanov A.N., Izyumov Yu.G. K izucheniyu rosta i morfologii plotvy *Rutilus rutilus* oz. Pleshcheyevo v svyazi s vveleniyem dreysseny [On the study of growth and morphology of roach *Rutilus rutilus* from Lake Pleshcheyevo in connection with the introduction of zebra mussels]. *Voprosy ichtiologii*. 1995. vol. 35, no. 4. pp. 546–548. (In Russia)
- Kitayev S.P. Osnovy limnologii dlya gidrobiontov i ikhtologov [Fundamentals of Limnology for Hydrobionts and Ichthyologists]. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2007, 395 p. (In Russia)
- Korneva L.G., Glushchenko G.Y. Composition and Seasonal Succession of Phytoplankton of Taganrog Bay in the Sea of Azov and the Downstream Reaches of the Don River under a Changing Climate. *Inland Water Biol.*, 2020, vol. 13, pp. 23–30. doi: 10.1134/S1995082920010071.
- Kostina T.B. Fitoplanktona озера Pleshcheyevo v 1990 g. [Phytoplankton of Lake Pleshcheyevo in 1990]. *Fakty i protsessy evtrofikatsii озера Pleshcheyevo*. Yaroslavl, Yaroslavskiy gosudarstvennyy universitet, 1992, pp. 28–39. (In Russia)
- Kurashov E., Krylova J., Protopopova E. The use of allelochemicals of aquatic macrophytes to suppress the development of cyanobacterial “blooms”. *Plankton Communities*. London, IntechOpen, 2022. doi: 10.5772/intechopen.95609.
- Legrand C., Rengefors K., Fistarol G.O. et al. Allelopathy in phytoplankton — biochemical, ecological and evolutionary aspects. *Phycologia*, 2003, vol. 42, no. 4, pp. 406–419. doi: 10.2216/i0031-8884-42-4-406-1.
- Lyashenko O.A. Sravnitel'nyy analiz planktonnykh al'goflor ozer Nero i Pleshcheyevo [Comparative analysis of planktonic algal floras of Lakes Nero and Pleshcheyevo]. *Bot. Zhurn.*, 2003, vol. 88, no. 3, pp. 30–35. (In Russia)
- MacIsaac H.J., Johannsson O.E., Ye J. et al. Filtering impacts of an introduced Bivalve (*Dreissena polymorpha*) in a shallow lake: application of a hydrodynamic model. *Ecosystems*, 1999, vol. 2, pp. 338–350.
- Nöges T., Tonno I., Laugaste R., et al. The impact of changes in nutrient loading on cyanobacterial dominance in Lake Peipsi (Estonia/Russia). *Arch. Hydrobiol.*, 2004, vol. 160, no. 2, pp. 261–279. doi: 10.1127/0003-9136/2004/0160-0261.
- O'Neil J.M., Davis T.W., Burford M.A., Gobler C.J. The rise of harmful cyanobacteria blooms: the potential roles of eutrophication and climate change. *Harmful Algae*, 2012, vol. 14, pp. 313–334. doi: 10.1016/j.hal.2011.10.027.
- Otyukova N.G. Hydrochemical regime of the tributaries of Lake Pleshcheyevo (Yaroslavl region). *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2020, iss. 90(93), pp. 27–32. doi: 10.34680/90-93-2020-27-32. (In Russia)

- Otyukova N.G. Organic Matter in Water Bodies in Especially Protected Natural Territories: Case Study of Tributaries of Lake Pleshcheyevo, Yaroslavl Oblast, and Tributaries of the Tadenka River in Prioksko-Terrasnyi Nature Reserve, Moscow Oblast. *Water Resour.*, 2021, vol. 48, no. 3, pp. 449–458. doi: 10.1134/S0097807821030118.
- Paerl H.W., Huisman J. Blooms like it hot. *Science*, 2008, vol. 320, no. 5872, pp. 57–58. doi: 10.1126/science.1155398.
- Paerl H.W., Otten T.G. Harmful cyanobacterial blooms: causes, consequences, and controls. *Microb. Ecol.*, 2013, vol. 65, no. 4, pp. 995–1010. doi: 10.1007/s00248-013-0234-1.
- Pettersson K. Limnological Studies in Lake Erken Sweden. Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. (Eds.) *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. Dordrecht, Springer, 2012. doi: 10.1007/978-1-4020-4410-6_120.
- Poddubnyy S.A., Tsvetkov A.I., Ivanova I.N. et al. Thermal and dynamic processes in Lake Pleshcheyevo. Termicheskiye i dinamicheskiye protsessy v ozere Pleshcheyevo [Thermal and dynamic processes in Lake Pleshcheyevo]. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2020, iss. 90(93), pp. 7–26. doi: 10.34680/90-93-2020-7-26. (In Russia)
- Pryanichnikova E.G. Macrobenthos of the Dreissena polymorpha biocenosis of Lake Pleshcheyevo. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2020, iss. 90(93), pp. 53–65. doi: 10.34680/90-93-2020-53-65. (In Russia)
- Pryanichnikova E.G., Tsvetkov A.I. Main characteristics of the Lake Pleshcheyevo population of Dreissena polymorpha (Bivalvia, Dreissenidae) // Ecosystem Transformation 2018. Vol. 1 Iss. 2. P. 11–18. doi: 10.23859/estr-180723a.
- Pyrina I.L., Lyashenko O.A. Composition and productivity of phytoplankton of Lake Pleshcheyevo at the present stage. *Trudy Vserossiyskoy Nauchnoy Konferentsii*, 1992, no. 3, pp. 48–54. (In Russia)
- Sakharova E.G. Phytoplankton of Lake Pleshcheyevo in 2014–2016. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2019, iss. 86(89), pp. 23–33. doi: 10.34680/86-89-2019-23-29. (In Russia)
- Sanders R.W., Porter K.G., Caron D.A. Relationship between phototrophy and phagotrophy in the mixotrophic chrysophyte Poteriodochromonas malhamensis. *Microb. Ecol.*, 1990, vol. 19, no. 1, pp. 97–109. doi: 10.1007/BF02015056.
- Sidelev S.I., Babanazarova O.V. Detection of cyanobacterial toxins in water supply sources and tap water in some Russian cities: searching producers and testing removal methods. *Water Resour.*, 2020, vol. 47, no. 2, pp. 304–314. doi: 10.1134/S0097807820020189.
- Sidelev S.I., Korneva L.G., Chernova E.N. et al. First Data on Cyanotoxins and Genes of Their Biosynthesis in the Phytoplankton of the Mesotrophic Lake Pleshcheyevo (Russia) during the Bloom Formation of Cyanobacterium Gloeotrichia echinulata. *Inland Water Biol.*, 2024, vol. 17, no. 6, pp. 1161–1171, doi: 10.1134/S1995082924700688.
- Stewart W.D., Fitzgerald G.P., Burris R.H. In situ studies on N₂ fixation using the acetylene reduction technique. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 1967, vol. 58, pp. 2071–2078. DOI: 10.1073/pnas.58.5.2071.
- Stolbunova V.N. Zooplankton озера Pleshcheyevo [Zooplankton of Lake Pleshcheyevo]. Moscow, Nauka, 2006. 152 p. (In Russia)
- Suikkanen S., Fistarol G.O., Granéli E. Allelopathic effects of the Baltic cyanobacteria Nodularia spumigena, Aphanizomenon flos-aquae, and Anabaena lemmermannii on algal monocultures. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 2004, vol. 308, no. 1, pp. 85–101. doi: 10.1016/j.jembe.2004.02.012.
- Suikkanen S., Fistarol G.O., Granéli E. Effects of cyanobacterial allelochemicals on a natural plankton community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2005, vol. 287, pp. 1–9. doi: 10.3354/meps287001.
- Tillmanns A.R., Wilson A.E., Pick F.R., Sarnelle O. Meta-analysis of cyanobacterial effects on zooplankton population growth rate: species-specific responses. *Fundam. Appl. Limnol.*, 2008, vol. 171, no. 4, pp. 285–295. doi: 10.1127/1863-9135/2008/0171-0285.
- Tittel J., Kamjunke N. Metabolism of dissolved organic carbon by planktonic bacteria and mixotrophic algae in lake neutralization experiments. *Freshwater Biol.*, 2004, vol. 49, no. 8, pp. 1062–1071. doi: 10.1111/j.1365-2427.2004.01241.x.
- Trifonova I.S. Ekologiya i suksessiya ozernogo fitoplanktona [Ecology and Succession of Lake Phytoplankton]. Leningrad, Nauka, 1990. 180 p. (In Russia)
- Wejnerowski L., Cerbin S., Dziuba M.K. Thicker filaments of Aphanizomenon gracile are more harmful to Daphnia than thinner Cylindrospermopsis raciborskii. *Zool. Stud.*, 2015, vol. 54, no. 1, pp. 2. doi: 10.1186/s40555-014-0084-5.
- Wilson A.E., Sarnelle O., Tillmanns A.R. Effects of cyanobacterial toxicity and morphology on the population growth of freshwater zooplankton: meta-analyses of laboratory experiments. *Limnol. Oceanogr.*, 2006, vol. 51, no. 4, pp. 1915–1924. doi: 10.4319/lo.2006.51.4.1915.
- Zaytseva T.B., Medvedeva N.G. Impact of Biogenic Elements on the Growth of Bloom-Forming Filamentous Cyanobacteria and Formation of Metabolites. *Inland Water Biol.*, 2022, vol. 15, iss. 3, pp. 305–314. doi: 10.1134/S1995082922030166.
- Zhdanova S.M. Veliger larvae of Dreissena (Bivalvia, Dreissenidae) in the zooplankton of Lake Pleshcheyevo (Yaroslavl Region, Russia). *Ecosyst. Transform.*, 2018, vol. 1, no. 2, pp. 19–29. doi: 10.23859/estr-180424.
- Zhgareva N.N. Sostav i raspredelenie fauny zarosley озера Pleshcheyevo [Composition and distribution of the fauna of thickets of Lake Pleshcheyevo]. *Fakty i protsessy evtrofikatsii озера Pleshcheyevo*. Yaroslavl, Yaroslavskiy gosudarstvennyy universitet, 1992, pp. 95–105. (In Russia)
- Zhu J., Liu B., Wang J. et al. Study on the mechanism of allelopathic influence on cyanobacteria and chlorophytes by submerged macrophyte (Myriophyllum spicatum) and its secretion. *Aquat. Toxicol.*, 2010, vol. 98, no. 2, pp. 196–203. doi: 10.1016/j.aquatox.2010.02.011.

**CYANOBACTERIUM *GLOEOTRICHIA ECHINULATA*
BLOOM IN LAKE PLESHCHEYEVO: CAUSES AND CONSEQUENCES**

A. N. Sharov*

Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences

*152742 Borok, Russia, e-mail: *sharov@ibiw.ru*

Revised 27.03.2026

This article reviews publications on the development of the cyanobacterium *Gloeotrichia echinulata* in oligotrophic and mesotrophic lakes, with a special focus on Lake Pleshcheyevo (Yaroslavl region, Russia). The study summarizes the results of phytoplankton investigations conducted over the past 100 years. Since 2017, annual blooms caused by *G. echinulata* have been observed in the lake. The mass development of this cyanobacterium is driven by a combination of anthropogenic and climatic factors: increased phosphorus loads from adjacent watersheds, rising water temperatures, and reduced water exchange, which promotes stagnation. *G. echinulata* plays a key role in internal phosphorus loading by transferring this element from bottom sediments into the water column, thereby accelerating eutrophication and further stimulating bloom formation. The proliferation of *G. echinulata* poses a serious threat to the lake's ecosystem, particularly to the endemic Pereslavl vendace (*Coregonus albula*), and may facilitate the concurrent development of other toxic cyanobacteria. Moreover, mass blooms degrade water quality and jeopardize the municipal water supply of the town of Pereslavl-Zalessky.

Keywords: Gleotrichia, water bloom, phytoplankton, cyanotoxins, water quality

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, Rzymski, 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 нанофлагеллат, 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 колонияльные 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 рыбоводных 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 рыбоводных 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 рыбоводных 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
Сорепода (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
Сорепода (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 — Сорепода, 2 — Cladocera, в районе колонии — 22 вида, среди которых 17 — Rotifera, 3 — Сорепода, 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 — Сорепода, 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 — Сорепода. 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 копеподиты Cyclopoida, *Chydorus sphaericus*, *Polyphemus pediculus* (Linnaeus, 1761), *Sida crystallina* (Müller, 1776), на фоновом участке — *Eudiaptomus vulgaris* (Schmeil, 1897), копеподиты Calanoida, *Asplanchna sieboldii* (Leydig, 1854), *Polyarthra dolichoptera*, в районе колонии — *Mesocyclops leuckarti*, науплиусы и копеподиты 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 колониаторов, 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 рыбобоводного 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 Пермьяков 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.)
- Мяэметс 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 прилежащих 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. Vetvistousyie 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.
- Opredelel' 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

PSAMMORHEOPHILIC BENTHIC MACROINVERTEBRATES OF VISHERA RIVER (KAMA RIVER BASIN, RUSSIA)

I. V. Pozdeev*

St. Petersburg Research Center, Russian Academy of Sciences

199034 University Emb. 5, St. Petersburg, Russia;

Perm branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography

614000 Ekaterininskaya St. 32, Perm, Russia; e-mail: *pozdeev@spbrc.nw.ru

Revised 20.04.2026

The Vishera River (a tributary of the Kama, Volga River basin) is a foothill river characterized by sandy substrates and high current velocities in its lower reaches. Psammorheophilic benthic communities in this river section remain poorly studied, and all available data on macrozoobenthos describe it only for the summer and autumn months. The aim of the study was to identify the species composition of macroinvertebrate fauna and the structure of psammorheophilic benthic communities using various samplers (hydrobiological and entomological methods), with a focus on winter and spring aspects. Based on the processing of macrozoobenthos samples, 59 taxa (56 species) were identified. The application of various additional methods expanded the list to 154 taxa (151 species). Chironomids determined the basis of species richness (64%), with a relatively high species richness of EPT-complex (19%). The largest number of taxa was represented by chironomid genera *Polypedilum* (8), *Cricotopus* (6) and *Tanytarsus* (6), and mayfly genus *Baetis* (7). High taxonomic richness of the biocenosis was demonstrated during the “biological spring” period. The fauna was dominated by Palearctic (56%) and Holarctic (26%) species. With a very wide range of trophic specializations (23 guilds), the highest numbers were observed among phytodetritophagous species (guild “shredders + collectors + scrapers”) and seston–phytodetritophagous filterers (guild “active vagile + collectors + scrapers”), which are not specialized in feeding mechanisms. Chironomids were the key group of benthic communities, with domination of psammorheophilic *Paracladopelma rolli*, *Chernovskiiia ra*, *Oleocryptotendipes macropodus*, and *Robackia demeijerei*. Abundance and biomass of the communities were extremely low.

Keywords: rivers, Cis-Ural region, winter, spring, under-ice, flood, fauna, communities, Chironomidae

DOI: 10.47021/0320-3557-2026-29-40

INTRODUCTION

The Vishera River is a left-bank tributary of the Kama River, which it flows into 958 km from the mouth. The length of the Vishera is 415 km and its catchment area is 31 200 km². The Vishera basin is located within three hydrologically distinct regions: the Western Ural Mountains, the Kolva region, and the Kama-Vishera hydrographic district. The most studied part of the Vishera River is within the mid-altitude terrain due to the establishment of the Vishersky State Nature Reserve at the upper reaches of the river, and the development of mineral extraction activities [Aleksevnina, Korionov, 2006; Krasheninnikov et al., 2008; Krasheninnikov, Makarchenko, 2009; Pan'kov, Ovchankova, 2017, etc.]. The significance of this subregion is further underscored by the fact that it exhibits some of the most extreme values for many geographical and hydrological indices, not only within the Perm region but also throughout the Volga River basin [Resursy..., 1966; Komlev, Chernykh, 1984; Scientific..., 2015].

In contrast, the area of the lower reaches of the river, where the Vishera River has a lowland character, has been relatively unexplored. This area has well-developed floodplain, predominance of sandy substrate, and high current velocity. The combination of the factors allows to coexist for a

diverse range of highly oxyphilous and stenobiotic species, on the one hand, while lacustrine and semiaquatic species on the other hand. Data on the macroinvertebrate's fauna and structure of benthic communities in this part of the river remains extremely limited. The predominance of oligochaetes and chironomids has been established. Among these, *Tubifex newaensis* [Michaelsen, 1903] and species from the genera *Stictochironomus*, *Dicortendipes*, and *Chironomus* were a dominant. The level of macroinvertebrate communities' development has also been assessed, as well as the impact of wastewaters from the pulp and paper mill that operated in Krasnovishersk town until the mid-2000s [Tauson, 1947; Shilkova, 1983; Pozdeev, 2007; Pozdeev, Aleksevnina, 2008; Przhiboro, 2017].

Of particular interest are the extensive sandy riffles, which exhibit high current velocity of approximately 0.5 m/s during low water season and more than 2 m/s during spring flood-season at the samples' sites. Many species of Diptera, and particularly Chironomidae, have been identified based on their larval stages, although some still have not been identified as adults or require further investigation [Zvereva, 1950; Pankratova, 1970, 1983; Soluk, 1985; Przhiboro, 2017]. Additionally,

a number of other peculiar insect and crustacean species are existed in this habitat.

The aim of the study was to determine the species composition and structure of

psammorheophilic benthic communities in the lower reaches of the Vishera River, with a particular focus on the winter and spring periods.

MATERIAL AND METHODS

The paper summarizes the data collected as a result of observations conducted between 2010 and 2022. Most of the data was taken from a site located opposite the village of Ryabinino, which is in the middle of the longitudinal profile of the lower reaches. A smaller number of samples was also collected within the town of Krasnovishersk, at the boundary between the middle and lower sections of the Vishera River, and in the section near the mouth of the river. Benthic communities were studied most thoroughly during the end of flood (June), with less detail provided for the middle of summer (July), autumn (September

and October), and the under-ice period (January and March). Entomological samples ($n = 18$) were taken using a net for sweeping over water and in riparian vegetation. Zoobenthos samples ($n = 16$) were obtained using the Petersen grab, dragnet (8 quantitative samples), and hydrobiological scraper (8 qualitative samples). Pupal exuviae were also collected at the water's edge, as well as larvae, and pupae for rearings of adults: a total of 25 reproductive experiments were conducted; pharate adults were obtained from hydrobiological samples (Table 1).

Table 1. Brief description of localities and material collection time

№	Water object, location	Coordinates (N, E)	Date of collection	Number of samples
I	Left bank of Vishera River in Krasnovishersk town	60.419211, 57.076061	13.06.2010	1
II	—»—	—»—	16–17.10.2012	3
III	Left bank of Vishera River opposite to Ryabinino village	60.325070, 56.500827	17.06.2013	1
IV	—»—	—»—	18.06.2015	2
V	—»—	—»—	04–06.09.2016	4
VI	—»—	—»—	01.06.2017	1
VII	—»—	—»—	17.06.2017	2
VIII	—»—	—»—	27–28.06.2017	9
IX	—»—	—»—	25–26.07.2017	4
X	Unnamed watercourse	60.194440, 56.468901	01.06.2017	1
XI	Right bank and thalweg of Vishera River opposite to Tolych stream	59.937737, 56.432558	25.01.2022	3
XII	—»—	—»—	01.03.2022	3
XIII	—»—	—»—	29.03.2022	2

Following keys and handbooks were used for identification. Macroinvertebrates from benthic samples [Komarova, 1991; Pankratova, 1970, 1983; Lepneva, 1964, 1966; Oprelidel'..., 1995, 1997, 2001]. Winged adults, except Chironomidae [Remm, 1969; Gutsevich et al., 1970; Vaillant, 1981; Savchenko, 1986; Kachalova, 1987; Bauernfeind, Humpesch, 2001; Yankovsky, 2002; Zhiltzova, 2003; Malicky, 2004; Oosterbroek, 2006, 2021]. Chironomidae [Ashe, O'Connor, 2009, 2012; Brundin, 1956; Hirvenoja, 1973; Saether, 1977; Saether, Sublette, 1983; Makarchenko, 2006; Gilka, 2011; Langton, Pinder, 2007a, b]. Data on distribution of the species were taken from the mentioned sources.

Basic analytical operations, such as compilation of species lists, calculation of species abundance and biomass, occurrence rates and indices of dominance, analysis of taxonomic and trophic structure of communities, calculating statistics of taxonomic and trophic diversity,

taxonomic indexes — were carried out using Benthos Explorer [Bezmaternykh et al., 2023; Bezmaternykh, 2026]. Taxonomic diversity was assessed by the average taxonomic distinctness index and its variability [Clarke, Warwick, 2001]. The modified Arnoldi dominance index was used for a dominant complex marking [Shcherbina, 1993]. There were calculated following diversity indices for estimating of species diversity: species richness, the Shannon index, the maximum Shannon index, the Pielou index, the difference of the evenness index, and the Simpson index (both in terms of abundance and biomass of individual species) [Pielou, 1969; Denisenko et al., 2013]. We used the taxonomic hierarchy and guild names according to A.A. Prokin [2024].

We apply the term “biological winter” (*BioWinter*) for the material collected during the under-ice period of the year (January, March) with water temperatures below 0°C, and “biological spring” (*BioSpring*) for the material collected

during the flood (June), when water temperatures did not exceed 9°C. We use the following abbreviations: *LDT* is the lowest defined taxon, L — larvae, P — pupae, ♂ — male, ♀ — female, “(...)” — rearing, *S* — the number of species, *S%* — the proportion of taxon species in the total species richness, *N* — the total abundance (individual/m²), *N%* — the proportion of taxon

in the total abundance of macroinvertebrates, *B* — total biomass (g/m²), *B%* — the proportion of the taxon in the total biomass of macroinvertebrates, *AvTD* — average taxonomic distinctness index, *VarTD* — variation in taxonomic distinctness index; after the “±” sign, the standard error *m* is given.

RESULTS

A total of 154 *LDT* of benthic macroinvertebrates have been identified. Of these, 151 are at the species level. The identified species belong to 103 genera, 35 families, 11 orders, and 5 classes: Oligochaeta, Hirudinea, Gastropoda, Crustacea, and Insecta. A large part of the insects (86 species) was identified based on adults from entomological samples or reared imagoes.

Chironomid species richness was 99, mayflies — 13, caddisfly — 10, and stoneflies — 7, and the remaining groups consisting of no more than four species the each one. The maximal species number was represented by chironomids and mayflies' genera of *Polypedilum* (8), *Cricotopus* (6), *Tanytarsus* (6), and *Baetis* (7) (Table 2).

Table 2. Species list of benthic macroinvertebrates of the lower reaches of Vishera River (“—” — species has not occurred)

Taxon	Locality and date according to Table 1	Qualitative samples	Quantitative samples
Oligochaeta			
<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i> Claparede, 1862	VIII	—	+
<i>Spirosperma ferox</i> Eisen, 1879	VIII	—	+
<i>Propappus volki</i> Michaelsen, 1916	VIII	—	+
<i>Enchytraeus</i> sp.	VIII	—	+
Hirudinea			
<i>Caspiobdella fadejewi</i> (Epshtein, 1961)	VIII	—	+
Gastropoda			
<i>Valvata andreaei</i> Menzel, 1904	VIII	—	+
Crustacea			
Amphipoda			
<i>Gammarus pulex</i> (L.)	VIII	—	♂
<i>Pontogammarus sarsi</i> (Sowinsky, 1898)	V, XII	♂	—
Mysida			
<i>Paramysis ullskyi</i> Czerniavsky, 1882	V	♀	—
	VIII	♂	♂
Insecta			
Ephemeroptera			
<i>Ametropus fragilis</i> Albarda, 1878	V	L	—
<i>Baetis digitatus</i> Bengtsson, 1912	VIII	L	L
<i>Baetis feles</i> Kluge, 1980	X	L	—
<i>Baetis fuscatus</i> (Linnaeus, 1761)	IX	♀	—
<i>Baetis muticus</i> (Linnaeus, 1758)	III, IX	L	—
<i>Baetis rhodani</i> (Pictet, 1843)	V	♀	—
	X	L	—
<i>Baetis scambus</i> Eaton, 1870	IX	♀	—
<i>Baetis tricolor</i> Tshernova, 1928	IX	L	—
<i>Procloeon bifidum</i> (Bengtsson, 1912)	IX	L	—
<i>Caenis rivulorum</i> Eaton, 1884	VIII	L	L
<i>Ephemerella aroni</i> Eaton, 1908	VIII	♀	L
<i>Ephemera lineata</i> Eaton, 1870	I	♂, ♀	—
	VIII	L	L
<i>Siphonurus lacustris</i> (Eaton, 1870)	I	L, ♀	—
Plecoptera			
<i>Isoptena serricornis</i> (Pictet, 1841)	V, XIII	L	—
<i>Leuctra digitata</i> Kempny, 1899	V	♂	—
<i>Leuctra hippopus</i> Kempny, 1899	X	♂, ♀	—
<i>Nemoura cinerea</i> (Retzius, 1783)	VIII	L	L
<i>Nemoura flexuosa</i> Aubert, 1949	X	♂, ♀	—

Taxon	Locality and date according to Table 1	Qualitative samples	Quantitative samples
<i>Nemurella pictetii</i> Klapalek, 1900	X	L, ♂	—
<i>Diura bicaudata</i> (Linnaeus, 1758)	VI	♀	—
Trichoptera			
<i>Brachycentrus subnubilus</i> Curtis, 1834	VIII	♂, ♀	—
<i>Silo pallipes</i> (Fabricius, 1781)	IX	♀	—
<i>Tricholeiochiton fagesii</i> (Guinard, 1879)	IX	♀	—
<i>Athripsodes albifrons</i> (Linnaeus, 1758)	IX	♂, ♀	—
<i>Ceraclea nigronervosa</i> (Retzius, 1783)	V	♀	—
<i>Halesus tessulatus</i> (Rambur, 1842)	X	L	—
<i>Limnephilus sparsus</i> Curtis, 1834	V	♀	—
<i>Molanna angustata</i> Curtis, 1834	VIII	L	L
<i>Lype phaeopa</i> (Stephens, 1836)	IX	♂	—
<i>Rhyacophila obliterata</i> McLachlan, 1863	X	L	—
Coleoptera			
<i>Elmis aenea</i> (Müller, 1806)	VIII	—	♂+♀
<i>Limnius volckmari</i> (Panzer, 1793)	VIII	—	♂
<i>Oulimnius tuberculatus</i> (Müller, 1806)	VIII	—	♂
Lepidoptera (indet.)	VIII	—	L
Diptera			
Ceratopogonidae			
<i>Dasyhelea flaviventris</i> (Goetghebuer, 1910)	XI	L	L
<i>Monohelea estonica</i> Remm, 1965	V, IX	♂	—
<i>Probezzia seminigra</i> (Panzer, 1798)	XII, XIII	L	L
Chaoboridae			
<i>Mochlonyx velutinus</i> (Ruthe, 1831)	VIII	—	L
Culicidae			
<i>Ochlerotatus diantaeus</i> (Howard, Dyar & Knab, 1912)	VIII	—	L
Empididae			
<i>Hemerodromia</i> sp.	VIII	—	L
<i>Phyllodromia melanocephala</i> (Fabricius, 1794)	VIII	—	L
Limoniidae			
<i>Hexatoma fuscipennis</i> (Curtis, 1836)	I	L	—
<i>Hexatoma nubeculosa</i> (Burmeister, 1829)	XII, XIII	L	L
Simuliidae	V, VIII	L	L
<i>Cnephia pallipes</i> (Fries, 1824)	VIII	(LP)	L
Tipulidae			
<i>Nephrotoma analis</i> (Shummel, 1833)	VIII	—	L
<i>Tipula livida</i> van der Wulp, 1858	VIII	—	L
Chironomidae			
Podonominae			
<i>Lasiodiamesa sphagnicola</i> (Kieffer, 1925)	IV	♂	—
Tanypodinae			
<i>Ablabesmyia longistyla</i> Fittkau, 1962	V	♂, ♀	—
	VIII	—	L
	IX	♂	—
<i>Ablabesmyia monilis</i> (Linnaeus, 1758)	VIII	L	—
<i>Conchapelopia pallidula</i> (Meigen, 1818)	IX	P	—
<i>Nilotanytus dubius</i> (Meigen, 1804)	VIII	♂, ♀	—
	IX	P, ♂	—
<i>Paramerina cingulata</i> (Walker, 1856)	VIII	—	L
<i>Procladius culiciformis</i> (Linnaeus, 1767)	V	♂	—
	XI	L	—
<i>Rheopelopia ornata</i> (Meigen, 1838)	IX	P	—
<i>Thienemannimyia norena</i> (Roback, 1957)	VIII	(P♀)	L
Diaesinae			
<i>Pseudodiamesa branickii</i> (Nowicki, 1873)	X	L	—
Prodiamesinae			
<i>Monodiamesa bathyphila</i> (Kieffer, 1918)	XIII	L	—
<i>Odontomesa fulva</i> (Kieffer, 1919)	VIII	—	L
<i>Prodiamesa olivacea</i> (Meigen, 1818)	X	L	—

