ISSN 2949-4710 (Online)
https://www.bioscience-journal.com

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

Том 4. № 2 / 2026

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL
Научно-теоретический сетевой журнал

ISSN 2949-4710 (Online)
https://www.bioscience-journal.com

Том 4. № 2 / 2026

Учредитель и издатель:
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Основан в 2023 году
4 номера в год

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации
Эл № ФС77-85810 от 22 августа 2023 года

Деятельность Тимирязевского биологического журнала осуществляется с целью научного и профессионального сотрудничества в области биологических наук, в том числе для развития сельского хозяйства.

Целевая аудитория журнала – исследователи, специалисты, представители академического и профессионального сообществ, работающие по теоретическим и прикладным направлениям биологической и сельскохозяйственной наук, и на их стыке.

В журнале публикуются оригинальные статьи, описывающие результаты научных исследований, обзорные статьи и краткие сообщения

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР:
Кидов А.А., д.б.н., доцент
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*)

Трухачев В.И., д.с.-х.н., д.э.н., академик РАН, профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Селионова М.И., д.б.н., профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Валентини Р., доктор наук, PhD, профессор
(*1 – РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*;
2 – Университет Туссии, Витербо, Италия);
Фэнг Баили, доктор наук, PhD, профессор
(*Северо-западный университет сельского и лесного хозяйства, Янлин, пров. Шэньси, Китай*);
Абдуллаева А.М., д.б.н., доцент (*РОСБИОТЕХ, Москва, Россия*);
Белопухов С.Л., д.с.-х.н., профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Блохин Г.И., д.с.-х.н., профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Бондорина И.А., д.б.н., в.н.с.
(*ГБС РАН им. Н.В. Цицина, Москва, Россия*);
Васенев И.И., д.б.н., профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Васильева О.Ю., д.б.н., доцент
(*ЦБС СО РАН, Новосибирск, Россия*);
Вертипрахов В.Г., д.б.н., доцент
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Денисова Т.В., д.б.н., доцент (*ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия*);
Джалилов Ф.С., д.б.н., профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Дивашук М.Г., к.б.н.,
(*1 – РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;
2 – ВНИИСБ, Москва, Россия*);
Дубенок Н.Н., д.с.-х.н., академик РАН, профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Думачева Е.В., д.б.н., доцент
(*ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», Лобня, Россия*);
Загарин А.Ю.,
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Иволга Р.А.,
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Калугина С.В., к.б.н., доцент (*НИУ «БелГУ», Белгород, Россия*);
Каменский П.А., д.б.н., профессор
(*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*);
Карлов Г.И., д.б.н., академик РАН, профессор
(*ВНИИСБ, Москва, Россия*);
Киракосян Р.Н., к.б.н., доцент
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Ким А.И., д.б.н., профессор
(*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*);
Козлов А.В., д.б.н., доцент
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Кособрюхов А.А., д.б.н., в.н.с.
(*ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, Россия*);
Костомахин Н.М., д.б.н., профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Котова И.Б., д.б.н., профессор
(*МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*);
Ксенофонтов Д.А., д.б.н., доцент
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Латынина Е.С., к.в.н.
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Лебедев А.В., д.с.-х.н., доцент
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Мазиров М.А., д.б.н., профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Малородов В.В., к.с.-х.н.
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Маннапов А.Г., д.б.н., профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Маннапова Р.Т., д.б.н., профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Новиков Н.Н., д.б.н., профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Остренко К.С., д.б.н., в.н.с.
(*ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста, Подольск, Россия*);
Поливанова О.Б., к.б.н.,
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Рожнов В.В., д.б.н., академик РАН, г.н.с.
(*ИПЭЭ РАН имени А.Н. Северцова*);
Русанов А.М., д.б.н., профессор (*ОГУ, Оренбург, Россия*);
Селицкая О.В., к.б.н., доцент
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Соловьев А.А., д.б.н., профессор
(*ФГБУ «ВНИИКР», Быково, Россия*);
Соломонова Е.В., к.б.н., доцент
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Тараканов И.Г., д.б.н., профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Тихонова М.В., к.б.н., доцент
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Ткачев А.В., д.с.-х.н., с.н.с.
(*АТИ РУДН, Москва, Россия*);
Халилуев М.Р., к.б.н., доцент (*ВНИИСБ, Москва, Россия*);
Чередниченко М.Ю., к.б.н., доцент
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*);
Юлдашбаев Ю.А., д.с.-х.н., академик РАН, профессор
(*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия*)

РЕДАКЦИЯ
Научный редактор – **Р.А. Иволга**
Редактор – **В.И. Марковская**
Перевод на английский язык – **Н.А. Сергеева**
Компьютерная верстка – **А.С. Лаврова**
Дизайн обложки – **П.Р. Атанасов**

Адрес редакции: 127550, г. Москва,
ул. Тимирязевская, д. 58 (корпус 27), каб. 221.
тел.: +7 (499) 976-07-48 добавочный 2
e-mail: izvestiya_bio@rgau-msha.ru
https://www.bioscience-journal.com/

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2026

ISSN 2949-4710 (Online)
https://www.bioscience-journal.com

TIMIRYAZEV
BIOLOGICAL JOURNAL
ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Vol. 4(2)/2026

TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL
ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Scientific and Theoretical quarterly online journal

ISSN 2949-4710 (Online)
https://www.bioscience-journal.com

Vol. 4(2)/2026

Founder and publisher:
Federal State Budget Establishment of Higher Education –
Russian Timiryazev State Agrarian University

Founded in 2023
Four issues per year

The mass media registration certificate
Эл № ФС77-85810 of August 22, 2023

The Timiryazev Biological Journal aims at scientific and professional cooperation in the field of biological sciences, including for the development of agriculture.

The main target audience of the journal are researchers, specialists, representatives of academic institutions and professional associations working in the theoretical and applied fields of the biological and agricultural sciences and at their interface.

The journal publishes original articles describing research findings, as well as review articles and research briefs.

EDITORIAL BOARD:

EDITOR-IN-CHIEF:
Assoc. Prof. **Artem A. Kidov,** DSc (Bio),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*)

Prof. **Vladimir I. Trukhachev,** DSc (Ag), DSc (Econ), Member of RAS,
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Marina I. Selionova,** DSc (Bio), (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Riccardo Valentini**, DSc, PhD (Italy),
(*1 – RSAU-MTAA, Moscow, Russia;*
2 – University of Tuscia, Viterbo, Italy);
Prof. **Feng Baili,** DSc (Bio), PhD,
(*Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi, China*)
Assoc. Prof. **Asiyat M. Abdullaeva,** DSc (Bio),
(*ROSBIOTECH, Moscow, Russia*);
Prof. **Sergei L. Belopukhov,** DSc (Ag),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Gennadiy I. Blokhin,** DSc (Ag), (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
LRA **Irina A. Bondorina,** DSc (Bio),
(*The Main Botanical Garden, Moscow, Russia*);
Prof. **Ivan I. Vasenev,** DSc (Bio), (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Assoc. Prof. **Olga Yu. Vasilyeva,** DSc (Bio),
(*Research Library of TSU, Novosibirsk, Russia*);
Assoc. Prof. **Vladimir G. Vertiprakhov,** DSc (Bio),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Assoc. Prof. **Tatyana V. Denisova,** DSc (Bio),
(*SFedU, Rostov-on-Don, Russia*);
Prof. **Fevzi S. Dzhalilov,** DSc (Bio), (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Mikhail G. Divashuk, CSc (Bio),
(*1 – RSAU-MTAA, Moscow, Russia; 2 – All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia*);
Prof. **Nikolay N. Dubenok,** DSc (Ag), Member of RAS,
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Assoc. Prof. **Elena V. Dumacheva,** DSc (Bio), (*Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, Lobnya, Russia*);
Artem Yu. Zagarin, (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Ivolga, Roman A., (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Assoc. Prof. **Svetlana V. Kalugina,** CSc (Bio),
(*NRU, BelSU, Belgorod, Russia*);
LRA **Piotr A. Kamenski,** DSc (Bio), (*MSU, Moscow, Russia*);
Prof. **Gennady I. Karlov,** DSc (Bio), Member of RAS,
(*All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia*);
Assoc. Prof. **Rima N. Kirakosyan,** CSc (Bio)
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Alexander I. Kim,** DSc (Bio), (*MSU, Moscow, Russia*);
Assoc. Prof. **Andrey V. Kozlov,** DSc (Bio),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
LRA **Anatoliy A. Kosobryukhov,** DSc (Bio),
(*Pushchinsky Scientific Center for Biological Research, Pushchino, Russia*);
Prof. **Nikolay M. Kostomakhin,** DSc (Bio),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Irina B. Kotova,** DSc (Bio), (*MSU, Moscow, Russia*);
Assoc. Prof. **Dmitriy A. Ksenofontov,** DSc (Bio),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Evgeniya S. Latynina, CSc (Vet), (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Assoc. Prof. **Aleksandr V. Lebedev,** DSc (Ag),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Mikhail A. Mazirov,** DSc (Bio), (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Viktor V. Malorodov, CSc (Ag), (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Alfir G. Mannapov,** DSc (Bio), (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Ramziya T. Mannapova,** DSc (Bio),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Nicolai N. Novikov,** DSc (Bio), (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
LRA **Konstantin S. Ostrenko,** DSc (Bio), (*L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Podolsk, Russia*);
Oksana B. Polivanova, CSc (Bio), (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
ChRA **Viatcheslav V. Rozhnov,** DSc (Bio), Member of RAS,
(*Institute of ecology and evolution A.N. Severtsov of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*);
Prof. **Aleksandr M. Rusanov,** DSc (Bio),
(*Orel State University, Orel, Russia*);
Assoc. Prof. **Olga V. Selitskaya,** CSc (Bio),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Alexander A. Soloviev,** DSc (Bio),
(*All-Russian Plant Quarantine Center, Bykovo, Russia*);
Assoc. Prof. **Ekaterina V. Solomonova,** CSc (Bio),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Ivan G. Tarakanov,** DSc (Bio), (*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Assoc. Prof. **Marya V. Tikhonova,** CSc (Bio),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
SRA **Aleksandr V. Tkachev,** DSc (Ag),
(*RUDN University, Moscow, Russia*);
Assoc. Prof. **Marat R. Khaliluev,** CSc (Bio),
(*All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia*);
Assoc. Prof. **Mikhail Yu. Cherednichenko,** CSc (Bio),
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*);
Prof. **Yusupzhan A. Yuldashbaev,** DSc (Ag), Member of RAS
(*RSAU-MTAA, Moscow, Russia*)

EDITORIAL STAFF
Scientific editor – **Roman A. Ivolga**
Editor – **Vera I. Markovskaya**
Translation into English – **Natalya A. Sergeeva**
Computer design and making-up – **Anneta S. Lavrova**
Journal cover design – **Peter. R. Atanasov**

Editors' office address: 58, Timiryazevskaya str.,
Moscow, 127550
Tel.: +7 (499) 976-07-48*2
E-mail: izvestiya_bio@rgau-msha.ru
https://www.bioscience-journal.com/

© Federal State Budget Establishment of Higher Education –
Russian Timiryazev State Agrarian University, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья.....101
Андреевна М.К., Владимировна А.И., Александрович А.К., Олегович С.А.
Влияние урбанизации на возрастную структуру и половой диморфизм дальневосточной жабы, *Bufo sachalinensis* Nikolsky, 1905

МИКРОБИОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья.....301
Феоктистова А.В., Тимергалин М.Д., Рамеев Т.В., Стариков С.Н., Бакаева М.Д., Четвериков С.П.
Противодействие негативному влиянию имазамокса и имазапира на рост и физиолого-биохимические показатели растений *Triticum aestivum* с помощью бактерий – деструкторов гербицидов

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья.....401
Артюхов М.Ю., Железнова Т.К., Сандакова С.Л.
Зимние селитебные орнитокомплексы юго-восточного Подмосковья

Оригинальная научная статья.....402
Пронина Г.И., Чан Д.В., Морозов И.В., Артеменков Д.В.
Гематологическая характеристика сиговых рыб в аквариальных условиях

Оригинальная научная статья.....403
Иволга Р.А., Минквет-Ми-Мбенг Ж.М., Кондратова Т.Э., Ерашкин В.О., Астахова Е.А., Кидов А.А.
Стабильность возрастной и размерной структуры популяции озерной лягушки (*Pelophylax ridibundus*) в краткосрочный период (2020-2022 гг.)

Оригинальная научная статья.....404
Вертипрахов В.Г., Ильченко А.Д.
Новый биомаркер в оценке скрытых маститов у коров

Оригинальная научная статья.....405
Кузнецов И.С., Клюева А.А.
Малочисленные и редкие виды воробьинообразных птиц на территории государственного природного заказника «Бунгарапско-Ажендаровский»

МИКРОБИОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Обзорная статья.....501
Бочарова П.А., Бачинская В.М., Баранович Е.С., Гончар Д.В.
Антибиотикорезистентность в ветеринарии и медицине: механизмы формирования и глобальные угрозы

Оригинальная научная статья.....502
Козак Ю.А., Козак С.С., Волобуева О.Г.
Профилактика обсеменения тушек цыплят-бройлеров кампилобактериями в ваннах охлаждения

ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Оригинальная научная статья.....601
Калабашкина Е.В., Белопухов С.Л., Серегина И.И., Музраев В.Н., Цымбалова В.А., Мавлютова Л.И.
Урожайность и содержание азота в системе «Почва-растение» в зависимости от уровня интенсивности технологий возделывания ярового ячменя в Нечерноземной зоне

Оригинальная научная статья.....602
Гавриловская Н.В., Мякшин Н.А., Бенин Д.М., Кузина О.М.
Новые технологии мониторинга земель на основе снимков с БПЛА, OpenDroneMap и нейросетевой модели DINOv3

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article.....101
Ksenia A. Matushkina, Irina V. Afrina, Kirill A. Afrin, Anton O. Svinin
Effects of urbanization on the age structure and sexual dimorphism in *Bufo sachalinensis* Nikolsky, 1905

MICROBIOLOGY, MOLECULAR BIOLOGY

Original article.....301
Arina V. Feoktistova, Maxim D. Timergalin, Timur V. Rameev, Sergey N. Starikov, Margarita D. Bakaeva, Sergey P. Chetverikov
Mitigation of the negative effect of imazamox and imazapir on the growth and physiological and biochemical parameters of *Triticum aestivum* plants using herbicide-degrading bacteria

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Research article.....401
Matvey Yu. Artiyukhov, Tatiana K. Zheleznova, Svetlana L. Sandakova
Winter residential ornithocomplexes of the south-eastern Moscow Region

Original article.....402
Galina I. Pronina, Dat V. Tran, Ilia V. Morozov, Dmitriy V. Artemenkov
Hematological characteristics of whitefish under aquarium conditions

Original article.....403
Roman A. Ivolga, Jaonen M. Minkvet-Mi-Mbeng, Tatyana E. Kondratova, Vladimir O. Erashkin, Elena A. Astakhova, Artem A. Kidov
Stability of the age and size structure of the marsh frog (*Pelophylax ridibundus*) population over a short-term period (2020-2022)

Original article.....404
Vladimir G. Vertiprakhov, Anastasia D. Ilchenko
A new biomarker for the assessment of subclinical mastitis in cows

Original article.....405
Ilya S. Kuznetsov, Anastasia A. Klyueva
Rare and low-abundance passerine species in the Bungarapsko-Azhendarovsky State Nature Reserve

MICROBIOLOGY, MOLECULAR BIOLOGY

Review article.....501
Polina A. Bocharova, Valentina M. Bachinskaya, Evgeniya S. Baranovich, Dmitriy V. Gonchar
Antibiotic resistance in veterinary medicine and human healthcare: mechanisms and global threats

Research article.....502
Yulia A. Kozak, Sergey S. Kozak, Olga G. Volobueva
Preventing Campylobacter contamination of broiler carcasses in chilling tanks

SOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

Original article.....601
Elena V. Kalabashkina, Sergey L. Belopukhov, Inga I. Seregina, Viktor N. Muzraev, Vitaliya A. Tsymbalova, Lyudmila I. Mavlyutova
Yield and nitrogen content in the soil-plant system depending on the intensity level of spring barley cultivation technologies in the Non-Chernozem zone

Research article.....602
Nadezhda V. Gavrilovskaya, Nikolay A. Myakshin, Dmitriy M. Benin, Oksana M. Kuzina
New land monitoring technologies based on UAV imagery, OpenDroneMap and the DINOv3 neural network model

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ /
ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 612.2
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-1-01

Влияние урбанизации на возрастную структуру и половой диморфизм дальневосточной жабы, *Bufo sachalinensis* Nikolsky, 1905

Матушкина Ксения Андреевна[1], Африна Ирина Владимировна[1], Африн Кирилл Александрович[1], Свинин Антон Олегович[2]

[1] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
[2] Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Матушкина Ксения Андреевна, matushkinaka@gmail.com

Аннотация
В работе представлены данные о влиянии урбанизации на возрастную структуру, рост и морфометрические показателях *Bufo sachalinensis*. Жабы были собраны на территориях с разным уровнем антропогенной нагрузки (поселок Трудовое Советского района г. Владивостока и лесной массив Уссурийского заповедника). Всего было изучено 113 особей. Средний возраст самок в поселке Трудовое составил 4.5 ± 1.04 года (при диапазоне 3-6 лет), в заповеднике – 5.2 ± 0.97 года (4-7 лет); самцов – 3.8 ± 1.60 года (2-5) лет и 3.9 ± 1.00 года (2-6 лет) соответственно. По длине тела и другим морфометрическим показателям достоверное превосходство демонстрировали самки и самцы из заповедника, в одновозрастных группах тенденция сохранялась. Темпы роста самок и самцов из поселка Трудовое были выше: 1.420 ± 2.1184 и 2.057 ± 1.3900 против 0.870 ± 0.3033 и 1.734 ± 0.4160. Однако несмотря на превосходящие темпы роста животных из поселка Трудовое, максимально возможная длина тела, которую особи из изученных популяций способны достичь в течение жизни, была выше у *B. sachalinensis* из Уссурийского заповедника – 70.1 ± 0.68 мм против 63.6 ± 0.65 мм из поселка Трудовое для самцов и 86.4 ± 2.11 мм против 73.2 ± 3.35 мм для самок соответственно.