Taxon	Locality and date according to Table 1	Qualitative samples	Quantitative samples
Orthoclaadiinae			
<i>Brillia longifurca</i> Kieffer, 1921	IX	♂	—
<i>Bryophaenocladus inconstans</i> (Brundin, 1947)	III, VIII	♂	—
<i>Bryophaenocladus tuberculatus</i> (Edwards, 1929)	IV	♂	—
<i>Corynoneura carriana</i> Edwards, 1924	VIII	♂	—
<i>Corynoneura lobata</i> Edwards, 1924	VII	♂	—
<i>Cricotopus bicinctus</i> (Meigen, 1818)	VIII	(LP♂), (P♀)	L, P
	IX	L, P	—
<i>Cricotopus curtus</i> Hirvenoja, 1973	VIII	♂	—
	IX	P	—
<i>Cricotopus lygropis</i> Edwards, 1929	II	(P♂)	—
<i>Cricotopus polaris</i> Kieffer, 1926	VIII	(P♂)	P
<i>Cricotopus reversus</i> Hirvenoja, 1973	VIII	♂	—
<i>Cricotopus similis</i> Goetghebeur, 1921	VIII	(P♂)	LP
<i>Gymnometriocnemus brumalis</i> (Edwards, 1929)	X	♂	—
<i>Heterotrissocladus marcidus</i> (Walker, 1856)	XI, XIII	L	—
<i>Hydrosmittia rutneri</i> Strenzke & Thienemann, 1942	I	♂	—
<i>Krenosmittia camptophleps</i> (Edwards, 1929)	VIII	♂	—
<i>Limnophyes asquamatus</i> Soegaard Andersen, 1937	III–V, VII–X	♂	—
	VI	♂, ♀	—
<i>Metriocnemus eurynotus</i> (Holmgren, 1883)	X	♂	—
<i>Metriocnemus tristellus</i> Edwards, 1929	X	♂	—
<i>Nanocladus distinctus</i> (Malloch, 1915)	VIII	♂	—
<i>Nanocladus minimus</i> Saether, 1977	IX	P, (P♂), ♂	—
<i>Nanocladus rectinervis</i> (Kieffer, 1911)	VIII	(LP)	L
<i>Nanocladus spinipennis</i> Saether, 1977	IX	P	—
<i>Orthocladus rhyacobius</i> Kieffer, 1911	IX	P	—
<i>Orthocladus rubicundus</i> (Meigen, 1818)	X	♂	—
<i>Orthocladus wetterensis</i> Brundin, 1956	VIII	L	L
<i>Paracladius alpicola</i> (Zetterstedt, 1850)	VIII	L	L
<i>Parakiefferiella bathophila</i> (Kieffer, 1912)	VIII, XIII	L	L
<i>Parakiefferiella scandica</i> Brundin, 1956	VII	♂	—
<i>Parametriocnemus stylatus</i> (Spaerck, 1923)	X	♂	—
<i>Paraphaenocladus impensus</i> (Walker, 1856)	III, VII	♂	—
<i>Pseudorthocladus wingoi</i> Saether & Sublette, 1983	IV	♂	—
<i>Rheocricotopus chalybeatus</i> (Edwards, 1929)	VIII	♂	—
<i>Rheocricotopus effusus</i> (Walker, 1856)	VIII	♂	—
<i>Rheocricotopus fuscipes</i> (Kieffer, 1909)	VIII	L	L
<i>Rheocricotopus glabricollis</i> (Meigen, 1830)	IX	P	—
<i>Rheosmittia spinicornis</i> (Brundin, 1956)	IX	♂	—
<i>Rheosmittia tshernovskiella</i> (Zvereva, 1950)	VIII	—	L
<i>Smittia aterrima</i> (Meigen, 1818)	IX	♂	—
<i>Thienemanniella lutea</i> (Edwards, 1924)	VII	♂	—
	VIII	—	L
	IX	(P♂)	—
<i>Tvetenia calvescens</i> (Edwards, 1929)	VII	♂	—
	IX	P	—
<i>Tvetenia tshernovskii</i> (Pankratova, 1968)	IX	P, ♂	—
Chironominae			
Chironomini			
<i>Beckidia zabolotzkyi</i> (Goetghebuer, 1938)	IX	LP, P	—
	XII	L	L
<i>Chernovskiiia ra</i> (Ulomsky, 1941)	V, VIII, XI–XIII	L	L
<i>Chironomus nudiventris</i> Ryser, Scholl & Wülker, 1983	XIII	L	—
<i>Chironomus venustus</i> Pinder, 1978	VIII	♂	—
<i>Cryptochironomus obreptans</i> (Walker, 1856)	V, XI, XIII	L	—
<i>Cryptochironomus rostratus</i> Kieffer, 1921	II	(LP♂)	—
<i>Demicryptochironomus vulneratus</i> (Zetterstedt, 1838)	XI, XIII	L	—
<i>Dicrotendipes nervosus</i> (Staeger, 1839)	IV	♂	—
<i>Harnischia fuscimanus</i> Kieffer, 1921	V	♂	—

Taxon	Locality and date according to Table 1	Qualitative samples	Quantitative samples
<i>Kloosia pusilla</i> (Linnaeus, 1767)	IX	P	—
<i>Microtendipes pedellus</i> (De Geer, 1776)	I	♂	—
<i>Olecryptotendipes macropodus</i> (Lyakhov, S. M., 1941)	XI, XIII	L	L
<i>Paracladopelma camptolabis</i> (Kieffer, 1913)	VII, VIII	L	L
<i>Paracladopelma laminatum</i> (Kieffer, 1921)	V	♂	—
<i>Paracladopelma rolli</i> (Tshernovskij, 1949)	XI	L	L
<i>Paralauterborniella nigrohalteralis</i> (Malloch, 1915)	IX	♂	—
	XI, XIII	L	—
<i>Paratendipes albimanus</i> (Meigen, 1818)	VIII	—	L
<i>Phaenopsectra flavipes</i> (Meigen, 1818)	V	♂	—
<i>Polypedilum acifer</i> Townes, 1945	IX	♂	—
<i>Polypedilum convictum</i> (Walker, 1856)	IX	P	—
<i>Polypedilum cultellatum</i> Goetghebuer, 1931	V	♂	—
	VIII	—	L
<i>Polypedilum nubeculosum</i> (Meigen, 1804)	VIII	♂	—
<i>Polypedilum pedestre</i> (Meigen, 1830)	VIII	—	L
<i>Polypedilum scalaenum</i> (Schränk, 1803)	IX	♂	—
	VIII	—	L
	XI, XIII	L	—
<i>Polypedilum sordens</i> (van der Wulp, 1875)	IX	♂	—
<i>Polypedilum</i> sp. №3 (Lipina, 1926)	XIII	L	—
<i>Robackia demeijerei</i> (Kruseman, 1933)	VIII, XI–XIII	L	L
	IX	LP, P	—
<i>Stenochironomus gibbus</i> (Fabricius, 1794)	IX	P	—
<i>Stictochironomus sticticus</i> (Fabricius, 1781)	II	(LP♀)	—
	VIII	—	L
	XI	L	—
Tanytarsini			
<i>Cladotanytarsus atridorsum</i> Kieffer, 1924	V	(P♀)	—
	IX	P, (P♂), (P♀),	—
		♂	
<i>Cladotanytarsus bicornutus</i> Kieffer, 1922	IX	♂	—
<i>Cladotanytarsus mancus</i> (Walker, 1856)	VIII	(LP)	L, P
	IX	P, (P♂)	—
<i>Cladotanytarsus pallidus</i> Kieffer, 1922	IX	P	—
<i>Paratanytarsus austriacus</i> (Kieffer, 1924)	VIII	—	L
<i>Rheotanytarsus curtistylus</i> (Goetghebuer, 1921)	VIII	—	L
<i>Rheotanytarsus pentapoda</i> (Kieffer, 1909)	IX	♂	—
<i>Rheotanytarsus photophilus</i> (Goetghebuer, 1921)	IX	P	—
<i>Stempellina almi</i> Brundin, 1947	V, IX	♂	—
<i>Stempellinella edwardsi</i> Spies & Saether, 2004	IV, VIII	♂	—
	IX	P, (P♂)	—
<i>Tanytarsus chinyensis</i> Goetghebuer, 1934	I	♂	—
<i>Tanytarsus eminulus</i> (Walker, 1856)	IX	P	—
<i>Tanytarsus mendax</i> Kieffer, 1925	VIII	(LP)	L
<i>Tanytarsus pallidicornis</i> (Walker, 1856)	V, VIII	L	L
<i>Tanytarsus smolandicus</i> Brundin, 1947	VIII	♂	—
<i>Tanytarsus usmaensis</i> Pagast, 1931	IX	P	—

Over the half of the total species list was Palearctic (56%), and about a quarter was Holarctic (26%). Species with ranges also in the Oriental region accounted for 14% of the list. The proportion of widely distributed species, including cosmopolitans, was extremely low (4%). The average taxonomic distinctness of the species list was 51.70 ± 0.13 , and the variation in taxonomic distinctness was equal to 409.

The trophic structure of the entire species list includes 23 guilds, the largest number of species was

phytodetritophagous and seston-phytodetritophagous, which have a wide spectrum of feeding mechanisms. Approximately one-third (34%) of all recorded species are phytodetritophagous shredders + collectors + scrapers, while one-fifth (20%) are seston-phytodetritophagous active vagile filterers + collectors + scrapers. There are also 14 guilds represented by only one or two species.

As a result of zoobenthos quantitative samples processing, 59 *LDT* were identified

(56 species), from 50 genera, 22 families, 11 orders and 5 classes. The basis of the species list was formed by chironomids (51%), oligochaetes and mayflies collectively provided 14%, all other groups counted 1–3 species the each one. The abundance and biomass of psammorheophilic benthic communities were higher in winter (January–March), on the contrary, the species richness and taxonomic diversity, were higher in the spring during the end of the flood (June) (Tables 3, 4).

The basis of psammorheophilic macroinvertebrates was formed by chironomid species typical for the underwater mobile sands: *Paracladopelma rolli*, *Chernovskiiia ra* and *Olecryptotendipes macropodus* in winter, *Robackia demeijerei* in spring. Representatives of 16 guilds are marked in the trophic structure. The basis of the average abundance (67%) and biomass (50%) was formed by the species of the guild “omnivorous collectors + scrapers”.

Table 3. Abundance and biomass of psammorheophilic benthic communities of the lower reaches of the Vishera River in the winter and spring periods obtained by grab and dragnet

Taxon	<i>BioWinter</i> , Petersen Grab		<i>BioSpring</i> , Dragnet	
	<i>N</i> ± <i>m</i>	<i>B</i> ± <i>m</i>	<i>N</i> ± <i>m</i>	<i>B</i> ± <i>m</i>
Oligochaeta	48±67.3	0.00±0.007	4±4.5	0.00±0.001
Mysida	0	0	0±0.5	0.01±0.011
Ceratopogonidae	98±88.4	0.04±0.033	2±3.7	0.00±0.003
Limoniidae	13±18.9	0.05±0.075	0±0.2	0.00±0.002
Tipulidae	0	0	1±1.1	0.02±0.038
Chironomidae	597±425.1	0.16±0.125	68±47.6	0.02±0.016
Others*	0	0	7±10.4	0.01±0.013
Total	756±567.7	0.25±0.160	82±63.5	0.06±0.08

Note. *Others: Hirudinea, Gatropoda, Amphipoda, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Coleoptera, Chaoboridae, Culicidae, Empididae, Simuliidae.

Table 4. Taxonomic and functional parameters of psammorheophilic benthic macroinvertebrates of the Vishera River lower reaches in *BioWinter* and *BioSpring* periods

Parameter	<i>BioWinter</i>	<i>BioSpring</i>
Number of <i>LDT</i> / species / genera / families	8 / 8 / 8 / 4	54 / 51 / 47 / 22
<i>AvTD</i>	54.9±3.82	60.3±0.46
Number of guilds	6	16
Chironomidae: <i>S</i> % / <i>N</i> % / <i>B</i> %	51 / 79 / 64	50 / 83 / 33
Simpson index (in terms of abundance)	0.20	0.20
Simpson index (in terms of biomass)	0.17	0.10
Shannon index (bit/ind.) ± <i>m</i>	2.59±0.046	3.64±0.169
Shannon index (bit/g) ± <i>m</i>	2.73±0.111	4.01±0.197
Pielou index (in terms of abundance)	0.86	0.63
Pielou index (in terms of biomass)	0.91	0.70
Maximum Shannon index	3.00	5.75
Difference of the evenness index	0.05	0.07

The average taxonomic distinctness, Shannon index by number and biomass and maximum values of Shannon indexes were higher in the *BoiSpring* period, Pielou index values — vice versa. Generally, domination structure of

benthic communities, being shown via Simpson index and the difference of the evenness index, was very similar in the *BioWinter* and *BoiSpring* periods. The key taxon was Chironomidae in all aspects (Tables 3, 4).

DISCUSSION

The combination of various methods and timing of material collection has made it possible to significantly expand the species diversity of psammorheophilic macroinvertebrates as well as adults of amphibiotic insects in floodplain vegetation along sandy shores. For example, from 18 to 83 taxa have been identified for the psammophilic communities in various watercourses [Whitman, Clark, 1984; Phillips, 2003; Pozdeev, Aleksevina, 2008; Pozdeev, 2007, 2017; Belova, Pryanichnikova, 2025]. Clearly, the

continuum of an environmental factors like as current velocity, channel morphology, and others, creates all possible variations of substrate between coarse (cobbles, pebbles, etc.) and fine (silt, clay) grading fractions in a watercourse bottom substrata. This has led to an expansion of the taxonomic inventory due to the presence of species from different habitats — limnophilic, lithoreophilic, and other. These include chaoborids, culicids, some caddisflies, etc. However, all of these found on sandy substrates, and their findings

expand our understanding of the intricate of biocenoses structure in running waters.

It is the same for the “group-level” taxonomic diversity of benthic macroinvertebrates. The diversity of 17 taxonomic groups that has shown in Vishera River, is higher compared to other data sources: 10–13 taxonomic groups of macroinvertebrates [Whitman, Clark, 1984; Pozdeev, 2017; Belova, Pryanichnikova, 2025]. This is likely due to the larger sample size obtained using dragnet (Table 3). The spectrum of psammorheophilic and psammobiotic taxa can be further expanded through additional sampling techniques, such as entomological investigations like we have done, or by analyzing fish feeding samples of the species which adapted to living in sand habitats [Hobson, Chess, 1986; Zuanon et al., 2006; Djikanovic et al., 2015; Golubkov et al., 2022].

At the same time, *AvTD* of the Vishera River psammorheophilic fauna was significantly lower than *AvTD* of the same biocenoses of the Yayva River (69–71), benthic communities of the riverine parts of the Kama reservoirs (83–89), and estuaries of southwestern Britain (on average about 90), instead of *VarTD*, which was significantly higher [Warwick, Somerfield, 2010; Pozdeev, 2017; Pozdeev, Bezmaternykh, 2025]. In some cases, this is due to the taking into consideration some taxa (for example, Nematoda), which were not included in the species list in the framework of this study. However, the main parameter that reduces *AvTD* is the significant asymmetry of the taxonomic tree of the Vishera River’ psammorheophilic fauna caused by the high species diversity of chironomids. In turn, the Chironomidae species richness on sandy substrates is determined not only by greater detailing, but the actual predominance of the latter in the biocenosis.

Psammorheophilic species and groups have a complex of adaptations for living on shifting sand and are different in morphology from other benthic macroinvertebrates. The limited diversity of psammorheobionts is related to both the extreme conditions of the habitat and its homogeneity [Whitman, Clark, 1984; Allan, Castillo, 2007; Wantzen et al., 2014; Przhiboro, 2017]. Nevertheless, benthic communities of the sandy substrates in watercourses can be composed mainly by eurybiontic and psammophilic macroinvertebrates, including only some elements of the psammorheophilic fauna, mainly dipterans [Phillips, 2003; Pozdeev, Kotelnikova, 2016]. Additionally, some species from other taxonomic groups can tend towards sandy sediments and become components of psammopelophilic

biocenoses of riverine sections of reservoirs [Istomina, 2017; Kurina, 2025a, b].

Thus, with the α -diversity comparable to other water bodies, we have shown a very high β -diversity of psammorheophilic biocenoses using the example of the Vishera River. It is known that the ratio of species and sample area depends on the size of the invertebrates [Azovsky, 2002], and sometimes on their mobility [Zuyev, 2023]. In our material, the changing a sampler and an increasing the size of quantitative samples in the *BioSpring*, compared with the subglacial period, led to a significant expansion of taxonomic diversity — from 4 to 17 groups.

Along with the diversity increasing, a significant complication of the trophic structure was also recorded. The increasing of the quantitative samples area by an order, the number of guilds increased from 6 to 16 (Table. 4), most of which (9) were represented by only 1–2 species. In the upper (riverine) part of the Kama reservoir, where Vishera River inflows, and the sandy fraction prevails in the sediments, a comparable diversity of trophic groups was noted — 14 guilds, but the ratio of guilds’ representatives via abundance and biomass were more evenness [Pozdeev, Bezmaternykh, 2025]. Based on this, it can be concluded that the high diversity of the taxonomic and trophic structures of the psammorheophilic communities of the Vishera River contradicts the position of the high homogeneity of substrate (mobile sands) and an extremely limited number of ecological niches in this habitat [Whitman, Clark, 1984; Statzner, Higler, 1986]. However, it only indicates an increase in the heterogeneity of the mobile sands’ habitat on a larger spatial scale than is commonly assumed.

The hypothesis states the extremely low quantitative parameters of benthic macroinvertebrates of the psammorheophilic communities: the abundance has to be about 2.5 thousand ind./m² and biomass about 1–2 g/m² [Tauson, 1947; Hynes 1970; Statzner, Higler, 1986; Wantzen et al., 2014, Davis et al., 2015]. Our data fully confirms this statement. A contrast feature of the Vishera River psammorheophilic communities, at least in the studied seasons, was the excess the values of Pielou index by biomass over those by abundance (Table 3). The diversity of the community, assessed by various indicators, can be considered high. The difference of the evenness index, as a summarizing parameter, is close to zero and indicates, on the one hand, the well-being of the psammorheophilic community, on the other, its vulnerability. Exactly the psammorheophilic biocenosis is one of the most sensitive of any

anthropogenic impact — pollution of various origins, hydraulic engineering, and urbanization, because it includes a large number of highly oxyphilic species. At the same time, there are critically few publications devoted to changes of this type of biocenosis under anthropogenic pressure, and most of the common methods show unsatisfactory results of assessing the degree of pollution [Konstantinov, 1979; Pozdeev, 2017]. Once destroyed, most often as a result of hydraulic engineering, the biocenosis is usually not fully restored, primarily due to the lack of refugia for such a specific fauna [Tittizer et al., 1991; Wantzen et al., 2014, Pozdeev, Bezmaternykh, 2025].

The dominant complexes structure of psammophilic communities seems to depend on a number of parameters, the significance of which has different meanings for some taxonomic groups. Chironomidae is a keystone group on the mobile sands in running waters of any continent. Oligochaeta and Amphipoda are essential

components, and their density can vary in wide range, increasing in the potamal of large rivers. Gammaridae predominate among the amphipods on the sands. Oligochaetes are rarely detailed, but the specialized species *Propappus volki* is mentioned more often. The species is widespread in the Palearctic and Oriental regions and also plays a significant role in the Vishera River. A special feature of Vishera River psammophilic communities is the presence of the mysis *Paramysis ullsky* of the Ponto-Caspian complex. Ephemeroptera (Caenidae) and Odonata (Gomphidae) can be massively represented in streams, exactly species which are endemic or specific to a particular region. The importance of mayflies and dragonflies is low on sandy substrates in Vishera River. In small rivers, the number and abundance of dipteran species is increasing, primarily Ceratopogonidae and Limoniidae [Phillips, 2003; Wantzen et al., 2014, Davis et al., 2015; Pozdeev, 2017].

CONCLUSION

Thus, the species composition of benthic communities of Vishera River mobile sands has a huge species richness. Except of highly specialized psammophilic, its significantly expands due to psammophilic and eurybiont species from a wide variety of taxonomic groups at least during certain periods of the year. At the same time, there is no increasing of abundance and biomass of benthic macroinvertebrates, and the limited food resources in an unstable substrate

remain a key limiting factor in any case. So, high diversity of the psammophilic community is partly explained by the use additional samplings. The drift of macroinvertebrates from overlying areas also needs to take into account. Nevertheless, it possibly there is a regular distribution of microhabitats within the habitat of mobile sands that cannot be found by using the traditional sampler with a capture area of 0.025 m² or less.

ACKNOWLEDGEMENTS

Author thanks their colleagues — V.V. Bezmaternykh, S.P. Ogorodov, (Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Perm Branch), A.A. Przhiboro (Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences), Yu.A. Dunayeva (Library of the Russian Academy of Sciences), V.S. Kotelnikova (Saint Petersburg City Palace of Youth Creativity), and N.A. Martynenko (Institute of Ecology and Evolution A.N. Severtsov of the Russian Academy of Sciences).

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography no. 076-00004-23-00 “Determination of the Total Permissible Catch of Aquatic Biological Resources”.

REFERENCES

- Alekseynina M.S., Korionov A.A. Benthofauna of Upper Vishera River and its tributaries on the territory of the Vishersky Reserve. Zapovednik Visherskiy: itogi i perspektivy issledovaniy (15 let s osnovaniya) [The Visherskiy Reserve: results and prospects of investigations]. Perm, 2006, pp. 76–79. (In Russian)
- Allan J.D., Castillo M.M. Structure and function of running waters. *Stream Ecology*. Dordrecht, Springer, 2007. 436 p. doi: 10.1007/978-1-4020-5583-6.
- Ashe P., O'Connor J.P. A World Catalogue of Chironomidae (Diptera). Dublin, The Irish Biogeograph. Soc., 2009, part 1. 445 p.
- Ashe P., O'Connor J.P. A World Catalogue of Chironomidae (Diptera). Dublin, The Irish Biogeograph. Soc., 2012, part 2. 968 p.
- Azovsky A.I. Size-dependent species-area relationships in benthos: is the world more diverse for microbes? *Ecography*, 2002, vol. 25, no. 3, pp. 273–282. doi: 10.1034/j.1600-0587.2002.250303.x.
- Bauernfeind E., Humpesch U.H. Die Eintagsfliegen Zentraleuropas — Bestimmung und Ökologie. Wien, AV-Druck, 2001. 240 p.

- Belova A.P., Pryanichnikova E.G. Macrozoobenthos of the Lower Reaches of the Ustye River. *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*, 2025, is. 111(114), pp. 53–73. doi: 10.47021/0320-3557-2025-53-73. (In Russian)
- Bezmaternykh V.V. Benthos Explorer. Hydrobiometric. 2026. Updated 06 February, 2026. [Online resource]. <https://hydrobiometric.com/page/application.php?app=bexplore>. Access on 13.04.2026.
- Bezmaternykh V.V., Pozdeev I.V., Ogorodov S.P., Tselishcheva E.M. Specialized software for support of ecological research of aquatic organisms. *Antropogennoye vliyaniye na vodnye organizmy i ekosistemy: Materialy VIII Vserossiyskoy konferentsii po vodnoy ekotoksikologii, posvyashchennoy 85-letiyu so dnya rozhdeniya doktora biologicheskikh nauk, professora B.A. Flërova* [Anthropogenic Impact on Aquatic Organisms and Ecosystems: Proceedings of the VIII All-Russian Conference on Aquatic Ecotoxicology]. Borok, 2023, pp. 218–223. (In Russian)
- Brundin L. Zur Systematik der Orthocladiinae (Dipt., Chironomidae). *Rep. Inst. Freshwat. Res. Drottningholm*, 1956, vol. 37, pp. 5–185.
- Clarke K.R., Warwick R.M. A further biodiversity index applicable to species lists: variation in taxonomic distinctness. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2001, vol. 216, pp. 265–278. doi: 10.3354/meps216265.
- Davis A.M., Pearson R.G., Kneipp I.J. et al. Spatiotemporal variability and environmental determinants of invertebrate assemblage structure in an Australian dry-tropical river. *Freshwat. Sci.*, 2015, vol. 34, no. 2, pp. 634–647. doi: 10.1086/681303.
- Denisenko S.G., Barbashova M.A., Belyakov V.P. et al. The Results of an Assessment of the Ecological State of Zoobenthos Communities According to the Difference of Evenness Index (DE'). *Inland Water Biol.*, 2013, vol. 6, no. 1, pp. 39–47. doi: 10.1134/S1995082912040062.
- Djikanovic V., Skoric S., Lenhardt M., Smederevac-Lalic M., Visnjic-Jeftic Z., Spasic S., Mickovic B. Review of sterlet (*Acipenser ruthenus* L. 1758) (Actinopterygii: Acipenseridae) feeding habits in the River Danube, 1694–852 river km. *J. Nat. Hist.*, 2015, vol. 49, no. 5–8, pp. 411–417. doi: 10.1080/00222933.2013.877991.
- Gilka W. Ochotkowate — Chironomidae, plemię: Tanytarsini, postaci dorosłe, samce. *Klucze do oznaczania owadów Polski*. Wrocław, Drukarnia Scorpion, 2011. 95 p.
- Golubkov S.M., Kotelnikova V.S., Pozdeev I.V. Abundance and feeding mode of Russian spiralin, *Alburnoides rossicus*, in the rhithral and potamal of Eastern European Rivers. *Environ. Biol. Fish.*, 2022, vol. 105, pp. 851–866. doi: 10.1007/s10641-022-01292-y.
- Gutsevich A.V., Monchadskiy A.S., Shtakelberg A.A. Mosquitoes (Family Culicidae). Leningrad, Nauka, 1970. 384 p. (In Russian)
- Hirvenoja M. Revision der Gattung *Cricotopus* van der Wulp und ihrer Verwandten (Diptera, Chironomidae). *Ann. Zool. Fenn.*, 1973, vol. 10, pp. 1–363.
- Hobson E.S., Chess J.R. Relationships among fishes and their prey in a nearshore sand community off southern California. *Environ. Biol. Fish.*, 1986, vol. 17, pp. 201–226. doi: 10.1007/BF00698198.
- Hynes H.B.N. The Ecology of Running Waters. Toronto, Univ. Toronto Press, 1970. 555 p.
- Istomina A.M. Current State of Macroinvertebrates of Kama and Votkinsk Reservoirs. *Bull. Perm Univ. Biol.*, 2017, no. 3, pp. 279–287. (In Russian)
- Kachalova O.L. Alderflies, snakeflies, lacewings, scorpion-flies and caddisflies. *Otryad Trichoptera — Rucheiniki*. [Order Trichoptera — Caddisfly]. *Key to the Insects of the European Part of the USSR. Vol. IV*. Moscow-Leningrad, Nauka, 1987, pp. 107–193. (In Russian)
- Komarova T.I. Mysids. Kiev, Naukova Dumka, 1991. 104 p. (In Russian)
- Komlev A., Chernykh E. Rivers of Permskaya oblast. Perm, Permskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1984. 214 p. (In Russian)
- Konstantinov A.S. [The benthos of the Volga near Saratov and the influence of pollution on it]. *The river Volga and its life*. (ed. D. Mordukhai-Boltovskoi). London, W. Junk Publ., 1979, pp. 235–265. (In Russian)
- Krasheninnikov A.B., Makarchenko M.A. On the chironomid fauna of subfamilies Podonominae, Diamesinae and Orthocladiinae (Diptera, Chironomidae) of the Vishersky Nature Reserve and bordering territories (North Urals). *Euroasian Entomol. J.*, 2009, vol. 8, no. 3, pp. 335–340. (In Russian)
- Krasheninnikov A.B., Pan'kov N.N., Pan'kova N.V., Starova O.S. The amphibiotic insects of the north-east of Perm region and neighboring territories (mayflies, stoneflies, and caddisflies). *Bull. Perm Univ. Biol.*, 2008, no. 9(25), pp. 15–26. (In Russian)
- Kurina E.M. Higher Crustaceans (Malacostraca, Arthropoda) in the Volga and Kama Rivers. *Inland Water Biol.*, 2025a, vol. 18, no. 1, pp. 113–120. doi: 10.7868/S3034522725010105.
- Kurina E.M. Distribution of Leeches (Hirudinea) in the Benthic Communities of the Volga and Kama Reservoirs. *Inland Water Biol.*, 2025b, vol. 18, no. 1, pp. 160–167. doi: 10.31857/S0320965225010141.
- Langton P.H., Pinder L.C.V. Keys to the adult male Chironomidae of Britain and Ireland. Cumbria, Freshwat. Biol. Ass., 2007a, vol. 1. 239 p.
- Langton P.H., Pinder L.C.V. Keys to the adult male Chironomidae of Britain and Ireland. Cumbria, Freshwat. Biol. Ass., 2007b, vol. 2. 168 p.
- Lepneva S.G. Lichinki i kukolki Podotryada Kol'chatoshchupikovykh (Annulipalpia) [Larvae and pupae of suborder Annulipalpia]. Moscow, Leningrad, 1964, vol. 2, no. 1. 565 p. (In Russian)
- Lepneva S.G. Lichinki i kukolki Podotryada Tsel'noshchupikovykh (Integripalpia) [Larvae and pupae of suborder Integripalpia]. Moscow, Leningrad, 1966, vol. 2, no. 2. 564 p. (In Russian)

- Makarchenko E.A. Key to the Insects of Russian Far East. *Opredelitel' nasekomykh Dal'nego Vostoka Rossii* [Fam. Chironomidae — Non-biting Midges], Vladivostok, Dal'nauka, 2006, vol. VI, no. 4, pp. 204–235. (In Russian)
- Malicky H. Atlas of European Trichoptera. Dordrecht, Springer Netherlands, 2004. 359 p. doi: 10.1007/978-1-4020-3026-0.
- Oosterbroek P. Illustrated key to the Tipulidae of NW Europe (Insecta, Diptera). 2021. Available at: <https://ccw.naturalis.nl>. Accessed on 13.04.2026.
- Oosterbroek P. The European Families of the Diptera. Identification, Diagnosis, Biology. Utrecht, KNNV Publishing, 2006. 208 p.
- Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territoriy. [Key to Freshwater Invertebrates of Russia and Adjacent Lands]. Saint-Petersburg, Nauka, 1995, vol. 2. 627 p. (In Russian)
- Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territoriy. [Key to Freshwater Invertebrates of Russia and Adjacent Lands]. Saint-Petersburg, Nauka, 1997, vol. 3. 439 p. (In Russian)
- Opredelitel' presnovodnykh bespozvonochnykh Rossii i sopredel'nykh territoriy. [Key to Freshwater Invertebrates of Russia and Adjacent Lands]. Saint-Petersburg, Nauka, 2001, vol. 5. 836 p. (In Russian)
- Pan'kov N.N., Ovchankova N.B. The fauna and benthic communities of invertebrates of watercourses of the Upper Vishera River basin. *Bull. Perm Univ. Biol.*, 2017, no. 2, pp. 168–184. (In Russian)
- Pankratova V.Ya. Lichinki i kukolki komarov podsemeystva Chironominae fauny SSSR (Diptera, Chironomidae = Tendipedidae) [Larvae and pupae of non-biting midges of the subfamily Chironominae of the USSR fauna (Diptera, Chironomidae = Tendipedidae)]. Leningrad, Nauka, 1983. 296 p. (In Russian)
- Pankratova V.Ya. Lichinki i kukolki komarov podsemeystva Orthocladiinae fauny SSSR (Diptera, Chironomidae = Tendipedidae) [Larvae and pupae of non-biting midges of the subfamily Orthocladiinae of the USSR fauna (Diptera, Chironomidae = Tendipedidae)]. Leningrad, Nauka, 1970. 343 p. (In Russian)
- Phillips E.C. Habitat Preference of Aquatic Macroinvertebrates in an East Texas Sandy Stream. *J. Freshwat. Ecol.*, 2003, vol. 18, no. 1, pp. 1–11. doi: 10.1080/02705060.2003.9663946.
- Pielou E.C. An introduction to mathematical ecology. N.Y., Wiley-Interscience, 1969. 294 p.
- Pozdeev I.V. Psammorheophilic benthic communities' structure of lowland part of Yaiva River. *Bull. Perm Univ. Biol.*, 2017, no. 3, pp. 355–366. (In Russian)
- Pozdeev I.V. The benthofauna of Vishera River (Kama River basin). *Bull. Perm Univ. Biol.*, 2007, no. 5(10), pp. 74–79. (In Russian)
- Pozdeev I.V., Aleksevnina M.S. The Role of Chironomid Larvae in the Structure of River Benthic Communities of the Upper and Middle Kama River Basins. *Inland Water Biol.*, 2008, vol. 1, no. 2, pp. 158–162. doi: 10.1134/s1995082908020089.
- Pozdeev I.V., Bezmaternykh V.V. Comparative analysis of structure in benthic invertebrates' communities of the upper (riverine) parts of reservoirs in the Kama River cascade. *Inland Water Biol.*, 2025, vol. 18, no. 1, pp. 121–136. doi: 10.1134/S1995082924600984.
- Pozdeev I.V., Kotelnikova V.S. B. Zoobenthos of the Lysva River (Chusovaya River basin) of Permskiy krai. *Sovremennoye sostoyaniye bioresursov vnutrennikh vodoemov i puti ikh racional'nogo ispol'zovaniya* [The Current State of Bioresources in Inland Water Bodies and Ways of their Rational Use]. Kazan, 2016, pp. 860–866.
- Prokin A.A. Trophic specialization of the macroinvertebrates of Russian inland waters. *Metody gidrobiologicheskikh issledovaniy vnutrennikh vod* [Methods of Hydrobiological Researches of the Inland Waters], Borok, IBIW RAS, 2024, pp. 359–379. (In Russian)
- Przhiboro A.A. New data on psammorheophilous Limoniidae (Diptera) of NE European Russia. *Zoosystematica Ross.*, 2017, vol. 26(2), pp. 381–391. doi: 10.31610/zsr/2017.26.2.381
- Remm Kh.Ya. Fam. Ceratopogonidae (Heleidae) — Biting Midges. *Opredelitel' nasekomykh Evropeiskoi chasti Rossii* [Key to Insects of European Part of the USSR]. Leningrad, 1969. vol. V, part 1, pp. 201–218. (In Russian)
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost' [Resources of Surface Waters of the USSR. Hydrological Survey]. Leningrad, 1966, vol. 11, no. 1. 320 p. (In Russian)
- Saether O.A. Taxonomic studies on Chironomidae: *Nanocladius*, *Pseudochironomus*, and the *Harnischia* complex. *Bull. Fish. Res. Board Canada*, 1977, no. 196, pp. 1–143.
- Saether O.A., Sublette J.E. A review of the genera *Doithrix* n. gen., *Georthocladius* Strenzke, *Parachaetocladius* Wulker and *Pseudorthocladius* Geotghebuer (Diptera: Chironomidae, Orthocladiinae). *Entomol. Scand. Suppl.*, 1983, vol. 20, pp. 1–100.
- Savchenko E.N. Komary-limoniidy (obshchaya kharakteristika, podsemeystva pediciiny i heksatominy) [Crane flies of the family Limoniidae (general characteristic, subfamilies Pediciinae and Hexatominiae)]. Kiev, Naukova Dumka, 1986. 380 p. (In Russian)
- Scientific and Applied reference: the Main Hydrological Characteristics River Basins of the Kama River. Livny, Izd. Mukhametov G.V., 2015. 135 p. (In Russian)
- Shcherbina G.Kh. Annual dynamics of macrozoobenthos in open shallows of the Volga reaches of the Rybinsk reservoir. *Zootsenozy vodoyemov basseyna Verkhney Volgi v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya* [Zoocenosis of Upper Volga Reaches' Waterbodies under Anthropogenic Pressure]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1993, pp. 108–144. (In Russian)
- Shilkova E.V. Benthic fauna of Kama, Vishera, and Kolva Rivers. *Biologicheskie resursy vodoyomov Urala, ikh okhrana i racional'noe ispol'zovanie. Tezisy dokladov Btorogo regional'nogo soveshchaniya gidrobiologov Urala* [Biological

- resources of the Urals' waterbodies, their preserve and rational usage. Abstracts of the 2nd Regional Conf. of Hydrobiologists of the Urals]. Perm, 1983, pp. 77–78. (In Russian)
- Simpson E. Measurement of Diversity. *Nature*, 1949, vol. 163, p. 688. doi: 10.1038/163688a0.
- Soluk D.A. Macroinvertebrate abundance and production of psammophilous Chironomidae in shifting sand areas of a lowland river. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1985, vol. 42, pp. 1296–1302. doi: 10.1139/f85-161.
- Statzner B., Higl B. Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation patterns. *Freshwat. Biol.*, 1986, vol. 16, no. 1, pp. 127–139. doi: 10.1111/j.1365-2427.1986.tb00954.x.
- Tauson A.O. Vodnye resursy Molotovskoi oblasti [Water Resources of Molotov province]. Molotov, Molotovgiz, 1947. 324 p. (In Russian)
- Tittizer T., Schöll F., Dommermuth M. et al. Zur Bestandsentwicklung des Zoobenthos des Rheins im Verlauf der letzten neun Jahrzehnte. *Wasser Abwasser*, 1991, bd. 35, ss. 125–166.
- Vaillant F. Diptères Empididae Hemerodromiinae nouveaux ou peu connus de la région paléarctique (première partie). *Bonn. Zool. Beitr.*, 1981, vol. 32, no. 3–4, pp. 351–408.
- Wantzen K.M., Blettler M.C.M., Marchese M.R., Amsler M.L., Bacchi M., Ezcurra de Drago I.D., Drago E.E. Sandy rivers: a review on general ecohydrological patterns of benthic invertebrate assemblages across continents. *Int. J. River Basin Manag.*, 2014, vol. 12, no. 3, pp. 163–174. doi: 10.1080/15715124.2014.885438.
- Warwick R.M., Somerfield P.J. The structure and functioning of the benthic macrofauna of the Bristol Channel and Severn Estuary, with predicted effects of a tidal barrage. *Mar. Pollut. Bull.*, 2010, vol. 61, pp. 92–99. doi: 10.1016/j.marpolbul.2009.12.016.
- Whitman R.L., Clark W.J. Ecological Studies of the Sand-Dwelling Community of an East Texas Stream. *Freshwat. Invertebr. Biol.*, 1984, vol. 3, no. 2, pp. 59–79. doi: 10.2307/1467095.
- Yankovsky A.V. A key for the identification of blackflies (Diptera, Simuliidae) of Russia and adjacent countries (former USSR). Saint-Petersburg, ZIN RAS, 2002. 570 p. (In Russian)
- Zhiltzova L.A. Plecoptera. Gruppe Euholognatha. Saint Petersburg, Nauka, 2003. 538 p. (In Russian)
- Zuanon J., Bockmann F.A., Sazima I. A remarkable sand-dwelling fish assemblage from central Amazonia, with comments on the evolution of psammophily in South American freshwater fishes. *Neotrop. Ichthyol.*, 2006, vol. 4(1), pp. 107–118. doi: 10.1590/S1679-62252006000100012.
- Zuyev Yu.A. Distribution of the Mass Species of Benthic Crustaceans on the Nearshore Slope of Lake Ladoga. *Inland Water Biol.*, 2023, vol. 16, no. 2, pp. 279–291. doi: 10.1134/s1995082923020256.
- Zvereva O.S. New larval forms of Tendipedidae (Diptera) from Pechyora and Vychegda Rivers. *Entomol. Rev.*, 1950, vol. 31, no. 1–2, pp. 262–284. (In Russian)

ПСАММОРЕОФИЛЬНЫЕ ДОННЫЕ СООБЩЕСТВА РЕКИ ВИШЕРА (БАССЕЙН КАМЫ, РОССИЯ)

И. В. Поздеев*

Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук,
199034 г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 5,

Пермский филиал ФГБНУ “ВНИРО”, 614000 г. Пермь, ул. Екатерининская, 32, e-mail: *pozdeev@spbrc.nw.ru
Поступила в редакцию 20.04.2026

Приведены данные по видовому составу псаммореофильных донных сообществ нижнего течения р. Вишеры и уровню их развития в периоды биологической зимы и весны. Список включает 154 таксона из олигохет (4), пиявок (1), брюхоногих моллюсков (1), ракообразных (3) и насекомых (145), 81 вид насекомых указан по имаго, фартатным имаго и результатам выведений. Основу списка формируют хирономиды (99 видов). Наибольшим числом видов отличались роды *Baetis* (Ephemeroptera), *Polypedium*, *Cricotopus*, *Tanytarsus* (Chironomidae). Большинство отмеченных видов имеют палеарктическое распространение (57%), меньшая часть — голарктическое (27%). Количественные показатели развития псаммореофильных донных сообществ реки в зимний и весенний периоды были крайне низки. От зимнего периода к весеннему значительно увеличивались показатели разнообразия.

Ключевые слова: водотоки, Предуралье, зима, весна, подледный период, паводок, фауна, сообщества, Chironomidae.

Паразитология

УДК 576.895.122-14(-87)

МОРФОЛОГИЯ И ВСТРЕЧАЕМОСТЬ *ASPIDOGASTER AFRICANUS* (TREMATODA: ASPIDOGASTREA) У РЫБ РОДА *LABEOBARBUS* В ОЗЕРЕ ТАНА (ЭФИОПИЯ)

А. Е. Жохов*, М. Н. Пугачева

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук,
пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия, e-mail: *zhokhov@ibiw.ru

Поступила в редакцию 27.04.2026

Aspidogaster africanus Saoud, Mohamed & Abdel-Hamid, 1974 (Aspidogastridae) описан повторно на основе данных световой микроскопии от рыб рода *Labeobarbus* из оз. Тана. Рыбы были пойманы в период с 2006 г. по 2008 гг. В оз. Тана обитает пучок из 15 эндемичных видов карповых рыб, крупных гексаплоидных усачей рода *Labeobarbus* (=Barbus), характеризующихся высоким морфологическим и экологическим разнообразием. Трематоды найдены у 8 из 15 исследованных видов барбусов: у моллюскофагов *Labeobarbus crassibarbis*, *L. nedgia*, *L. gorgorensis*; у ихтиофагов *L. macropthalmus*, *L. platydorsus*, *L. truttiformis*, а также у *L. intermedius* и *L. brevicephalus*, не демонстрирующих явной пищевой специализации. Экстенсивность и интенсивность инвазии рыб были низкими. Наибольшая зараженность наблюдалась у *L. gorgorensis* (20%, 1–2 экз.).

Ключевые слова: *Aspidogaster*, *Labeobarbus*, озеро Тана, Эфиопия.

DOI: 10.47021/0320-3557-2026-41-49

ВВЕДЕНИЕ

Представители подкласса *Aspidogastrea* распространены по всему миру. В жизненных циклах этих паразитов участвуют пресноводные и морские моллюски в качестве облигатных хозяев, костистые рыбы и черепахи в качестве факультативных хозяев [Rohde, 1994]. В Африке у пресноводных моллюсков, рыб и черепах встречаются 7 видов аспидогастрид: *Aspidogaster conchicola* Baer, 1826; *A. africanus* Saoud, Mohamed & Abdel-Hamid, 1974; *A. limacoides* Diesing, 1835; *A. niloticus* Abdel-Salam & Aboul-Dahab, 1994; *Aspidogaster* sp.; *Cotylaspis lenoiri* (Poirier, 1886); *Rohdella anodontiase* Aboul-Dahab, Abd El-Salam & El-Damarany,

1993 [Alves et al., 2015]. У рыб в бассейне р. Нил встречается только *Aspidogaster africanus* [Saoud et al., 1974; Khalil, Polling, 1997]. Все эти виды, за исключением *A. limacoides*, отмечены в бассейне р. Нил у моллюсков и черепах.

В процессе исследования паразитов рыб оз. Тана у крупных усачей рода *Labeobarbus* Rüppell, 1835 (=Barbus Cuvier & Cloquet, 1816) в кишечнике были обнаружены трематоды *A. africanus*.

Цель данной статьи — переописание *Aspidogaster africanus* и оценка встречаемости этого паразита у рыб рода *Labeobarbus* в оз. Тана.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материал собран в оз. Тана в период с 2006 по 2008 гг. Всего на зараженность аспидогастрами исследовано 146 экз. усачей 15 видов/форм. Мелкоразмерных рыб ловили сетью в заливе возле г. Бахир-Дар. Крупноразмерных рыб, обитающих в открытой части озера, приобретали у рыбаков. У рыб измеряли стандартную длину тела (*SL*). Видовой состав рыб, количество исследованных рыб, их размеры и показатели зараженности приведены в таблице 1.

Для оценки зараженности рыб использовали экстенсивность инвазии (ЭИ, %) и интен-

сивность инвазии как минимальное и максимальное значения (ИИ, пределы). Аспидогастров фиксировали в 70%-ном этаноле, окрашивали квасцовым кармином, обезжизняли в серии спиртов, просветляли в диметилфталате и заключали в канадский бальзам.

Фотографии и измерения выполнены на микроскопе Olympus CX43 с использованием цифровой камеры и программы для обработки. Измерения даны в миллиметрах (мм). Типовые образцы и ваучеры хранятся в Коллекции паразитов Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Россия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Описание (по 13 зрелым особям) (рис. 1, 2). Тело удлинненное, с тупым закругленным передним концом и сужающееся к заднему концу; наибольшая ширина на уровне середины тела. Длина тела 1630–3330 (2210), максимальная

ширина 436–838 (710). Ротовая и брюшная присоски отсутствуют. Ротовое отверстие на переднем конце тела, круглое, рот в виде глубокой воронки, окружен мышцами.

Таблица 1. Видовой состав, количество (N) исследованных рыб, их размеры и показатели зараженности *Aspidogaster africanus***Table 1.** Species and numbers (N) of fish studied, their sizes, and infection rates of *Aspidogaster africanus*

Вид рыбы Fish species	Длина рыб, см Fish length, cm		N рыб N of fish	N зараженных рыб N of infected fish	N паразитов N of parasite individuals	ЭИ, % Prevalence, %	ИИ Intensity invasion (range)
	Пределы Range	Среднее Mean					
<i>Labeobarbus intermedius</i> (Rüppell, 1835)	20–35	26.2	48	7	7	14.6±5.1	0–1
<i>L. macrophtalmus</i> (Bini, 1940)	22–34	29	21	3	3	14.3±7.6	0–1
<i>L. crassibarbis</i> Nagelkerke & Sibbing, 1997	17–34	21	20	1	3	5±4.9	0–3
<i>L. gorgorensis</i> (Bini, 1940)	30–51	39.6	10	2	3	20±12.6	1–2
<i>L. nedgia</i> (Rüppell, 1835)	19–38	28.5	6	1	1	1/6	0–1
<i>L. platydorsus</i> Nagelkerke & Sibbing, 1997	29–41	34.3	4	1	3	1/4	0–3
<i>L. truttiformis</i> Nagelkerke & Sibbing, 1997	38–48	42.3	3	1	3	1/3	0–3
<i>L. brevicephalus</i> Nagelkerke & Sibbing, 1997	23–23	23	2	1	2	1/2	0–2
<i>L. megastoma</i> Nagelkerke & Sibbing, 1997	30–40	35.4	9	0	0	0	0
<i>L. acutirostris</i> (Bini, 1940)	24–36	31.4	8	0	0	0	0
<i>L. tsanensis</i> Nagelkerke & Sibbing, 1997	21–32	26	5	0	0	0	0
<i>L. surkis</i> (Rüppell, 1835)	21–28	23	4	0	0	0	0
<i>L. dainellii</i> Bini, 1940	21–23	22.3	3	0	0	0	0
<i>L. gorguari</i> (Rüppell, 1835)	24–28	26	2	0	0	0	0
<i>L. longissimus</i> Nagelkerke & Sibbing, 1997	41	–	1	0	0	0	0
Всего (Total):			146	17	25	13.1±3.4	1–3

Брюшной диск овальный, с 4 продольными рядами, в каждом из которых по 11–12 альвеол; в каждом поперечном ряду 4 альвеолы с отдельными альвеолами на переднем и заднем концах; общее количество альвеол на диске может составлять 46–50 (48) (n = 6); альвеолы в средних рядах удлиненные в поперечном направлении, остальные альвеолы более или менее округлые, или квадратные (рис. 2b). Брюшной диск покрывает большую часть тела, спереди достигая переднего края глотки. Длина диска 958–1930 (1340), ширина диска 89–1370 (1120) (n = 12). Маргинальные

органы в виде округлых отверстий расположены по краям диска с обеих сторон на стыке межальвеолярных перегородок (рис. 2b).

Предглотка, соединяющая ротовое отверстие с глоткой, короткая, 58–156 (103) (n = 9); глотка большая, овальная, длина 171–285 (236), ширина 142–237 (183) (n = 13). Слепая кишка длиной 2430 доходит почти до заднего конца тела.

Семенник один, овальный, больше яичника, расположен позади яичника, длина 398–624 (471), ширина 234–342 (285) (n = 4). Сумка

цирруса грушевидная, большая, расположена позади глотки, с мышечной стенкой толщиной 20–50 (35.6) ($n = 10$). Длина сумки цирруса 242–549 (442), ширина 248–403 (318) ($n = 10$). Внутренний семенной пузырек маленький, узкий, 115–237 (171) длины и 40–120 (69) ширины ($n = 6$) (рис. 2с). Половая пора хорошо различима, 57–98 (79.8) в диаметре ($n = 4$), открывается на уровне середины или заднего края глотки (рис. 2а).

Яичник овальный, расположен впереди семенника, длина 239–392 (322), ширина 159–290 (200) ($n = 5$). Желточники фолликулярные, простираются с обеих сторон тела в боковых полях; поля начинаются на уровне заднего края сумки цирруса, немного не достигая заднего конца тела, не сливаются в конце тела (за исключением одной особи), их протяженность 605–1884 (1029) ($n = 8$). Матка занимает всю заднюю половину тела позади сумки цирруса. Яйца овальные, с крышечкой, длина 89–104 (97), ширина 33–53 (45) ($n = 15$).

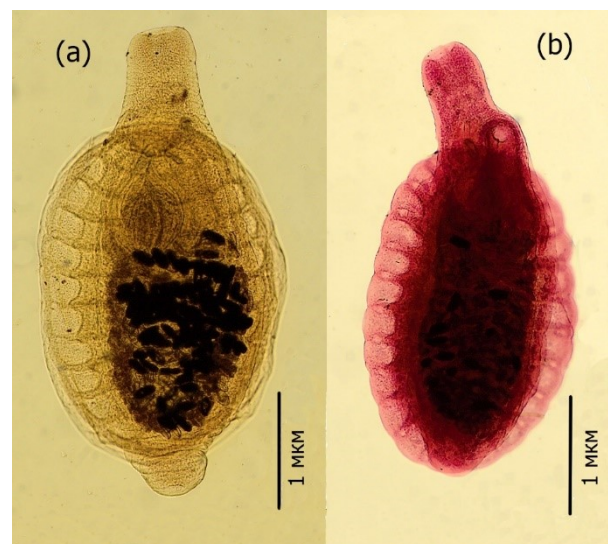


Рис. 1. *Aspidogaster africanus*: а — вид с брюшной стороны (неокрашенный); б — вид со спинной стороны (окрашенная кармином).

Fig. 1. *Aspidogaster africanus*: а — ventral view (not painted); б — dorsal view (carmine painted).