Ключевые слова
Скелетохронология, возрастная структура, половой диморфизм, дальневосточная жаба, *Bufo sachalinensis*

Для цитирования
Матушкина К.А., Африна И.В., Африн К.А., Свинин А.О. Влияние урбанизации на возрастную структуру и половой диморфизм дальневосточной жабы, *Bufo sachalinensis* Nikolsky, 1905. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(2):101. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-1-01

© Матушкина К.А., Африна И.В., Африн К.А., Свинин А.О., 2026
© Matushkina K.A., Afrina I.V., Afrin K.A., Svinin A.O., 2026

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-1-01

Effects of urbanization on the age structure and sexual dimorphism in *Bufo sachalinensis* Nikolsky, 1905

Ksenia A. Matushkina[1], Irina V. Afrina[1], Kirill A. Afrin[1], Anton O. Svinin[2]

[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
[2] Institute of Cytology of the Russian Academy of Science, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: Ksenia A. Matushkina, matushkinaka@gmail.com

Abstract
This study presents data on the effect of urbanization on the age structure, growth, and morphometric parameters of *Bufo sachalinensis*. Toads were sampled from areas with different levels of anthropogenic impact: Trudovoe village (Sovetsky District, Vladivostok) and a forest area within the Ussuri Nature Reserve. A total of 113 individuals were examined. The mean age of females in Trudovoe village was 4.5 ± 1.04 years (range: 3-6 years), compared to 5.2 ± 0.97 years (range: 4-7 years) in the reserve. For males, the corresponding values were 3.8 ± 1.60 years (range: 2-5 years) and 3.9 ± 1.00 years (range: 2-6 years). In terms of body length and other morphometric traits, both females and males from the reserve exhibited significantly greater values; this trend persisted within same-age cohorts. Growth rates of females and males from Trudovoe village were higher: 1.420 ± 2.1184 and 2.057 ± 1.3900, compared to 0.870 ± 0.3033 and 1.734 ± 0.4160 in the reserve, respectively. However, despite the higher growth rates of animals from Trudovoe village, the maximum body length attainable over the lifespan was greater in *B. sachalinensis* from the Ussuri Nature Reserve: 70.1 ± 0.68 mm vs. 63.6 ± 0.65 mm for males, and 86.4 ± 2.11 mm vs. 73.2 ± 3.35 mm for females, respectively.

Keywords
Skeletochronology, age structure, sexual dimorphism, Asiatic toad, *Bufo sachalinensis*

For citation
Matushkina K.A., Afrina I.V., Afrin K.A., Svinin A.O. Effects of urbanization on the age structure and sexual dimorphism in *Bufo sachalinensis* Nikolsky, 1905. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):101. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-1-01

Введение
Introduction

Земноводные чувствительны к стремительно развивающемуся на Земле экологическому кризису. На сегодня в угрожаемом состоянии находятся популяции 40% известных видов амфибий, что соотносится с числом угрожаемых видов птиц и млекопитающих, вместе взятых [1]. Ключевыми компонентами антропогенных преобразований, помимо прямой деградации естественных местообитаний, являются: изменение климата Земли, химизация сельского хозяйства, появление новых заболеваний и растущее число инвазионных видов [2-4]. Земноводные вынуждены адаптироваться к этим изменениям как на уровне индивидуума, так и на популяционном уровне.

Дальневосточная жаба, *Bufo sachalinensis* Nikolsky, 1905, распространена на территориях Амурской и Сахалинской областей, Хабаровского и Приморского краев, Еврейской автономной области, северо-востока Китая и Корейского полуострова. Встречается преимущественно в лесной зоне, однако при умеренной трансформации мест обитания успешно сохраняется на территории сельскохозяйственных угодий и малоэтажной застройки, реже – вблизи крупных городов.

Цель исследований: сравнительный анализ возрастной структуры и морфологических характеристик популяций дальневосточной жабы, обитающих на территориях с разным уровнем антропогенного воздействия.

Методика исследований
Research method

Данные были собраны в 2021-2022 гг. в двух локалитетах с разным уровнем антропогенной нагрузки: поселок Трудовое Советского района г. Владивостока (11 самок и 49 самцов) и лесной массив Уссурийского государственного природного заповедника имени В.Л. Комарова (Шкотовский муниципальный округ Приморского края) (22 самки и 31 самец). Животных отлавливали в вечерние часы в период весенних репродуктивных миграций, после сбора необходимых данных всех

выпускали в местах поимки. Для оценки степени трансформированности использовали систему типизации городских ландшафтов, разработанную специально для исследований популяций амфибий, населяющих урбанизированные территории [5].

Возраст животных определяли при помощи стандартного скелетохронологического метода [6]. Для исследования у жаб отсекали третью фалангу IV пальца задней правой конечности.

Для определения тенденций роста для самцов и самок использовалась модель асимптотического роста фон Берталанфи:

$$Lt = A – (A\text{-}L_0) \times e^{-k\,(t\,-\,t_o)},$$

где e – число Эйлера (2.718…); t – возраст (лет); t_0 и L_0 – возраст и длина в начале исследуемого интервала роста; A – асимптотическая длина тела, мм; k – характерная скорость роста.

Измерение морфометрических показателей выполняли прижизненно по стандартной методике для бесхвостых земноводных [7].

Статистическую обработку производили с помощью пакета программ Microsoft Excel и STATISTICA. Рассчитывали среднюю арифметическую и стандартное отклонение (M ± SD), а также размах признаков (min-max).

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

Возрастная структура *B. sachalinensis* в изученных локалитетах несколько различалась (рис. 1). В целом в поселке Трудовое средний возраст самок составил 4.5 ± 1.04 года при диапазоне 3-6 лет, а самцов – 3.8 ± 1.60 года при диапазоне 2-5 лет. В Уссурийском заповеднике средний возраст самок составил 5.2 ± 0.97 года при диапазоне 4-7 лет,

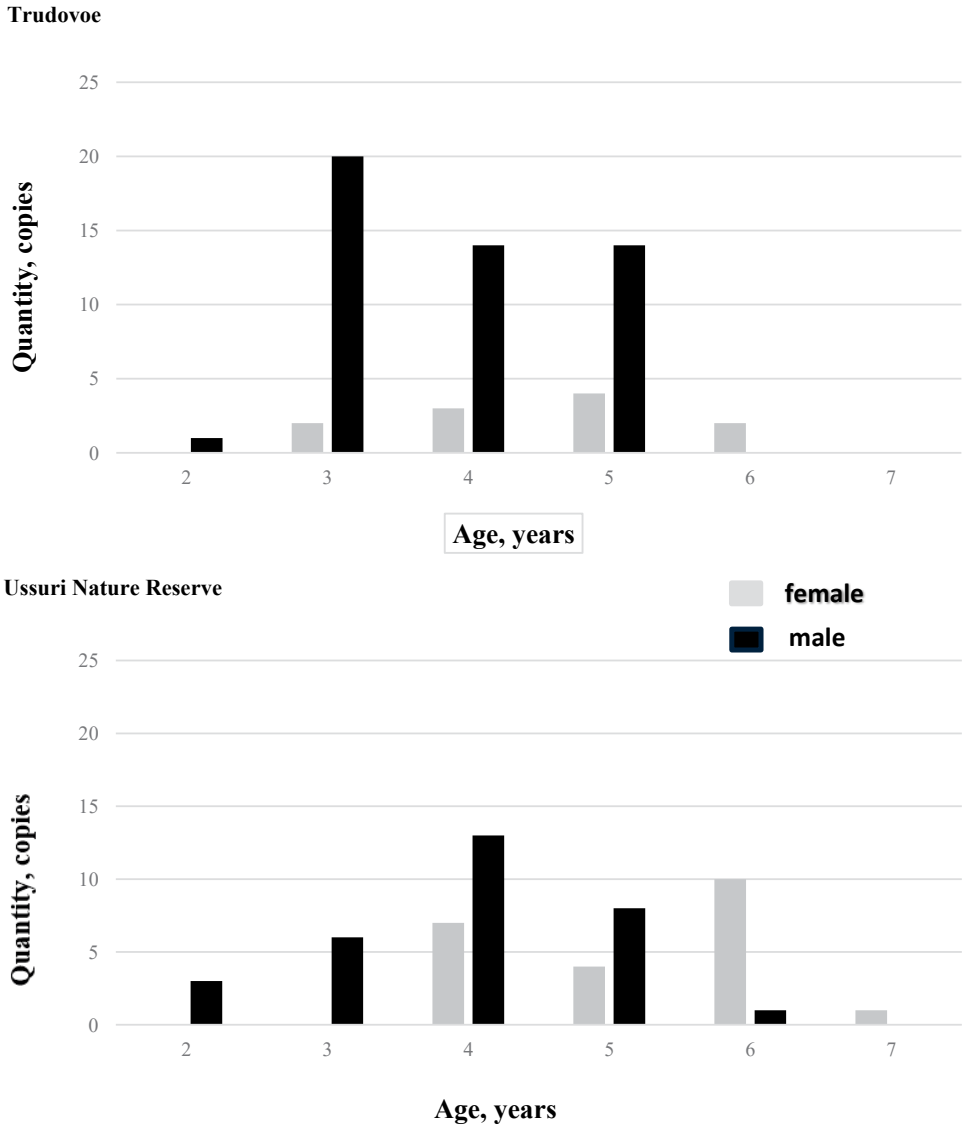


Рисунок 1. Возрастная структура *Bufo sachalinensis.*

Figure 1. Age structure of *Bufo sachalinensis*.

а самцов – 3.9 ± 1.00 года и 2-6 лет соответственно. Статистически значимого отличия между однополыми животными из разных выборок не было, однако при сравнении всех животных в Уссурийском заповеднике средний возраст статистически значимо превосходил таковой в Трудовом ($U_{эмп}$ = 1127.0; p < 0.01).

Статистически значимые различия по длине тела между самцами и самками были отмечены в обеих выборках: $U_{эмп}$ = 1.5; p < 0.01 (Уссурийский заповедник) и $U_{эмп}$ = 79.0; p < 0.01 (Трудовое). Средняя длина тела самок в Уссурийском заповеднике составила 85.0 ± 5.26 мм и 72.9 ± 8.20 мм в поселке Трудовое; самцов – 69.9 ± 3.37 мм и 63.3 ± 0.52 мм соответственно.

Сравнивая однополые выборки из разных локалитетов, мы наблюдали превосходство животных из Уссурийского заповедника. В одновозрастных группах четырех-, пяти- и шестилетних самок значимые различия были отмечены по 10, 4 и 7 показателям из 14 соответственно, а при сравнении самок всех возрастов – по всем показателям. В одновозрастных группах самцов трех, четырех и пяти лет по 11, 12 и 10 показателям соответственно, при сравнении всех самцов значимые различия были выявлены по 13 показателям из 14.

Интенсивность роста самцов и самок анализируемых популяций также неодинакова (k составил 1.734 ± 0.416 (Уссурийский заповедник) и 2.057 ± 1.390 (Трудовое) для самцов; 0.870 ± 0.303 и 1.420 ± 2.118 для самок соответственно). Однако несмотря на превосходящие темпы роста самцов и самок из поселка Трудовое, максимально возможная длина тела, которую особи из изученных популяций способны достичь в течение жизни, в соответствии с уравнением фон Берталанфи, была выше у *B. sachalinensis* из Уссурийского заповедника – 70.1 ± 0.68 мм против 63.6 ± 0.65 мм в поселке Трудовое для самцов и 86.4 ± 2.11 мм против 73.2 ± 3.35 мм для самок соответственно.

Выводы
Conclusions

В целом полученные характеристики возрастной структуры и морфометрические показатели изученных выборок лежали в пределах значений, описанных ранее. Несмотря на значимые различия ($U_{эмп}$ = 1127.0; p < 0.01) среднего возраста изученных выборок, бóльшее внимание обращает на себя разница в скорости роста. Вероятно, высокая скорость роста самцов и самок из поселка Трудовое позволяет быстрее достигать половой зрелости (что подтверждается нижними пороговыми значениями возраста животных, отловленных на размножении) и участвовать в размножении в течение жизни большее количество раз, компенсируя, таким образом, меньшую продолжительность жизни. Помимо этого, стоит отметить более мелкие размеры *B. sachalinensis,* отловленных на территории с высоким уровнем антропогенной нагрузки. Если уменьшение размеров самцов едва ли может отрицательно повлиять на их репродуктивный успех, а по мнению ряда авторов, наоборот, давать преимущество во время длительных миграций в амплексусе [8], то уменьшение размеров самок может стать причиной снижения плодовитости и выживаемости в период миграций.

Список источников

1. Collins J.P., Storfer A. Global amphibian declines: sorting the hypotheses. *Diversity and Distributions*. 2003;9(2):89-98. https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2003.00012.x
2. Kiesecker J.M., Blaustein A.R., Belden L.K. Complex causes of amphibian declines. *Nature*. 2001;410(6829):681-684. https://doi.org/10.1038/35070552
3. Daszak P., Cunningham A.A., Hyatt A.D. Infectious disease and amphibian population declines. *Diversity and Distributions.* 2003;(9):141-150. https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2003.00016.x
4. Kats L.B., Ferrer R.P. Alien predators and amphibian declines: Review of two decades of science and the transition to conservation. *Diversity and Distributions*. 2003;9(2):99-110. https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2003.00013.x
5. Вершинин В.Л., Середюк С.Д., Черноусова Н.Ф. и др. *Пути адаптациогенеза наземной фауны к условиям техногенных ландшафтов.* Екатеринбург: УрО РАН, 2006:183.

References

1. Collins J.P., Storfer A. Global amphibian declines: sorting the hypotheses. *Diversity and Distributions*. 2003;9(2):89-98. https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2003.00012.x
2. Kiesecker J.M., Blaustein A.R., Belden L.K. Complex causes of amphibian declines. *Nature*. 2001;410(6829):681-684. https://doi.org/10.1038/35070552
3. Daszak P., Cunningham A.A., Hyatt A.D. Infectious disease and amphibian population declines. *Diversity and Distributions.* 2003;(9):141-150. https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2003.00016.x
4. Kats L.B., Ferrer R.P. Alien predators and amphibian declines: Review of two decades of science and the transition to conservation. *Diversity and Distributions*. 2003;9(2):99-110. https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2003.00013.x
5. Vershinin V.L., Seredyuk S.D., Chernousova N.F. et al. *Paths of adaptation of terrestrial fauna to the conditions of technogenic landscapes.* Ekaterinburg, Russia: Ural Branch

6. Смирина Э.М. Методика определения возраста амфибий и рептилий по слоям в кости. *Руководство по изучению земноводных и пресмыкающихся*. Киев, 1989:144-153.
7. Банников А.Г., Даревский И.С., Ищенко В.Г. и др. *Определитель земноводных и пресмыкающихся фауны СССР*. Москва: Просвещение, 1977:414.
8. Gokhelashvili R.K., Tarkhnishvili D.N. Age structure of six Georgian anuran populations and its dynamics during two consecutive years (Anura). *Herpetozoa*. 1994;7(1-2):11-18.

Сведения об авторах

Ксения Андреевна Матушкина, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; matushkinaka@gmail.com; https://orcid.org/0000-0003-4853-9999

Кирилл Александрович Африн, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; afrin@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-8806-0774

Ирина Владимировна Африна, ассистент кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; stepankova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-0874-7160

Антон Олегович Свинин, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории стабильности хромосом и микроэволюции генома, Институт цитологии РАН; 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий проспект, 4; ranaesc@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-8400-6826

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 15.06.2026
Одобрена после рецензирования 22.06.2026
Принята к публикации 22.06.2026

of the Russian Academy of Sciences, 2006:183. (In Russ.)
6. Smirina E.M. Methodology for determining the age of amphibians and reptiles based on bone layers. *Handbook of the Study of Amphibians and Reptiles.* 1989:144-153. (In Russ.)
7. Bannikov A.G., Darevskiy I.S., Ishchenko V.G. et al. *Identification of amphibians and reptiles of the USSR fauna.* Moscow, USSR: Prosveshchenie, 1977:414. (In Russ.)
8. Gokhelashvili R.K., Tarkhnishvili D.N. Age structure of six Georgian anuran populations and its dynamics during two consecutive years (Anura). *Herpetozoa*. 1994;7(1-2):11-18.

Information about the authors

Ksenia A. Matushkina, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; matushkinaka@gmail.com; https://orcid.org/0000-0003-4853-9999

Kirill A. Afrin, CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; afrin@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-8806-0774

Irina V. Afrina, Assistant Lecturer at the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; stepankova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-0874-7160

Anton O. Svinin, CSc (Bio), Senior Research Associate at the Laboratory of Chromosome Stability and Genome Microevolution, Institute of Cytology of the Russian Academy of Sciences; 4 Tikhoretsky St., Saint Petersburg, 194064, Russian Federation; ranaesc@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-8400-6826

Conflict of interests
The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office June 15, 2026
Approved after reviewing June 22, 2026
Accepted for publication June 22, 2026

Оригинальная научная статья
УДК 58.071:632.954
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-3-01

Противодействие негативному влиянию имазамокса и имазапира на рост и физиолого-биохимические показатели растений *Triticum aestivum* с помощью бактерий – деструкторов гербицидов

Арина Владимировна Феоктистова, Максим Данилович Тимергалин, Тимур Вилевич Рамеев, Сергей Николаевич Стариков, Маргарита Дмитриевна Бакаева, Сергей Павлович Четвериков

УИБ УФИЦ РАН, Уфа, Россия

Автор, ответственный за переписку: Арина Владимировна Феоктистова, feoktistova.arisha@yandex.ru

Аннотация
Гербициды класса имидазолинонов широко используются в сельском хозяйстве, но они обладают значительным последействием и могут наносить ущерб чувствительным к ним культурам включая многие сорта пшеницы, что осложняет их использование в севооборотах. Применение бактерий, совмещающих способности деструкторов и регуляторов роста, позволяет ускорить процесс деградации остаточных гербицидов и способствовать росту растений. Целью исследований была сравнительная оценка штаммов бактерий родов *Pseudomonas* и *Dietzia* по их способности к разрушению имидазолинонов и влиянию на растения пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на фоне загрязнения почвы имазамоксом и имазапиром. Почву искусственно загрязняли гербицидами Грейдер или Глобал в количестве 20 мкг действующего вещества на 1 кг, высаживали в нее пшеницу сорта Экада 113 и выращивали на светоплощадке. Для обработки использовали штаммы *Pseudomonas protegens* DA1.2 и *Dietzia sp.* MX5. Присутствие имидазолинонов и продуктов их разрушения в почве фиксировали с помощью ВЭЖХ-МС. Обработка растений штаммами бактерий DA1.2 и MX5 не предотвращала торможения роста пшеницы, вызванного имазапиром, но уменьшала накопление МДА на 17.8 и 25% соответственно. Однако оба штамма положительно влияли на пшеницу, подвергшуюся воздействию имазамокса. При этом штамм MX5 лучше нивелировал снижение массы и длины побегов, разрушение хлорофиллов а и б и смягчал оксидативный стресс у растений. В обработанной штаммом MX5 почве количество имазамокса было на 87.3% меньше, чем в контроле без бактерий. В ней были обнаружены соединения, молекулярные ионы которых имели m/z 236, 217, 152 и 136 а.е.м., предварительно идентифицированные как продукты деструкции имазамокса с разрушением имидазолинового кольца. Таким образом, штамм MX5 сочетал в себе свойства деструктора и регулятора роста растений и может быть рекомендован для улучшения роста пшеницы на почвах с остаточным содержанием имазамокса.

Ключевые слова
Имидазолиноны, ростостимулирующие бактерии, пшеница, хлорофилл, МДА

Финансирование
Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России № 075-03-2021-607 по теме № 122031000309-7.