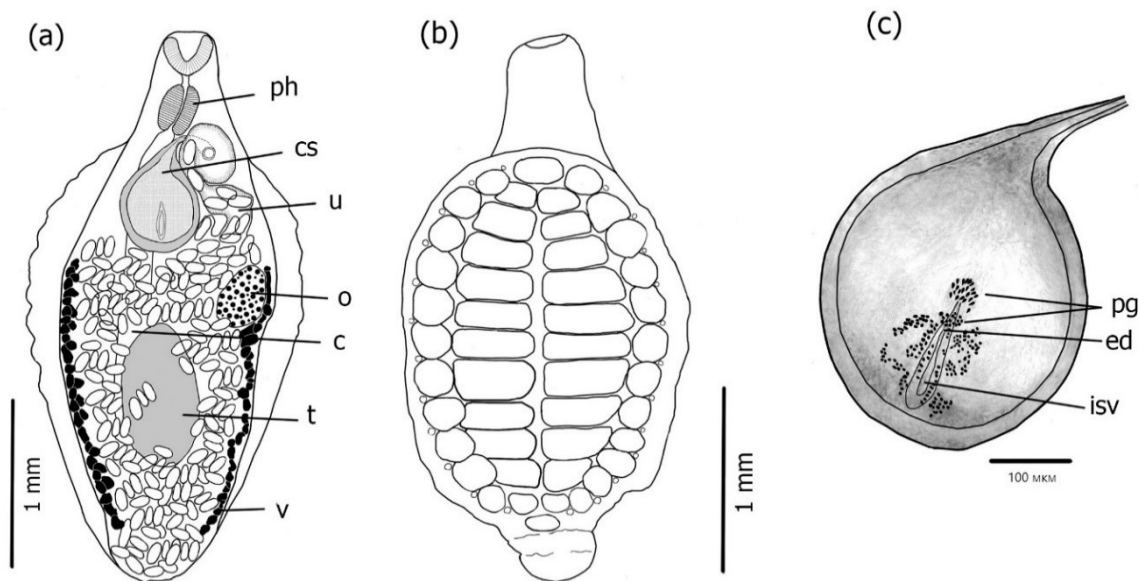


Рис. 2. *Aspidogaster africanus*: а — вид со спинной стороны; б — брюшной диск; с — сумка цирруса.

Fig. 2. *Aspidogaster africanus*: а — dorsal view; б — ventral disc; с — cirrus sac.

Таксономия вида

Типовой хозяин: *Labeobarbus bynni* (Forsskal, 1775) (Actinopterygii: Cyprinidae).

Другие хозяева: *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepede, 1803) (Actinopterygii: Claroteidae), *Labeobarbus intermedius*, *L. macrophthalmus*, *L. crassibarbis*, *L. gorgorensis*, *L. nedgia*, *L. platydorsus*, *L. truttiformis*, *L. brevicephalus* (Actinopterygii: Cyprinidae).

Типовое местонахождение: р. Белый Нил (Судан).

Другие местонахождения: Лагуна Лекки (Нигерия), оз. Тана (Эфиопия).

Локализация: передний отдел кишечника.

Депонированные образцы: препараты № 7/463(1–10) хранятся в Коллекции паразитов водных позвоночных и беспозвоночных (Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия).

Зараженность усачей рода *Labeobarbus*

Трематоды *Aspidogaster africanus* обнаружены у 8 из 15 видов/форм крупных усачей, обитающих в оз. Тана (табл. 1). Экстенсивность и особенно интенсивность инвазии рыб были низкими. Наибольшая экстенсивность инвазии

(14.3–20%) отмечена у трех видов усачей *Labeobarbus intermedius*, *L. macrophthalmus* и *L. gorgorensis*. Большинство рыб были заражены одной особью *A. africanus*. Максимальная интенсивность инвазии 3 экз. наблюдалась у самых крупных рыб с длиной тела 34 см (*Labeobarbus crassibarbis*), 41 см (*L. platydor-*

sus) и 48 см (*L. truttiformis*). Эти данные указывают на то, что с размером (возрастом) рыб их зараженность должна возрастать. Объединив все данные по зараженности усачей в одну общую выборку и разделив рыб на 9 размерных классов, мы получили гистограмму, подтверждающую рост экстенсивности инвазии в зависимости от размера рыб (рис. 3).

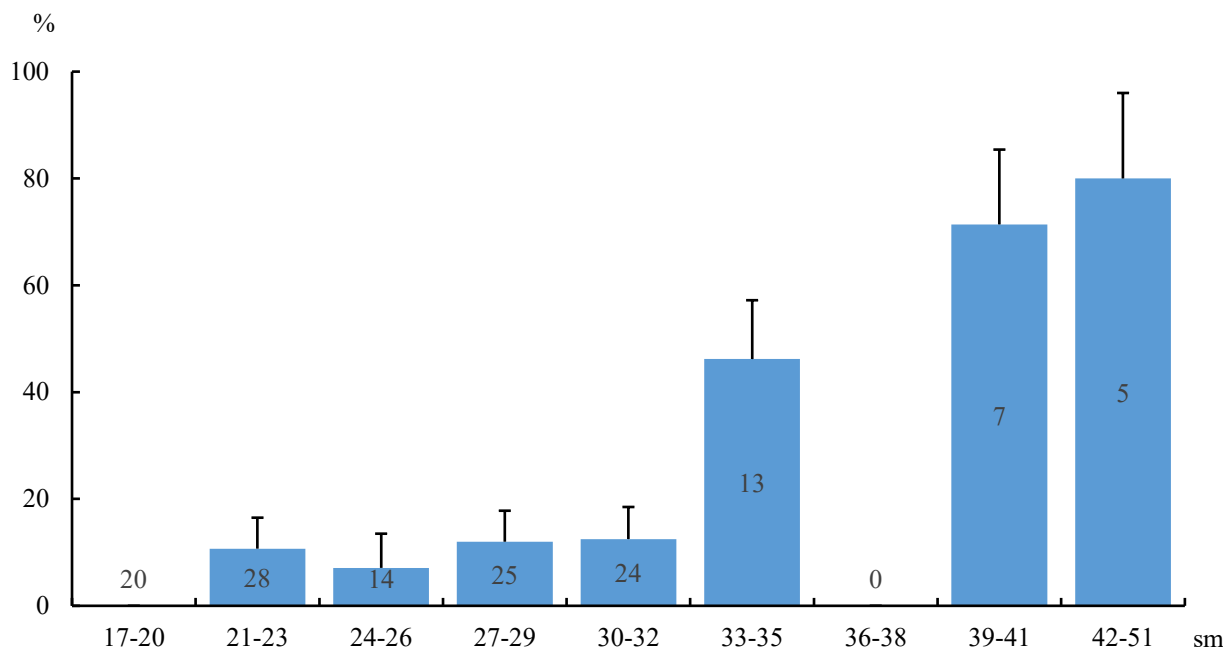


Рис. 3. Экстенсивность *Aspidogaster africanus* в различных размерных группах *Labeobarbus* spp. в оз. Тана (цифры внутри колонок показывают количество рыб).

Fig. 3. Prevalence of *Aspidogaster africanus* in different size classes of *Labeobarbus* spp. in Lake Tana (numbers within the columns indicate the number of fish).

ОБСУЖДЕНИЕ

Собранные нами экземпляры относятся к роду *Aspidogaster* Baer, 1827 на основании наличия вентрального диска с 4 продольными рядами альвеол, наличия одного семенника и одной слепой кишки. Вид *A. africanus* был описан по 23 экз., собранным у одного крупного усача *Labeobarbus bynni*, пойманного в Белом Ниле недалеко от г. Хартума в Судане [Saoud et al., 1974]. Наши образцы *Aspidogaster africanus* из усачей оз. Тана по морфологии и размерам соответствуют образцам, собранным от *Labeobarbus bynni* из Голубого Нила, и отличаются от *Aspidogaster limacoides* (табл. 2).

Aspidogaster africanus демонстрирует значительное сходство с *A. limacoides*, который также встречается в Африке у рыб рода *Barbus* [Khalil, Polling, 1997], но отличается от него количеством альвеол в диске (46–50 у *Labeobarbus africanus* против 54–48 у *Aspidogaster limacoides*), меньшей по размеру предглоткой и глоткой, большими по размеру семенником, яичником и яйцами

(табл. 2), а также маленьким внутренним семенным пузырьком, который у *A. limacoides* значительно больше, если судить по рисункам [Atopkin et al., 2017; Bychowsky, Bychowsky, 1934; Popiołek et al., 2007; Suthar et al., 2021]. Кроме того, у *A. africanus* половая пора открывается на уровне середины или заднего края глотки, тогда как у *A. limacoides* — на уровне переднего края глотки [Atopkin et al., 2017; Bychowsky, Bychowsky, 1934; Popiołek et al., 2007; Suthar et al., 2021].

Ихтиофауна оз. Тана бедна видами, но имеет одну уникальную особенность. Здесь обитает пучок видов карповых рыб, крупных гексаплоидных усачей рода *Labeobarbus* (= *Barbus*). Пучок формируют 15 эндемичных для оз. Тана видов/форм, характеризующихся высоким морфологическим и экологическим разнообразием [Nagelkerke, Sibbing, 1997; Nagelkerke, Sibbing, 2000]. Предполагается, что предковой формой для всех остальных видов усачей в озере была генерализованная форма

L. intermedius [Mina, 2001; Голубцов, 2010 (Golubtsov, 2010); Shkil et al., 2015; Levin et al., 2019, 2020], у которой отсутствуют признаки какой-либо пищевой специализации [Mina, 2001]. Крупные усачи оз. Тана демонстрируют широкое разнообразие использования ресурсов от детрита и макрофитов до зоопланктона и рыб.

Заражение усачей аспидогастрами происходит в результате питания моллюсками. Жизненный цикл *Aspidogaster africanus* неизвестен, но его основным хозяином в озере могут быть двустворчатые моллюски, которых используют в пищу крупные усачи. В оз. Тана обитают мелкие двустворчатые моллюски *Afropisidium* sp. и

Corbicula fluminalis (Gasse, 1987) [Nagelkerke, 1997; Zelalem, Prokin, 2017]. Двустворка *C. fluminalis* известна как хозяин пяти видов аспидогастрид, в том числе в Африке в бассейне Нила [Alves et al., 2015]. Жизненный цикл *Aspidogaster africanus* должен быть аналогичен жизненному циклу *A. limacoides*, у которого основным хозяином являются моллюски родов *Dreissena* Beneden, 1835, *Sphaerium* Scopoli, 1777, *Pisidium* C. Pfeiffer, 1821, *Adacna* Eichwald, 1838, *Cardium* Linnaeus, 1758 [Нагибина, Тимофеева, 1971 (Nagibina, Timopheeva, 1971)], а факультативными — многие, в основном, карповые рыбы [Zhokhov, 2001; Alves et al., 2015].

Таблица 2. Сравнительная характеристика *Aspidogaster africanus* и *A. limacoides* по некоторым морфометрическим признакам (в мкм)

Table 2. Comparative characteristics of *Aspidogaster africanus* and *A. limacoides* based on some morphometric characters, given in mkm

Параметры Characters	<i>Aspidogaster africanus</i>		<i>Aspidogaster limacoides</i>
	Наши данные Present study	Saoud et al., 1974	Suthar et al., 2021
Длина тела Body length	1630–3330	2710–3050	1399–3069
Ширина тела Body width	436–838	—	470–1082
Длина диска Disk length	958–1930	—	1261–1923
Ширина диска Disk width	89–1370	1560–1630	920–1369
Число альвеол в диске Number of alveoli in disk	46–50	46–50	54–58
Предглотка Prepharynx	58–156	100–140	183–367
Глотка, длина Pharynx length	171–285	270–310	203–320
Глотка, ширина Pharynx width	142–237	150–200	187–283
Семенник, длина Testis length	398–624	720–780	272–340
Семенник, ширина Testis width	234–342	320–390	170–239
Сумка цирруса, длина Cirrus sac length	242–549	540–680	402–537
Сумка цирруса, ширина Cirrus sac width	248–403	370–480	194–236
Яичник, длина Ovary length	239–392	260–320	208–245
Яичник, ширина Ovary width	159–290	170–190	141–170
Яйцо, длина Eggs length	89–104	85–112	72–93
Яйцо, ширина Eggs width	33–53	34–50	40–52

Примечание. “—” — нет данных.

Note. “—” — not date.

В оз. Тана 15 видов усачей к моллюскофагам с высокой долей моллюсков в содержимом кишечника (11.8–27%) относятся четыре: *Labeobarbus crassibarbis*, *L. nedgia*, *L. Gorgorensi* и *L. tsanensis* [Sibbing, Nagelkerke, 2001]. Мы нашли аспидогастров у трех видов из этого списка, кроме последнего. Из восьми видов усачей-ихтиофагов (*L. dainellii*, *L. longissimus*, *L. megastoma*, *L. acutirostris*, *L. gorguari*, *L. macrophtalmus*, *L. truttiformis*, *L. platydorsus*) с долей рыбы в содержимом кишечника 45.3–76% [Sibbing, Nagelkerke, 2001] аспидогастры были найдены только у трех: *L. macrophtalmus*, *L. platydorsus* и *L. truttiformis* (табл. 1). Как рыбоядные формы усачей заражаются *A. africanus*, остается неясным. У близкого вида *A. limacoides* в качестве рыб-хозяев известны две хищные рыбы — сом и судак, к которым аспидогастры попадают в результате хищничества карповых, зараженных аспидогастрами [Молодожникова, Жохов, 2007 (Molodozhnikova, Zhokhov, 2007)]. Для усачей-ихтиофагов оз. Тана такой путь заражения *A. africanus* вряд ли возможен, так как минимальный размер усачей, при котором происходит заражение аспидогастром, составляет 23 см. Даже очень крупным хищным усачам жертвы такого размера недоступны. Скорее всего заражение рыб-ихтиофагов происходит при случайном заглатывании зараженных моллюсков. Аспидогастры найдены также у *L. intermedius* и *L. brevicephalus* — видов, не проявляющих какой-либо пищевой специализации.

Озеро Тана в Эфиопии — это третье место в Африке, кроме Судана и Нигерии, где был обнаружен *Aspidogaster africanus*. Находка в озере этого паразита указывает на то, что

A. africanus встречается в истоке Нила (оз. Тана) и в его среднем течении в месте слияния Голубого и Белого Нила [Saoud et al., 1974]. В нижнем течении Нила этот паразит, по видимому, отсутствует, так как более ранние и поздние исследование карповых *Labeobarbus bynni*, *Labeo niloticus* Linnaeus, 1758 и других видов рыб в нижнем течении Нила показало отсутствие здесь этого паразита [Fischthal, Kuntz, 1963; Saoud et al., 1990; Dayhoum A.H.M. Al-Bassel, 2003; Mansour et al., 2003].

Несмотря на очень низкую степень специфичности аспидогастрей к хозяевам [Rohde, 1994], все находки *A. africanus* были сделаны только у карповых рыб рода *Labeobarbus* (= *Barbus*). Первое упоминание об *Aspidogaster* у африканских пресноводных рыб принадлежит Бэру [Saoud et al., 1974], который описал трематод, собранных у *Barbus* sp. из р. Конго как *Aspidogaster limacoides*. Конголезские экземпляры были плохого качества. Авторы описания *A. africanus* [Saoud et al., 1974] сомневались в правильности определения вида как *A. limacoides* и отмечали, что по некоторым признакам эти экземпляры похожи на *A. africanus*. Все особенности находок этого паразита указывают на то, что *A. africanus* — это пресноводный вид. В нескольких публикациях сообщалось о находках *A. africanus* у сома *Chrysichthys nigrodigitatus* (Claroteidae) в морской лагуне в Нигерии [Obiekezie et al., 1988; Akinsanya et al., 2007; Akinsanya et al., 2019]. Отсутствие описаний и иллюстраций этого паразита, вид хозяина и условия обитания в солоноватой воде позволяют предположить, что авторы имели дело с каким-то другим видом аспидогастрей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Паразитирующая у восьми видов усачей *Labeobarbus* spp. в оз. Тана аспидогастрея принадлежит к виду *Aspidogaster africanus*. Это исследование содержит обновленное морфологическое описание *A. africanus*, сделанное спустя 50 лет после первой регистрации вида.

В оз. Тана этот паразит встречается у половины из всего пучка видов карповых рыб рода *Labeobarbus*, по пищевой специализации относящихся к моллюскофагам, ихтиофагам и рыбам без пищевой специализации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искренне признательны Координатору Совместной Российско-Эфиопской биологической экспедиции (JERBE IV) А.А. Даркову за всестороннюю помощь и поддержку, оказанную в ходе настоящих исследований.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН (государственное задание Минобрнауки № 121051100100-8).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все манипуляции с объектами исследования проводили в соответствии с Руководством Национального института здравоохранения по уходу и использованию лабораторных животных (<http://oacu.od.nih.gov/regs/index.htm>). Работа одобрена комиссией по биоэтике ИБВВ РАН, протокол № 13 от 30.01.2024 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Голубцов А.С. “Пучки видов” рыб в реках и озерах: симпатрическая дивергенция в фаунистически обедненных рыбных сообществах как особый модус эволюции // Актуальные проблемы современной ихтиологии. К 100-летию Г.В. Никольского / Ред. Павлов Д.С., Дгебуадзе Ю.Ю., Шатуновский М.И. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 96 с.
- Молодужникова Н.М., Жохов А.Е. Таксономическое разнообразие паразитов рыбообразных и рыб бассейна Волги. III. Аспидогастры (*Aspidogastrea*) и трематоды (*Trematoda*) // Паразитология. 2007. Т. 41, № 1. С. 28–54.
- Нагибина Л.Ф., Тимофеева Т.А. Об истинных хозяевах *Aspidogaster limacoides* Diesing, 1834 (*Trematoda*, *Aspidogastrea*) // ДАН СССР, сер. биол., 1971. Т. 200, № 3. С. 742–744.
- Akinsanya B., Otubanjo O.A., Ibidapo C.A. Helminth bioload of *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacépède, 1802) from Lekki Lagoon Lagos, Nigeria // Turk. J. Fish. Aquat. Sci. 2007. Vol. 7. P. 83–87.
- Akinsanya B., Isibor P.O., Kuton M.P. et al. *Aspidogastrea africanus* Infections, comparative assessment of BTEX and heavy metals Bioaccumulation, and histopathological alterations as biomarker response in *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacépède, 1803) of Lekki Lagoon, Nigeria // Sci. Afr. 2019. Vol. 3. e00060. DOI: 10.1016/j.sciaf.2019.e00060.
- Alves P.V., Vieirae F.M., Santos C.P. et al. A Checklist of the *Aspidogastrea* (Platyhelminthes: Trematoda) of the World // Zootaxa. 2015. Vol. 3918, № 3. P. 339–396. DOI: 10.11646/zootaxa.3918.3.2.
- Atopkin D.M., Shedko M.B., Sokolov S.G., Zhokhov A.E. Phylogenetic relationships among European and Asian representatives of the genus *Aspidogaster* Baer, 1827 (*Trematoda*: *Aspidogastrea*) inferred from molecular data // J. Helminthol. 2017. Vol. 82, № 3. P. 343–352. DOI: 10.1017/S0022149X17000505.
- Bychowsky I., Bychowsky B. Über die morphologie und die systematik des *Aspidogaster limacoides* Diesing // Z. Parasitenkd. 1934. Bd. 7. S. 125–137.
- Dayhoum A.H.M. Al-Bassel. A general survey of the helminth parasites of fish from inland waters in the Fayoum Governorate, Egypt // Parasitol. Res. 2003. Vol. 90. P. 135–139. DOI: 10.1007/s00436-001-0558-3.
- Fischthal J., Kuntz R.E. Trematode parasites of fishes from Egypt. Part V. Annotated record of some previously described forms // J. Parasitol. 1963. Vol. 49. P. 91–98.
- Khalil L.F., Polling L. Check List of the Helminth Parasites of African Freshwater Fishes. Pietersburg: University of the North, 1997. 185 p.
- Levin B.A., Casal-Lopez M., Simonov E. et al. Adaptive radiation of barbs of the genus *Labeobarbus* (Cyprinidae) in the East African river // Freshwater Biol. 2019. Vol. 64, Iss. 10. P. 1–15. DOI: 10.1111/fwb.13364.
- Levin B.A., Simonov E., Dgebuadze Yu.Yu. et al. In the rivers: Multiple adaptive radiations of cyprinid fishes (*Labeobarbus*) in Ethiopian Highlands // Sci. Rep. 2020. Vol. 10. P. 7192. DOI: 10.1038/s41598-020-64350-4.
- Mansour M.F.A., Hassan S.H., Khidr Abd El-Aziz A., Ghanem M.A. General survey on certain helminth parasites infecting some Nile fishes at El-Mansoura, Egypt // Egypt. J. Aquat. Biol. Fish. 2003. Vol. 7, № 4. P. 423–446.
- Mina M.V. Morphological diversification of fish as a consequence of the divergence of ontogenetic trajectories // Russ. J. Dev. Biol. 2001. Vol. 32, № 6. P. 397–401. DOI: 10.1023/A:1012842221732.
- Nagelkerke L.A.J. The Barbs of Lake Tana, Ethiopia: Morphological Diversity and Its Implications for Taxonomy, Trophic Resource Partitioning, and Fisheries. Doctoral thesis. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1997. 256 p.
- Nagelkerke L.A.J., Sibbing F.A. A revision of the large barbs (*Barbus* spp., Cyprinidae, Teleostei) of Lake Tana, Ethiopia, with a description of seven new species // The Barbs of Lake Tana, Ethiopia: Morphological Diversity and Its Implications for Taxonomy, Trophic Resource Partitioning and Fisheries. Wageningen: Agricult. Univ. Wageningen, 1997. P. 105–170.
- Nagelkerke L.A.J., Sibbing F.A. The large barbs (*Barbus* spp., Cyprinidae, Teleostei) of Lake Tana (Ethiopia), with a description of a new species, *Barbus osseensis* // Neth. J. Zool. 2000. Vol. 50. P. 179–214.
- Obiekezie A.I., Moller H., Anders K. Diseases of the African estuarine Catfish *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepede) from the Cross River estuary, Nigeria // J. Fish Biol. 1988. Vol. 32. P. 207–221.
- Popielek M., Łuczyński T., Jarnecki H. The first record of *Aspidogaster limacoides* Diesing, 1834 (*Aspidogastrea*: *Aspidogastrea*) in Poland // Wiad. Parazytol. 2007. Vol. 53, № 2. P. 139–141.
- Rohde K. The minor groups of parasitic Platyhelminthes // Adv. Parasitol. 1994. Vol. 33. P. 145–234.
- Saoud M.F., Mohamed K.E., Abdel-Hamid M.E. *Aspidogaster africanus* n. sp. from a freshwater fish in the Sudan // Zool. Anz. 1974. Vol. 192. P. 77–80.
- Saoud M.F.A., Ashour A.A., Ramadan M.M., Lamloom D.A.M. Helminth parasites from townland lakes in Egypt // Jpn. J. Parasitol. 1990. Vol. 39, № 3. P. 267–276.
- Shkil F.N., Lazebnyi O.E., Kapitanova D.V. Ontogenetic mechanisms of explosive morphological divergence in the lake Tana (Ethiopia) species flock of large African barbs (*Labeobarbus*; Cyprinidae, Teleostei) // Russ. J. Dev. Biol. 2015. Vol. 46, № 5. P. 294–306. DOI: 10.1134/S1062360415050069.
- Sibbing F.A., Nagelkerke L.A.J. Resource partitioning by Lake Tana barbs predicted from fish morphometrics and prey characteristics // Rev. Fish Biol. Fish. 2001. Vol. 10. P. 393–437.
- Suthar J., Al-Jufaili S., Bray R.A. et al. Redescription of *Aspidogaster limacoides* Diesing, 1834 (*Aspidogastrea*: *Aspidogastrea*) from freshwater fishes of northern Germany // Parasitol. Res. 2021. Vol. 120, № 3. P. 1–12. DOI: 10.1007/s00436-021-07253-1.
- Zelalem W., Prokin A. Physico-chemical characteristics and macrozoobenthos abundance in the gulf of Lake Tana // Ethiop. J. Biol. Sci. 2017. Vol. 16. P. 181–209.

Zhokhov A.E. The study of the transition of cyprinidae fish to feeding on mollusk *Dreissena polymorpha* (Bivalvia, Dreissenidae) in the Rybinsk Reservoir using parasite *Aspidogaster* (Aspidogastrea, Aspidogastridae) // J. Ichthyol. 2001. Vol. 41, № 8. P. 620–624.

REFERENCES

- Akinsanya B., Otubano O.A., Ibidapo C.A. Helminth bioload of *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacépède, 1802) from Lekki Lagoon Lagos, Nigeria. *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.*, 2007, vol. 7, pp. 83–87.
- Akinsanya B., Isibor P.O., Kuton M.P. et al. *Aspidogastrea africanus* Infections, comparative assessment of BTEX and heavy metals Bioaccumulation, and histopathological alterations as biomarker response in *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacépède, 1803) of Lekki Lagoon, Nigeria. *Sci. Afr.*, 2019, vol. 3, e00060. doi: 10.1016/j.sciaf.2019.e00060.
- Alves P.V., Vieirae F.M., Santos C.P. et al. A Checklist of the Aspidogastrea (Platyhelminthes: Trematoda) of the World. *Zootaxa*, 2015, vol. 3918, no. 3, pp. 339–396. doi: 10.11646/zootaxa.3918.3.2.
- Atopkin D.M., Shedko M.B., Sokolov S.G., Zhokhov A.E. Phylogenetic relationships among European and Asian representatives of the genus *Aspidogaster* Baer, 1827 (Trematoda: Aspidogastrea) inferred from molecular data. *J. Helminthol.*, 2017, vol. 82, no. 3, pp. 343–352. doi: 10.1017/S0022149X17000505.
- Bychowsky I., Bychowsky B. Über die morphologie und die systematik des *Aspidogaster limacoides* Diesing. *Z. Parasitenkd.*, 1934, bd. 7, s. 125–137.
- Dayhoum A.H.M. Al-Bassel. A general survey of the helminth parasites of fish from inland waters in the Fayoum Governorate, Egypt. *Parasitol. Res.*, 2003, vol. 90, pp. 135–139. doi: 10.1007/s00436-001-0558-3.
- Fischthal J., Kuntz R.E. Trematode parasites of fishes from Egypt. Part V. Annotated record of some previously described forms. *J. Parasitol.*, 1963, vol. 49, pp. 91–98.
- Golubtsov A.S. Species flocks of fishes in rivers and lakes: Sympatric divergence in faunistically depauperate fish communities as especial modus of evolution. In: Pavlov D.S., Dgebuadze Y.Y., Shatunovskiy M.I. (Eds.), *Current Problems of Ichthyology. To 100-jubilee of Nikolsky G.V.* Moscow, KMK, 2010, pp. 96–123. (In Russia)
- Khalil L.F., Polling L. Check List of the Helminth Parasites of African Freshwater Fishes. Pietersburg, University of the North, 1997. 185 p.
- Levin B.A., Casal-Lopez M., Simonov E. et al. Adaptive radiation of barbs of the genus *Labeobarbus* (Cyprinidae) in the East African river. *Freshwater Biol.*, 2019, vol. 64, iss. 10, pp. 1–15. doi: 10.1111/fwb.13364.
- Levin B.A., Simonov E., Dgebuadze Yu.Yu. et al. In the rivers: Multiple adaptive radiations of cyprinid fishes (*Labeobarbus*) in Ethiopian Highlands. *Sci. Rep.*, 2020, vol. 10, 7192, pp. 1–13. doi: 10.1038/s41598-020-64350-4.
- Mansour M.F.A., Hassan S.H., Khidr Abd El-Aziz A., Ghanem M.A. General survey on certain helminth parasites infecting some Nile fishes at El-Mansoura, Egypt. *Egypt. J. Aquat. Biol. Fish.*, 2003, vol. 7, no. 4, pp. 423–446.
- Mina M.V. Morphological diversification of fish as a consequence of the divergence of ontogenetic trajectories. *Russ. J. Dev. Biol.*, 2001, vol. 32, no. 6, pp. 397–401. doi: 10.1023/A:1012842221732.
- Molodozhnikova N.M., Zhokhov A.E. Taksonomicheskoe raznoobrazie parazitov beschelyustnykh i ryb basseyna Volgi. III. Aspidogastrea i Digenea [The taxonomic diversity of the parasites of agnathans and fishes in the Volga basin. III. Aspidogastrea and Digenea]. *Parazitologiya*, 2007, vol. 41, no. 1, pp. 28–54. (In Russia)
- Nagelkerke L.A.J. The Barbs of Lake Tana, Ethiopia: Morphological Diversity and Its Implications for Taxonomy, Trophic Resource Partitioning, and Fisheries. Doctoral thesis. Wageningen, Wageningen Agricultural University, 1997. 256 p.
- Nagelkerke L.A.J., Sibbing F.A. A revision of the large barbs (*Barbus* spp., Cyprinidae, Teleostei) of Lake Tana, Ethiopia, with a description of seven new species. In: Nagelkerke L.A.J. (Ed.), *The Barbs of Lake Tana, Ethiopia: Morphological Diversity and Its Implications for Taxonomy, Trophic Resource Partitioning and Fisheries*. Wageningen, Agricult. Univ. Wageningen, 1997, pp. 105–170.
- Nagelkerke L.A.J., Sibbing F.A. The large barbs (*Barbus* spp., Cyprinidae, Teleostei) of Lake Tana (Ethiopia), with a description of a new species, *Barbus osseensis*. *Neth. J. Zool.*, 2000, vol. 50, pp. 179–214.
- Nagibina L.F., Timofeeva T.A. Ob istynnykh khozyaevakh *Aspidogaster limacoides* Diesing, 1834 (Trematoda, Aspidogastrea) [True hosts of *Aspidogaster limacoides* Diesing, 1834 (Trematoda, Aspidogastrea)]. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 1971, vol. 200, pp. 677–678. (In Russia)
- Obiekezie A.I., Moller H., Anders K. Diseases of the African estuarine Catfish *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepede) from the Cross River estuary, Nigeria. *J. Fish Biol.*, 1988, vol. 32, pp. 207–221.
- Popiolek M., Łuczyński T., Jarnecki H. The first record of *Aspidogaster limacoides* Diesing, 1834 (Aspidogastridae: Aspidogastrea) in Poland. *Wiad. Parazytol.*, 2007, vol. 53, no. 2, pp. 139–141.
- Rohde K. The minor groups of parasitic Platyhelminthes. *Adv. Parasitol.*, 1994, vol. 33, pp. 145–234.
- Saoud M.F., Mohamed K.E., Abdel-Hamid M.E. *Aspidogaster africanus* n. sp. from a freshwater fish in the Sudan. *Zool. Anz.*, 1974, vol. 192, pp. 77–80.
- Saoud M.F.A., Ashour A.A., Ramadan M.M., Lamloom D.A.M. Helminth parasites from townland lakes in Egypt. *Jpn. J. Parasitol.*, 1990, vol. 39, no. 3, pp. 267–276.
- Shkil F.N., Lazebnyi O.E., Kapitanova D.V. Ontogenetic mechanisms of explosive morphological divergence in the lake Tana (Ethiopia) species flock of large African barbs (*Labeobarbus*; Cyprinidae, Teleostei). *Russ. J. Dev. Biol.*, 2015, vol. 46, no. 5, pp. 294–306. doi: 10.1134/S1062360415050069.
- Sibbing F.A., Nagelkerke L.A.J. Resource partitioning by Lake Tana barbs predicted from fish morphometrics and prey characteristics. *Rev. Fish Biol. Fish.*, 2001, vol. 10, pp. 393–437.

- Suthar J., Al-Jufaili S., Bray R.A. et al. Redescription of *Aspidogaster limacoides* Diesing, 1834 (Aspidogastrea: Aspidogastridae) from freshwater fishes of northern Germany. *Parasitol. Res.*, 2021, vol. 120, no. 3, pp. 1–12. doi: 10.1007/s00436-021-07253-1.
- Zelalem W., Prokin A. Physico-chemical characteristics and macrozoobenthos abundance in the gulf of Lake Tana. *Ethiop. J. Biol. Sci.*, 2017, vol. 16 (Suppl.), pp. 181–209.
- Zhokhov A.E. The study of the transition of cyprinidae fish to feeding on mollusk *Dreissena polymorpha* (Bivalvia, Dreissenidae) in the Rybinsk Reservoir using parasite *Aspidogaster* (Aspidogastrea, Aspidogastridae). *J. Ichthyol.*, 2001, vol. 41, no. 8, pp. 620–624.

**MORPHOLOGY AND OCCURRENCE
OF *ASPIDOGASTER AFRICANUS* (TREMATODA: ASPIDOGASTREA)
IN FISH OF THE GENUS *LABEOBARBUS* FROM TANA LAKE (ETHIOPIA)**

A. E. Zhokhov*, M. N. Pugacheva

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

Revised 27.04.2026

Aspidogaster africanus Saoud, Mohamed & Abdel-Hamid, 1974 (Aspidogastridae) was redescribed based on light microscopy data from fish of the genus *Labeobarbus* from Lake Tana. The fish were caught between 2006 and 2008. The Lake Tana is home to a “Species Flocks” of 15 endemic species of cyprinid fish, large hexaploid barbels of the genus *Labeobarbus* (= *Barbus*), characterized by high morphological and ecological diversity. Trematodes were found in 8 of the 15 studied species of barbs: in molluscophages *Labeobarbus crassibarbis*, *L. nedgia*, *L. gorgorensis*; in ichthyophages *L. macrophthalmus*, *L. platydorsus*, *L. truttiformis*, as well as in *L. intermedius* and *L. brevicephalus*, which show no obvious food specialization. The prevalence and intensity of infection of fish were low. The highest infection rate was observed in *L. gorgorensis* (20%, 1–2 specimens).

Keywords: *Aspidogaster*, *Labeobarbus*, Tana Lake, Ethiopia

**ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ С РАЗНОЙ АМПЛИТУДОЙ
НА ТЕМПЫ РОСТА ЮВЕНИЛЬНЫХ ОСОБЕЙ *DAPHNIA MAGNA***

В. В. Крылов*, Д. А. Сизов, А. А. Сизова

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

*152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: *kryloff@ibiw.ru*

Поступила в редакцию 13.04.2026

В работе исследовано влияние низкочастотных переменных магнитных полей различной амплитуды на темпы роста ювенильных особей *Daphnia magna*. Эксперименты проводили в строго контролируемых температурных условиях с использованием системы синхронной экспозиции, позволявшей одновременно воздействовать на тест-объекты магнитными полями с одинаковой частотой (30 Гц) и различной амплитудой (24, 47.75, 71.5, 95.25 и 119 мкТл). В качестве биологического показателя оценивали длину тела ювенильных дафний после экспозиции. Для минимизации вариабельности использовали потомство одного выводка, полученное партогенетически. Установлено, что воздействие низкочастотных магнитных полей сопровождалось общей тенденцией к стимуляции роста *D. magna*. Статистически значимые биологические эффекты выявлены при воздействии полей с амплитудой 47.75 и 119 мкТл, тогда как минимальный эффект зарегистрирован при 71.5 мкТл. Полученные данные свидетельствуют о нелинейном характере зависимости биологического ответа от амплитуды магнитного поля. При этом выявленная картина эффектов лишь частично согласуется с существующими биофизическими моделями магниточувствительности. Результаты подчеркивают необходимость дальнейших исследований механизмов действия слабых низкочастотных магнитных полей на биологические процессы водных беспозвоночных.

Ключевые слова: низкочастотное магнитное поле, *Daphnia magna*, темпы роста, нелинейный эффект, геомагнитное поле, амплитуда магнитного поля.

DOI: 10.47021/0320-3557-2026-50-57

ВВЕДЕНИЕ

Влияние слабых низкочастотных магнитных полей на биологические объекты в настоящее время подтверждается многими исследованиями [Markov, 1994; Krylov, Osipova, 2023; Tian et al., 2023]. Для объяснения этого влияния предложены различные гипотезы [Blanchard, Blackman, 1994; Belova, Panchelyuga, 2010; Binhi, Prato, 2017], однако остается набор нерешенных проблем, которые ограничивают наше понимание механизмов, ответственных за проявление магнитобиологических эффектов.

Одна из таких проблем — нелинейные ответы биологических систем на низкочастотные магнитные поля с разной интенсивностью, которые заключаются в том, что при одной и той же частоте поля биологические эффекты могут сильнее проявляться при определенных значениях амплитуды и ослабевать — при других, более высоких или низких значениях [Blackman et al., 1985; Smith et al., 1987; Prato et al., 1995; Lednev et al., 1996; Белова, Леднев, 2000 (Belova, Lednev, 2000)]. Следует также сказать, что проявление таких резонанс подобных эффектов, по-видимому, сильно зависит от тестируемого биологического объекта [Krylov, Osipova, 2023], а биофизические модели, привлекаемые для объяснения, зачатую охватывают лишь часть описанных в литературе эффектов [Krylov, 2026].

Одной из причин такого положения дел могут быть методологические упущения при проведении экспериментов с низкочастотными магнитными полями. В большинстве исследований на эту тему каждое магнитное воздействие тестировалось последовательно, одно за другим. То есть при кратковременной экспозиции каждое тестирование могло выпадать на разное время суток, а при более длительной — на разные дни. При таком подходе множество неучитываемых факторов, таких как изменения атмосферного давления, уровня шума и вибраций, модификации физиологических и биохимических процессов тест-объектов из-за циркадных биологических ритмов, сытости или стресса, могут существенно повлиять на результаты. Нам известны лишь единичные работы, где экспозиция тест-объектов в нескольких низкочастотных магнитных полях с разными параметрами происходила синхронно [Grinberg et al., 2024]. Однако в этом случае нельзя исключить локальной неоднородности температуры в местах расположения нескольких тест-объектов и систем генерации магнитных полей. Таким образом, отсутствие экспериментов, в которых проводилось бы синхронное экспонирование образцов в разных низкочастотных магнитных полях в строго контролируемых температурных условиях, является

серьезным упущением и не позволяет продвигаться в понимании механизмов возникновения нелинейных ответов биологических систем на магнитные поля с разными параметрами.

Для того, чтобы восполнить этот недостаток мы оценили темпы роста *Daphnia magna* (Straus, 1820) после синхронной экспозиции в магнитных полях с частотой 30 Гц и амплитудами 24 мкТл, 47.75 мкТл, 71.5 мкТл, 95.25 мкТл и 119 мкТл при постоянной температуре 21°C. Выбор частоты 30 Гц обусловлен тем, что в предыдущих экспериментах с дафниями, проводившихся по той же схеме, мы оценивали биологические эффекты низкочастотных магнитных полей с одной амплитудой 50 мкТл и разными частотами. Влияние поля с частотой 30 Гц оказалось наиболее выраженным [Krylov et al., 2026]. Ряд амплитуд выбран на основе анализа биофизических моделей влияния низкочастотных магнитных полей на биологические объекты [Lednev, 1991; Blanchard, Blackman, 1994; Binhi, Prato, 2017]. В частности, значения 47.75 мкТл и 95.25 мкТл близки к эффективным значениям амплитуды низкочастотного магнитного поля при условии

отношения амплитуды переменного поля к интенсивности постоянного (геомагнитного) поля $V_{AC}/V_{DC} \sim 0.9$ и ~ 1.8 , соответственно. Биологическая эффективность была неоднократно показана экспериментально как для первого [Blackman et al., 1994; Blackman et al., 1995; Trillo et al., 1996; Sarimov et al., 2005; Baureus et al., 2023], так и для второго соотношения [Prato et al., 1995; Lednev et al., 1996; Tiras et al., 2015; Khokhlova et al., 2018; Ermakov et al., 2022]. Другие значения амплитуды использованы для составления ряда с равным шагом между значениями 47.75 мкТл и 95.25 мкТл. Для контроля температуры была создана замкнутая экспериментальная система, где в качестве теплоносителя использовалась вода. Чтобы добиться максимальной идентичности биологических объектов, мы использовали в исследованиях потомство одного выводка *D. magna* в качестве экспериментальной повторности. Эти рачки размножаются партеногенетически. Потомство появляется синхронно и представляет собой генетически идентичных особей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Тест-объект. Была использована лабораторная линия *D. magna* из Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, которая поддерживалась в Институте биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН в течение четырех лет. Культивирование проводили в соответствии со стандартным протоколом содержания [Peters, 1987]. Световой режим составлял 16 ч свет / 8 ч темнота. Дафний ежедневно кормили суспензией зеленой микроводоросли *Chlorella vulgaris* из расчета 3×10^7 кл. на 100 см³ среды.

Генерация магнитных полей. Низкочастотные магнитные поля генерировали с помощью пяти пар колец Гельмгольца диаметром 0.5 м, содержащих 700 витков медного провода диаметром 0.25 мм. Каждая пара колец была подключена к одному из пяти генераторов ГЗ-53/1, формирующих синусоидальный сигнал. На обмотки колец подавались сигналы с частотой 30 Гц и амплитудами 24 мкТл, 47.75 мкТл, 71.5 мкТл, 95.25 мкТл и 119 мкТл. Напряженность и наклонение вектора геомагнитного поля в месте проведения экспериментов составляли 52.9 и 72.05 мкТл соответственно.

Кольца Гельмгольца располагались на расстоянии 1.5 м друг от друга для минимизации взаимного влияния. Прямые измерения показали, что при генерации низкочастотного магнитного поля в одной паре колец остаточное поле в центре ближайшей соседних колец

Гельмгольца ослаблялось более чем на два порядка. Частоту и амплитуду сигналов контролировали с помощью цифрового осциллографа Zeewei DS03D12 (Zeewei Instrument Co., Шэньчжэнь, Китай). Прямые измерения параметров магнитного поля внутри колец Гельмгольца выполняли с использованием феррозондового магнитометра NV0599Б (НПО ЭНТ, Санкт-Петербург, Россия).

Контроль температуры. Для обеспечения одинаковых температурных условий во всех экспериментальных группах была создана замкнутая система циркуляции воды. Вода с постоянной температурой 21°C циркулировала со скоростью 50 л/мин через шесть экспозиционных камер: пять располагались в рабочих объемах колец Гельмгольца, генерировавших низкочастотные магнитные поля, одна служила контролем. Вода циркулировала по трубам диаметром 50 мм, расширявшимся до 110 мм в центральной рабочей зоне каждой пары колец. Постоянная температура поддерживалась с помощью чиллера Тесо TR-15 (Тесо, Италия) в сочетании с электрическими нагревателями, подключенными к термореле. Благодаря высокой теплоемкости воды температурные колебания не превышали $\pm 0.5^\circ\text{C}$ относительно заданного значения. Любые температурные колебания, связанные с работой нагревателей или чиллера, происходили синхронно во всех экспериментальных группах.

В центре каждой пары колец Гельмгольца и в контрольной камере в системе циркуляции воды находилось отверстие для размещения перфорированного пластикового держателя с экспериментальными сосудами, содержащими дафний. Циркулирующая вода непрерывно проходила через перфорации оmyвая экспериментальные сосуды и обеспечивая одинаковые температурные условия во всех группах.

Экспериментальный протокол. Потомство, полученное от одной самки *D. magna*, изолировали и содержали индивидуально в емкостях объемом 100 мл при стандартных условиях культивирования. Новорожденных особей первых трех выводков удаляли ежедневно. После перехода самок к четвертому и последующим выводкам подсчитывали количество новорожденных (<24 ч) в каждом выводке. Если выводок содержал 24 и более особей, его использовали в эксперименте. Генетически идентичное потомство одной самки случайным образом распределяли на шесть экспериментальных групп. В зависимости от размера выводка каждая группа включала от 4 до 7 особей.

Экспозицию дафний в низкочастотных магнитных полях и в контрольных условиях проводили в шести одинаковых широких стеклянных пробирках сразу после разделения на группы. Для обеспечения идентичных условий в общем контейнере готовили экспозиционную среду, которая состояла из культивационной воды с добавлением 3×10^8 кл. *C. vulgaris* на 100 см³, что исключало лимитирование пищевых ресурсов во время экспозиции. Каждую пробирку заполняли 20 мл среды. Затем каждую группу потомков одной дафнии помещали в одну из 6 пробирок. Пять пробирок случайным образом размещали в рабочих объемах колец Гельмгольца, генерировавших магнитные поля, одна пробирка служила контролем. Экспозиция рачков в магнитных полях и в контрольных условиях продолжалась 144 ч. Эксперимент выполнен в 9 повторностях. Выживаемость дафний во всех группах составляла 100%.

Сразу после завершения экспозиции дафний фиксировали в 4%-ном формалине. У зафиксированных особей измеряли длину тела

от переднего края головы до основания хвостовой иглы. Поскольку потомство одной самки *D. magna* в момент выхода из выводковой камеры довольно однородно, этот показатель отражает темпы роста ювенильных дафний в исследуемых воздействиях за период от рождения до окончания экспозиции. Для проведения измерений всех особей фотографировали при одинаковом увеличении с использованием микроскопа MC-2 (Micromed, Санкт-Петербург, Россия), оснащенного цифровой камерой DCM 500 (Hangzhou Huaxin IC Technology, Ханчжоу, Китай). Длину тела измеряли на полученных изображениях с использованием программы Image-Pro 3 (Media Cybernetics, Bethesda, MD, США).

Статистический анализ. Нормальность распределения данных проверяли с использованием критериев Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. Однородность дисперсий оценивали с помощью критерия Левена. Для оценки влияния амплитуды низкочастотного магнитного поля на исследуемые параметры использовали однофакторный дисперсионный анализ. Различия между экспериментальными группами и контролем оценивали с помощью критерия Даннетта.

Кроме того, для сопоставления результатов с ранее опубликованными исследованиями [Lednev et al., 1996; Белова, Леднев, 2000 (Belova, Lednev, 2000); Ermakov et al., 2022] данные представляли в виде биологического эффекта воздействия низкочастотного магнитного поля. Эффект рассчитывали по следующей формуле:

$$\frac{(M_{exp} - M_{con}) \pm (SE_{exp} + SE_{con})}{M_{con}} \times 100\%,$$

где M_{con} и M_{exp} — средние значения измеряемого параметра в контрольной и экспериментальной группах соответственно, а SE_{con} и SE_{exp} — соответствующие стандартные ошибки среднего.

Средние значения биологического эффекта, рассчитанные по всем экспериментальным повторностям, имели нормальное распределение. Их сравнивали с нулевым значением, используя t-критерий Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Статистически значимых различий в размерах ювенильных дафний между контрольной группой и рачками, находившимися в низкочастотных магнитных полях с разной интенсивностью, не выявлено (рис. 1а). Критерий Даннетта выявил лишь отличия между контролем и дафниями, экспонированными в низкочастотном магнитном поле с величиной индукции 95.25 мкТл, на уровне статистической

тенденции. Несмотря на это, заметно — примененные магнитные воздействия во всех случаях оказали стимулирующее влияние на темпы роста рачков (рис. 1а). Если объединить всех дафний, экспонированных в низкочастотных магнитных полях с разной интенсивностью, в одну группу (рис. 1б), то различия между контролем и опытом становятся статистически значимыми ($t = -2.428$, $n = 147$; $p < 0.05$).

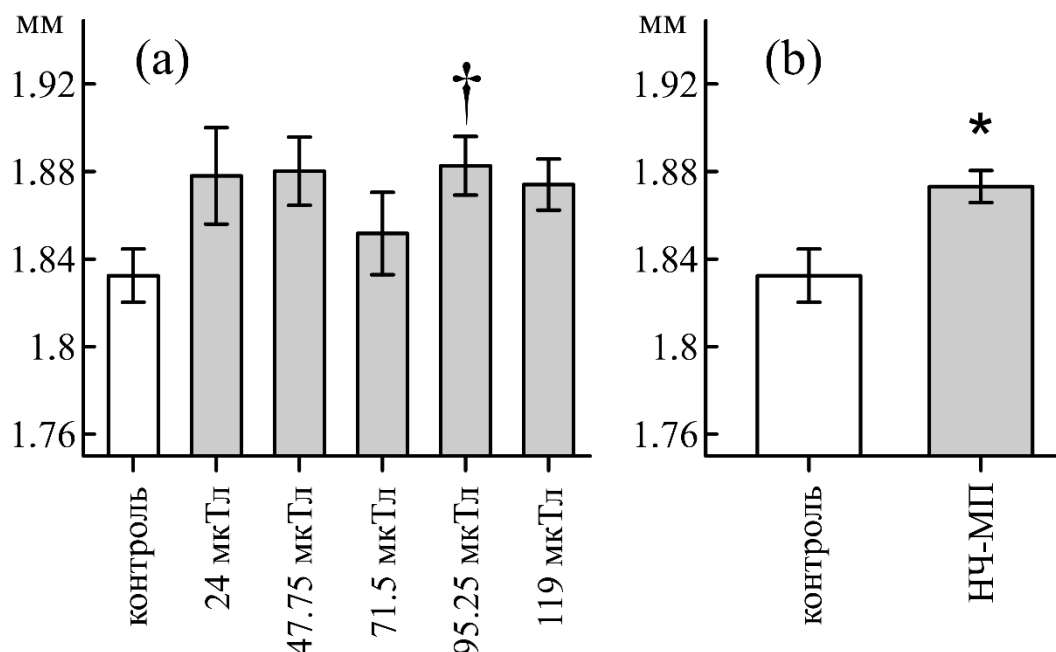


Рис. 1. Длина тела контрольных дафний и рачков экспонированных в низкочастотных магнитных полях с частотой 30 Гц и индукцией 24 мкТл, 47.75 мкТл, 71.5 мкТл, 95.25 мкТл и 119 мкТл (а), а также контрольных дафний и рачков экспонированных в низкочастотных магнитных полях, объединенных в общую выборку (б). Линии отражают ошибку среднего. † — маргинальные отличия от контроля ($0.05 < p < 0.1$, критерий Даннета), “*” — значимые отличия от контроля ($p < 0.05$, критерий Стьюдента).

Fig. 1. Body length of control *Daphnia* and individuals exposed to low-frequency magnetic fields at 30 Hz with magnetic flux densities of 24 μT, 47.75 μT, 71.5 μT, 95.25 μT, and 119 μT (a), as well as control and pooled data for treated daphnids combined into a single dataset (b). Error bars indicate the standard error of the mean. † — marginally significant differences from the control ($0.05 < p < 0.1$, Dunnett’s test); “*” — significant differences from the control ($p < 0.05$, Student’s t-test).

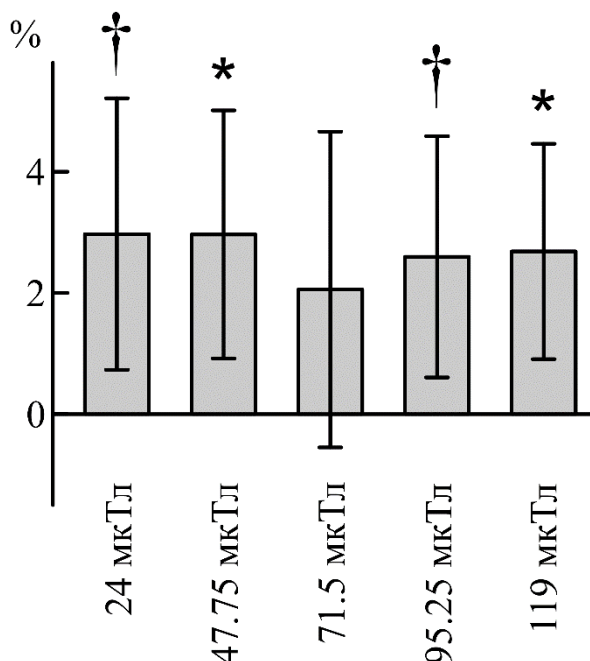


Рис. 2. Биологические эффекты низкочастотных магнитных полей с частотой 30 Гц и разной индукцией. Линии отражают сумму ошибок среднего в контрольной и экспериментальной группе. † — маргинальные отличия величины эффекта от нулевого значения ($0.05 < p < 0.1$), “*” — значимые отличия величины эффекта от нулевого значения ($p < 0.05$).

Fig. 2. Biological effects of 30 Hz low-frequency magnetic fields with different magnetic flux densities. Error bars represent the combined standard errors of the control and experimental groups. † — marginally significant differences of the effect size from zero ($0.05 < p < 0.1$); “*” — significant differences of the effect size from zero ($p < 0.05$).

При рассмотрении величины биологического эффекта, отражающей разницу между значением показателя в контрольной и экспериментальных группах в каждой повторности опыта, заметно, что низкочастотное магнитное поле с интенсивностью 71.5 мкТл оказывало наименьшее воздействие на темпы роста

ювенильных дафний (рис. 2). Эффекты полей с индукцией 47.75 мкТл и 119 мкТл значимо отличались от нуля. Отличия эффектов, вызванных низкочастотными магнитными полями с интенсивностью 24 мкТл и 95.25 мкТл, от нулевых значений были на уровне статистической тенденции (рис. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Основной биологический эффект проявился в стимуляции темпов роста ювенильных дафний для всех исследованных низкочастотных магнитных полей. Это согласуется с результатами, полученными ранее в эксперименте с дафниями, экспонированными в низкочастотных магнитных полях с разной частотой [Krylov et al., 2026].

Стимуляция биологических процессов при действии низкочастотных магнитных полей описана и для других биологических объектов. Так, например, поле 74 мкТл, 30 Гц стимулировало регенерацию тканей у планарий *Schmidtea mediterranea* [Ermaikov et al., 2022]. Низкочастотное магнитное поле 85.6 мкТл, 35.8 Гц стимулировало гравитропическую реакцию в отрезках стеблей льна *Linum bienne* [Белова, Леднев, 2000 (Belova, Lednev, 2000)]. Более слабые низкочастотные магнитные флуктуации, воспроизведенные на основе реальных сигналов геомагнитной бури, приводили к усилению митотической активности в зародышевых клетках плотвы *Rutilus rutilus* и в клетках меристемы корешков лука *Allium cepa* [Talikina et al., 2013].

Линейная скорость роста ювенильных дафний — это интегративный параметр, отражающий множество физиологических процессов, включая усвоение пищи, гормональную регуляцию и энергетический метаболизм [Gurney et al., 1990]. Полученные результаты не позволяют уверенно рассуждать о конкретных биологических процессах, на которые повлияли низкочастотные магнитные поля, так как обсуждаемые в настоящее время биофизические механизмы предполагают влияние магнитных полей на первичные молекулярные магниточувствительные мишени, участвующие в большом количестве биохимических реакций [Blanchard, Blackman,

1994; Belova, Panchelyuga, 2010; Binhi, Prato, 2017; Krylov, 2026].