Для цитирования
Феоктистова А.В., Тимергалин М.Д., Рамеев Т.В. и др. Противодействие негативному влиянию имазамокса и имазапира на рост и физиолого-биохимические показатели растений *Triticum aestivum* с помощью бактерий – деструкторов гербицидов. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(2):301. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-3-01

© Феоктистова А.В., Тимергалин М.Д., Рамеев Т.В. и др., 2026
© Feoktistova A.V., Timergalin M.D., Rameev T.V. et al., 2026

MICROBIOLOGY, MOLECULAR BIOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-3-01

Mitigation of the negative effect of imazamox and imazapir on the growth and physiological and biochemical parameters of *Triticum aestivum* plants using herbicide-degrading bacteria

Arina V. Feoktistova, Maxim D. Timergalin, Timur V. Rameev, Sergey N. Starikov, Margarita D. Bakaeva, Sergey P. Chetverikov

Ufa Institute of Biology – branch of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia

Corresponding author: Arina V. Feoktistova, feoktistova.arisha@yandex.ru

Abstract

Imidazolinone herbicides are widely used in agriculture; however, they exhibit significant residual effects and can damage sensitive crops, including many wheat cultivars, thereby complicating their use in crop rotations. The application of bacteria that combine the properties of degraders and growth regulators may accelerate the degradation of residual herbicides and support plant development. The aim of this study was to comparatively evaluate *Pseudomonas* and *Dietzia* bacterial strains for their ability to degrade imidazolinones and their effects on wheat (*Triticum aestivum* L.) plants under soil contamination with imazamox and imazapyr. The soil was artificially contaminated with Grader or Global herbicides at a rate of 20 µg of active ingredient per kg, sown with wheat cv. Ekada 113, and cultivated in a lighted area. *Pseudomonas protegens* DA1.2 and *Dietzia sp.* MX5 strains were used for plant treatment. The presence of imidazolinones and their degradation products in the soil was monitored by HPLC-MS. Plant treatment with bacterial strains DA1.2 and MX5 did not prevent imazapyr-induced wheat growth inhibition but reduced malondialdehyde (MDA) accumulation by 17.8% and 25%, respectively. However, both strains positively affected wheat exposed to imazamox. Strain MX5 was more effective at mitigating the reduction in shoot mass and length, attenuating chlorophyll a and b degradation, and alleviating oxidative stress in plants. In soil treated with MX5, the amount of imazamox was 87.3% lower than in the bacteria-free control. Compounds with molecular ions at m/z 236, 217, 152, and 136 Da, tentatively identified as imazamox degradation products resulting from imidazoline ring cleavage, were detected. Thus, strain MX5 combined both herbicide-degrading and plant growth-promoting properties, and can be recommended for improving wheat growth in soils with residual imazamox contamination.

Keywords

Imidazolinones, growth-promoting bacteria, wheat, chlorophyll, malondialdehyde (MDA)

Financing

This work was funded within the framework of the State Assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 075-03-2021-607, project No.122031000309-7.

For citation

Feoktistova A.V., Timergalin M.D., Rameev T.V. et al. Mitigation of the negative effect of imazamox and imazapir on the growth and physiological and biochemical parameters of *Triticum aestivum* plants using herbicide-degrading bacteria. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):301. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-3-01

Введение
Introduction

Гербициды класса имидазолинонов (например, имазамокс, имазапир) активно используются в сельском хозяйстве благодаря их высокой эффективности против широкого спектра сорняков и низкой токсичности для человека. Однако многие из них характеризуются длительным последействием, особенно в регионах с неблагоприятным климатом или бедными почвами, где период полураспада может достигать 120 суток и более [1]. Неразложившиеся гербициды могут наносить ущерб последующим чувствительным культурам в севообороте включая многие сорта пшеницы, что приводит к значительным экономическим потерям [2, 3].

Потенциально существует несколько путей разрушения гербицидов: химическая, фото- и биодеградация. Гербициды, попадающие в почву, прямо или косвенно влияют на почвенную микробиоту, в том числе способствуют отбору в микробном сообществе микроорганизмов – деструкторов [4]. Поэтому разрушение или трансформация почвенными микроорганизмами являются естественным и широко распространенным способом удаления гербицидов из почв. В аэробных условиях микроорганизмы используют их как источник углерода и энергии, расщепляя сложные молекулы на менее токсичные метаболиты [5, 6]. Микробная деградация имидазолинонов зависит от множества факторов включая температуру, влажность, pH почвы, а также наличие активного микробного сообщества. Поэтому использование специально подобранных бактерий-деструкторов позволяет целенаправленно ускорить процесс деградации остаточных гербицидов.

Известны бактерии, способные эффективно расщеплять имидазолиноны в лабораторных и полевых условиях. Например, штамм *Pseudomonas* sp. IM-4 способен деградировать до 73% имазетапира за 7 суток, расщеплять другие имидазолиноны (имазапир, имазапик, имазамокс) [7], а штамм *Alcaligenes sp.* BH-1 способен деградировать более 90% имазетапира за 72 ч в определенных условиях [8]. Штаммы *Streptomycetaceae* JX02 и JX06 эффективно сокращают период полураспада имазамокса в почве до 11-13 суток [9]. Внесение этих штаммов в почву значительно ускоряет разложение гербицидов по сравнению с естественными почвенными процессами, сокращая период деградации перед посевом чувствительных культур.

Штаммы бактерий способны не только разлагать гербициды, но и выступать в качестве регуляторов роста растений [10]. При этом за счет активизации роста и повышения доступности элементов минерального питания возрастает устойчивость к стрессам и повышается урожайность сельскохозяйственных культур [11, 12]. Совмещение способностей к деградации гербицидов и стимуляции роста растений в одном микробном препарате – это перспективный путь для ускоренной очистки почвы от имидазолинонов и безопасного выращивания сельскохозяйственных культур, в том числе пшеницы.

Цель исследований: сравнительная оценка штаммов бактерий родов *Pseudomonas* и *Dietzia* по их способности к деструкции имазамокса и имазатапира и влиянию на ростовые и физиолого-биохимические характеристики растений пшеницы (*Triticum aestivum* L.), культивируемых в условиях защищенного грунта на почвенном субстрате, загрязненном имидазолиноновыми гербицидами.

Методика исследований
Research method

В работе использовали гербициды из класса имидазолинонов: Глобал, ВР (д.в. имазамокс) – селективный препарат для борьбы с однолетними и многолетними двудольными и злаковыми сорняками в посевах бобовых культур и подсолнечника, устойчивого к имидазолинам, и Грейдер, ВГР (д.в. имазапир) – системный гербицид сплошного действия для применения на объектах несельскохозяйственного пользования.

Штамм бактерий из коллекции Уфимского института биологии УФИЦ РАН *Pseudomonas protegens* DA1.2 был выделен из антропогенно нарушенной почвы Республики Башкортостан, устойчив к широкому спектру гербицидов, способен к синтезу ауксинов, а также деструкции ауксинов, абсцизовой кислоты (АБК) и цитокининов. Кроме того, он обладает способностью фиксировать атмосферный азот и демонстрирует антагонизм к фитопатогенным грибам. Штамм бактерий *Dietzia sp.* MX5 выделен из отходов металлургии, загрязненных нефтепродуктами в Республике Башкортостан, устойчив к гербицидам, способен к деструкции ауксинов, АБК и цитокининов [13].

Эксперименты в закрытом грунте проводили на растениях мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L., сорт Экада 113. Растения выращивали в горшках, освещая светодиодными фитолампами (Uniel, China) при температуре 24/26°C ночь/день и 14-часовом фотопериоде. Семена пшеницы предварительно стерилизовали в 2%-ном растворе гипохлорита натрия в течение 10-15 мин, затем промывали водой и проращивали на влажной фильтровальной бумаге в течение 3-х суток. Проростки пшеницы по 5 шт. в 6-кратной повторности сажали в горшки с почво-песчаной смесью в соотношении 9:1 (чернозем: песок, соответственно). Треть горшков с грунтом была загрязнена гербицидом Глобал, другая треть – гербицидом Грейдер из расчета 20 мкг/кг почвы по действующему веществу. В качестве контроля использовали горшки с незагрязненной почвой. Обработку растений суспензией бактерий (10^8 КОЕ/мл) производили на 14-е сутки путем опрыскивания. Через неделю после инокуляции бактериями у половины растений измеряли количество малонового диальдегида (МДА) и суммарное содержание хлорофиллов а и б в листьях, ростовые показатели у оставшихся растений оценивали еще через 2 недели. Хлорофиллы определяли спектрофотометрическим методом, для чего навеску побегов 200 мг измельчали и инкубировали в течение 24 ч при комнатной температуре в условиях темноты с 10 мл 96%-ным этиловым спиртом. Образцы центрифугировали и измеряли оптическую плотность на спектрофотометре

СФ-56 (Россия) при длинах волн 665 и 649 нм. Количественное содержание хлорофиллов а, б (Са, Сб) в навеске вычисляли по формулам: Са = (13.7 · D665) – (5.76 · D649) и Сб = (25.8 · D649) – (7.6 · D665), где Са и Сб – содержание хлорофиллов а и б; D665 и D649 – оптическая плотность при длинах волн 665 и 649 нм соответственно. Содержание МДА определяли по цветной реакции на тиобарбитуровую кислоту [14].

Отбор образцов почвы и экстракция. Образцы почвы высушивали до постоянной массы, просеивали через сито с отверстиями диаметром 1 мм. Навеску массой 2.5 г переносили в полипропиленовую центрифужную пробирку объемом 50 мл и проводили экстракцию согласно методике, описанной в работе Marinho et al. [15].

Для анализа гербицидов и их метаболитов в экстрактах использовали систему ВЭЖХ-МС (LC-MS-IT-TOF, Shimadzu) с ионизацией ESI (–) при следующих условиях: напряжение на капилляре –3.5 кВ, поток распыляющего газа – 1.5 л/мин, температура десольватации – 00°С, давление газа-осушителя – 150 кПа, напряжение детектора TOF – 1.6 кВ. Разделение осуществляли на колонке PerfectSil Target ODS-3 HD (150 × 4.6 мм, 5 мкм) в градиентном режиме с подвижной фазой: ацетонитрил (А) и 0.1%-ный водный раствор уксусной кислоты (В). Градиент: 0-7.2 мин: 70-55% В; 7.2-10 мин: 55-20% В; 10-14 мин: 20-70% В; 14-17 мин: 70% В. Скорость потока – 0.4 мл/мин, объем пробы – 5 мкл.

Статистическую обработку данных производили в программе MS Excel, Statistica (Statsoft 10), значимую достоверность различий оценивали с помощью дисперстного анализа ANOVA с применением критерия Дункана ($p \leq 0.05$).

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

У растений, выращенных на загрязненной гербицидами почве, в значительной степени тормозился рост побегов, особенно в случае применения гербицида сплошного действия Грейдер. Внесение бактерий в почву, загрязненную Грейдером, не оказывало достоверного влияния на морфометрические характеристики растений пшеницы. Напротив, обработка растений пшеницы штаммом бактерий МХ5 в случае использования гербицида селективного действия Глобал нивелировала снижение массы побегов и их длины (рис. 1). В контрольных условиях (без загрязнения почвы гербицидом) инокуляция проростков пшеницы штаммом МХ5 также приводила к накоплению сырой массы растений.

Рост и развитие сельскохозяйственных культур замедляются ввиду накопления гербицидов в них, которое приводит к нарушению метаболизма аминокислот, что в свою очередь негативно сказывается на фотосинтетическом аппарате [16]. Действительно, в исследованиях наблюдалось снижение содержания общего хлорофилла у растений, выращенных на почве с гербицидом Глобал, а внесение бактерий штамма МХ5 повышало данный показатель до уровня контрольных значений (рис. 2). Ауксинпродуцирующий штамм DA1.2 не оказывал существенного влияния на общее содержание хлорофиллов, значение которого было на уровне растений, выращенных в загрязненной почве. Противоположная реакция наблюдалась в случае культивирования растений пшеницы на субстрате, загрязненном гербицидом Грейдер: содержание хлорофилла увеличивалось почти в 2 раза без внесения бактерий и чуть в меньшей степени – при обработке штаммом МХ5. Это могло быть связано с тем, что воздействие имазапировой кислоты на листья является неоднозначным. Было показано, что на ранней стадии обработки растений имазапиром в листьях запускаются фотозащитные механизмы, обеспечивающие нормальное функционирование фотосистемы, а на поздней стадии стресса повреждаются реакционные центры фотосистемы II, что в конечном счете приводит к нарушению фотосинтетической системы [17].

Вызванный гербицидами дисбаланс метаболизма растений может приводить к образованию активных форм кислорода, увеличению количества антиоксидантных ферментов [18]. Выращивание пшеницы в почве с гербицидами в отсутствие обработки бактериями приводило к накоплению МДА в 1.5 и 6 раз при загрязнении субстрата Глобалом и Грейдером соответственно (рис. 3). Накопление этого низкомолекулярного соединения является одной из ранних реакций растений на действие неблагоприятных факторов различной природы [19, 20]. Известно, что МДА является одним из метаболитов перекисного окисления липидов, и его накопление в растениях указывает на то, что они подвергаются серьезному окислительному стрессу. Инокуляция растений обоими бактериальными штаммами в почве с гербицидами снизила данный показатель и указывает на то, что растения подвергались меньшему стрессу.

Поскольку обработка штаммом бактерий МХ5 обеспечивала эффективную детоксикацию почвы после применения гербицида Глобал, загрязненные им образцы грунта с добавлением бактерий и без них были проверены на остаточное содержание действующего вещества – имазамокса. Согласно результатам ВЭЖХ-МС анализа количество имазамокса в обработанном штаммом МХ5 грунте было на 87.3% меньше, чем в контроле без бактерий, который инкубировался в течение 28 суток в тех же условиях. В результате сопоставления

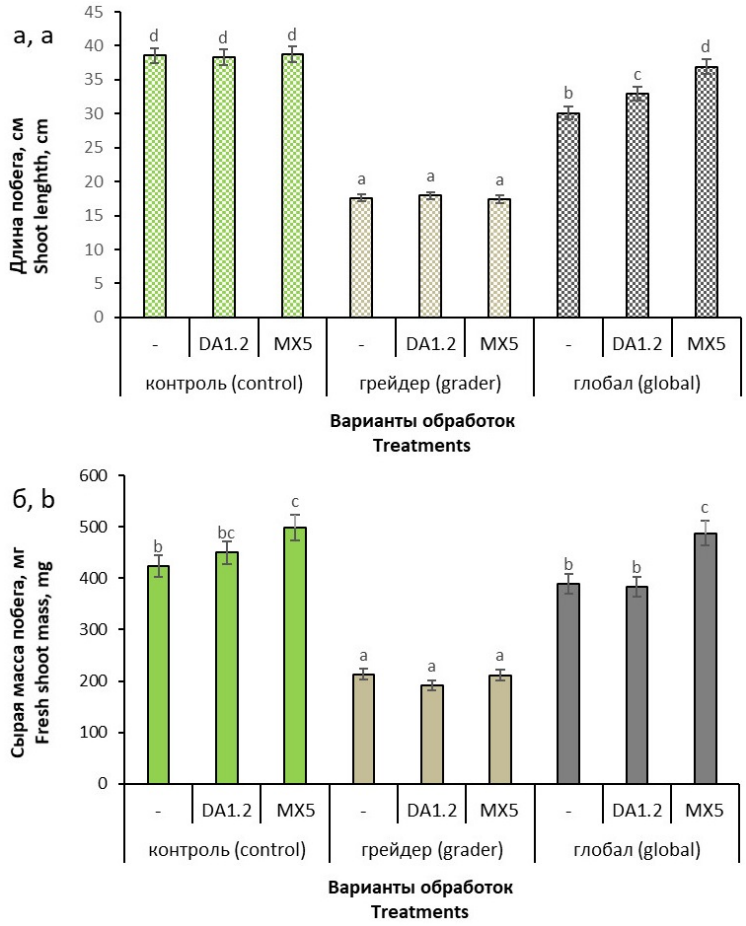


Рисунок 1. Влияние различных штаммов бактерий-деструкторов на длину (а) и сырую массу (б) побегов пшеницы сорта Экада 113 при культивировании на почвенном субстрате, загрязненном имидазолиноновыми гербицидами. На рисунках представлены ошибки средней (n = 15); статистически значимые различия отмечены разными буквами.

Figure 1. Effect of various bacterial degrader strains on the shoot length (a) and fresh shoot weight (b) of wheat cv. Ekada 113 cultivated in soil substrate contaminated with imidazolinone herbicides. Bars represent mean errors (n = 15); different letters indicate statistically significant differences.

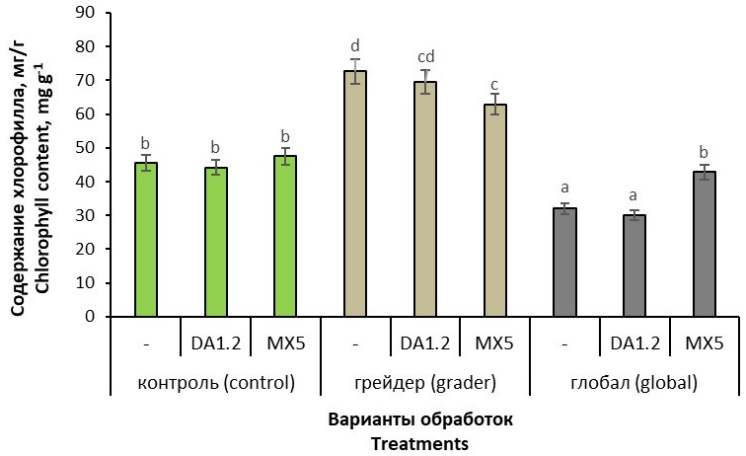


Рисунок 2. Влияние различных штаммов бактерий-деструкторов на суммарное содержание хлорофиллов в побегах пшеницы сорта Экада 113 при культивировании на почвенном субстрате, загрязненном имидазолиноновыми гербицидами. На рисунках представлены ошибки средней (n = 15); статистически значимые различия отмечены разными буквами.

Figure 2. Effect of various bacterial degrader strains on the total chlorophylls content of wheat cv. Ekada 113 cultivated in soil substrate contaminated with imidazolinone herbicides. Bars represent mean errors (n = 15); different letters indicate statistically significant differences.

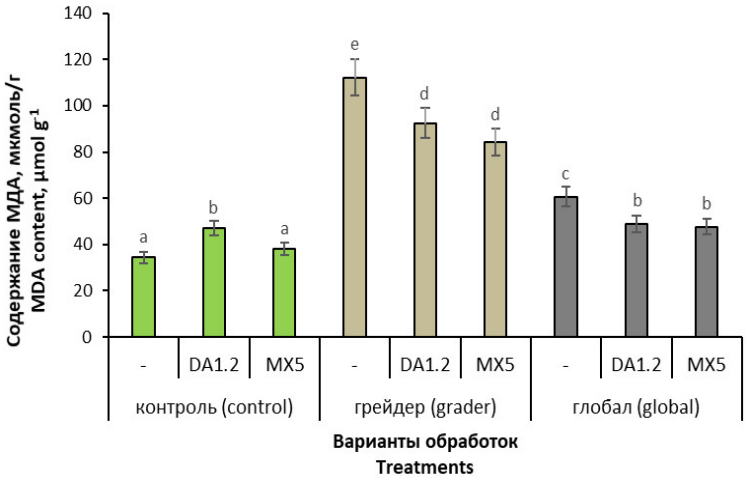


Рисунок 3. Влияние различных штаммов бактерий-деструкторов на содержание МДА в побегах пшеницы сорта Экада 113 при культивировании на почвенном субстрате, загрязненном имидазолиноновыми гербицидами. Bars represent mean errors (n = 15); different letters indicate statistically significant differences.