Полученные результаты позволяют рассмотреть нелинейную зависимость биологического эффекта от амплитуды применяемого низкочастотного магнитного поля. Если перевести исследованные амплитуды магнитных полей 24 мкТл, 47.75 мкТл, 71.5 мкТл, 95.25 мкТл и 119 мкТл в отношение к геомагнитному полю 52.9 мкТл (BAC/BDC), то получается ряд 0.45, 0.9, 1.35, 1.8, 2.25. Заметное снижение биологической эффективности было зарегистрировано для значения 1.35 (71.5 мкТл). Статистически значимую биологическую эффективность (рис. 2) показали поля с амплитудами 47.75 мкТл и 119 мкТл (BAC/BDC 0.9 и 2.25). В то же время наиболее существенное отклонение от контроля (рис. 1a) наблюдалось у рачков, экспонированных в низкочастотном магнитном поле с амплитудой 95.25 мкТл (BAC/BDC 1.8). Поля с амплитудами 47.75 мкТл и 95.25 мкТл являются биологически эффективными в биофизических моделях Бленчарда-Блэкмана и Леднева, соответственно [Lednev, 1991; Blanchard, Blackman, 1994]. На первый взгляд, полученные результаты можно интерпретировать в качестве их подтверждения. Однако общая картина нелинейной зависимости без выраженного пика эффектов не соответствует опубликованным ранее данным [Белова, Леднев, 2000 (Belova, Lednev, 2000)]. Возможно, это связано со спецификой реакции на низкочастотные магнитные поля использованного нами биологического объекта [Krylov, Osipova, 2023]. Другое объяснение этого расхождения — использование строго контролируемых условий и синхронная экспозиция дафний позволили исключить неучитываемые факторы, влиявшие на результат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования подтверждают биологическую эффективность низкочастотных магнитных полей в отношении темпов роста ювенильных особей *D. magna*. Однако

картина нелинейной зависимости биологического эффекта не соответствует биофизическим моделям. Для прояснения этого несоответствия необходимы дополнительные эксперименты.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-24-00088, (<https://rscf.ru/project/25-24-00088/>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белова Н.А., Леднев В.В. Зависимость гравитропической реакции в сегментах стеблей льна от частоты и амплитуды переменной компоненты слабого комбинированного магнитного поля // Биофизика. 2000. Т. 45, № 6. С. 1108–1111.
- Baureus Koch C.L.M., Sommarin M., Persson B.R.R., Salford L.G., Eberhardt J.L. Interaction between weak low frequency magnetic fields and cell membranes // *Bioelectromagnetics*. 2003. Vol. 24, № 6. P. 395–402. DOI: 10.1002/bem.10136.
- Belova N.A., Panchelyuga V.A. Lednev's model: Theory and experiment // *Biophysics*. 2010. Vol. 55, № 4. P. 661–674. DOI: 10.1134/S0006350910040263.
- Binh V.N., Prato F.S. A physical mechanism of magnetoreception: Extension and analysis // *Bioelectromagnetics*. 2017. Vol. 38, № 1. P. 41–52. DOI: 10.1002/bem.22011.
- Blackman C.F., Benane S.G., Rabinowitz J.R. et al. A role for the magnetic field in the radiation-induced efflux of calcium ions from brain tissue in vitro // *Bioelectromagnetics*. 1985. Vol. 6, № 4. P. 327–337. DOI:
- Blackman C.F., Blanchard J.P., Benane S.G., House D.E. Empirical test of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with PC-12 cells // *Bioelectromagnetics*. 1994. Vol. 15, № 3. P. 239–260.
- Blackman C.F., Blanchard J.P., Benane S.G., House D.E. The ion parametric resonance model predicts magnetic field parameters that affect nerve cells // *FASEB J*. 1995. Vol. 9, № 7. P. 547–551.
- Blanchard J.P., Blackman C.F. Clarification and application of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with biological systems // *Bioelectromagnetics*. 1994. Vol. 15, № 3. P. 217–238.
- Ermakov A., Afanasyeva V., Ermakova O. et al. Effect of weak alternating magnetic fields on planarian regeneration // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2022. Vol. 592. P. 7–12. DOI: 10.1016/j.bbrc.2021.12.096.
- Grinberg M., Ilin N., Nemtsova Y. et al. Response of photosynthesis and electrical reactions of wheat plants upon the action of magnetic fields in the Schumann resonance frequency band // *Plant Signal. Behav.* 2024. Vol. 19, № 1. P. 2294425. DOI: 10.1080/15592324.2023.2294425.
- Gurney W.S.C., McCauley E., Nisbet R.M., Murdoch, W.W. The physiological ecology of *Daphnia*: a dynamic model of growth and reproduction // *Ecology*. 1990. Vol. 71. P. 716–732.
- Khokhlova G., Abashina T., Belova N. et al. Effects of combined magnetic fields on bacteria *Rhodospirillum rubrum* VKM B-1621 // *Bioelectromagnetics*. 2018. Vol. 39, № 6. P. 485–490. DOI: 10.1002/bem.22130.
- Krylov V.V. Biological effects of weak magnetic fields: Can the radical-pair mechanism provide a universal explanation? // *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.* 2026. Vol. 101, № 2. P. 893–910. DOI: 10.1111/brv.70108.
- Krylov V.V., Osipova E.A. Molecular biological effects of weak low frequency magnetic fields: Frequency–amplitude efficiency windows and possible mechanisms // *Int. J. Mol. Sci.* 2023. Vol. 24, № 13. P. 10989. DOI: 10.3390/ijms241310989.
- Krylov V.V., Sizov D.A., Sizova A.A. Frequency-dependent effects of alternating magnetic fields on the growth rate of juvenile *Daphnia magna* // *Biophysica*. 2026. Vol. 6, № 2. P. 28. DOI: 10.3390/biophysica6020028.
- Lednev V.V. Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems // *Bioelectromagnetics*. 1991. Vol. 12, № 2. P. 71–75. DOI: 10.1002/bem.2250120202.
- Lednev V.V., Srebnitskaya L.K., Il'yasova Y.N. et al. Magnetic parametric resonance in biosystems: Experimental verification of the theoretical predictions with the use of regenerating planarians *Dugesia tigrina* as a test-system // *Biophysics*. 1996. Vol. 41, № 4. P. 815–825.
- Markov M.S. Biological effects of extremely low frequency magnetic fields // *Biomagnetic Stimulation*. Boston: Springer, 1994. P. 91–103.
- Peters R.H. *Daphnia* culture // *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 1987. Vol. 45. P. 483–495.
- Prato F.S., Carson J.J.L., Ossenkopp K.P., Kavaliers M. Possible mechanisms by which extremely low frequency magnetic fields affect opioid function // *FASEB J*. 1995. Vol. 9, № 9. P. 807–814. DOI: 10.1096/fasebj.9.9.7601344.
- Sarimov R., Markova E., Johansson F. et al. Exposure to ELF magnetic field tuned to Zn inhibit growth of cancer cells // *Bioelectromagnetics*. 2005. Vol. 26, № 8. P. 631–638. DOI: 10.1002/bem.20146.
- Smith S.D., McLeod B.R., Liboff A.R., Cooksey K. Calcium cyclotron resonance and diatom mobility // *Bioelectromagnetics*. 1987. Vol. 8, № 3. P. 215–227. DOI: 10.1002/bem.2250080302.
- Talikina M.G., Izyumov Yu.G., Krylov V.V. Response of animal and vegetative cells to the effect of a typical magnetic storm // *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 2013. Vol. 49, № 8. P. 779–783.
- Tian H., Zhu H., Gao C. et al. System-level biological effects of extremely low-frequency electromagnetic fields: An in vivo experimental review // *Front. Neurosci.* 2023. Vol. 17. P. 1247021. DOI: 10.3389/fnins.2023.1247021.
- Tiras H.P., Petrova O.N., Myakisheva S.N. et al. Effects of weak magnetic fields on different phases of planarian regeneration // *Biophysics*. 2015. Vol. 60, № 1. P. 126–130. DOI: 10.1134/S0006350915010224.
- Trillo M.A., Ubeda A., Blanchard J.P. et al. Magnetic fields at resonant conditions for the hydrogen ion affect neurite outgrowth in PC-12 cells: A test of the ion parametric resonance model // *Bioelectromagnetics*. 1996. Vol. 17, № 1. P. 10–20. DOI: 10.1002/(SICI)1521-186X(1996)17:1<10::AID-BEM2>3.0.CO;2-9.

REFERENCES

- Baureus Koch C.L.M., Sommarin M., Persson B.R.R. et al. Interaction between weak low frequency magnetic fields and cell membranes. *Bioelectromagnetics*, 2003, vol. 24, no. 6, pp. 395–402. doi: 10.1002/bem.10136.

- Belova N.A., Lednev V.V. Zavisimost' gravitropicheskoy reaktsii v segmentakh stebley l'na ot chastoty i amplitudy peremennoy komponenty slabogo kombinirovannogo magnitnogo polya [Dependence of gravitotropic reaction in segments of flax stems on frequency and amplitude of variable components of a weak combined magnetic field]. *Biofizika*, 2000, vol. 45, no. 6, pp. 1108–1111. (In Russian)
- Belova N.A., Panchelyuga V.A. Lednev's model: Theory and experiment. *Biophysics*, 2010, vol. 55, no. 4, pp. 661–674. doi: 10.1134/S0006350910040263.
- Binhi V.N., Prato F.S. A physical mechanism of magnetoreception: Extension and analysis. *Bioelectromagnetics*, 2017, vol. 38, no. 1, pp. 41–52. doi: 10.1002/bem.22011.
- Blackman C.F., Benane S.G., Rabinowitz J.R. et al. A role for the magnetic field in the radiation-induced efflux of calcium ions from brain tissue in vitro. *Bioelectromagnetics*, 1985, vol. 6, no. 4, pp. 327–337.
- Blackman C.F., Blanchard J.P., Benane S.G., House D.E. Empirical test of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with PC-12 cells. *Bioelectromagnetics*, 1994, vol. 15, no. 3, pp. 239–260.
- Blackman C.F., Blanchard J.P., Benane S.G., House D.E. The ion parametric resonance model predicts magnetic field parameters that affect nerve cells. *FASEB J.*, 1995, vol. 9, no. 7, pp. 547–551.
- Blanchard J.P., Blackman C.F. Clarification and application of an ion parametric resonance model for magnetic field interactions with biological systems. *Bioelectromagnetics*, 1994, vol. 15, no. 3, pp. 217–238.
- Ermakov A., Afanasyeva V., Ermakova O. et al. Effect of weak alternating magnetic fields on planarian regeneration. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 2022, vol. 592, pp. 7–12. doi: 10.1016/j.bbrc.2021.12.096.
- Grinberg M., Ilin N., Nemtsova Y. et al. Response of photosynthesis and electrical reactions of wheat plants upon the action of magnetic fields in the Schumann resonance frequency band. *Plant Signal. Behav.*, 2024, vol. 19, no. 1, p. 2294425. doi: 10.1080/15592324.2023.2294425.
- Gurney W.S.C., McCauley E., Nisbet R.M., Murdoch, W.W. The physiological ecology of *Daphnia*: a dynamic model of growth and reproduction. *Ecology*, 1990, vol. 71, pp. 716–732.
- Khokhlova G., Abashina T., Belova N. et al. Effects of combined magnetic fields on bacteria *Rhodospirillum rubrum* VKM B-1621. *Bioelectromagnetics*, 2018, vol. 39, no. 6, pp. 485–490. doi: 10.1002/bem.22130.
- Krylov V.V. Biological effects of weak magnetic fields: Can the radical-pair mechanism provide a universal explanation? *Biol. Rev. Camb. Philos. Soc.*, 2026, vol. 101, no. 2, pp. 893–910. doi: 10.1111/brv.70108.
- Krylov V.V., Osipova E.A. Molecular biological effects of weak low frequency magnetic fields: Frequency–amplitude efficiency windows and possible mechanisms. *Int. J. Mol. Sci.*, 2023, vol. 24, no. 13, p. 10989. doi: 10.3390/ijms241310989.
- Krylov V.V., Sizov D.A., Sizova A.A. Frequency-dependent effects of alternating magnetic fields on the growth rate of juvenile *Daphnia magna*. *Biophysica*, 2026, vol. 6, no. 2, p. 28. doi: 10.3390/biophysica6020028.
- Lednev V.V. Possible mechanism for the influence of weak magnetic fields on biological systems. *Bioelectromagnetics*, 1991, vol. 12, no. 2, pp. 71–75. doi: 10.1002/bem.2250120202.
- Lednev V.V., Srebnitskaya L.K., Il'yasova Y.N. et al. Magnetic parametric resonance in biosystems: Experimental verification of the theoretical predictions with the use of regenerating planarians *Dugesia tigrina* as a test-system // *Biophysics*, 1996, vol. 41, no. 4, pp. 815–825.
- Markov M.S. Biological effects of extremely low frequency magnetic fields. *Biomagnetic Stimulation*. Boston, Springer, 1994, pp. 91–103.
- Peters R.H. *Daphnia* culture. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 1987, vol. 45, pp. 483–495.
- Prato F.S., Carson J.J.L., Ossenkopp K.P., Kavaliers M. Possible mechanisms by which extremely low frequency magnetic fields affect opioid function. *FASEB J.*, 1995, vol. 9, no. 9, pp. 807–814. doi: 10.1096/fasebj.9.9.7601344.
- Sarimov R., Markova E., Johansson F. et al. Exposure to ELF magnetic field tuned to Zn inhibit growth of cancer cells. *Bioelectromagnetics*, 2005, vol. 26, no. 8, pp. 631–638. doi: 10.1002/bem.20146.
- Smith S.D., McLeod B.R., Liboff A.R., Cooksey K. Calcium cyclotron resonance and diatom mobility. *Bioelectromagnetics*, 1987, vol. 8, no. 3, pp. 215–227. doi: 10.1002/bem.2250080302.
- Talikina M.G., Izyumov Yu.G., Krylov V.V. Response of animal and vegetative cells to the effect of a typical magnetic storm. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.*, 2013, vol. 49, no. 8, pp. 779–783.
- Tian H., Zhu H., Gao C. et al. System-level biological effects of extremely low-frequency electromagnetic fields: An in vivo experimental review. *Front. Neurosci.*, 2023, vol. 17, p. 1247021. doi: 10.3389/fnins.2023.1247021.
- Tiras H.P., Petrova O.N., Myakisheva S.N., Popova S.S., Aslanidi K.B. Effects of weak magnetic fields on different phases of planarian regeneration. *Biophysics*, 2015, vol. 60, no. 1, pp. 126–130. doi: 10.1134/S0006350915010224.
- Trillo M.A., Ubeda A., Blanchard J.P. et al. Magnetic fields at resonant conditions for the hydrogen ion affect neurite outgrowth in PC-12 cells: A test of the ion parametric resonance model. *Bioelectromagnetics*, 1996, vol. 17, no. 1, pp. 10–20. doi: 10.1002/(SICI)1521-186X(1996)17:1<10::AID-BEM2>3.0.CO;2-9.

EFFECTS OF ALTERNATING MAGNETIC FIELDS WITH DIFFERENT AMPLITUDES ON THE GROWTH RATE OF JUVENILE *DAPHNIA MAGNA*

V. V. Krylov*, D. A. Sizov, A. A. Sizova

Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences

*152742 Borok, Russia, e-mail: *kryloff@ibiw.ru*

Revised 13.04.2026

The present study investigated the effects of low-frequency alternating magnetic fields of different amplitudes on the growth of juvenile *Daphnia magna*. Experiments were conducted under strictly controlled thermal conditions using a synchronous exposure system that enabled simultaneous treatment of experimental groups with magnetic fields of identical frequency (30 Hz) but different magnetic flux densities (24, 47.75, 71.5, 95.25, and 119 μ T). Body length measured after exposure was used as an indicator of growth performance. To minimize biological variability, genetically identical offspring derived from a single parthenogenetic brood were used in each experimental replicate. Exposure to low-frequency magnetic fields produced an overall stimulatory effect on the growth of *D. magna*. Statistically significant biological responses were observed at magnetic flux densities of 47.75 and 119 μ T, whereas the weakest effect occurred at 71.5 μ T. The results demonstrate a nonlinear relationship between biological response and magnetic field amplitude. However, the observed response pattern was only partially consistent with existing biophysical models of magnetosensitivity. These findings highlight the need for further investigation into the mechanisms underlying the effects of weak low-frequency magnetic fields on physiological processes in aquatic invertebrates.

Keywords: low-frequency magnetic field, *Daphnia magna*, growth rate, nonlinear effect, geomagnetic field, magnetic field amplitude

УРОВЕНЬ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И ОБЩИХ ЛИПИДОВ В ИММУНОКОМПЕТЕНТНЫХ ОРГАНАХ ЛЕЩА (*ABRAMIS BRAMA*) ВОДОХРАНИЛИЩ СРЕДНЕЙ И НИЖНЕЙ ВОЛГИ

С. В. Кузьмичева*, Д. В. Микряков

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук
152742 пос. Борок, Ярославская обл., Некоузский р-н, e-mail: *kuzmicheva.sv@ibiw.ru

Поступила в редакцию 27.03.2026

В работе исследованы показатели интенсивности окислительных процессов и содержания общих липидов в иммунокомпетентных органах леща из Горьковского, Чебоксарского, Куйбышевского и Саратовского водохранилищ. Рыб отлавливали с помощью донного трала в ходе комплексной гидробиологической экспедиции на научно-исследовательском судне. У отловленных особей после вскрытия отбирали в стерильные пробирки образцы почки, селезенки и печени. Из тканей органов при помощи гомогенизатора готовили гомогенаты с 0.65%-ным физиологическим раствором в соотношении 1:6 (масса к объему). Установлено, что лещи, выловленные из Куйбышевского и Саратовского водохранилищ, которые, находясь ниже по течению реки Волги, отличались низкими показателями малонового диальдегида, антиоксидательной активности и содержанием общих липидов. Выявленные различия исследуемых показателей лещей из разных водоемов, вероятно, зависели от температуры и уровня антропогенного загрязнения воды.

Ключевые слова: водохранилища Средней и Нижней Волги; лещ; иммунокомпетентные органы; перекисное окисление липидов; антиоксидательная активность; общие липиды.

DOI: 10.47021/0320-3557-2026-58-66

ВВЕДЕНИЕ

Волга — крупнейшая река Европы, имеющая чрезвычайно важное народно-хозяйственное значение. Она протекает с севера на юг по европейской части России и впадает в Каспийское море. По реке расположены девять водохранилищ: Верхневолжское, Ивановское, Угличское, Рыбинское, Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское, Саратовское и Волгоградское. Они различаются по географическим координатам, среднегодовой температуре воды, средней глубине, гидрологическим и гидрохимическим характеристикам, содержанию кислорода в воде, разнообразию флоры и фауны и другим показателям [Волга..., 1978 (Volga..., 1978)].

Горьковское, Чебоксарское и Куйбышевское водохранилища относятся к Средней Волге и их общая протяженность ~1280 км. Они относятся к озерно-речному типу и представляют собой расположенные один за другим участки зарегулированного русла р. Волга, занимают внутрикаскадное положение, относятся к очень крупным неглубоким проточным водоемам. Горьковское и левый берег Чебоксарского водохранилищ расположены в лесной зоне в подзоне южной тайги, а правый берег Чебоксарского водоема — в подзоне смешанных хвойно-широколиственных лесов. Левый берег Куйбышевского водохранилища находится в лесостепной, а правый в лесной зоне [Волга..., 1978 (Volga..., 1978); Авакян и др., 1987 (Avakyan et al., 1987)].

В пределы Нижней Волги входят Волгоградское и Саратовское водохранилища.

Саратовское образовано между Волжской плотиной на севере и Балаковской плотиной на юге относится к речному типу водохранилищ. Правый берег расположен в лесостепной зоне, а левый в степной. Протяженность данного водохранилища ~348 км. Волгоградское, образовано плотиной Волжской ГЭС, на территории Волгоградской и Саратовской областей России, протяженностью ~546 км. Наибольшая часть акватории расположена в степной зоне [Волга..., 1978 (Volga..., 1978)].

Ихтиофауна водоемов бассейна Средней и Нижней Волги включает различные виды рыб. Среди промысловых рыб ведущее место занимает лещ *Abramis brama* (Linnaeus, 1758). Это типичный бентофаг семейства карповых (Cyprinidae) в основном питается донными беспозвоночными — личинки насекомых, моллюски, черви, ракообразные и др. Предпочитает медленнотекущие водоемы и озера. Живет до 20 лет, обычно до 12–14 лет. Ведет стайный образ жизни [Атлас..., 2002 (Atlas..., 2002)].

Лещ считается удобным объектом биомониторинга и экологического состояния крупных водоемов. Данный вид отличается высокой численностью и продолжительностью жизни. По интенсивности окислительных процессов и уровню антиоксидательной защиты в тканях и органах можно судить о состоянии здоровья рыб. Получение таких данных при проведении комплексных ихтиологических исследований дает возможность оценить условия обитания и адаптационные возможности гидробионтов [Силкина и др., 2010, 2012 (Silkina et al., 2010,

2012); Экотоксикологические..., 2016 (Ekotoksikologicheskie..., 2016)].

Цель работы — сравнительное исследование уровня окислительных процессов и

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Рыб отлавливали в сентябре 2019 г. в ходе комплексной гидробиологической экспедиции на научно-исследовательском судне “Академик Топчиев” ИБВВ РАН донным тралом на четырех водохранилищах: 1 — Горьковском, 2 — Чебоксарском, 3 — Куйбышевском и 4 — Саратовском. Акватории расположены вниз по течению и различались по температуре воды: Горьковское — 10.8–13.5°C; Чебоксарское — 12.4–14.4°C; Куйбышевское — 15.9–16.5°C; Саратовское — 17.5–18.2°C. Материалом для исследования послужили 61 особь леща *Abramis brama* средней длиной (*TL*) 33.38±0.77 см и массой 711.31±54.82 г.

Сразу после вылова измеряли массу и длину тела. Далее отбирали и взвешивали печень, почку и селезенку. Соматический индекс рассчитывали по процентному отношению массы исследуемого органа к массе рыбы по формуле: $X = A/B \times 100$, где *X* — индекс органа, %; *A* — масса органа, г; *B* — масса рыбы, г. Кусочки органов помещали в сухие стерильные пробирки и замораживали при температуре — 20°C. В условиях лаборатории из размороженных образцов тканей печени, почки и селезенки при помощи гомогенизатора готовили гомогенаты с 0.65%-ным физиологическим раствором в соотношении 1:6 (масса к объему).

В гомогенатах исследовали содержание продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ), уровень антиокислительной активности (ОАА) и общих липидов (ОЛ).

Об интенсивности ПОЛ судили по накоплению малонового диальдегида (МДА) — одного из конечных продуктов перекисного окисления. Концентрацию МДА определяли по количеству продуктов ПОЛ, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой и дающих с ней

общих липидов в иммунокомпетентных органах леща из водохранилищ Средней и Нижней Волги.

окрашенный комплекс. Интенсивность окрашивания оценивали спектрофотометрически по изменению максимума поглощения при 535 нм [Андреева и др., 1988 (Andreeva et al., 1988)]. Содержание МДА вычисляли с учетом коэффициента молярной экстинкции ($1.56 \times 10^5 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) и выражали в наномолях на 1 г ткани.

Об ОАА тканей судили по кинетике окисления субстрата восстановленной формы 2,6-дихлорфенолиндифенола кислородом воздуха по общепринятой методике [Семенов, Ярош, 1985 (Semenov, Yarosh, 1985)], адаптированной нами для рыб. Константу ингибирования окисления субстрата (КОС), являющуюся показателем антиокислительной активности ткани, определяли относительно контроля по формуле: $K_i = K_{\text{кон}} - K_{\text{оп}}/C$, где $K_{\text{кон}}$ и $K_{\text{оп}}$ — константы скоростей окисления субстрата соответственно в контроле и опыте; *C* — концентрация биологического материала в кювете. Сущность метода заключается в том, что, чем выше показатель КОС, тем ниже содержание в тканях антиоксидантов.

Липиды из тканей экстрагировали и определяли гравиметрически стандартным методом по Фолчу [Folch et al., 1957]. Пробы фиксировали смесью хлороформ:метанол в соотношении 2:1 по объему. Разделение общих липидов проводили с помощью метода тонкослойной хроматографии восходящим способом на пластинках “Silufol” в системе растворителей петролейный эфир:серный эфир:ледяная уксусная кислота (90:10:1 по объему).

Статистическая обработка результатов исследования выполнена с помощью пакета программ Statistica v. 6.0 с использованием *t*-теста Стьюдента. Различия считали значимыми при $p \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнительный анализ полученных результатов показал различия между рыбами из исследуемых водохранилищ (см. таблицу). У лещей зафиксированы наиболее высокие гепатосоматические, а низкие — спленосоматические индексы.

Установлены значимые отличия исследуемых параметров уровня ПОЛ, ОАА и ОЛ между рыбами из разных зон течения реки. У лещей, из находящихся ниже по течению водоемов, установлены более высокий показатель КОС, низкие МДА и ОЛ во всех органах.

Наибольшие отличия исследуемых параметров зафиксированы у рыб из Саратовского водохранилища, по сравнению с особями из остальных водоемов.

Среди органов более высокий уровень МДА отмечен в печени и почке, а наименьший — в селезенке. Минимальный показатель КОС зафиксирован в селезенке рыб из Саратовского водохранилища. Высокое содержание ОЛ было зафиксировано в почке рыб из всех водоемов, а низкое в селезенке лещей, отловленных из Куйбышевского водохранилища.

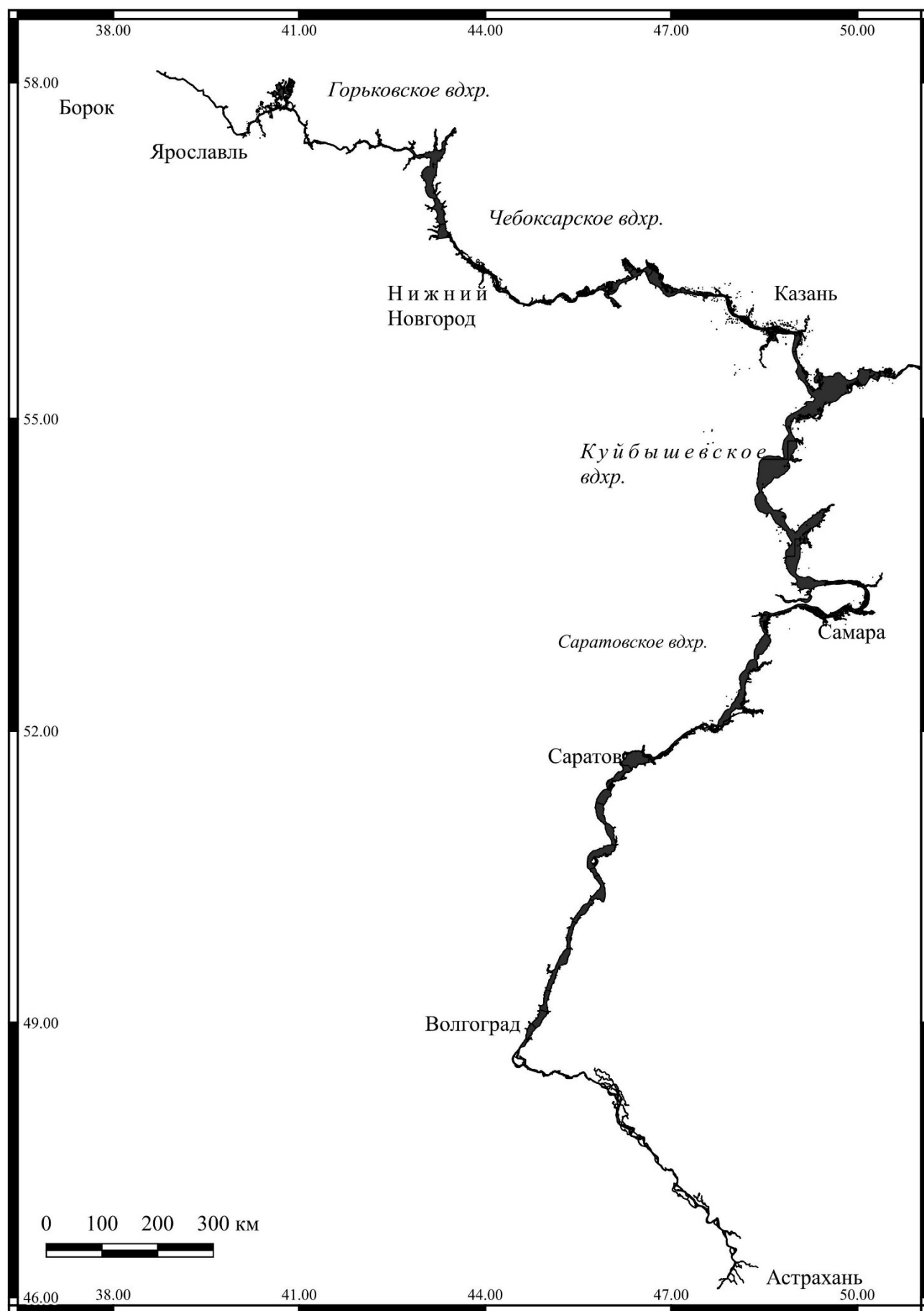


Рисунок. Карта-схема водохранилищ Средней и Нижней Волги.

Figure. Map-diagram of reservoirs of the Middle and Lower Volga.

Морфофизиологические и иммунобиохимические показатели леща

Morpho-physiological and immuno-biochemical parameters of bream

Показатель Indicator	Горьковское (а) Gorky	Чебоксарское (б) Cheboksary	Куйбышевское (в) Kuibyshev	Саратовское Saratov
Количество рыб, экз. Number of fish, ind.	14	20	9	18
Средняя длина, см Average length, cm	39.60±1.13	34.38±0.88	27.94±1.58	30.14±1.19
Средняя масса, г Average weight, g	1150.92±125.47	751.65±67.59	395.66±55.56	482.38±72.27
Соматический индекс, % Somatic index, %	1.66±0.07	1.61±0.06	1.44±0.14	1.37±0.04 ^{аб}
Печень Liver	0.72±0.02	0.69±0.02	0.62±0.01 ^а	0.61±0.02 ^а
Почка Kidney	0.37±0.03	0.39±0.01	0.42±0.05	0.37±0.02
Селезенка Spleen	0.37±0.03	0.39±0.01	0.42±0.05	0.37±0.02
МДА, нмоль/г MDA, nmol/g	59.61±6.45	59.93±5.03	37.13±5.20 ^{аб}	21.34±2.74 ^{абв}
Печень Liver	43.38±4.66	29.49±2.62 ^а	24.34±3.70 ^а	12.51±1.62 ^{абв}
Почка Kidney	20.31±3.92	20.79±1.84	15.12±3.48	7.41±0.63 ^{абв}
Селезенка Spleen	20.31±3.92	20.79±1.84	15.12±3.48	7.41±0.63 ^{абв}
КОС, л/(мл×мин) KiOS, L/(Ml min)	0.27±0.06	0.26±0.03	0.41±0.12	0.71±0.06 ^{абв}
Печень Liver	0.28±0.07	0.28±0.05	0.54±0.35	1.64±0.45 ^{аб}
Почка Kidney	0.28±0.14	0.14±0.04	0.32±0.07 ^б	1.18±0.28 ^{абв}
Селезенка Spleen	0.28±0.14	0.14±0.04	0.32±0.07 ^б	1.18±0.28 ^{абв}
ОЛ, мг% OL, mg%	10244.29±176.96	10972.50±205.39 ^а	10025.00±211.92 ^б	9911.11±163.87 ^б
Печень Liver	11282.86±166.66	11332.50±199.27	11367.14±154.93	11130.77±121.54
Почка Kidney	10390.83±160.10	10754.74±216.77	8158.33±800.50 ^{аб}	8862.50±296.89 ^{аб}
Селезенка Spleen	10390.83±160.10	10754.74±216.77	8158.33±800.50 ^{аб}	8862.50±296.89 ^{аб}

Примечание. ^{а-в} — значимые различия между показателями леща из разных водохранилищ, при $p \leq 0.05$.**Note.** ^{а-в} — significant differences between the indicators of bream from different reservoirs, at $p \leq 0.05$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показали существенные различия уровня ПОЛ, ОАА, содержания ОЛ в печени, почке и селезенке между лещем из водохранилищ, находящихся выше и ниже по течению. Зафиксированные отличия исследуемых показателей в разных органах обусловлены структурно-функциональными характеристиками. Печень — полифункциональный орган рыб играет важнейшую роль в обмене липидов. В нем происходит их окисление, синтез, депонирование и последующее распределение по жировым депо и другим тканям и органам с помощью крови. Это ключевой метаболический орган хранения и мобилизации энергии, обладает анаболическими и катаболическими функциями [Гершанович и др., 1991 (Gershanovich et al., 1991); Vazarsadueva et al., 2021]. В ней преобразуется глюкоза в гликоген и липиды, которые обеспечивают организм энергией, производит и секретирует глюкозу посредством гликогенолиза и

глюконеогенеза. Она принимает активное участие в процессах переваривания пищи, участвует в разрушении и нейтрализации чужеродных веществ, синтезе медиаторов иммунного ответа, очищении крови от иммунных комплексов, токсичных соединений и т.д. Почка состоит из двух отделов: головного и туловищного. Головной отдел почки участвует в производстве всех типов иммунокомпетентных клеток, а туловищный наряду с иммунной выполняет и мочевыделительную функцию. В почках осуществляется белковый, углеводный и липидный обмен, синтез гормонов. Селезенка состоит из красной и отдельных диффузных скоплений белой пульпы, в которой происходит лимфопоэз. Селезенка считается основным местом эритро- и служит “депо” эритроцитов, принимает участие в белковом обмене, синтезе глобулинов, альбуминов и иммуноглобулинов. Она может изменять свои размеры под влиянием стрессовых воздействий, при септических

заболеваниях, в зависимости от происхождения рыб [Арцимович и др., 1992 (Artsimovich et al., 1992); Микряков, 1991 (Mikryakov, 1991); Микряков и др., 2001 (Mikryakov et al., 2001); Пронина, 2012 (Pronina, 2012); Secombes et al., 1983; Fänge, Nilsson, 1985].

Установленные отличия показателей МДА и КОС в иммунокомпетентных органах у рыб из исследуемых водохранилищ, видимо, обусловлены разным уровнем содержания антиоксидантных ферментов и низкомолекулярных соединений. Уровень МДА в органах рыб, выловленных из Куйбышевского и Саратовского водохранилищ, указывает на меньшую интенсивность процессов ПОЛ. Однако у этих лещей выявлен более высокий показатель КОС, что свидетельствует о снижении уровня антиоксидантов. Одним из чувствительных индикаторов, отражающим влияние неблагоприятных стресс-факторов на состояние здоровья рыб и метаболические процессы считается изменение соотношения между ПОЛ и ОАА тканей [Грубинко, 2001 (Grubinko, 2001); Микряков и др., 2001 (Mikryakov et al., 2001); Руднева, 2007 (Rudneva, 2007)]. Важный механизм регуляции метаболических процессов в организме — динамическое равновесие окислительно-восстановительного баланса, обеспечиваемое прооксидант-антиоксидантной системой. Антиокислительная защита реализуется за счет антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы, глутатион-S-трансферазы) и низкомолекулярных соединений (б-токоферол, восстановленный глутатион, фенольная форма коэнзима Q₁₀, в-каротин, аскорбиновая кислота и др.). Избыток активных форм кислорода становится причиной усиления ПОЛ и снижения содержания ферментных и неферментных антиоксидантов [Зенков и др., 1999 (Zenkov et al., 1999); Fiho, 1996; Winston, 1991]. Низкая интенсивность ПОЛ в органах леща из Куйбышевского и Саратовского водохранилищ, вероятно, обусловлена высоким расходом антиоксидантов на поддержание окислительно-восстановительного баланса.

Исследуемые рыбы также отличались по содержанию ОЛ. Липиды служат источником энергии, являются обязательным компонентом клеточных мембран. Из них образуются биологически активные вещества, в частности, стероидные гормоны, выполняющие важную роль в процессах регуляции метаболизма и размножения у рыб, в адаптации к условиям среды обитания. Липиды служат источниками метаболической энергии в организме, биологических эффекторов и медиаторов, участвующих

в регуляции жизненно важных функций систем, обеспечивающих оптимальный рост, развитие, состояние здоровья на всех этапах онтогенеза и адаптацию к неблагоприятным факторам среды [Гершанович и др., 1991 (Gershanovich et al., 1991); Силкина, 1988 (Silkina, 1988); Смирнов, Богдан, 2007 (Smirnov, Bogdan, 2007)]. Под влиянием различных стресс-факторов, у рыб нарушаются темпы и направление липидного обмена, что влияет на уровень содержания липидов [Смирнов, Богдан, 2007 (Smirnov, Bogdan, 2007)]. Более высокое содержание ОЛ в тканях леща из Горьковского и Чебоксарского водохранилищ может быть связано с накоплением запасных липидов для будущей зимовки.

Установленные отличия показателей ПОЛ, ОАА и ОЛ в органах леща Куйбышевского и Саратовского водохранилища, вероятно, обусловлены интенсивным метаболизмом. Это связано с более высокой температурой воды в находящихся ниже по течению Волги водоемах. Уменьшение двигательной активности при снижении температуры воды в водоеме показало исследование структуры расхода обменной энергии у карпа и толстолобика разных возрастных групп [Егорова и др., 2019 (Egorova et al., 2019)]. Ранее установлены достоверные отличия доли содержания моноцитов, нейтрофилов и бластных типов клеток в лейкограмме крови, головной почки и индекса обилия лейкоцитов между лещами из этих водоемов [Суворова и др., 2023 (Suvorova et al., 2023)]. Был сделан вывод о зависимости обнаруженных различий от температуры воды во время отлова рыб.

Также установленные показатели могут быть связаны с неблагоприятными условиями среды обитания. Известно, что у рыб из водоемов с повышенной антропогенной нагрузкой усиливается интенсивность процессов ПОЛ и снижается уровень антиоксидантов [Силкина и др., 2010, 2012 (Silkina et al., 2010, 2012); Эко-токсикологические..., 2016 (Ekotoksikologicheskie..., 2016); Xu et al., 2021; Popović et al., 2023)]. Постоянное антропогенное загрязнение водоемов бассейна Средней и Нижней Волги происходит за счет строительства и эксплуатации объектов водоохраной зоны, деятельность многочисленных предприятий топливно-энергетического комплекса, наземного транспорта, химизации сельского хозяйства, работы очистных и канализационных сооружений [Семенов, 2011 (Semenov, 2011)]. Это оказывает отрицательное влияние на качественное и количественное состояние популяций гидробионтов. В более загрязненных Куйбышевском и Саратовском

водохранилище среди массовых видов рыб у большинства особей зафиксированы патологии эритроцитов и гистопатологии внутренних органов [Минеев, 2016, 2022, 2024 (Mineev,

2016, 2022, 2024)]. В других водоемах бассейна Средней и Нижней Волги основу ихтиофауны составляют особи без таких патологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, лещи из исследуемых водоемов различались по уровню МДА, КОС и ОЛ. Установлены менее интенсивные процессы ПОЛ, более низкий уровень ОАА и содержания ОЛ в иммунокомпетентных органах рыб из водоемов, которые находятся ниже по течению Волги. Выявленная разница между лещами

из исследуемых водохранилищ, скорее всего, обусловлена различными условиями среды обитания. Вероятно, отличия исследуемых показателей лещей из разных водоемов зависели от температуры и уровня антропогенного загрязнения воды.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБВВ РАН № 124032500015-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авакян А.Б., Салтанкини В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 325 с.
- Андреева Л.И., Кожемякин Н.А., Кишкун А.А. Модификация методов определения перекисей липидов в тесте с тиобарбитуровой кислотой // Лаб. Дело. 1988. № 11. С. 41–43.
- Арцимович Н.Г., Настоящая Н.Н., Казанский Д.Б., Ломакин М.С. Печень как орган иммунобиологической системы гомеостаза // Успехи соврем. биол. 1992. Т. 112, № 1. С. 88–99.
- Атлас пресноводных рыб России. Т. 1 / Ред. Ю.С. Решетников. М.: Наука, 2002. 379 с.
- Волга и ее жизнь / Ред. Н. Буторин. Л.: Наука, 1978. 348 с.
- Гершанович А.Д., Лапин В.И., Шатуновский М.И. Особенности обмена липидов у рыб // Успехи соврем. биол. 1991. Т. 3, № 2. С. 207–219.
- Грубинко В.В. Перекисное окисление липидов и антиоксидантная защита у рыб (обзор) // Гидробиол. журн. 2001. Т. 37, № 1. С. 64–78.
- Егорова В.И., Свешникова Е.В., Наумова В.В. и др. Влияние температуры воды на структуру расхода обменной энергии у рыб // Вестник АГТУ. Сер. Рыб. хоз-во. 2019. № 4. С. 110–115. DOI: 10.24143/2073-5529-2019-4-110-115.
- Зенков Н.К., Меньшикова Е.Б., Вольский Н.Н., Козлов В.А. Внутриклеточный окислительный стресс и апоптоз // Успехи соврем. биол. 1999. Т. 119, № 5. С. 440–450.
- Микряков В.Р. Закономерности формирования приобретенного иммунитета у рыб. Рыбинск: ИБВВ РАН, 1991. 154 с.
- Микряков В.Р., Балабанова Л.В., Заботкина Е.А. и др. Реакция иммунной системы рыб на загрязнение воды токсикантами и закисление среды. М.: Наука, 2001. 126 с.
- Минеев А.К. Современное экологическое состояние массовых видов рыб Средней и Нижней Волги в условиях техногенной трансформации водоемов // Карельский научный журнал. 2016. Т. 5, № 3(16). С. 73–76.
- Минеев А.К. Патологии печени у двух промысловых видов рыб Куйбышевского водохранилища // Ветеринария. 2022. № 8. С. 52–56.
- Минеев А.К. Состояние двух гематологических параметров у массовых видов рыб в экологических условиях Саратовского водохранилища // Биосфера. 2024. Т. 16, № 2. С. 235–248.
- Пронина Г.И. Физиолого-биохимическая оценка культивируемых гидробионтов карпа, сома обыкновенного, речных раков. Автореф. ... дисс. докт. биол. наук. М., 2012. 36 с.
- Руднева И.И. Применение биохимических маркеров для оценки здоровья рыб // Проблемы иммунологии, патологии и охраны здоровья рыб и других гидробионтов: Материалы II Международной научно-практической конференции. М.: Россельхозакадемия, 2007. С. 234–238.
- Семенов В.Л., Ярош А.М. Метод определения антиокислительной активности биологического материала // Укр. биохим. журн. 1985. Т. 57, № 3. С. 50–52.
- Семенов Д.Ю. Антропогенная трансформация ихтиофауны Средней Волги в Куйбышевском водохранилище. Ульяновск: ГАРТ, 2011. 113 с.
- Силкина Н.И. Сезонная динамика липидов сыворотки крови и ее связь с иммунологической реактивностью рыб. Автореф. ... дисс. канд. биол. наук. М., 1988. 17 с.
- Силкина Н.И., Микряков В.Р., Микряков Д.В. Особенности липидного обмена леща *Abramis brama*, обитающего в реках Южного Урала // Экология. 2010. № 6. С. 472–474.
- Силкина Н.И., Микряков Д.В., Микряков В.Р. Влияние антропогенного загрязнения на окислительные процессы в печени рыб Рыбинского водохранилища // Экология. 2012. № 5. С. 361–365.
- Смирнов Л.П., Богдан В.В. Липиды в физиолого-биохимических адаптациях экотермных организмов к абиотическим и биотическим факторам среды. М.: Наука, 2007. 182 с.

- Суворова Т.А., Герман А.В., Микряков Д.В. Сравнительное исследование лейкоцитарной формулы периферической крови, головной почки и селезенки леща *Abramis brama* (Cyprinidae) водохранилищ Средней Волги // Вопросы ихтиологии. 2023. Т. 63, № 2. С. 239–243. DOI: 10.31857/S0042875223010174.
- Экотоксикологические исследования прибрежной черноморской ихтиофауны в районе Севастополя / Ред. И.И. Руднева. Москва: ГЕОС, 2016. 360 с.
- Bazarsadueva S.V., Radnaeva L.D., Shiretorova V.G., Dylanova E.P. The Comparison of Fatty Acid Composition and Lipid Quality Indices of Roach, Perch, and Pike of Lake Gusinoe (Western Transbaikalia) // J. Environ. Res. Public Health. 2021. Vol. 18. P. 9032. DOI: 10.3390/ijerph18179032.
- Fänge R., Nilsson S. The fish spleen: structure and function // Experimentia. 1985. Vol. 41, № 2. P. 152–158.
- Fiho W.D. Fish antioxidant defences — A comparative approach // Braz. J. Med. and Biol. Res. 1996. Vol. 29, № 12. P. 1735–1742.
- Folch J., Lees M., Stanley G.N. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues // J. Biol. Chem. 1957. Vol. 226, № 3. P. 497–509.
- Popović N.T., Čižmek L., Babić S. et al. Fish liver damage related to the wastewater treatment plant effluents // Environ. Sci. and Pollut. Res. 2023. Vol. 30. P. 48739. DOI: 10.1007/s11356-023-26187-y.
- Secombes C.J., Van Groningen J.M., Egberts E. Ontogeny of the immune system in carp (*Cyprinus carpio* L.). The appearance of antigenic determinants on lymphoid cells detected by mouse anti-carp thymocyte monoclonal antibodies // Dev. comp. immunol. 1983. Vol. 7. P. 455–464.
- Winston G.W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals // Compar. biochem. and Physiol. 1991. Vol. 100, № 1–2. P. 173–176.
- Xu Y.-H., Hogstrand Ch., Xu Y.-Ch. et al. Environmentally relevant concentrations of oxytetracycline and copper increased liver lipid deposition through inducing oxidative stress and mitochondria dysfunction in grass carp *Ctenopharyngodon idella* // Environ. Pollut. 2021. Vol. 283. P. 117079. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.117079.

REFERENCES

- Andreeva L.I., Kozhemyakin N.A., Kishkun A.A. Modifikatsiya metodov opredeleniya perekisej lipidov v teste s tiobarbiturovoj kislotoj [Modification of methods for determining lipid peroxides in the thiobarbituric acid test]. *Lab. Delo*, 1988, no. 11, pp. 41–43. (In Russian)
- Artsimovich N.G., Nastoyashchaya N.N., Kazanskii D.B., Lomakin M.S. Pechen' kak organ immunobiologicheskoi sistemy gomeostaza [The liver as an organ of the immunobiological homeostasis system]. *Usp. Sovrem. Biol.*, 1992, vol. 112, no. 1, pp. 88–99. (In Russian)
- Atlas presnovodnykh ryb Rossii. T. 1 [Atlas of freshwater fish of Russia. Vol. 1]. Ed. Yu.S. Reshetnikov. Moscow, Nauka, 2002. 379 p. (In Russian)
- Avakyan A.B., Saltankini V.P., Sharapov V.A. Vodokhranilishcha [Reservoirs]. Moscow, Mysl', 1987. 325 p. (In Russian)
- Bazarsadueva S.V., Radnaeva L.D., Shiretorova V.G., Dylanova E.P. The Comparison of Fatty Acid Composition and Lipid Quality Indices of Roach, Perch, and Pike of Lake Gusinoe (Western Transbaikalia). *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, 9032. doi: 10.3390/ijerph18179032.
- Egorova V.I., Sveshnikova E.V., Naumova V.V., Kiryanov D.A., Smirnova A.N. Vliyanie temperatury vody na strukturu raskhoda obmennoj ehnergii u ryb [The influence of water temperature on the structure of metabolic energy expenditure in fish]. *Vestn. AGTU. Ser.: Rybn. Khoz-vo*, 2019, no. 4, pp. 110–115. doi: 10.24143/2073-5529-2019-4-110-115. (In Russian)
- Ekotoksikologicheskie issledovaniya pribrezhnoj chernomorskoj ikhtiofauny v rajone Sevastopolya [Ecotoxicological studies of the coastal Black Sea ichthyofauna in the Sevastopol region]. Ed. I.I. Rudнева. Moscow, GEOS, 2016. 360 p. (In Russian)
- Fänge R., Nilsson S. The fish spleen: structure and function. *Experientia*, 1985, vol. 41, no. 2, pp. 152–158.
- Fiho W.D. Fish antioxidant defences — A comparative approach. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 1996, vol. 29, no. 12, pp. 1735–1742.
- Folch J., Lees M., Stanley G.N. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, 1957, vol. 226, no. 3, pp. 497–509.
- Gershanovich A.D., Lapin V.I., Shatunovskij M.I. Osobennosti obmena lipidov u ryb [Features of lipid metabolism in fish]. *Usp. Sovrem. Biol.*, 1991, vol. 3, no. 2, pp. 207–219. (In Russian)
- Grubinko V.V. Perekisnoe okislenie lipidov i antioksidantnaya zashchita u ryb (obzor) [Lipid peroxidation and antioxidant defense in fish (review)]. *Gidrobiol. Zh.*, 2001, vol. 37, no. 1, pp. 64–78. (In Russian)
- Mikryakov V.R. Zakonomernosti formirovaniya priobretnennogo immuniteta u ryb [Patterns of formation of acquired immunity in fish]. Rybinsk, IBVV RAN, 1991. 154 p. (In Russian)
- Mikryakov V.R., Balabanova L.V., Zabotkina E.A. i dr. Reaktsiya immunoj sistemy ryb na zagryaznenie vody toksikantami i zakislenie sredy [Reaction of the fish immune system to water pollution with toxicants and acidification of the environment]. Moscow, Nauka, 2001. 126 p. (In Russian)
- Mineev A.K. Patologii pecheni u dvukh promyslovnykh vidov ryb Kujbyshevskogo vodokhranilishcha [Liver pathologies in two commercial fish species of the Kuibyshev Reservoir]. *Veterinariya*, 2022, no. 8, pp. 52–56. (In Russian)
- Mineev A.K. Sostoyanie dvukh gematologicheskikh parametrov u massovykh vidov ryb v ekologicheskikh usloviyakh Saratovskogo vodokhranilishcha [The state of two hematological parameters in common fish species under environmental conditions of the Saratov Reservoir]. *Biosfera*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 235–248. (In Russian)

- Mineev A.K. Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie massovykh vidov ryb Srednej i Nizhnej Volgi v usloviyakh tekhnogennoj transformatsii vodoemov [The current ecological state of common fish species in the Middle and Lower Volga in the context of technogenic transformation of water bodies]. *Karel. Nauch. Zh.*, 2016, vol. 5, no. 3 (16), pp. 73–76. (In Russia)
- Popović N.T., Čizmek L., Babić S. et al. Fish liver damage related to the wastewater treatment plant effluents. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2023, vol. 30, p. 48739. doi: 10.1007/s11356-023-26187-y.
- Pronina G.I. *Fiziologo-biokhimicheskaya otsenka kul'tiviruemykh gidrobiontov: karpa, soma obyknovennogo i raka* [Physiological and biochemical assessment of cultured aquatic organisms: carp, common catfish, and crayfish]. Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Moscow, 2012. 36 p. (In Russia)
- Rudneva I.I. Primenenie biokhimicheskikh markerov dlya otsenki zdorov'ya ryb [Application of biochemical markers to assess fish health]. *Problemy immunologii, patologii i okhrany zdorov'ya ryb i drugikh gidrobiontov: Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of immunology, pathology and health protection of fish and other aquatic organisms: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference]. Moscow, Rossel'khozakademiya, 2007. pp. 234–238. (In Russia)
- Secombes C.J., Van Groningen J.M., Egberts E. Ontogeny of the immune system in carp (*Cyprinus carpio* L.). The appearance of antigenic determinants on lymphoid cells detected by mouse anti-carp thymocyte monoclonal antibodies. *Dev. Comp. Immunol.*, 1983, vol. 7, pp. 455–464.
- Semenov D.Yu. *Antropogennaya transformatsiya ikhtiofauny Srednej Volgi v Kujbyshevskom vodokhranilishche* [Anthropogenic transformation of the ichthyofauna of the Middle Volga in the Kuibyshev Reservoir]. Ulyanovsk, GART, 2011. 113 p. (In Russia)
- Semenov V.L., Yarosh A.M. Metod opredeleniya antioksidatel'noj aktivnosti biologicheskogo materiala [Method for determining the antioxidant activity of biological material]. *Ukr. Biokhim. Zh.*, 1985, vol. 57, no. 3, pp. 50–52. (In Russia)
- Silkina N.I. *Sezonnaya dinamika lipidov syvorotki krovi i eyo svyaz' s immunologicheskoy reaktivnost'yu ryb* [Seasonal dynamics of blood serum lipids and its relationship with the immunological reactivity of fish]. Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Moscow, 1988. 17 p. (In Russia)
- Silkina N.I., Mikryakov V.R., Mikryakov D.V. Osobennosti lipidnogo obmena leshcha *Abramis brama*, obitayushchego v rekakh Yuzhnogo Urala [Features of lipid metabolism of the bream *Abramis brama*, living in the rivers of the Southern Urals]. *Ekologiya*, 2010, no. 6, pp. 472–474. (In Russia)
- Silkina N.I., Mikryakov D.V., Mikryakov V.R. Vliyanie antropogennogo zagryazneniya na okislitel'nye protsessy v pecheni ryb Rybinskogo vodokhranilishcha [The influence of anthropogenic pollution on oxidative processes in the liver of fish from the Rybinsk Reservoir]. *Ekologiya*, 2012, no. 5, pp. 361–365. (In Russia)
- Smirnov L.P., Bogdan V.V. *Lipidy v fiziologo-biokhimicheskikh adaptatsiyakh ekzotermnykh organizmov k abioticheskim i bioticheskim faktoram sredy* [Lipids in physiological and biochemical adaptations of ectothermic organisms to abiotic and biotic environmental factors]. Moscow, Nauka, 2007. 182 p. (In Russia)
- Suvorova T.A., German A.V., Mikryakov D.V. Sravnitel'noe issledovanie lejoksitarnoy formuly perifericheskoy krovi, golovnoj pochki i selezenki leshcha *Abramis brama* (Cyprinidae) vodokhranilishch Srednej Volgi [A Comparative Study of the Leukocyte Formula of the Peripheral Blood, Head Kidney and Spleen of the Bream *Abramis brama* (Cyprinidae) in the Middle Volga Reservoirs]. *Vopr. Ikhtiol.*, 2023, vol. 63, no. 2, pp. 382–386. doi: 10.1134/S0032945223010149. (In Russia)
- Volga i eyo zhizn' [The Volga and Its Life] / Red. N. Butorin. Leningrad, Nauka, 1978. 348 p. (In Russia)
- Winston G.W. Oxidants and antioxidants in aquatic animals. *Comp. Biochem. Physiol.*, 1991, vol. 100, no. 1–2, pp. 173–176.
- Xu Y.-H., Hogstrand Ch., Xu Y.-Ch. et al. Environmentally relevant concentrations of oxytetracycline and copper increased liver lipid deposition through inducing oxidative stress and mitochondria dysfunction in grass carp *Ctenopharyngodon idella*. *Environ. Pollut.*, 2021, vol. 283, 117079. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117079.
- Zenkov N.K., Men'shikova E.B., Vol'skij N.N., Kozlov V.A. Vnutrikletchnyy okislitel'nyj stress i apoptoz [Intracellular oxidative stress and apoptosis]. *Usp. Sovrem. Biol.*, 1999, vol. 119, no. 5, pp. 440–450. (In Russia)

THE LEVEL OF OXIDATIVE PROCESSES AND TOTAL LIPIDS IN THE IMMUNOCOMPETENT ORGANS OF THE BREAM (*ABRAMIS BRAMA*) RESERVOIRS OF THE MIDDLE AND LOWER VOLGA

S. V. Kuzmicheva*, D. V. Mikryakov

Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences
152742 Borok, Russia, e-mail: *kuzmicheva.sv@ibiw.ru

Revised 27.03.2026

The paper examines the intensity of oxidative processes and the content of total lipids in the immunocompetent organs of bream from Gorky, Cheboksary, Kuibyshev and Saratov reservoirs. The fish were caught using a bottom trawl during a comprehensive hydrobiological expedition on a research vessel. After autopsy, samples of kidney, spleen, and liver were taken from captured individuals into sterile tubes. Homogenates with 0.65% saline solution in a ratio of 1:6 (mass to volume) were prepared from organ tissues using a homogenizer. It was found that bream

caught from the Kuibyshev and Saratov reservoirs, which are located downstream of the Volga River, were characterized by low levels of malondialdehyde, antioxidant activity and total lipid content. The revealed differences in the studied indicators of bream from different reservoirs probably depended on temperature and the level of anthropogenic water pollution.