Figure 3. Effect of various bacterial degrader strains on MDA content of wheat cv. Ekada 113 cultivated in soil substrate contaminated with imidazolinone herbicides. The figures show mean errors, statistically significant differences are marked with different letters, n = 15.

хроматограмм всех исследованных образцов были обнаружены вещества с m/z 245 *(a)*, 180 *(b)*, 136 *(c)* и 108 *(d)*, которые выделялись только из загрязненных имазамоксом почв, инокулированных ранее штаммом MX5, и не фиксировались ни в одном образце без дополнительной бактериальной обработки. Эти вещества были предварительно идентифицированы как продукты деструкции имазамокса: 5-(метоксиметил)-2-{(E)-[(3-метилбут-2-ен-2-ил)имино]метил}пиридин-3-карбальдегид *(a)*; 3-формил-5-(гидроксиметил)пиридин-2-карбоновая кислота *(b)*; 5-(гидроксиметил) пиридин-3-карбальдегид *(c)*; (пиридин-3-ил)метанол *(d)*. Их предполагаемая структура представлена на рисунке 4.

Метаболический путь деструкции имазамокса, ведущий к образованию вещества *d*, был описан ранее Chun-guang et al., 2016 [21] у штамма *Acinetobacter baumannii* IB5, выделенного из чернозема в Китае. От реконструированного нами он отличается отсутствием промежуточного метаболита *a* и менее полным разрушением молекулы гербицида. Наиболее вероятным объяснением вышеперечисленного является активное участие штамма бактерий MX5 в биологической деструкции имазамокса, которая приводит к расщеплению имидазолинонового кольца. При этом деградация молекулы имазамокса приводит к потере ее гербицидных свойств и значительному снижению фитотоксичности почвы.

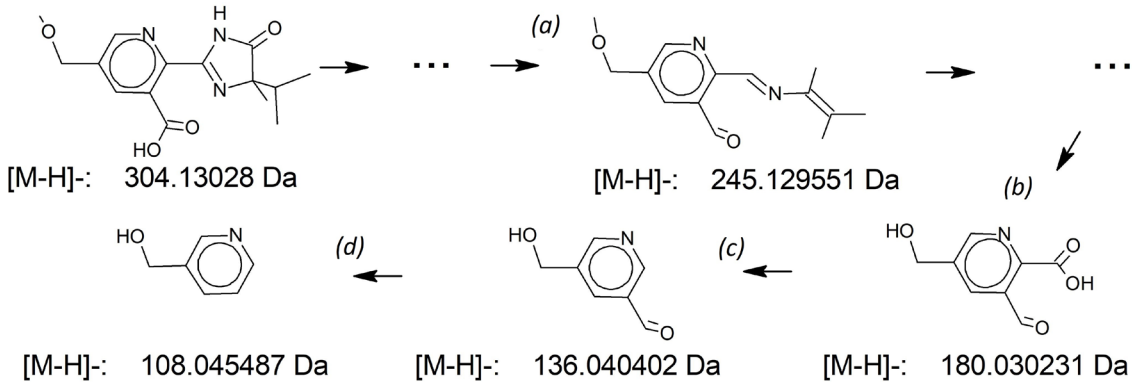


Рисунок 4. Реконструкция пути и промежуточных метаболитов деструкции имазамокса в почве после инокуляции штаммом бактерий *Dietzia sp.* MX5.

Figure 4. Proposed degradation pathway and intermediate metabolites of imazamox degradation in soil following inoculation with the bacterial strain *Dietzia sp.* MX5.

Выводы

Conclusions

Обработка штаммом *Dietzia sp.* MX5 была способна нивелировать гербицидный стресс у растений пшеницы и поддерживать ее рост в почве, загрязненной гербицидом, содержащим имазамокс в качестве действующего вещества. Также интродукция бактериального штамма MX5 способствовала значительному уменьшению содержания имазамокса в почве, по-видимому, за счет его биологической деструкции путем разрушения имидазолинонового кольца. Таким образом, штамм MX5 сочетает в себе свойства деструктора имазамокса и регулятора роста растений и может служить в качестве перспективной основы при разработке биопрепарата для улучшения роста пшеницы на почвах с остаточным содержанием некоторых имидазолиноновых гербицидов.

Список источников

1. Buerge I.J., Bächli A., Kasteel R. et al. Behavior of the chiral herbicide imazamox in soils: pH-dependent, enantioselective degradation, formation and degradation of several chiral metabolites. *Environmental Science & Technology*. 2019;53(10):5725-5732. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b07209
2. Süzer S., Büyük H. Residual effects of spraying imidazolinone-family herbicides on Clearfield®* sunflower production from the point of view of crop rotation. *Helia*. 2010;33(52):25-36. https://doi.org/10.2298/HEL1052025S
3. Бычкова В.В., Сазонова И.А., Пиденко П.С. и др. Негативные последствия применения имидазолиноновых гербицидов: проблемы и решения. *Агрохимия*. 2023;2:87-96. https://doi.org/10.31857/S0002188123020060
4. Wołejko E., Wydro U., Odziejewicz J.I. et al. Biomonitoring of soil contaminated with herbicides. *Water*. 2022;14(10):1534. https://doi.org/10.3390/w14101534
5. Duke S.O., Reddy K.N. Is mineral nutrition of glyphosate-resistant crops altered by glyphosate treatment? *Outlooks on Pest Management*. 2018;29(5):206-208. https://doi.org/10.1564/v29_oct_05
6. Bacmaga M., Wyszkowska J., Kucharski J. Environmental implication of herbicide use. *Molecules*. 2024;29(24):5965. https://doi.org/10.3390/molecules29245965
7. Huang X., Pan J., Liang B. et al. Isolation, Characterization of a strain capable of degrading imazethapyr and its use in degradation of the herbicide in soil. *Current Microbiology*. 2009;59:363-367. https://doi.org/10.1007/s00284-009-9442-7
8. Ding W., Bai H., Cheng Z. et al. Isolation and identification of imazethapyr degradable bacteria and its degradation characteristics. *Huan Jing Ke Xue*. 2008;29(5):1359-1362.
9. Ge L., Wang X., Hou J.W. et al. Study on degradation characteristics of imazamox by *Streptomycetaceae*. *Journal of Environmental Science and Health*. 2022;57(6):470-478. https://doi.org/10.1080/03601234.2022.2064673
10. Saengsanga T., Phakratok N. Biodegradation of chlorpyrifos by soil bacteria and their

References

1. Buerge I.J., Bächli A., Kasteel R. et al. Behavior of the chiral herbicide imazamox in soils: pH-dependent, enantioselective degradation, formation and degradation of several chiral metabolites. *Environmental Science & Technology*. 2019;53(10):5725-5732. https://doi.org/10.1021/acs.est.8b07209
2. Süzer S., Büyük H. Residual effects of spraying imidazolinone-family herbicides on Clearfield®* sunflower production from the point of view of crop rotation. *Helia*. 2010;33(52):25-36. https://doi.org/10.2298/HEL1052025S
3. Bychkova V.V., Sazonova I.A., Pidenko P.S. et al. Negative effects of imidazolinone herbicides usage: problems and desicions. *Agrohimia*. 2023;2:87-96. (In Russ.) https://doi.org/10.31857/S0002188123020060
4. Wołejko E., Wydro U., Odziejewicz J.I. et al. Biomonitoring of soil contaminated with herbicides. *Water*. 2022;14(10):1534. https://doi.org/10.3390/w14101534
5. Duke S.O., Reddy K.N. Is mineral nutrition of glyphosate-resistant crops altered by glyphosate treatment? *Outlooks on Pest Management*. 2018;29(5):206-208. https://doi.org/10.1564/v29_oct_05
6. Bacmaga M., Wyszkowska J., Kucharski J. Environmental implication of herbicide use. *Molecules*. 2024;29(24):5965. https://doi.org/10.3390/molecules29245965
7. Huang X., Pan J., Liang B. et al. Isolation, Characterization of a strain capable of degrading imazethapyr and its use in degradation of the herbicide in soil. *Current Microbiology*. 2009;59:363-367. https://doi.org/10.1007/s00284-009-9442-7
8. Ding W., Bai H., Cheng Z. et al. Isolation and identification of imazethapyr degradable bacteria and its degradation characteristics. *Huan Jing Ke Xue*. 2008;29(5):1359-1362.
9. Ge L., Wang X., Hou J.W. et al. Study on degradation characteristics of imazamox by *Streptomycetaceae*. *Journal of Environmental Science and Health*. 2022;57(6):470-478. https://doi.org/10.1080/03601234.2022.2064673
10. Saengsanga T., Phakratok N. Biodegradation of chlorpyrifos by soil bacteria and their

effects on growth of rice seedlings under pesticide-contaminated soil. *Plant, Soil and Environment*. 2023;69(5):210-220. https://doi.org/10.17221/106/2023-PSE
11. Petrillo C., Vitale E., Ambrosino P. et al. Plant growth-promoting bacterial consortia as a strategy to alleviate drought stress in *Spinacia oleracea*. *Microorganisms*. 2022;10(9):1798. https://doi.org/10.3390/microorganisms10091798
12. Magnoli K., Carranza C., Aluffi M. et al. Fungal biodegradation of chlorinated herbicides: An overview with an emphasis on 2, 4-D in Argentina. *Biodegradation*. 2023;34:199-214. https://doi.org/10.1007/s10532-023-10022-9
13. Стариков С.Н., Четверикова Д.В., Четвериков С.П. Деструкция фитогормонов бактериями-стимуляторами роста растений. *Экобиотех*. 2023;6(4):217-226. https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-4-217-226
14. Costa H., Gallego S.M., Tomaro M.L. Effect of UV-B radiation on antioxidant defense system in sunflower cotyledons. *Plant Science*. 2002;162(6):939-945. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00051-1
15. da Costa Marinho M.I., Guido Costa A.I., Vieira N.M. et al. Validation and application of a QuEChERS based method for estimation of half-life of imidazolinone herbicides in soils by LC-ESI-MS/MS. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019;167:212-217. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.075
16. Garlich N., Garcia G.L., dos Santos K.P. et al. Control of *Salvinia molesta* with imazamox and analysis of environmental indicators in microcosms. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 2021;56(11):941-947. https://doi.org/10.1080/03601234.2021.1981101
17. Liu Y., Li Z., Li L. et al. Physiological and transcriptomic analysis of *Spartina alterniflora* in response to imazapyr acid stress. *BMC Plant Biology*. 2025;25:630. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06659-8
18. Motamedi M., Zahedi M., Karimmojeni H. et al. Effect of rhizosphere bacteria on antioxidant enzymes and some biochemical characteristics of *Medicago sativa* L. subjected to herbicide stress. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2022;44:84. https://doi.org/10.1007/s11738-022-03423-5
19. Agostinetto D., Perboni L.T., Langaro A.C. et al. Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants submmited to herbicides application. *Planta Daninha*. 2016;34(1):1-9. https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340100001
20. Chetverikov S., Kuzina E., Feoktistova A. et al. Mitigation of the negative effect of drought and herbicide treatment on growth, yield, and stress markers in bread wheat as a result of the use of the plant growth regulator Azolen®. *Plants*. 2024;13(16):2297. https://doi.org/10.3390/plants13162297

effects on growth of rice seedlings under pesticide-contaminated soil. *Plant, Soil and Environment*. 2023;69(5):210-220. https://doi.org/10.17221/106/2023-PSE
11. Petrillo C., Vitale E., Ambrosino P. et al. Plant growth-promoting bacterial consortia as a strategy to alleviate drought stress in *Spinacia oleracea*. *Microorganisms*. 2022;10(9):1798. https://doi.org/10.3390/microorganisms10091798
12. Magnoli K., Carranza C., Aluffi M. et al. Fungal biodegradation of chlorinated herbicides: An overview with an emphasis on 2, 4-D in Argentina. *Biodegradation*. 2023;34:199-214. https://doi.org/10.1007/s10532-023-10022-9
13. Starikov S.N., Chetverikova D.V., Chetverikov S.P. Destruction of phytohormones by plant growth-promoting bacteria. *Ecobiotech*. 2023;6(4):217-226. (In Russ.) https://doi.org/10.31163/2618-964X-2023-6-4-217-226
14. Costa H., Gallego S.M., Tomaro M.L. Effect of UV-B radiation on antioxidant defense system in sunflower cotyledons. *Plant Science*. 2002;162(6):939-945. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00051-1
15. da Costa Marinho M.I., Guido Costa A.I., Vieira N.M. et al. Validation and application of a QuEChERS based method for estimation of half-life of imidazolinone herbicides in soils by LC-ESI-MS/MS. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019;167:212-217. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.075
16. Garlich N., Garcia G.L., dos Santos K.P. et al. Control of *Salvinia molesta* with imazamox and analysis of environmental indicators in microcosms. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 2021;56(11):941-947. https://doi.org/10.1080/03601234.2021.1981101
17. Liu Y., Li Z., Li L. et al. Physiological and transcriptomic analysis of *Spartina alterniflora* in response to imazapyr acid stress. *BMC Plant Biology*. 2025;25:630. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06659-8
18. Motamedi M., Zahedi M., Karimmojeni H. et al. Effect of rhizosphere bacteria on antioxidant enzymes and some biochemical characteristics of *Medicago sativa* L. subjected to herbicide stress. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2022;44:84. https://doi.org/10.1007/s11738-022-03423-5
19. Agostinetto D., Perboni L.T., Langaro A.C. et al. Changes in photosynthesis and oxidative stress in wheat plants submmited to herbicides application. *Planta Daninha*. 2016;34(1):1-9. https://doi.org/10.1590/S0100-83582016340100001
20. Chetverikov S., Kuzina E., Feoktistova A. et al. Mitigation of the negative effect of drought and herbicide treatment on growth, yield, and stress markers in bread wheat as a result of the use of the plant growth regulator Azolen®. *Plants*. 2024;13(16):2297. https://doi.org/10.3390/plants13162297

21. Chun-guang L.I.U., Xin Y., Yang L.A.I. et al. Imazamox microbial degradation by common clinical bacteria: *Acinetobacter baumannii* IB5 isolated from black soil in China shows high potency. *Journal of Integrative Agriculture*. 2016;15(8):1798-1807. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61344-8

21. Chun-guang L.I.U., Xin Y., Yang L.A.I. et al. Imazamox microbial degradation by common clinical bacteria: *Acinetobacter baumannii* IB5 isolated from black soil in China shows high potency. *Journal of Integrative Agriculture*. 2016;15(8):1798-1807. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61344-8

Сведения об авторах

Арина Владимировна Феоктистова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агробиологии, УИБ УФИЦ РАН; 450054, Россия, г. Уфа, пр. Октября, 69; feoktistova.arisha@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-4852-2532

Максим Данилович Тимергалин, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории агробиологии, УИБ УФИЦ РАН; 450054, Россия, г. Уфа, пр. Октября, 69; timermax@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-6593-6067

Тимур Вилевич Рамеев, младший научный сотрудник лаборатории агробиологии, УИБ УФИЦ РАН; 450054, Россия, г. Уфа, пр. Октября, 69; rameevt@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-8417-3720

Сергей Николаевич Стариков, младший научный сотрудник лаборатории агробиологии, УИБ УФИЦ РАН; 450054, Россия, г. Уфа, пр. Октября, 69; senik0406@gmail.com; https://orcid.org/0000-0001-9681-5762

Маргарита Дмитриевна Бакаева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агробиологии, УИБ УФИЦ РАН; 450054, Россия, г. Уфа, пр. Октября, 69; margo22@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0001-8738-4534

Сергей Павлович Четвериков, доктор биологических наук, заведующий лабораторией агробиологии, УИБ УФИЦ РАН; 450054, Россия, г. Уфа, пр. Октября, 69; chelab007@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-7961-1503

Information about the authors

Arina V. Feoktistova, CSc (Bio), Senior Research Associate at the Laboratory of Agrobiology, Ufa Institute of Biology – branch of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russian Federation; feoktistova.arisha@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-4852-2532

Maxim D. Timergalin, CSc (Biol), Research Associate at the Laboratory of Agrobiology, Ufa Institute of Biology – branch of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russian Federation; timermax@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-6593-6067

Timur V. Rameev, Junior Research Associate at the Laboratory of Agrobiology, Ufa Institute of Biology – branch of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russian Federation; rameevt@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-8417-3720

Sergey N. Starikov, Junior Research Associate at the Laboratory of Agrobiology, Ufa Institute of Biology – branch of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russian Federation; senik0406@gmail.com; https://orcid.org/0000-0001-9681-5762

Margarita D. Bakaeva, CSc (Bio), Senior Research Associate at the Laboratory of Agrobiology, Ufa Institute of Biology – branch of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russian Federation; margo22@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0001-8738-4534

Sergey P. Chetverikov, DSc (Bio), Head of the Laboratory of Agrobiology, Ufa Institute of Biology – branch of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences; 69 Oktyabrya Ave., Ufa, 450054, Russian Federation; chelab007@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-7961-1503

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests
The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 04.03.2026
Одобрена после рецензирования 22.04.2026
Принята к публикации 22.04.2026

The article was submitted to the editorial office March 04, 2026
Approved after reviewing April 22, 2026
Accepted for publication April 22, 2026

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ /
ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 598.2
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-01

Зимние селитебные орнитокомплексы юго-восточного Подмосковья

Матвей Юрьевич Артюхов[1], Татьяна Константиновна Железнова[1], Светлана Линховоевна Сандакова[2]

[1] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
[2] Тувинский государственный университет, Кызыл, Россия

Автор, ответственный за переписку: Матвей Юрьевич Артюхов, OLoryy@yandex.ru

Аннотация
Несмотря на то, что исследования орнитофауны городов Московской области проводятся с начала XIX в., в большинстве своем они касаются лишь разнообразия представленных на изучаемых территориях видов и проводятся в теплый период: с весны по осень. В статье рассматриваются количественные показатели зимних селитебных орнитокомлексов на территории трех городов (сильно урбанизированное Раменское, менее застроенный Воскресенск и удаленный от столицы региональный центр Коломна) и двух поселков (небольшое и преимущественно дачное Виноградово, бывший рабочий поселок Пески), а именно: обилие птиц в этот сезон, доминантные виды по этому показателю и видовое разнообразие. Обилие их на территории варьирует от 960 до 1705 особей/км^2, и в городах оно ниже, чем в поселках, ввиду более высокого в последних обилия доминантов. К преобладающим видам зимой относятся только типичные оседлые городские птицы, а именно сизый голубь, галка, большая синица и полевой воробей, чья доля от плотности населения составляет от 10 до 40%. Всего отмечено 45 видов птиц; в отдельных населенных пунктах этот показатель варьирует от 23 до 31 и выше в поселках, чем в городах, по той же причине, что и относительно обилия.