Keywords: reservoirs of the Middle and Lower Volga, bream, immunocompetent organs, lipid peroxidation, antioxidant activity, total lipids

ПАМЯТИ НАШИХ КОЛЛЕГ



**К 105-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ НИНЫ АЛЕКСЕЕВНЫ ИЗЮМОВОЙ
(1920–2001 гг.)**

Нина Алексеевна Изюмова родилась 15 ноября 1920 года в селе Серебряные Пруды Московской области. Ее мать, Анна Гавриловна Локтева, в девичестве Павлихина, была из крестьянской семьи. Отец — Алексей Николаевич, происходил из купеческой семьи Локтевых, но не пошел по стопам родителей и братьев, а окончил Учительский институт и стал учителем химии и физики в Серебряно-Прудской школе. К моменту рождения дочери Нины Алексей Николаевич был директором школы, человеком, очень почитаемым учителями и учениками. По воспоминаниям Нины Алексеевны, еще в 1960-е годы многие учителя Серебряных Прудов считали себя его наследниками. Он умер, когда дочери было 7 лет, получив заражение крови при проведении опытов. Вскоре после этого Анна Гавриловна с дочерью Ниной и сыном Валентином переехали в Ленинград. В 1938 г. Нина Алексеевна поступила на биолого-почвенный факультет Ленинградского университета, где специализировалась по кафедре зоологии беспозвоночных у профессора Валентина Александровича Догеля.

Учеба была прервана войной, которая застала студентов на практике в Белгородской области, в заповеднике “Лес на Ворскле”. Их вывезли буквально в последний момент перед приходом немцев. Потом была блокада Ленинграда, участие в строительстве оборонительных сооружений, эвакуация по льду Ладоги в Кировскую область. Учебу в университете удалось продолжить только после окончания войны. После окончания в 1946 г. Ленинградского государственного университета Нина Алексеевна работала в Зоологическом институте АН СССР, где окончила аспирантуру и защитила кандидатскую диссертацию на тему “Биология *Dactylogyrus vastator* Nybelin и *Dactylogyrus solidus* Achmerov в карповых хозяйствах” под руководством академика Б.Е. Быховского.



В лаборатории Главного корпуса, 1954 г.



На экспедиционном судне в рейсе на Горьковское водохранилище, 1955 г.

В 1938 г. в п. Борок (усадьба “Борок” почетного академика, революционера-народника Н.А. Морозова) в Ярославской области была создана Верхневолжская база АН СССР, преобразованная в 1943 г. в биологический стационар, а позднее, в 1947 г. — в биологическую станцию “Борок” им. Н.А. Морозова. Директором этой станции в 1952 г. был назначен Иван Дмитриевич Папанин, а через год в 1953 г. в Борок на работу приехала Нина Алексеевна для организации здесь паразитологических исследований на вновь создаваемых водохранилищах. Работая в институте с первых лет его создания вместе с И.Д. Папаниным, Нина Алексеевна много сделала для организации здесь паразитологических исследований. В 1956 г. в институте была сформирована Лаборатория зоологии и паразитологии (1956–1971 гг.) под руководством известного биолога Кузина Бориса Сергеевича. Единственным паразитологом в этой лаборатории была Н.А. Изюмова. Непродолжительный период работы с 1953 г. по 1959 г. Для Нины Алексеевны был очень продуктивным. Ею были выполнены и опубликованы 14 работ, посвященных процессу формирования фауны паразитов рыб водохранилищ и их сезонной динамике. Особое внимание уделялось паразитарным заболеваниям человека, передаваемых через рыбу. В 1959 г. Нина Алексеевна покидает Институт биологии водохранилищ по лич-

ным обстоятельствам и возвращается на работу в Зоологический институт, где продолжает работать под руководством академика Б.Е. Быховского. В 1969 г. она вернулась в Борок, и вся ее последующая работа до конца жизни была неразрывно связана с Институтом биологии внутренних вод.

Научная деятельность Нины Алексеевны была многогранной и плодотворной, она была признанным специалистом по паразитам и паразитарным болезням рыб. Нина Алексеевна впервые обратилась к изучению биологии и экологии дактилогирид — опасных паразитов рыб в рыбоводных хозяйствах. Этим паразитам была посвящена ее кандидатская диссертация. Результаты этой работы нашли широкое признание среди ученых у нас в стране и за рубежом, позволили разработать ряд оригинальных методов борьбы с дактилогирозами рыб и инициировали проведение подобных исследований на других видах паразитов.

Нина Алексеевна много внимания уделяла фаунистическим и экологическим исследованиям паразитов рыб Рыбинского водохранилища — изучению сезонной динамики паразитов, влиянию на их численность и морфологию различных естественных и антропогенных факторов. В 1956–1957 гг. ею было проведено изучение паразитофауны 10 видов рыб. Цель этой работы состояла в оценке изменений, произошедших в видовом составе паразитов в первые годы существования водохранилища. Изучалась фауна паразитов рыб Угличского, Горьковского, Чебоксарского, Куйбышевского водохранилищ, водохранилищ Камы, дельты Волги, озер и рек Средней Азии. Как специалист по моногенейм Нина Алексеевна много внимания уделяла изучению биологии и экологии этой группы паразитов. Серия работ была посвящена распределению дактилогирид на жабрах рыб, влиянию химического и теплового загрязнения на морфологию и экологию моногеней.

В 1958 г. на одном из международных совещаний зоологов академиком Е.Н. Павловским была высказана идея о проведении интернациональной экспедиции по изучению паразитофауны рыб Дуная. В качестве первого этапа этой работы были запланированы исследования паразитов рыб бассейна реки Тисы, притока Дуная. Эта экспедиция длилась с 1962 по 1967 гг. В ней приняли участие ученые из СССР, Венгрии и Чехословакии. С нашей стороны в работе экспедиции принимала участие Нина Алексеевна, которая возглавила эту международную экспедицию. Итогом работы экспедиции стала коллективная монография “Parasite fauna of fishes of the Tisa River Basin”. В дальнейшем Нина Алексеевна принимала участие в работе научных экспедиций на Белом море, в Средней Азии, в дельте Дуная.



На вручение И.Д. Папанину “Медали почетного гражданина г. Ярославля”, у Главного корпуса 2 марта 1982 г. (Н.А. в центре с И.Д. Папаниным)



Экспедиция в Киргизию на оз. Иссык-Куль, 1980 г. В первом ряду вторая слева Н.А. Изюмова; во втором ряду Т.И. Жарикова, Л.Г. Поддубная (Тимошечкина), Л.В. Воронин; остальные — паразитологи, сотрудники Киргизской АН ССР.

Обобщение литературных данных по паразитам рыб водохранилищ Советского Союза и обширные собственные материалы по Рыбинскому и Горьковскому водохранилищам позволили ей сформулировать основные закономерности формирования паразитофауны рыб в водохранилищах. Результаты этой работы с анализом данных по 60 водохранилищам СССР легли в основу докторской диссертации «Гельминты, простейшие и паразитические ракообразные рыб водохранилищ СССР (фауна, пути формирования)». По материалам диссертации в 1977 г. была опубликована монография «Паразитофауна рыб водохранилищ СССР и пути ее формирования», которая в 1987 г. вышла на английском языке «Parasitic fauna of reservoir fishes of the USSR and its evolution».

Нина Алексеевна вела активную общественно-организационную работу, представляла советскую науку на международных научных симпозиумах во Франции, Польше, Чехословакии, Венгрии и Болгарии, была почетным членом Паразитологического общества при РАН. После себя Нина Алексеевна оставила 20 учеников. Среди паразитологов — сотрудников ИБВВ РАН ее учениками были Жарикова Т.И., Попова Л.Б., Маштаков А.В.

Как ученый и коллега Нина Алексеевна была внимательным учителем и хорошим организатором, а в жизни была общительным и жизнерадостным человеком, готовым откликнуться на любую просьбу.

Список публикаций 1953

- Изюмова Н.А., 1953. Биология *Dactylogyrus vastator* Nybelin и *D. solidus* Achmerov в карповых хозяйствах. Автореф. ... дис. канд. биол. наук. ЗИН АН СССР. 17 с.
- Изюмова Н.А., 1953. Материалы по методике изучения специфичности моногенетических сосальщиков // Труды ЗИН АН СССР. Т. 13. С. 155–158.

1956

- Изюмова Н.А., 1956. О зараженности хищных рыб Рыбинского водохранилища личинками лентеца широкого // Докл. АН СССР. Т. 110. № 4. С. 711–712.
- Изюмова Н.А., 1956. Специфичность *Dactylogyrus vastator* и *D. solidus* к их хозяевам // Паразитологический сб. ЗИН АН СССР. Т. 16. С. 217–228.
- Изюмова Н.А., 1956. Материалы по биологии *Dactylogyrus vastator* Nybelin // Паразитологический сб. ЗИН АН СССР. Т. 16. С. 229–243.

1957

- Изюмова Н.А., 1957. Возбудители основных паразитарных заболеваний рыб Рыбинского водохранилища // Совещание по болезням рыб. Тезисы докл. Изд-во АН СССР. М.-Л. С. 42–44.

1958

- Изюмова Н.А., 1958. Сезонная динамика паразитофауны рыб Рыбинского водохранилища (лещ, чехонь, судак, окунь) // Тр. биол. станции “Борок”. Вып. 3. С. 384–398.
- Изюмова Н.А., 1958. О паразитарных заболеваниях рыб, опасных для человека, в зоне водохранилищ // Сборник, посвящ. 80-летию акад. К.И. Скрябина. С. 139–142.
- Изюмова Н.А., Шигин А.А., 1958. Паразитофауна рыб Волги в районах Горьковского и Куйбышевского водохранилищ // Тр. Биол. станции “Борок”. Вып. 3. М.-Л.: Изд-во АН СССР. С. 364–383.
- Изюмова Н.А., 1958. О паразитарных заболеваниях рыб и человека в водохранилищах (Рыбинское, Горьковское, Куйбышевское) // Науч. конф. по вопросам гигиены водохранилищ. Тез. докл. М. С. 52–53.
- Изюмова Н.А., 1958. Кислородный режим водоема как один из факторов, определяющих биологию *Dactylogyrus solidus* и *Dactylogyrus vastator* // Паразитологический сб. ЗИН АН СССР. Т. 18. С. 295–303.

1959

- Изюмова Н.А., 1959. К вопросу о динамике паразитофауны рыб Рыбинского водохранилища // Тр. ИБВ АН СССР. Вып. 2(5). С. 174–190.
- Изюмова Н.А., 1959. К формированию паразитофауны рыб Рыбинского водохранилища // Биол. внутр. вод (Информ. бюл. ИБВ АН СССР. № 4). С. 38–40.
- Изюмова Н.А., 1959. Сезонная динамика паразитофауны рыб Рыбинского водохранилища (плотва, ерш) // Тр. ИБВ АН СССР. Вып. 1(4). С. 332–343.
- Изюмова Н.А., 1959. Некоторые особенности формирования паразитофауны рыб в новых водохранилищах // Тр. ИБВ АН СССР. Вып. 1(4). С. 324–331.
- Изюмова Н.А., 1959. О паразитарных заболеваниях рыб, опасных для человека, в водохранилищах // Wiadomosci parazytologiczne. Т. 5. Вып 4(5). Р. 444–451.
- Изюмова Н.А., 1959. Паразитофауна сеголетков сазана Суздальского залива Куйбышевского водохранилища // Биол. внутр. вод (Информ. бюл. ИБВ АН СССР. № 3). С. 36–37.
- Изюмова Н.А., 1959. Возбудители основных паразитарных заболеваний рыб Рыбинского водохранилища // Труды совещаний Ихтиологической комиссии. Вып. 9. С. 114–119.
- Изюмова Н.А., 1959. О паразитарных заболеваниях рыб опасных для человека в зоне водохранилищ // Совещание по вопросам эксплуатации Камского водохранилища. Пермь. С. 1–5.

1960

- Изюмова Н.А., 1960. Сезонная динамика паразитофауны рыб Рыбинского водохранилища (щука, си- нец, густера) // Тр. ИБВ АН СССР. Вып. 3(6). С. 284–299.

1962

- Izjumova N.A. 1962. The formation of the parasitofauna of fish in the Ribinsk Reservoir // Proceeding “Symposium in Prague. Parasitic worms and aquatic conditions” in 1962. P. 49–56.

1963

- Барышева А.Ф., Владимиров В.А., Изюмова Н.А., 1963. Паразитофауна рыб Горьковского водохранилища во второй год его заполнения // Биологические аспекты изучения водохранилищ. Тр. ИБВВ АН СССР. Вып 6(9). М.-Л. С. 171–177.

1969

- Изюмова Н.А., 1969. О биологии и специфичности *Dactylogyrus chranilovi* Bychowsky, 1931 // Паразитол. сб. ЗИН АН СССР. Вып. 24. С. 128–134.
- Изюмова Н.А., Зеленцов Н. И., 1969. Наблюдение над развитием *Dactylogyrus extensus* Müller et Van Cleave, 1932 // Паразитология. Т. 3, № 6. С. 528–531.

1970

- Изюмова Н.А., 1970. О специфичности некоторых представителей рода *Dactylogyrus* // Паразитология. Т. 4. Вып. 5. С. 466–471.

1972

- Коваль В.П., Изюмова Н.А., 1972. Трематоды рода *Allocreadium* Looss, 1900 в рыбах семейства Cobi-tidae водоемов Украины // Вестник зоологии. № 6. С. 26–29.
- Изюмова Н.А. Паразитофауна рыб // Рыбинское водохранилище. Л.: Наука, 1972. С. 249–254.

1974

- Изюмова Н.А., 1974. Паразитофауна снетка (*Osmerus eperlanus eperlanus* morpha spirinchus Pallas) Белого озера, Рыбинского и Угличского водохранилищ // Тр. ИБВВ АН СССР. Вып. 28 (31). Рыбинск. С. 286–289.
- Изюмова Н.А., 1974. О лигулезе рыб Рыбинского и Горьковского водохранилищ // Биология внутр. вод (Информ. бюл. ИБВВ АН СССР). № 21. С. 55–60.
- Изюмова Н.А. Основные закономерности формирования паразитофауны рыб Волжских водохранилищ // Вторая конф. по изучению водоемов бассейна Волги. “Волга 2”, Борок, 1974. С. 73–76.
- Изюмова Н.А., 1974. Паразиты рыб и водных беспозвоночных водохранилищ СССР (отечественная литература за 1940–1973 гг.) М., ЦНИИТЭИ, Минрыбхоз.
- Изюмова Н.А., 1974. Гельминты, простейшие и паразитические ракообразные рыб водохранилищ СССР (фауна, пути формирования). Автореф. докт. дис., М., ВИГИС.

1976

- Изюмова Н.А. Основные закономерности формирования паразитофауны рыб в водохранилищах. // Проблемы изучения паразитов и болезней рыб. Известия ГОСНИОРХ. Л., 1976. Т. 5. С. 44–52.

1977

- Изюмова Н.А., Маштаков А.В., Кашковский В.В., 1977. Паразитофауна основных видов рыб Камского водохранилища // Биология внутр. вод (Информ. бюл. ИБВВ АН СССР). № 36. С. 64–68.
- Изюмова Н.А., Маштаков А.В., Тимошечкина Л.Г., 1977. Сравнительная характеристика паразитофауны рыб Камы, Чусовой и Камского водохранилища // Биология внутр. вод (Информ. бюл. ИБВВ АН СССР). № 36. С. 71–76.
- Изюмова Н.А., 1977. Паразитологические исследования на Горьковском водохранилище // Экология гельминтов (Межвузовский тематический сборник. Вып. 1). Ярославль: ЯрГУ. С. 35–45.
- Изюмова Н.А., 1977. Паразитологические исследования на водохранилищах Советского Союза // Водные ресурсы. № 3. С. 101–109.

1978

- Изюмова Н.А., Маштаков А.В., 1978. К вопросу о численности дактилогирид карповых рыб в связи с условиями внешней среды и физиологическим состоянием хозяев // I Всес. съезд паразитологов Ч. 1. Киев. С. 144–145.
- Изюмова Н.А. Паразитофауна рыб Волги и волжских водохранилищ // Волга и ее жизнь. Л.: Наука, 1978. С. 248–252.
- Изюмова Н.А., 1978. Паразитологические исследования на водохранилищах // Экология гельминтов. (Межвузовский тематический сборник. Вып. 2). Ярославль: ЯрГУ. С. 3–13.

1979

- Изюмова Н.А., Маштаков А.В., 1979. Сезонная встречаемость дактилогирисов у леща, плотвы и синца Рыбинского водохранилища // Тр. ИБВВ АН СССР. Вып. 38(41). М.: Наука. С. 160–167.

1980

- Изюмова Н.А., Маштаков А.В., Степанова М.А. Изменчивость у трематод *Phyllodistomum angulatum* в зависимости от условий обитания хозяина // IX конференция Украинского паразитологического общества. Тез. докл. Ч. 2. Киев. 1980. С. 86–88.

1982

- Изюмова Н.А., Жарикова Т.И., 1982. О некоторых особенностях распределения *Dactylogyrus anchoratus* и *D. chranilowi* [Monogenoidea (Beneden) Burchowsky, 1937] на жабрах карася, карпа и синца // Тр. ИБВВ АН СССР. Вып. 46. С. 89–100.
- Изюмова Н.А., Жарикова Т.И., Маштаков А.В., Степанова М.А., 1982. Некоторые факторы, определяющие численность и структуру популяции дактилогирид карповых рыб // Гельминты в пресноводных биоценозах. М.: Наука. С. 17–31.
- Изюмова Н.А., Маштаков А.В., Степанова М.А., 1982. Гельминты щуки, леща и судака в зоне сброса теплых вод Костромской ГРЭС Горьковского водохранилища // Тр. ИБВВ АН СССР. Вып. 46(48). Л.: Наука. С. 101–108.

1984

- Изюмова Н.А., Жарикова Т.И., 1984. Численность и видовой состав дактилогирид леща в различных участках Горьковского водохранилища // Матер. научн. конф. ВОГ. Вып. 34. М. С. 24–28.

Изюмова Н.А., Маштаков А.В., 1984. Морфологическая изменчивость трематод *Phyllodistomum angulatum* в связи с условиями обитания хозяина // Вопросы экологической гельминтологии (Межвузовский тематический сборник). Ярославль: ЯрГУ. С. 55–59.

1985

Изюмова Н.А., Жарикова Т.И., Карабекова Д.У., Асылбаева Ш.М., 1985. Сравнительные данные по численности дактилогирид леща (*Abramis brama*) Рыбинского водохранилища и оз. Иссык-Куль // Биология внутр. вод (Информ. бюл. ИБВВ АН СССР). № 66. С. 34–38.

Изюмова Н.А., Жарикова Т.И., 1985. О возрастной структуре популяции дактилогирид леща Волжского плеса Рыбинского водохранилища // Теоретические и практические проблемы изучения гельминтов. Матер. научн. конф. ВОГ. Вып. 35. М. С. 45–52.

Изюмова Н.А., Жарикова Т.И., Сметанин М. М., 1985. Фенотипическая разнокачественность дактилогирид леща // VIII Всес. совещ. по паразитам и болезням рыб. Тез. докл. Л.: Наука. С. 56–57.

Изюмова Н.А., Жарикова Т.И., Степанова М.А., 1985. Видовой состав, численность и распределение дактилогирисов на жабрах леща (*Abramis brama* L.) р. Дунай // Биология внутр. вод (Информ. бюл. ИБВВ АН СССР). № 76. С. 19–23.

1986

Изюмова Н.А., Жарикова Т.И., 1986. О возрастной структуре популяций дактилогирид леща Волжского плеса Рыбинского водохранилища // Матер. к научн. конф. ВОГ. М., вып. 35. С. 45–53.

Жарикова Т.И., Изюмова Н.А., 1986. О групповом эффекте у двух видов моногеней рода *Dactylogyrus* // Тезисы докл. X конф. Украинского о-ва паразитологов. Киев: Наукова Думка. Т. 1. С. 204.

1987

Изюмова Н.А., Жарикова Т.И., Степанова М.А., 1987. Жаберные паразиты леща Нижней Волги // Биология внутр. вод (Информ. бюл. ИБВВ АН СССР). № 76. С. 59–62.

1988

Изюмова Н.А., Жарикова Т.И., Степанова М.А., 1988. Гельминты леща, щуки и судака в зоне водоема-охладителя Костромской ГРЭС Горьковского водохранилища // Болезни и паразиты в тепловодном рыбном хозяйстве. Душанбе: Изд-во «Дониш». С. 136–141.

Жарикова Т.И., Изюмова Н.А., 1988. Об эффекте скучивания у *Dactylogyrus chranilowi* (Monogenea) паразита синца *Abramis ballerus* // Паразитология. Т. 22. Вып. 5. С. 436–439.

Изюмова Н.А., Юсупов О., Степанова М.А., Жарикова Т.И., 1988. Жаберные паразиты леща озера Восточный Кара-Терень // Инф. бюлл. ИБВВ. № 78. С. 51–54.

Изюмова Н.А., 1988. Некоторые итоги изучения биологии дактилогирид карповых рыб // Исследование моногеней. Труды ЗИН АН СССР. Т. 177. С. 77–88.

1989

Изюмова Н.А., Степанова М.А., Жарикова Т.И., 1989. К вопросу о распределении дактилогирид на жабрах леща Волжского плеса Рыбинского водохранилища // Инф.бюлл. ИБВВ. № 84. С. 29–32.

1990

Изюмова Н.А., Жарикова Т.И. Факторы среды, влияющие на численность и структуру популяций дактилогирид леща Горьковского водохранилища // «Факторы регуляции популяционных процессов у гельминтов». Тез. докл. М. 1990. С. 57–58.

Изюмова Н.А., Степанова М.А., Юсупов О.Н., 1990. О зараженности лещей *Dactylogyrus wunderi* в ряде районов дельты реки Амударьи и Аральского моря // Биология внутренних вод. (Инф. бюлл. ИБВВ). № 88. С. 81–85.

Жарикова Т.И., Изюмова Н.А., 1990. Возрастная структура популяции *Dactylogyrus chranilovi* (Monogenea) — паразита синца *Abramis ballerus* // Зоол. журнал. Т. 69, Вып. 1. С. 25–30.

1992

Жарикова Т.И., Изюмова Н.А., Степанова М.А., 1992. Влияние промышленных и бытовых стоков на эктопаразитов леща Куйбышевского водохранилища (Волго-Камский плес) // Биология внутр. вод. (Информ. бюл. ИБВВ РАН) № 95. С. 56–63.

1993

Жарикова Т.И., Изюмова Н.А., 1993. Эколого-популяционный анализ дактилогирид леща Горьковского водохранилища // Гидробиологический журнал. Т. 29. N. 2. С. 54–62.

1995

Жарикова Т.И., Изюмова Н.А., Степанова М.А., 1995. Об особенностях заражения леща эктопаразитами в ряде участков Горьковского водохранилища. // Экология. № 2. С. 136–139.

1996

Попова Л.Б., Изюмова Н.А., 1996. Паразитофауна стерляди Чебоксарского водохранилища // Систематика, таксономия и фауна паразитов. Матер. конф. М. С. 99–100.

2000

Жарикова Т.И., Изюмова Н.А., Степанова М.А., 2000. О совместной встречаемости популяций эктопаразитов в жаберном паразитоценозе леща (*Abramis brama*) // Гидробиологический журнал. Т. 36, № 5. С. 86–91.

Монографии

Изюмова Н.А., 1977. Паразитофауна рыб водохранилищ СССР и пути ее формирования. Л.: Наука. 284 с.

Izyumova N.A. Parasitic fauna of reservoir fishes of the USSR and its evolution. Oxonian Press Pvt. Ltd., New Delhi, 1987. 325 p.

Ergens R., Gussev V.A., Izyumova N.A., Molnar K., 1975. Parasite fauna of fishes of the Tisa River basin. Academia Praga. 117 p.

Определитель паразитов пресноводных рыб СССР. Составители: И.Е. Быховская-Павловская, А.В. Гусев, М.Н. Дубинина, Н.А. Изюмова, Т.С. Смирнова, И.Л. Сокольская, Г.А. Штейн, С.С. Шульман, В.М. Эпштейн. Редактор академик Е.Н. Павловский. Изд-во АН СССР, М.-Л., 1962. 776 с.

Научное издание

**Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН,
вып. 114(117), 2026 г.**

Рекомендуемый вариант цитирования статей:

... // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН. 2026. Вып. 114(117). С. ...

Recommended option for citing articles:

... // Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, 2026. Is. 114(117). P. ...

Подписано в печать 20.06.2026. Формат 60×90 1/8.

Усл. печ. л. 9,75. Тираж 100 экз. Цена свободная.

16+

Отпечатано с готового оригинал-макета в ООО “ПКФ “СОЮЗ-ПРЕСС”

150062 г. Ярославль, пр-д Доброхотова, д. 16, кв. 158. Тел: 8(4852)58-76-33, 58-76-37