Ключевые слова
Населенные пункты, обилие птиц, доминантные виды, видовое богатство

Для цитирования
Артюхов М.Ю., Железнова Т.К., Сандакова С.Л. Зимние селитебные орнитокомплексы юго-восточного Подмосковья. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;3(2):401. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-01

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-01

Winter residential ornithocomplexes of the south-eastern Moscow Region

Matvey Yu. Artiyukhov[1], Tatiana K. Zheleznova[1], Svetlana L. Sandakova[2]

[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
[2] Tuvan State Univ, Kyzyl, Russia

Corresponding author: Matvey Yu. Artiyukhov, OLoryy@yandex.ru

Annotation
Although studies of the avifauna in the cities of the Moscow Region have been carried out since the early 19th century, the vast majority have focused solely on species diversity and have been conducted during the warm season, from spring to autumn. This article examines the quantitative parameters of winter residential avicomplexes in three cities (highly

© Артюхов М.Ю., Железнова Т.К., Сандакова С.Л., 2026
© Artyukhov M. Yu., Zheleznova T.K., Sandakova S.L., 2026

urbanized Ramenskoe, less built-up Voskresensk, and the regional centre Kolomna, located farther from the capital) and two settlements (the small, predominantly garden suburb Vinogradovo and the former workers' settlement Peski). The parameters assessed include bird abundance during the winter season, dominant species by abundance, and species diversity. Bird abundance across the study areas ranged from 960 to 1,705 individuals/km^2, with lower values in cities compared to settlements, owing to the higher abundance of dominant species in the latter. The predominant wintering species were exclusively typical sedentary urban birds: rock pigeon, jackdaw, great tit, and Eurasian tree sparrow, which accounted for 10% to 40% of the total population density. A total of 45 bird species were recorded, with the number of species per locality ranging from 23 to 31; species richness was higher in settlements than in cities, following the same pattern as abundance.

Keywords
Settlements, bird abundance, dominant species, species richness

For citation
Artyukhov M.Yu., Zheleznova T.K., Sandakova S.L. Winter residential ornithocomplexes of the south-eastern Moscow Region. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):401. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-01

Введение
Introduction

Исследования орнитофауны Московского региона довольно продолжительны и охватывают период с начала XIX в. (описание зоологами того времени видового разнообразия птиц в естественных местообитаниях [1]) до наших дней (видовой состав птиц населенных пунктов и их фенология – в частности, статусы гнездования и пребывания [2]). При этом количественные данные, характеризующие население птиц и видовой состав наиболее обильных представителей, весьма фрагментарны.

Особенно это касается зимнего времени года: наибольшее внимание уделяется периоду лета ввиду гнездования птиц, а также периодам весны и осени по причине отлета размножающихся у нас видов и пролета более северных, тогда как зимние встречи и прочие экологические параметры рассматриваются реже. Из немногочисленных примеров можно упомянуть исследования, регулярно публикующиеся в журнале «Московка» [3], а также данные по северо-западному Подмосковью, собранные Т.К. Железновой и Н.К. Железновым-Чукотским [4].

Цель исследований: изучение зимних аспектов орнитокомплексов птиц юго-восточного Подмосковья.

Задачи:

1. Рассмотреть зимнее обилие птиц в населенных пунктах юго-восточного Подмосковья.

2. Охарактеризовать доминантные виды птиц на территории изучаемых урочищ.

3. Описать видовое богатство птиц трех городов и двух поселков.

Методика исследований
Research method

В зимний период (с 16 ноября по 28 февраля) 2023-2026 гг. в юго-восточном Подмосковье были обследованы 3 города: Раменское, Воскресенск, Коломна, а также 2 поселка: Виноградово и Пески (рис. 1). Во время проведения исследований средние температуры колебались от –9 до –1°С, уровень снежного покрова составлял от 3 до 52 см [5]. Учеты птиц проводились по методике Ю.С. Равкина [6] в каждом из этих населенных пунктов с двухнедельной повторностью. Норма учета составляла 5 км; всего было проведено 35 учетов общей протяженностью 175 км. Маршруты в населенных пунктах прокладывали с охватом наибольшего топического разнообразия (многоэтажные, одноэтажные районы, парки при наличии, реки и пруды, кладбища и поля и т.д.).

Все обследованные в ходе работы города можно условно подразделить на три основные группы по размеру и застройке. Раменское, наиболее близкое к Москве (30 км от МКАД), характеризуется наибольшей площадью многоэтажной застройки. На территории представлена не только железная дорога от Москвы в сторону Рязани, но и довольно крупное Донинское шоссе. Кроме того, в Раменском представлены фабрики – такие, как приборостроительный концерн «Авионика». Воскресенск характеризуется наименьшей площадью многоэтажных районов, которые занимают только центр города, тогда как большую его часть составляет малоэтажная застройка. Коломна, удаленная от Москвы более чем на 100 км, по характеру застройки занимает промежуточное положение между Раменским и Воскресенском. Коломна представлена как довольно крупными многоэтажными, так и дачными участками.

Поселки подразделяются на две основные группы: более крупные рабочие поселки (Пески) и более мелкие дачные поселки (Виноградово). Пески характеризуется наличием очень небольшой по площади (4,1 га) многоэтажной застройки рядом с железной дорогой, а Виноградово представлено практически из малоэтажных домов и дачных участков. Можно отметить близость

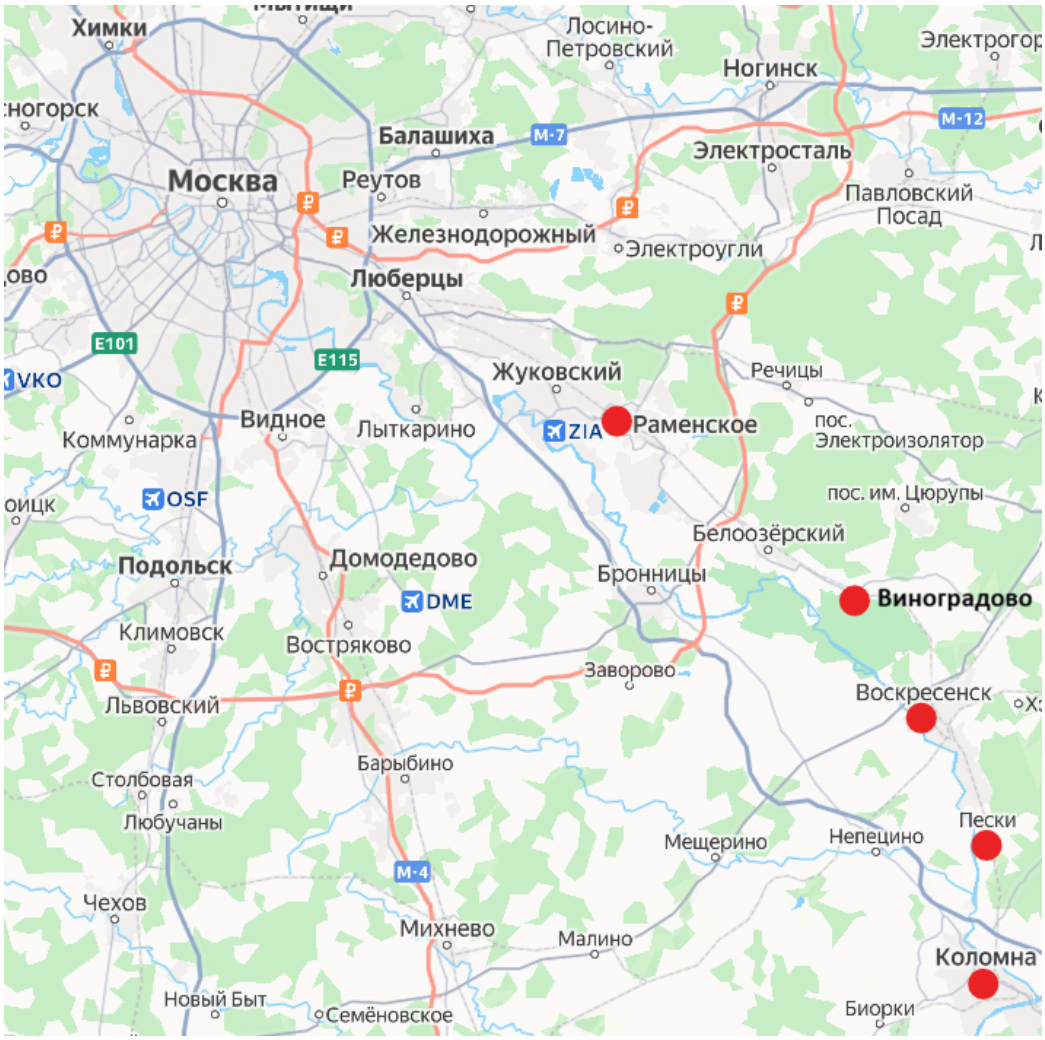


Рисунок 1. Места проведения исследований в юго-восточном Подмосковье (отмечены красным).

Figure 1. Study sites in the south-eastern Moscow Region (marked in red).

Виноградово к Москворецкому пойменному заказнику и большое разнообразие мест обитания в Песках (лесные участки, поймы небольшой Мезенки и крупной Москвы-реки, поля на севере и востоке поселка).

В статье рассматриваются среднезимние показатели обилия птиц, рассчитанные на квадратный километр. Степень доминирования птиц определялась как составляющая не менее 10% от общей плотности населения [4]. Фоновыми считались те виды, обилие которых составляло не менее 1 особи/км^2 [4]. Латинские названия птиц приводятся в соответствии с данными М.В. Калякина и др. [7].

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Результаты исследований продемонстрировали, что наибольшее обилие птиц в зимний период было характерно для поселков. В осенний период в отличие от зимнего по плотности населения доминировали птицы городов [8]. Вероятно, это обусловлено прикочевкой птиц из окружающих поселки ландшафтов (табл. 1) в суровые по погодным условиям зимы 2023-2026 гг. Наименьшее обилие было характерно для Раменского, которое привлекает меньшее число слабосинантропных видов.

В городах зимой наблюдалось уменьшение обилия птиц относительно осени, а в поселках обилие, наоборот, увеличивалось почти в два раза за счет большой синицы *Parus major* Linnaeus, 1758, и полевого воробья *Passer montanus* (Linnaeus, 1758) [8].

Доминантными видами зимой в юго-восточной части Подмосковья можно было назвать сизого голубя *Columba livia* Gmelin, 1789 (28-39% от суммарного обилия птиц), галку *Coloeus monedula* (Linnaeus, 1758), серую ворону *Corvus cornix* Linnaeus, 1758, большую синицу и полевого воробья. Данные виды являются типичными городскими оседлыми видами. В сравнении с осенним периодом новые доминанты не появились [8].

Таблица 1. Количественные показатели населения птиц селитебных местообитаний юго-востока Московской области в зимний период 2023-2026 гг.

Table 1. Quantitative parameters of the bird population in residential ornithocomplexes of the south-eastern Moscow Region during the winter period of 2023-2026.

Населенные пункты *Localities*	**Суммарное обилие птиц, особей/км²** *Total bird abundance, individuals/km²*	**Число видов птиц** *Number of bird species*	**Число фоновых видов** *Number of background species*
г. Раменское *Ramenskoe city*	968	26	22
г. Воскресенск *Voskresensk city*	1110	23	22
г. Коломна *Kolomna city*	1039	23	16
пос. Виноградово *Vinogradovo settlement*	1702	28	25
пос. Пески *Peski settlement*	1646	31	27

Галка как доминант была представлена в менее урбанизированных и более удаленных от Москвы городах с большим количеством открытых свалок для ее кормежки (Воскресенск и Коломна, 19-21%). Относительно периода осени обилие этого вида повышалось в Воскресенске, тогда как в Коломне было отмечено снижение показателя [8]. В Воскресенске и Коломне в качестве доминанта также была представлена серая ворона (15.7 и 13.9% соответственно).

На территории всех населенных пунктов преобладала большая синица, а ее доля обилия варьировала от 10 до 24% в разных урочищах. Наибольшие показатели были характерны для поселков, а наименьший отмечен для Коломны. В сравнении с периодом осени в определенных местах исследования обилие уменьшалось, в других – повышалось [8]. Динамика обилия может быть связана с наличием источников питания в снежный период.

Только в Воскресенске была невелика плотность населения полевого воробья, тогда как в остальных урочищах он являлся доминантным видом (10-29%). Наибольшая плотность населения у этого вида зарегистрирована в Виноградово, где вид концентрируется в многочисленных кустарниковых зарослях на дачных участках. Наименьшая плотность населения была характерна для Раменского с небольшим количеством таких микростаций.

Общее число видов птиц, наблюдаемых в зимний период в населенных пунктах юго-востока Московской области, составило 45 (табл. 2).

Количество видов в обследованных населенных пунктах варьировало от 23 до 31. Наибольшее количество видов было зарегистрировано в пос. Пески ввиду высокого разнообразия находящихся в его черте микростаций, наименьшее – для Воскресенска и Коломны, вероятно, по причине недостатка доступных даже в холодное время года антропогенных кормов в городах с меньшей по площади многоэтажной застройкой.

В сравнении с периодом осени [8] количество видов зимой сильно сокращалось во всех городах по мере исчезновения поздних мигрантов. На зимовку оставались в основном типичные оседлые птицы (сизый голубь, представители семейств Врановые, Синицевые Paridae, Воробьиные Passeridae). Отдельно были отмечены случаи зимовки обычно перелетных видов. Более чем в двух населенных пунктах была отмечена кряква *Anas platyrhynchos* Linnaeus, 1758, зимовавшая на отдельных незамерзающих водоемах за счет подкормки человеком, и сизая чайка *Larus canus* Linnaeus, 1758, которая встречалась в пролете или на полигонах ТБО, где питалась пищевыми отходами. Кроме того, были отмечены виды, прибывающие зимой в города в поисках пищи, – например, снегирь *Pyrrhula pyrrhula* (Linnaeus, 1758).

Таблица 2. Зимнее обилие птиц в городах и поселках юго-востока Московской области, 2023-2026 гг., особей/км^2

Table 2. Winter bird abundance in cities and settlements of the south-eastern Moscow Region, 2023-2026, individuals/km^2.

Виды птиц *Species of birds*	**Населенные пункты** *Settlements*				
	г. Раменское *Ramenskoe city*	**г. Воскресенск** *Voskresensk city*	**г. Коломна** *Kolomna city*	**пос. Виноградово** *Vinogradovo settlement*	**пос. Пески** *Peski settlement*
Кряква *Mallard*	0	0	2	0	3
Болотный лунь *Western marsh harrier*	0	0	0	0.6	0
Перепелятник *Eurasian sparrowhawk*	1	0	0	2	0
Обыкновенная пустельга *Common kestrel*	0.7	0	0	0	0
Серая куропатка *Grey partridge*	0	0	0	0	30
Серебристая чайка *European herring gull*	0	0	0	0	4
Сизая чайка *Common gull*	1	8	0.8	0.6	18
Сизый голубь *Rock dove*	382	320	320	66	49
Кольчатая горлица *Eurasian collared dove*	0	0	0	0.6	0
Зелёный дятел *European green woodpecker*	0	0	0	0	0.6
Седой дятел *Grey-headed woodpecker*	0	0	0	0	8
Желна *Black woodpecker*	0	1	0	8	0
Большой пёстрый дятел *Great spotted woodpecker*	6	8	1	20	32
Сирийский дятел *Syrian woodpecker*	0	0	0.2	0	0.6

Продолжение табл. 2 / Table 2 continued

Виды птиц *Species of birds*	**Населенные пункты** *Settlements*				
	г. Раменское *Ramenskoe city*	**г. Воскресенск** *Voskresensk city*	**г. Коломна** *Kolomna city*	**пос. Виноградово** *Vinogradovo settlement*	**пос. Пески** *Peski settlement*
Белоспинный дятел *White-backed woodpecker*	0	0	0.6	0	0
Малый пёстрый дятел *Lesser spotted woodpecker*	2	1	0	0	0
Серый сорокопут *Great grey shrike*	0	0	0	0	0.6
Обыкновенный скворец *Common starling*	0	0	0.2	4	0
Сойка *Eurasian jay*	9	2	1	10	10
Сорока *Eurasian magpie*	3	1	0.7	45	51
Галка *Western jackdaw*	95	215	226	60	77
Грач *Rook*	1	8	21	0	28
Серая ворона *Hooded crow*	73	175	145	12	94
Ворон *Common raven*	4	6	1	27	7
Свиристель *Bohemian waxwing*	0	0	0	65	114
Крапивник *Eurasian wren*	0	0	0	16	0
Желтоголовый королёк *Goldcrest*	0.7	0	0	0	0
Рябинник *Fieldfare*	0.9	25	13	122	19
Чёрный дрозд *Common blackbird*	0	0	0	8	0

Окончание табл. 2 / Table 2 finished

Виды птиц *Species of birds*	**Населенные пункты** *Settlements*				
	г. Раменское *Ramenskoe city*	**г. Воскресенск** *Voskresensk city*	**г. Коломна** *Kolomna city*	**пос. Виноградово** *Vinogradovo settlement*	**пос. Пески** *Peski settlement*
Ополовник *Long-tailed tit*	4	4	0	30	64
Пухляк *Willow tit*	3	1	0.7	5	10
Московка *Coal tit*	0	0.3	0	0	0
Лазоревка *Eurasian blue tit*	14	29	19	34	50
Большая синица *Great tit*	227	176	112	245	402
Обыкновенный поползень *Eurasian nuthatch*	5	3	2	18	12
Обыкновенная пищуха *Eurasian treecreeper*	1	2	0	2	8
Домовый воробей *House sparrow*	14	34	26	168	52
Полевой воробей *Eurasian tree sparrow*	100	82	141	508	342
Обыкновенная зеленушка *European greenfinch*	4	0	1	0	3
Чиж *Eurasian siskin*	0	0	0	120	12
Щегол *European goldfinch*	0	3	0	27	0.6
Коноплянка *Common linnet*	0	0	0	0	1
Обыкновенная чечётка *Common redpoll*	9	0	0.2	0	0
Клёст-еловик *Red crossbill*	0.7	0	0	0	0
Обыкновенный снегирь *Eurasian bullfinch*	7	6	5	79	144

В Коломне были отмечены расселившиеся в регион с юга сирийский дятел *Dendrocopos syriacus* (Hemprich, Ehrenberg, 1833) и с запада – белоспинный дятел *Dendrocopos leucotos* (Bechstein, 1802) [9], а также зимующий обыкновенный скворец *Sturnus vulgaris* Linnaeus, 1758, на полигоне ТБО.

На территории Виноградово из числа нерегулярно зимующих видов были обнаружены в довольно теплое время начала декабря болотный лунь *Circus aeruginosus* (Linnaeus, 1758) и крапивник *Troglodytes troglodytes* (Linnaeus, 1758), а также отмечены кольчатая горлица *Streptopelia decaocto* (Frivaldszky, 1838), обыкновенный скворец и черный дрозд *Turdus merula* Linnaeus, 1758.

Орнитофауна пос. Пески включала в себя такие виды, как серая куропатка *Perdix perdix* (Linnaeus, 1758), зеленый *Picus viridis* Linnaeus, 1758, седой *Picus canus* Gmelin, 1788, сирийский дятлы и серый сорокопут *Lanius excubitor* Linnaeus, 1758.

Были отмечены виды птиц, внесенные в Красные книги Москвы [10] и Московской области [9]: зеленый, седой, белоспинный дятлы и серый сорокопут. Также были отмечены виды птиц, которые не включены в Красную книгу Московской области, но находятся на постоянном наблюдении: обыкновенная пустельга *Falco tinnunculus* Linnaeus, 1758, серая куропатка и кольчатая горлица.

Выводы
Conclusions

1. Обилие птиц в населенных пунктах зимой варьирует от 950 до 1725 особей/км^2, что связано с различием состава кормов и погодных условий в разные годы исследований, а также с особенностями отдельных урочищ.

2. В качестве доминантов охарактеризованы типичные урбофилы, а именно сизый голубь, галка, серая ворона, большая синица и полевой воробей.

3. Видовое богатство птиц в зимний период варьирует в городах от 23 до 26, в поселках – от 28 до 31 вида.

Список источников

1. Dwigubskij I.A. *Primitiae faunae mosquensis seu Enumeratio animalium, quae sponte circa Mosquam vivunt, quam speciminis loco pro gradu medicinae d-ris legitime consequendo conscripsit… Ioannes*. Mosqua Luby, Hary & Popow, 1802:215.
2. Птушенко Е.С., Иноземцев А.А. *Биология и хозяйственное значение птиц Московской области и сопредельных территорий*. Москва: Издательство Московского университета, 1968:461.
3. Куркамп Х.Г. Прилет птиц весной 2025 г. *Московка. Новости программы Птицы Москвы и Подмосковья*. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2025;(42):26-40.
4. Железнова Т.К., Железнов-Чукотский Н.К., Воронов Б.А. *Птицы северо-западного Подмосковья*. Москва: У Никитских ворот, 2024:408.
5. Gismeteo. *Gismeteo*. URL: https://www.gismeteo.ru (дата обращения: 04.06.2026).
6. Равкин Ю.С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах. *Природа очагов лесного энцефалита на Алтае*. Новосибирск: Наука, 1967:66-75.
7. Калякин М.В., Волцит О.В., Конторщиков В.В. и др. *Аннотированный список видов птиц Москвы и Московской области*. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2023:60.
8. Артюхов М.Ю., Железнова Т.К. Осенние орнитокомплексы городов и поселков юга Московской области. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион.*

References

1. Dwigubskij I.A. *Primitiae faunae mosquensis seu Enumeratio animalium, quae sponte circa Mosquam vivunt, quam speciminis loco pro gradu medicinae d-ris legitime consequendo conscripsit… Ioannes*. Mosqua Luby, Hary & Popow, 1802:215. (In Latin)
2. Ptushenko E.S. *Biological and economic significance of birds in the Moscow Region and adjacent territories.* Moscow, USSR: Lomonosov Moscow State University, 1968:461. (In Russ.)
3. Kurkamp Kh.G. Arrival of birds in spring of 2025. *Moskovka. News of the program Birds of Moscow and the Moscow Region.* Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd., 2025;(42):26-40. (In Russ.)
4. Zheleznova T.K., Zheleznov-Chukotsky N.K., Voronov B.A. *Birds of the north-western Moscow Region.* Moscow, Russia: At the Nikitsky Gates, 2024:408. (In Russ.)
5. Gismeteo. *Gismeteo*. URL: https://www.gismeteo.ru (accessed: June 04, 2026).
6. Ravkin Yu.S. On the methodology of bird counts in forest landscapes. *The nature of foci of tick-borne encephalitis in Altai.* Novosibirsk, USSR: Nauka, 1967:66-75. (In Russ.)
7. Kalyakin M.V., Voltsit O.V., Kontorshchikov V.V. et al. *An annotated list of bird species in Moscow and the Moscow Region.* Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd., 2023:60. (In Russ.)
8. Artyukhov M.Yu., Zheleznova T.K. Autumn ornithocomplexes of towns and villages in southern Moscow Region. *University Proceedings. Volga Region. Natural*

Естественные науки. 2025;(4(52)):20-30. https://doi.org/10.21685/2307-9150-2025-4-3

9. Министерство экологии и природопользования Московской области; Комиссия по редким и находящимся под угрозой исчезновения видам животных, растений и грибов Московской области. *Красная книга Московской области (издание третье, дополненное и переработанное)*. М.О.: ПФ «Верховье», 2018:810.
10. Департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы; Комиссия по редким и находящимся под угрозой исчезновения в условиях города Москвы видам животных и растений. *Красная книга города Москвы. 3-е издание, переработанное и дополненное*. Москва: ООО «ОСТ ПАК новые технологии», 2022:848.

Sciences. 2025;(4(52)):20-30. (In Russ.) https://doi.org/10.21685/2307-9150-2025-4-3

9. Ministry of Ecology and Nature Management of the Moscow Region; Commission on Rare and Endangered Species of Animals, Plants, and Fungi of the Moscow Region. *Red Data Book of the Moscow Region* (third edition, supplemented and revised). Moscow Region, Russia: PF «Verkhov'e», 2018:810. (In Russ.)
10. Moscow Department of Nature Management and Environmental Protection; Commission on Rare and Endangered Species of Animals and Plants in Moscow. *Red Data Book of Moscow.* 3rd edition, revised and supplemented. Moscow, Russia: OOO "OST PAK novyye tekhnologii", 2022:848. (In Russ.)

Сведения об авторах

Матвей Юрьевич Артюхов, аспирант кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; OLoryy@yandex.ru

Татьяна Константиновна Железнова, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; larus-minutus@yandex.ru

Светлана Линховоевна Сандакова, доктор биологических наук, профессор кафедры биологии и экологии, Тувинский государственный университет; 667000, Россия, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Ленина, 36; sandsveta@mail.ru

Information about the authors

Matvey Yu. Artyukhov, postgraduate student of the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; OLoryy@yandex.ru

Tatiana K. Zheleznova, DSc (Bio), Associate Professor, Professor at the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; larus-minutus@yandex.ru

Svetlana L. Sandakova, DSc (Bio), Professor at the Department of Biology and Ecology, Tuvan State Univ; 36 Lenina St., Kyzyl, Republic of Tyva, 667000, Russian Federation; sandsveta@mail.ru

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests
The authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 06.05.2026
Одобрена после рецензирования 27.05.2026
Принята к публикации 27.05.2026

The article was submitted to the editorial office May 06, 2026
Approved after reviewing May 27, 2026
Accepted for publication May 27, 2026

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 597.554.3:639.33
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-02

Гематологическая характеристика сиговых рыб в аквариальных условиях

Галина Иозеповна Пронина[1], Дат Ван Чан[1], Илья Владимирович Морозов[1], Дмитрий Владимирович Артеменков[2]

[1] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Галина Иозеповна Пронина, gidrobiont4@yandex.ru

Аннотация
Для оценки состояния здоровья и иммунного статуса рыб в аквакультуре важно изучить картину крови и определить референтные значения гематологических показателей. Исследования сиговых рыб в этом отношении являются недостаточными, в связи с чем целью настоящей работы являлась сравнительная гематологическая характеристика разных видов сиговых рыб. В статье представлены результаты исследования гематологических показателей у трех видов сиговых рыб: сига-пыжьяна (*Coregonus lavaretus*), муксуна (*Coregonus muksun*) и чира (*Coregonus nasus*) со средней массой тела от 30.5 до 37.1 г. Результаты показали, что содержание гемоглобина варьировало от 8.75 до 9.40 мг%, количество эритроцитов составляло от 0.53 до 0.84×10^{12}/л. У всех трех исследованных видов сиговых рыб в эритрограмме преобладали зрелые эритроциты (>90%). В лейкоцитарной формуле доминировали лимфоциты, при этом эозинофилы не были обнаружены ни в одной из трех групп сиговых рыб. Имелись видовые различия. По числу эритроцитов сиг имеет наименьшее значение показателя, что связано с адаптацией к большим глубинам обитания. Доля незрелых форм эритроидного ряда была достоверно выше у муксуна, чем у сига и чира. Процент лимфоцитов в лейкоцитарной формуле у этого вида составил 77.4% по сравнению с уровнем 92.5 и 92.4% у двух других видов сиговых рыб. У муксуна в отличие от сига и чира значительно выше доля палочкоядерных нейтрофилов, которая составила 5.2% (по сравнению с 1.0% у сига и 0.3% у чира), и доля сегментоядерных нейтрофилов – 6.1% (по сравнению с 1.9% у сига и 0.4% у чира), а также моноцитов – на 75% (в четыре раза) и 56% (более чем в два раза) соответственно.

Ключевые слова
лейкограмма, клетки крови, сиговые рыбы, сиг, муксун, чир, гематологические показатели

Для цитирования
Пронина Г.И., Чан В.Д., Морозов И.В., Артеменков Д.В. Гематологическая характеристика сиговых рыб. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(2):402. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-02

© Пронина Г.И., Чан В.Д., Морозов И.В., Артеменков Д.В., 2026
© Pronina G.I., Tran V.D., Morozov I.V., Artemenkov D.V., 2026

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-02

Hematological characteristics of whitefish under aquarium conditions

Galina I. Pronina[1], Dat V. Tran[1], Ilia V. Morozov[1], Dmitriy V. Artemenkov[2]

[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
[2]Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

Corresponding author: Galina I. Pronina, gidrobiont4@yandex.ru

Abstract
To assess the health status and immune status of fish in aquaculture, it is important to study blood profiles and establish reference values for hematological parameters. Research on whitefish in this regard remains insufficient. Thus, the aim of the present study was to provide a comparative hematological characterization of different whitefish species. This article presents the results of a study on hematological parameters in three species of whitefish: Siberian whitefish (*Coregonus pidschian*), muksun (*Coregonus muksun*), and broad whitefish (*Coregonus nasus*), with average body weights ranging from 30.5 to 37.1 g. The results showed that hemoglobin content varied from 8.75 to 9.40 mg%, and the erythrocyte count ranged from 0.53 to 0.84×10^{12}/L. In all three whitefish species studied, mature erythrocytes predominated in the erythrogram (>90%). The leukocyte formula was dominated by lymphocytes, while eosinophils were not detected in any of the three whitefish groups. Species-specific differences were observed. The Siberian whitefish exhibited the lowest erythrocyte count, which is associated with its adaptation to greater depths. The proportion of immature erythroid cells was significantly higher in muksun than in Siberian whitefish and broad whitefish. The percentage of lymphocytes in the leukocyte formula was 77.4% in muksun, compared to 92.5% and 92.4% in the other two species. Unlike Siberian whitefish and broad whitefish, muksun had a significantly higher proportion of band neutrophils (5.2%, compared to 1.0% in Siberian whitefish and 0.3% in broad whitefish), segmented neutrophils (6.1%, compared to 1.9% in Siberian whitefish and 0.4% in broad whitefish), and monocytes (75% and 56% higher, i.e., fourfold and more than twofold, respectively).

Keywords
Leukogram, blood cells, whitefish, Siberian whitefish, muksun, broad whitefish, hematological parameters

For citation
Pronina G.I., Tran V.D., Morozov I.V., Artemenkov D.V. Hematological characteristics of whitefish under aquarium conditions. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):402. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-02

Введение
Introduction

Сиговые (семейство Coregonidae) – это группа экономически ценных рыб, включающая в себя такие важные эксплуатируемые виды, как сиг обыкновенный *Coregonus lavaretus* (Linnaeus, 1758), муксун *C. muksun* (Pallas, 1814) и чир *C. nasus* (Pallas, 1776). Однако в настоящее время их популяции находятся под угрозой сокращения, а также возникают значительные трудности при их искусственном разведении. Согласно исследованиям Быкова и др. (2024) за последние полвека улов ценных видов – таких, как осетр, лосось и сиг, значительно сократился [1]. Поэтому оценка биологических и физиологических характеристик этой группы рыб имеет большое значение в их аквакультуре и в искусственном разведении.

Гематологические показатели рассматриваются как чувствительный инструмент для оценки физиологических изменений, адаптационных возможностей и нарушений у рыб под воздействием факторов среды [2]. В своем исследовании Gashkina et al. (2022) использовали биологический ответ сиговых в качестве биомаркера для оценки чувствительности к загрязнению в районе озера Большая Имандра [3]. Кроме того, Заботкина и Середняков (2020) зафиксировали сезонную изменчивость гематологических показателей и появление морфологических аномалий эритроцитов как биологических индикаторов качества воды [4].

Цель исследований: сравнительная гематологическая характеристика разных видов сиговых рыб.

Методика исследований
Research method

Объектом исследований являются три группы сиговых видов рыб: сиг-пыжьян (*C. pidschian*), муксун (*C. muksun*) и чир (*C. nasus*) со средней

массой тела 30.5 ± 2.6; 37.1 ± 4.6 и 32.3 ± 4.9 г соответственно, содержавшиеся в 400-литровых аквариумах при температуре воды +5-6°С. Рыбы содержались в аквариальных условиях. Использовались 400-литровые аквариумы с принудительной аэрацией и фильтрацией погружными фильтрами. Кормление рыб осуществлялось комбикормом для сиговых рыб с содержанием 50% белка и 17% жира. Суточная норма кормления составляла 2% от массы рыбы.

Для анализа гематологических показателей отбор крови в ходе эксперимента осуществлялся прижизненно (по 5 особей из каждой группы рыб). Для забора крови использовали шприцы с инъекционными иглами, предварительно обработанными антикоагулянтом – раствором 0.2%-ного гепарина. Место пункции – хвостовая вена у исследуемых рыб.

После забора крови уровень гемоглобина измеряли методом Сали. Этот метод предполагает реакцию соляной кислоты с гемоглобином с образованием солянокислого гематина и последующее визуальное определение количества гемоглобина путем сопоставления и сравнения цвета исследуемого образца со стандартными растворами, которые находятся в двух боковых камерах гемометра [5].

Количество эритроцитов и лейкоцитов определяли на мазках крови, окрашенных по Паппенгейму, с помощью микроскопа МИКРОМЕД при увеличении 10×100, оснащенного камерой (ToupCam 9.0 MP, Китай), подключенной к компьютеру с программным обеспечением ToupView.

Статистическая обработка цифрового материала производилась по Стьюденту с помощью программы Excel. Проверка на нормальность распределения проводилась по критерию Манна-Уитни. Результаты представлены в виде средней арифметической ± стандартная ошибка средней (M ± m). Достоверными считались различия при $p \leq 0.05$.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Результаты исследований показали, что по количеству гемоглобина рыбы изучаемых видов достоверно не различались. Концентрация гемоглобина у трех групп рыб колебалась от 8.75 до 9.40 мг% (табл. 1).

Наименьшее число эритроцитов отмечено у сига. Вероятно, эта видовая особенность связана с адаптацией к обитанию на более низких глубинах, где выше давление и ниже температура. У рыб снижается вязкость крови, что облегчает работу сердца и обеспечивает эффективное снабжение тканей кислородом, растворенным в холодной воде [6]. Сиг, муксун и чир являются холодолюбивыми представителями сиговых, предпочитающими чистую воду и значительные глубины. Сиг часто держится на глубинах более 50 м (в озерах), муксун – на глубинах 8-20 м, чир часто встречается в реках и проточных озерах [7, 8].

Микроскопическая картина крови изучаемых сиговых рыб представлена на рисунке 1.

Морфологическая картина крови сиговых рыб показала, что бластные формы эритроцитов

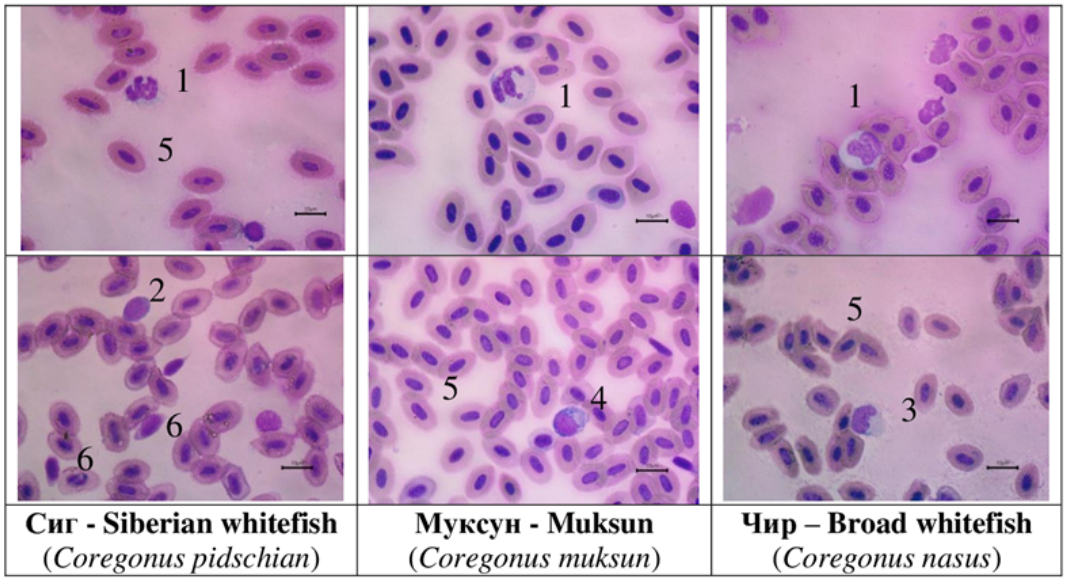


Рисунок 1. Картина крови рыб. 1 – сегментоядерный нейтрофил, 2 – лимфоцит, 3 – моноцит, 4 – промиелоцит, 5 – зрелые эритроциты, 6 – тромбоцит.

Figure 1. Fish blood smear. 1 – segmented neutrophil, 2 – lymphocyte, 3 – monocyte, 4 – promyelocyte, 5 – erythrocytes, 6 – thrombocyte.

Таблица 1. Гематологические показатели у сиговых рыб.

Table 1. Hematological parameters in whitefishes.

Показатели *Indicators*	**Вид** *Species*		
	сиг *Siberian whitefish*	**муксун** *muksun*	**чир** *broad whitefish*
	a	**b**	**c**
Гемоглобин, мг% *Hemoglobin, mg%*	9.35 ± 0.35	8.75 ± 0.75	9.40 ± 0.80
Число эритроцитов, шт×10^{12}/л *Red blood cells, pcs×10^{12}/л*	0.53 ± 0.07	0.77 ± 0.08[a]	0.84 ± 0.07[a]
Эритрограмма *Erythrogram*			
Эритробласты *Erythroblasts*	0	0.5 ± 0.2	0
Базофильные нормобласты *Basophilic normoblasts*	0.4 ± 0.1	1.2 ± 0.5	5.2 ± 0.7[ab]
Полихроматофильные нормобласты *Polychromatophilic normoblasts*	2.5 ± 0.2	5.1 ± 0.4	1.9 ± 0.2
Зрелые эритроциты *Erythrocytes*	97.1 ± 1.8	93.2 ± 2.2	92.9 ± 1.3
Лейкоцитарная формула *Differential blood count*			
Миелобласты *Myeloblasts*	0.8 ± 0.4	1.1 ± 0.5	0.9 ± 0.3
Промиелоциты *Promyelocytes*	0.2 ± 0.1	1.2 ± 0.3[a]	1.3 ± 0.4[a]
Миелоциты *Myelocytes*	1.4 ± 0.4	0.9 ± 0.3	1.1 ± 0.4
Метамиелоциты *Metamyelocytes*	0.3 ± 0.2	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.2
Палочкоядерные нейтрофилы *Band neutrophils*	1.0 ± 0.3	5.2 ± 0.6[a]	0.3 ± 0.2[b]
Сегментоядерные нейтрофилы *Segmented neutrophils*	1.9 ± 0.4	6.1 ± 0.7[a]	0.4 ± 0.2[ab]
Эозинофилы *Eosinophils*	0	0	0

Показатели *Indicators*	**Вид** *Species*		
	сиг *Siberian whitefish*	**муксун** *muksun*	**чир** *broad whitefish*
	a	**b**	**c**
Базофилы *Basophils*	0	0.5 ± 0.2	0.2 ± 0.1
Моноциты *Monocytes*	1.9 ± 0.4	7.5 ± 1.3[a]	3.3 ± 0.8[b]
Лимфоциты *Lymphocytes*	92.5 ± 1.4	77.4 ± 1.7[a]	92.4 ± 2.8[b]

Примечание. Буква (a, b, c) указывает на группу, в сравнении с которой были обнаружены статистически значимые различия.

Note. The letter (a, b, c) indicates the group with which statistically significant differences were found.

представлены эритробластами округлой формы с крупным ядром, расположенным в центре, занимающим большую часть клетки и обычно окрашивающимся в розовато-фиолетовый цвет при окраске. Базофильные нормобласты характеризуются округлым ядром, меньшими размерами клетки по сравнению с эритробластами и цитоплазмой серовато-голубоватого цвета. Зрелые эритроциты у всех изученных видов сиговых рыб имеют овальную форму. Их ядро вытянуто, располагается центрально и окрашивается в фиолетовый или розово-фиолетовый цвет при использовании метода окрашивания Паппенгейма.

Основной долей в лейкограмме рыб являются лимфоциты – округлые или сферические клетки с крупным ядром, занимающим большую часть клетки, и узким ободком базофильной цитоплазмы, окрашивающейся в синий цвет. Незрелые формы миелоидного ряда: миелобласты, промиелоциты, миелоциты – составляют небольшой процент. Морфологические различия в основном заключаются в уменьшении ядерно-цитоплазменного отношения по мере созревания клеток. Палочкоядерные нейтрофилы имеют ядро в виде изогнутой палочки или подковы без разделения на сегменты. Ядро сегментоядерных нейтрофилов состоит из 2-3 долей, соединенных тонкими перемычками. Моноциты представляют собой клетки с крупным ядром бобовидной или подковообразной формы, которое обычно расположено эксцентрично; цитоплазма окрашивается в голубовато-синий цвет.

В эритрограмме всех изучаемых сиговых рыб присутствует более 90% зрелых эритроцитов. У муксуна имеются бластные клетки эритроидного ряда. Доля базофильных нормобластов в эритрограмме чира достоверно более высокая по сравнению с другими изучаемыми видами.

У муксуна в лейкограмме наблюдается большая доля сегментоядерных нейтрофилов и моноцитов (врожденная клеточная защита – фагоцитарная активность) за счет лимфоцитов, которые отвечают за приобретенный иммунитет.

Эозинофилы отсутствуют у всех изучаемых сиговых рыб. У чира и муксуна присутствует небольшой процент базофилов.

Все показатели не выходили за рамки физиологической нормы для рыб [9].

Выводы
Conclusions

Таким образом, три вида сиговых рыб (*C. pidschian*, *C. muksun*, *C. nasus*), выращиваемых в бассейнах, демонстрируют сходные гематологические показатели. Однако имеются видовые различия. Наименьшее число эритроцитов отмечено у сига пыжьяна. В эритрограмме муксуна имеется в среднем 0.5% эритробластов. В крови чира – большая доля базофильных нормобластов.

Лейкоцитарная формула показывает, что лимфоциты составляют самую высокую долю, при этом присутствие эозинофилов не зарегистрировано ни у одной из трех групп рыб в данных исследованиях. Лейкограмма муксуна содержит больший процент фагоцитов: моноцитов и сегментоядерных нейтрофилов – соответственно при снижении доли лимфоцитов. Эти данные могут быть использованы в качестве референтных значений гематологии сиговых рыб.

Список источников

1. Быков А.Д., Бражник С.Ю., Боркичев В.С. Динамика промышленного вылова рыбы во внутренних водоёмах России за 2014-2023 гг. *Труды ВНИРО*. 2024;196(2):74-106. https://doi.org/10.36038/2307-3497-2024-196-74-106
2. Witeska M., Kondera E., Bojarski B. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology – a review. *Animals*. 2023;13(16):2625. https://doi.org/10.3390/ani13162625
3. Gashkina N.A., Moiseenko T.I., Shuman L.A., Koroleva I.M. Biological responses of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) to reduced toxic impact: Metal accumulation, haematological, immunological, and histopathological alterations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022;239:113659. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113659
4. Заботкина Е.А., Середняков В.Е. Сезонная динамика некоторых показателей крови переславской ряпушки (*Coregonus albula*). *Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН*. 2020;(90(93)):91-96. https://doi.org/10.24411/0320-3557-2020-10014
5. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. *Методология физиолого-иммунологической оценки гидробионтов*. Санкт-Петербург: Лань, 2026:96.
6. Королёва И.М., Терентьев П.М. Гематологические показатели сига обыкновенного (*Coregonus lavaretus* L.) в условиях антропогенного загрязнения (на примере оз. Ковдор). *Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН*. 2018;15:468-471. https://doi.org/10.31241/FNS.2018.15.119
7. Кассал Б.Ю. Результаты векового изучения некоторых особенностей биологии популяции муксуна *Coregonus muksun* Обь-иртышского бассейна. *Экология гидросферы*. 2021;(1(6)):8-27. https://doi.org/10.33624/2587-9367-2021-1(6)-8-27
8. Сендек Д.С., Бочкарев Н.А. Проблемы сохранения видового и внутривидового разнообразия сиговых рыб (сем. Coregonidae) при искусственном воспроизводстве. *Рыбное хозяйство*. 2025;1(4):105-119. https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-4-105-119
9. Пронина Г.И., Корягина Н.Ю. Референсные значения физиолого-иммунологических показателей гидробионтов разных видов. *Вестник Астраханского государственного технического университета*. *Серия*: *Рыбное хозяйство*. 2015;(4):103-108.

References

1. Bykov A.D., Brazhnik S.Y., Borkichev V.S. The dynamics of industrial fish catches in inland waters of Russia in 2014-2023. *Trudy VNIRO*. 2024(1);196:74-106. (In Russ.) https://doi.org/10.36038/2307-3497-2024-196-74-106
2. Witeska M., Kondera E., Bojarski B. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology – a review. *Animals*. 2023;13(16):2625. https://doi.org/10.3390/ani13162625
3. Gashkina N.A., Moiseenko T.I., Shuman L.A., Koroleva I.M. Biological responses of whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) to reduced toxic impact: Metal accumulation, haematological, immunological, and histopathological alterations. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022;239:113659. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113659
4. Zabotkina E.A., Serednyakov V.E. Ыeasonal dynamics of some indicators of blood of Pereslavl vendace (*Coregonus albula*). *Transactions of Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS*. 2020;(90(93)):91-96. (In Russ.) https://doi.org/10.24411/0320-3557-2020-10014
5. Pronina G.I., Koryagina N.Yu. *Methodology of physiological and immunological assessment of aquatic organisms*. St. Petersburg, Russia: Lan, 2026:96. (In Russ.)
6. Korolyova I.M., Terentyev P.M. Hematological parameters of common whitefish (*Coregonus lavaretus L.*) under anthropogenic pollution (case study of Lake Kovdor). *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTs RAN*. 2018;15:468-471. (In Russ.) https://doi.org/10.31241/FNS.2018.15.119
7. Kassal B.Yu. Results of a secular study of some features of the biology of the muksun population *Coregonus muksun* of the Ob-Irtysh basin. *Hydrosphere Ecology*. 2021;(1(6)):8-27. (In Russ.) https://doi.org/10.33624/2587-9367-2021-1(6)-8-27
8. Sendek D.S., Bochkarev N.A. Problems of conservation of species and intraspecies diversity of whitefishes (family Coregonidae) in artificial reproduction. *Fisheries*. 2025;1(4):105-119. (In Russ.) https://doi.org/10.36038/0131-6184-2025-4-105-119
9. Pronina G.I., Koryagina N.Yu. Reference values of physiological and immunological indicators of hydrobionts of different species. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series*: *Fishing Industry*. 2015;(4):103-108. (In Russ.)

Сведения об авторах

Галина Иозеповна Пронина, доктор биологических наук, профессор кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; gidrobiont4@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-0805-6784

Information about the authors

Galina I. Pronina, Dsc (Bio), Professor at the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; gidrobiont4@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0002-0805-6784

Дат Ван Чан, аспирант кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: dattran1069@gmail.com; https://orcid.org/0009-0008-8212-6446

Илья Владимирович Морозов, аспирант 1-го года обучения кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ilymorozovich@mail.ru; https://orcid.org/0009-0008-8763-6912

Дмитрий Владимирович Артеменков, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник департамента промысловых гидробионтов, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии ФГБНУ «ВНИРО»; 105187, Россия, г. Москва, Окружной проезд, 19; dmitriy.artemenkov@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-9051-697X

Dat V. Tran, postgraduate student of the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; dattran1069@gmail.com; https://orcid.org/0009-0008-8763-6912

Ilia V. Morozov, postgraduate student of the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; ilymorozovich@mail.ru; https://orcid.org/0009-0008-8763-6912

Dmitriy V. Artemenkov, CSc (Agr), Senior Research Associate at the Department of Commercial Hydrobionts, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; 105187, Russian Federation, Moscow, Okruzhnoy Dr., 19; dmitriy.artemenkov@gmail.com; https://orcid.org/0000-0002-9051-697X

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests
The authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 21.04.2026
Одобрена после рецензирования 18.05.2026
Принята к публикации 18.05.2026

The article was submitted to the editorial office April 21, 2026
Approved after reviewing May 18, 2026
Accepted for publication May 18, 2026

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 59.009:597.6
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-03

Стабильность возрастной и размерной структуры популяции озерной лягушки (*Pelophylax ridibundus*) в краткосрочный период (2020-2022 гг.)

Роман Александрович Иволга[1], Жаонен Миссиз Минквет-Ми-Мбенг[1], Татьяна Эдуардовна Кондратова[1], Владимир Олегович Ерашкин[1], Елена Алексеевна Астахова[2], Артем Александрович Кидов[1]

[1] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
[2] Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Роман Александрович Иволга, romanivolga@rgau-msha.ru

Аннотация
Земноводные крайне чувствительны к изменениям окружающей среды. В работе представлены результаты изучения методом скелетохронологии выраженности межгодовой флуктуации возрастной и размерной структуры у озерной лягушки (*Pelophylax ridibundus*) в популяции Теберды (Карачаево-Черкессия) в краткосрочный период (2020-2022 гг.). В связи с растущей туристско-рекреационной нагрузкой в районе Теберды и аридизацией климата мы выдвинули гипотезу о том, что возрастная и размерная структура может различаться в разные периоды сбора материала, демонстрируя «омоложение» в 2022 г. В качестве материала для исследований послужили особи *P. ridibundus*, отловленные в оз. Кара-Кель в Тебердинском районе Карачаево-Черкесской Республики в сентябре 2020 г. и в июне 2022 г. Индивидуальный возраст и длина тела особей *P. ridibundus* в выборке 2020 г. были определены для 12 самок и 27 самцов, а в выборке 2022 г. – для 9 самок и 25 самцов. Индивидуальный возраст особей *P. ridibundus* варьировал у самок в диапазоне от 2 до 9 лет, а у самцов – от 2 до 6 лет. Средний возраст половозрелой части популяции статистически значимо не различался в разные периоды сбора материала как у самок, так и у самцов *P. ridibundus*. В исследуемой популяции *P. ridibundus* приступают к размножению в возрасте 3 лет и живут до 7 и 6 лет соответственно, а репродуктивное окно составляет 4 года для самок и 3 года для самцов. Скорректированная по возрасту средняя длина тела статистически значимо не различалась ни у самок, ни у самцов, отловленных в разные периоды. Вопреки гипотезе настоящая работа демонстрирует отсутствие выраженности межгодовых флуктуаций возрастной и размерной структуры у *P. ridibundus* в популяции Теберды в краткосрочном периоде 2020-2022 гг. Стабильность демографических показателей, наблюдаемая в диапазоне 2020-2022 гг., не означает отсутствия долговременного тренда. Для его выявления необходим дополнительный сбор материала в большем временном интервале, а также анализ выживаемости отдельных когорт.

Ключевые слова
Бесхвостые земноводные, продолжительность жизни, демография, скелетохронология, Кавказ, Anura, Ranidae

Для цитирования
Иволга Р.А., Минквет-Ми-Мбенг Ж.М., Кондратова Т.Э. и др. Стабильность возрастной и размерной структуры популяции озерной лягушки (*Pelophylax ridibundus*) в краткосрочный период (2020-2022 гг.). *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(2):403. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-03

© Иволга Р.А., Минквет-Ми-Мбенг Ж.М., Кондратова Т.Э. и др., 2026
© Ivolga R.A., Minkvet-Mi-Mbeng J.M., Kondratova T.E. et al., 2026

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-03

Stability of the age and size structure of the marsh frog (*Pelophylax ridibundus*) population over a short-term period (2020-2022)

Roman A. Ivolga[1], Jaonen M. Minkvet-Mi-Mbeng[1], Tatyana E. Kondratova[1], Vladimir O. Erashkin[1], Elena A. Astakhova[2], Artem A. Kidov[1]

[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
[2] A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia

Corresponding author: Roman A. Ivolga, romanivolga@rgau-msha.ru

Abstract
Amphibians are highly sensitive to environmental change. This study presents the results of an investigation into interannual fluctuations in the age and size structure of the marsh frog (*Pelophylax ridibundus*) population in Teberda (Karachay-Cherkessia) over a short-term period (2020-2022) using the skeletochronological method. Given the increasing tourist and recreational pressure in the Teberda Region, combined with ongoing climate aridisation, we hypothesized that the age and size structure would differ between sampling periods, with a tendency toward 'rejuvenation' in 2022. The material for the study comprised *P. ridibundus* individuals collected from Lake Kara-Kel in the Teberda District of the Karachay-Cherkess Republic in September 2020 and June 2022. Individual age and body length of *P. ridibundus* specimens were determined for 12 females and 27 males in the 2020 sample, and for 9 females and 25 males in the 2022 sample. Individual age of *P. ridibundus* specimens ranged from 2 to 9 years in females and from 2 to 6 years in males. Mean age of the sexually mature segment of the population did not differ significantly between the two sampling periods for either females or males. In the studied population, *P. ridibundus* begins to reproduce at three years of age and lives up to seven years (females) and six years (males), with a reproductive window of four years for females and three years for males. Age-adjusted mean body length did not differ significantly between sampling periods for either sex. Contrary to our hypothesis, the present study demonstrates the absence of pronounced interannual fluctuations in the age and size structure of the *P. ridibundus* population in Teberda over the short-term period 2020-2022. The stability of demographic parameters observed over the 2020-2022 interval does not preclude the existence of a long-term trend. Detecting such a trend will require additional sampling over a broader temporal scale, as well as cohort-specific survival analysis.

Keywords
Tailless amphibians, longevity, demography, skeletochronology, Caucasus, Anura, Ranidae

For citation
Ivolga R.A., Minkvet-Mi-Mbeng J.M., Kondratova T.E. et al. Stability of the age and size structure of the marsh frog (Pelophylax ridibundus) population in the short term (2020-2022). *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):403. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-03

Введение
Introduction

Земноводные являются одной из наиболее уязвимых групп животных в период изменяющегося климата и антропогенной трансформации экосистем [1]. Недавний мета-анализ [2] указал на то, что сокращение видового разнообразия на ранних этапах протекает незаметно путем исчезновения отдельных популяций, далее процесс приобретает накопительный эффект и становится практически необратимым. Для предупреждения потери видового разнообразия требуется проводить постоянный мониторинг существующих популяций с целью оценки их состояния [3]. Ключевым элементом оценки состояния популяций является характеристика возрастной структуры, включающей в себя период достижения половой зрелости, средний возраст и продолжительность жизни особей [3]. Эти данные также могут быть использованы при разработке природоохранных мероприятий с целью сохранения и поддержания численности земноводных ввиду обеспечения стабильности природных экосистем [3-5].

Земноводные крайне чувствительны к изменениям окружающей среды, из-за чего для них характерна межгодовая флуктуация возрастного и размерного составов особей [6, 7]. В научной литературе многократно отмечалось, что возрастная структура разных популяций одного вида земноводных может сильно различаться на протяжении ареала [8-10]. Данные изменения могут быть обусловлены экспансией вида [11-13], антропогенным прессом [3, 14-18], вселением инвазивных видов [19], а также климатическими изменениями [20].

Озерная лягушка (*Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771)) – это широкораспространенный массовый вид земноводных с высокой экологической пластичностью, относящийся к видам, находящимся под наименьшей угрозой [21]. По ареалу максимальная зарегистрированная продолжительность жизни особей в популяциях варьирует от 4 до 11 лет, а возраст полового созревания – от 1 до 4 лет [8]. В нашем распоряжении находился материал для скелетохронологического исследования продолжительности жизни озерной лягушки с территории Теберды, полученный в 2020 и 2022 гг.

Цель исследований: характеристика межгодовой флуктуации возрастной и размерной структуры половозрелых *P. ridibundus* в популяции Теберды.

В связи с растущей туристско-рекреационной нагрузкой в районе Теберды [22, 23] и аридизацией климата [24] мы выдвинули гипотезу о том, что возрастная и размерная структура может различаться в разные периоды сбора материала, демонстрируя «омоложение» в 2022 г.

Методика исследований
Research method

В качестве материала для исследований послужили особи *P. ridibundus*, отловленные в оз. Кара-Кель (43.43679° с.ш., 41.74239° в.д., 1340 м над ур. м.) в Тебердинском районе Карачаево-Черкесской Республики в сентябре 2020 г. и в июне 2022 г. (рис. 1). У отловленных *P. ridibundus* электронным штангенциркулем (погрешность 0.01 мм) измеряли длину тела (*SVL*) и отсекали третью фалангу четвертого пальца правой задней конечности для определения индивидуального возраста особей. После данных процедур животных выпускали в месте поимки. Возраст определяли стандартным методом скелетохронологии [25]. Считали, что индивидуальный возраст соответствовал числу образовавшихся во время зимовок на окрашенном поперечном срезе фаланги пальца темных линий остановки роста. Мы анализировали только срезы середины диафиза кости, то есть участок, где диаметр внутренней полости кости минимален [26], а также использовали метод сопоставления диаметров видимых линий склеивания для определения количества резорбированных линий склеивания [27]. Для анализа использовали только особей с выраженными вторичными половыми признаками и длиной тела > 60 мм [28], которых считали половозрелыми.

Статистический анализ и визуализацию данных осуществляли в программах Statistica 14.0 и OriginPro 2024. Рассчитывали среднее арифметическое (M), стандартное отклонение (SD) и размах (min–max) возраста и длины тела особей из выборок разных годов. Нормальность и гомогенность распределения признаков оценивали критериями Лиллиефорса и Левена. Оценку выживаемости (S) и ожидаемую продолжительность жизни (ESP) лягушек на основании распределения возраста определяли по формулам Себера [29] и Робсона и Чепмена [30]. Для оценки половых и межгодовых различий по среднему возрасту использовали однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), а по длине тела – ковариационный анализ (ANCOVA, возраст в качестве ковариаты). Взаимосвязь длины тела и возраста особей определяли при помощи линейной корреляции Пирсона (r).

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

Индивидуальный возраст и длина тела особей *P. ridibundus* в выборке 2020 г. были определены для 12 самок и 27 самцов, а в выборке 2022 г. – для 9 самок и 25 самцов. На окрашенных препаратах все линии остановки роста были хорошо различимы, что позволило с высокой надежностью определить индивидуальный возраст особей *P. ridibundus* (рис. 2).

Индивидуальный возраст половозрелых особей *P. ridibundus* варьировал у самок в диапазоне от 2 до 9 лет в 2020 г. и от 3 до 6 лет в 2022 г., а у самцов – от 2 до 6 лет в 2020 г. и от 3 до 6 лет в 2022 г. (рис. 3). Разница нижней границы индивидуального возраста особей в разные годы может быть объяснена сезоном сбора материала: в 2020 г. особей *P. ridibundus* отлавливали в сентябре, а в 2022 г. – в июне. По всей видимости, некоторые самки и самцы *P. ridibundus* в популяции Теберды достигают половой зрелости на третьем году жизни перед зимовкой и приступают к размножению только после нее в возрасте трех лет.

Для лучшей интерпретации данных двухлетние особи (1 самка и 2 самца в выборке 2020 г.) были удалены из статистического анализа. Средний



Рисунок 1. Нативный ареал *Pelophylax ridibundus* [21] и место сбора материала для настоящих исследований.

Figure 1. Native range of *Pelophylax ridibundus* [21] and the study sampling site.

возраст половозрелой части популяции статистически значимо не различался в разные периоды сбора материала как у самок ($F_{1, 18} = 0.253$, $p = 0.621$), так и у самцов ($F_{1, 48} = 0.237$, $p = 0.628$) *P. ridibundus* (таблица). Самки в среднем были старше самцов как в выборках 2020 г. ($F_{1, 37} = 7.862$; $p = 0.008$) и 2022 г. ($F_{1, 32} = 7.475$; $p = 0.010$), так и в общей совокупности ($F_{1, 71} = 14.904$; $p < 0.001$). Ожидаемая продолжительность жизни особей после третьей зимовки составляла 3.8 лет ($S = 0.697$) для самок 2020 г., 3.5 лет ($S = 0.667$) для самок 2022 г., 2.25 лет ($S = 0.429$) для самцов 2020 г. и 2.38 лет ($S = 0.467$) для самцов 2022 г. Таким образом, в исследуемой популяции 95% самок и самцов *P. ridibundus* приступают к размножению в возрасте трех лет и живут до 7 и 6 лет соответственно, а репродуктивное окно составляет 4 года для самок и 3 года для самцов.

Полученные нами результаты о продолжительности жизни особей *P. ridibundus* в целом согласуются с данными, представленными в опубликованных материалах о продолжительности жизни особей *P. ridibundus* в других горных (> 1000 м над ур. м.) популяциях [8]. Однако стоит отметить, что в работах Александровской (1985), Александровской и Котовой (1986) и Мелкумяна (1990) [31-33] максимальный возраст был определен в 7-11 лет для самок и в 5-10 лет для самцов, но максимальный зарегистрированный нами возраст у особей *P. ridibundus* из оз. Кара-Кель был установлен в 9 лет только для самок, отловленных в 2020 г., тогда как в остальных случаях максимальный зарегистрированный возраст составил не более 6 лет.

Известно, что в условиях высокой антропогенной трансформации местообитаний исчезают животные старших возрастов [14]. Например, у травяных лягушек *Rana temporaria* Linnaeus, 1758, в городских популяциях в ядре производителей преобладают особи с высокой скоростью роста, ранним половым созреванием и меньшей продолжительностью жизни [15]. Также в условиях урбанизированных территорий городов Казань [16] и Тольятти [17] возраст озерной лягушки *P. ridibundus* не превышает 6 лет в отличие от популяций, обитающих в пригородных лесопарках, где максимальная продолжительность жизни лягушек достигает 7 лет [16]. Долина реки

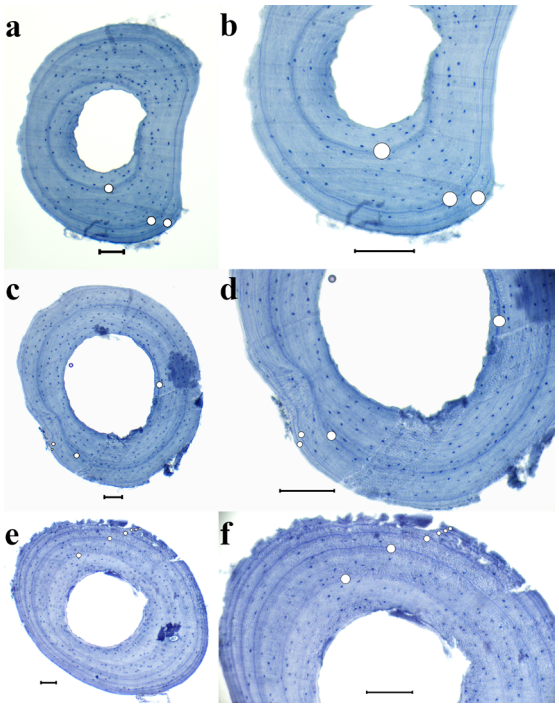


Рисунок 2. Поперечные срезы фаланг пальцев *Pelophylax ridibundus*: (a, b) трехлетний самец с 1 резорбированной линией склеивания (длина тела – 82.40 мм); (c, d) пятилетняя самка с 1 резорбированной линией склеивания (длина тела – 101.30 мм); (e, f) семилетняя самка с 1 резорбированной линией склеивания (длина тела – 106.65 мм). (a), (c), (d) 10-кратное увеличение; (b), (d), (f) 20-кратное увеличение. Длина шкалы составляет 0.1 мм.

Figure 2. Cross-section of *Pelophylax ridibundus* phalanges: (a, b) three-year-old male with one resorbed line of arrested growth (LAG) (body length – 82.40 mm); (c, d) five-year-old female with one resorbed LAG (body length – 101.30 mm); (e, f) seven-year-old female with one resorbed LAG (body length – 106.65 mm). (a), (c), (d) 10× magnification, (b), (d), (f) 20× magnification. Scale bar is 0.1 mm.

Теберды и оз. Кара-Кель являются популярными туристско-рекреационными территориями и испытывают критическую антропогенную нагрузку по причине увеличения туристического потока [22, 23]. Вероятно, более низкие зарегистрированные нами показатели максимальной продолжительности жизни могут быть связаны с увеличенной антропогенной нагрузкой в исследуемом локалитете в сравнении с другими горными популяциями, откуда известен возраст *P. ridibundus* [31-33].

Длина тела *P. ridibundus* статистически значимо увеличивалась с индивидуальным возрастом особей (для самок в 2020 г. $r = 0.67$; $p < 0.05$, в 2022 г. $r = 0.84$; $p < 0.05$, для самцов в 2020 г. $r = 0.65$; $p < 0.05$, в 2022 г. $r = 0.48$; $p < 0.05$). Однако скорректированная по возрасту средняя длина тела самок, отловленных в разные годы, статистически значимо не различалась ($F_{1, 17} = 0.226$; $p = 0.882$), для самцов также не было выявлено статистически значимых различий ($F_{1, 47} = 0.487$; $p = 0.489$). Самки в среднем были крупнее самцов как в выборках 2020 г. ($F_{1, 37} = 13{,}315$; $p = 0{,}001$) и 2022 г. ($F_{1, 32} = 7{,}982$; $p = 0{,}008$), так и в общей совокупности ($F_{1, 71} = 21{,}512$; $p < 0{,}001$).

Полученные результаты противоречат выдвинутой гипотезе, согласно которой, как предполагалось, под воздействием роста туристско-рекреационной нагрузки [22, 23] и аридизации климата [24] должна была сократиться доля старших особей в выборке 2022 г. Двухлетний промежуток между сборами, вероятно, недостаточен для проявления выраженных демографических сдвигов в исследуемой популяции. *P. ridibundus* – долгоживущий вид: в нашей выборке была отмечена девятилетняя особь, а по данным литературы, максимальная зарегистрированная продолжительность жизни особей из горных популяций достигала 11 лет [8]. Вероятно, сдвиги

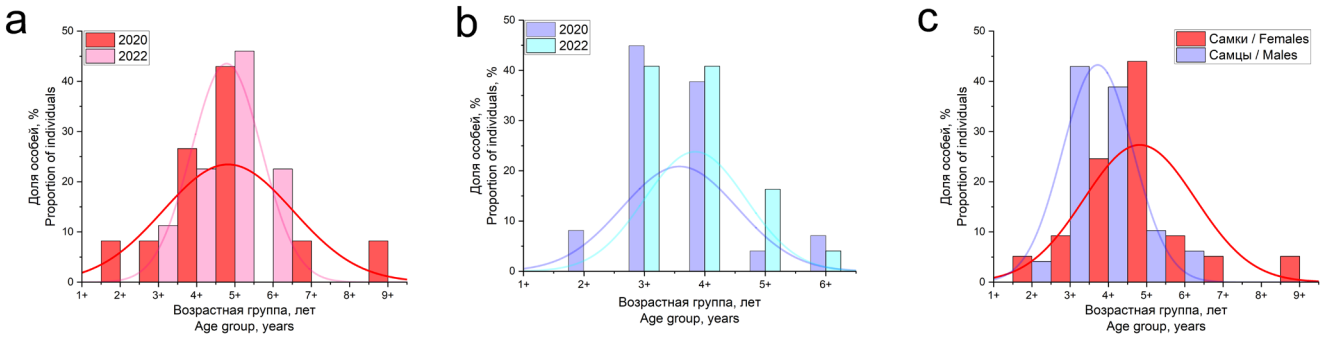


Рисунок 3. Возрастная структура *Pelophylax ridibundus* в популяции Теберды. (a) Возрастная структура самок, отловленных в разные периоды; (b) возрастная структура самцов, отловленных в разные периоды; (c) возрастная структура общих выборок самок и самцов.

Figure 3. Age structure of *Pelophylax ridibundus* population in Teberda. (a) Age structure of females sampled in different periods; (b) age structure of males sampled in different periods; (c) age structure of total samples of females and males.

Таблица 1. Длина тела и продолжительность жизни *P. ridibundus* в разные годы сбора материала.

Table 1. Body length and longevity of *P. ridibundus* across different sampling periods.

Год ***Year***	**Пол** ***Sex***	**n**	**Средняя длина тела ± стандартное отклонение** ***Mean body length ± standard deviation***	**Размах длины тела** ***Body length range***	**Средний возраст ± стандартное отклонение** ***Mean age ± standard deviation***	**Размах индивидуального возраста** ***Individual age range***
Сентябрь 2020 *September 2020*	самки *females*	12	98.78 ± 10.988	78.08-113.44	4.83 ± 1.801	2-9
	самцы *males*	27	88.81 ± 6.098	76.79-103.00	3.59 ± 0.971	2-6
Июнь 2022 *June 2022*	самки *females*	9	98.56 ± 11.064	74.60-110.00	4.77 ± 0.972	3-5
	самцы *males*	25	88.84 ± 7.966	63.00-101.60	3.84 ± 0.850	3-6

в возрастной структуре, вызванные усилением туристско-рекреационной нагрузки и климатическими изменениями, могут стать заметными только при более длительном мониторинге. Кроме того, отсутствие значимых различий может свидетельствовать о том, что локальная экосистема озера Кара-Кель пока сохраняет равновесие. Несмотря на возросший туристический поток, гидрологический режим озера остается относительно стабильным [34], а непосредственное изъятие или гибель взрослых лягушек, возможно, не достигли критических величин. Нельзя исключать и ограничения, связанные с объемом материала: выборка самок была немногочисленной (n = 12 в 2020 г. и n = 9 в 2022 г.), что снижает статистическую мощность обнаружения небольших сдвигов.

Выводы
Conclusions

Таким образом, настоящая работа демонстрирует отсутствие выраженности межгодовых флуктуаций возрастной и размерной структуры у *P. ridibundus* в популяции Теберды в краткосрочном периоде 2020-2022 гг. Выдвинутая гипотеза об «омоложении» популяции в связи с возрастающей туристско-рекреационной нагрузкой и аридизацией климата не подтвердилась. Стабильность демографических показателей, наблюдаемая в диапазоне 2020-2022 гг., не означает отсутствия долговременного тренда. Для его выявления необходимы дополнительные сборы материала в большем временном интервале, а также анализ выживаемости отдельных когорт [3].

Список источников

1. Luedtke J.A., Chanson J., Neam K. et al. Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. *Nature.* 2023;622:308-314. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06578-4
2. Dirzo R., Ceballos G., Ehrlich P.R. Circling the drain: the extinction crisis and the future of humanity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*: *Biological Sciences*. 2022;377(1857):20210378. https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0378
3. Ляпков С.М. *Сохранение и восстановление разнообразия амфибий Европейской части России*: *разработка общих принципов и эффективных практических мер*. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2003:116.
4. Боркин Л.Я., Тихенко Н.Д. Некоторые аспекты морфологической изменчивости, полиморфизма

References

1. Luedtke J.A., Chanson J., Neam K. et al. Ongoing declines for the world's amphibians in the face of emerging threats. *Nature.* 2023;622:308-314. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06578-4
2. Dirzo R, Ceballos G, Ehrlich PR. Circling the drain: the extinction crisis and the future of humanity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*: *Biological Sciences*. 2022;377(1857):20210378. https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0378
3. Lyapkov S.M. *Conservation and restoration of amphibian diversity in the European part of Russia*: *development of general principles and effective practical measures*. Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd, 2003:116. (In Russ.)
4. Borkin L.Ya., Tikhenko N.D. Some aspects of morphological variability, color polymorphism,

окраски, роста, структуры популяции и суточной активности *Rana lessonae* на северной границе ареала. *Экология и систематика амфибий и рептилий.* Ленинград: Зоологический институт АН СССР, 1979:18-54.

5. Sinsch U. Review: skeletochronological assessment of demographic life-history traits in amphibians. *Herpetological Journal*. 2015;25:5-13.
6. Cruz-Ruiz G., Venegas-Barrera C.S., Sanchez-Sanchez H., Manjarrez J. Temporal stability of an endemic Mexican treefrog. *PeerJ*. 2015;3: e1274. https://doi.org/10.7717/peerj.1274
7. Ляпков С.М. Динамика демографических характеристик травяной и остромордой лягушек по данным многолетних наблюдений. *Современные проблемы биологической эволюции*: *материалы IV Международной конференции к 875-летию Москвы и 115-летию со дня основания Государственного Дарвиновского музея*. 2022:126-127.
8. Иволга Р.А., Кидов А.А., Кондратова Т.Э. *Возраст земноводных в популяциях Северной Евразии*. Свидетельство о регистрации базы данных RU2024625977. Заявка № 2024625800 от 29.11.2024.
9. Иволга Р.А., Мальнов Д.А., Кондратова Т.Э., Кидов А.А. Возрастная структура и особенности роста краснобрюхой жерлянки (*Bombina bombina*, Amphibia, Anura, Bombinatoridae) в Калининградской области (восток Балтийского региона, Россия). *Тимирязевский биологический журнал*. 2025;3(1):202531405. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-05
10. Peng Z., Zhang L., Lu X. Global gaps in age data based on skeletochronology for amphibians. *Integrative Zoology*. 2022;17(5):752-763. https://doi.org/10.1111/1749-4877.12584
11. Cogălniceanu D., Miaud C. Population age structure and growth in four syntopic amphibian species inhabiting a large river floodplain. *Canadian Journal of Zoology*. 2003;81(6):1096-1106. https://doi.org/10.1139/z03-086
12. Ficetola G.F., Bonin A., Miaud C. Population genetics reveals origin and number of founders in a biological invasion. *Molecular Ecology*. 2008;17(3):773-782. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03622.x
13. Kidov A.A., Ivoga R.A., Kondratova T.E. Early maturation and high growth rates in the Eastern Treefrog, *Hyla orientalis* Bedriaga, 1890, population after the species' expansion in Kaliningrad Oblast (East Baltic Sea region). *Herpetology Notes.* 2025;18:781-786.
14. Ушаков В.А., Лебединский А.А., Грефнер Н.М. Анализ размерно-возрастной структуры популяций травяной лягушки на урбанизированных территориях. *Вестник зоологии*. 1982;2:67-68.
15. Вершинин В.Л. *Экологические особенности популяций амфибий урбанизированных территорий*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Екатеринбург, 1997:25.

growth, population structure and daily activity of *Rana lessonae* at the Northern border of its range. *Ecology and systematics of amphibians and reptiles*. Leningrad, USSR, 1979:18-54. (In Russ.)

5. Sinsch U. Review: skeletochronological assessment of demographic life-history traits in amphibians. *Herpetological Journal*. 2015;25:5-13.
6. Cruz-Ruiz G, Venegas-Barrera CS, Sanchez-Sanchez H, Manjarrez J. Temporal stability of an endemic Mexican treefrog. *PeerJ*. 2015;3: e1274. https://doi.org/10.7717/peerj.1274
7. Lyapkov S.M. Dynamics of demographic characteristics of grass and sharp-mouthed frogs based on long-term observations. *Modern Problems of Biological Evolution*: *Proceedings of the IV International Conference dedicated to the 875th Anniversary of Moscow and the 115th Anniversary of the State Darwin Museum*. 2022:126-127. (In Russ.)
8. Ivolga R.A., Kidov A.A., Kondratova T.E. Age of amphibians in populations of North Eurasia. Database registration certificate RU2024625977. Application, No. 2024625800 dated November 29, 2024.
9. Ivolga R.A., Malnov D.A., Kondratova T.E., Kidov A.A. Age structure and growth features of the fire-bellied toad (*Bombina bombina*, Amphibia, Anura, Bombinatoridae) in Kaliningrad Oblast (East Baltic Region, Russia). *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531405. (In Russ.) https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-05
10. Peng Z., Zhang L., Lu X. Global gaps in age data based on skeletochronology for amphibians. *Integrative Zoology*. 2022;17(5):752-763. https://doi.org/10.1111/1749-4877.12584
11. Cogălniceanu D., Miaud C. Population age structure and growth in four syntopic amphibian species inhabiting a large river floodplain. *Canadian Journal of Zoology*. 2003;81(6):1096-1106. https://doi.org/10.1139/z03-086
12. Ficetola G.F., Bonin A., Miaud C. Population genetics reveals origin and number of founders in a biological invasion. *Molecular Ecology*. 2008;17(3):773-782. https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03622.x
13. Kidov A.A., Ivoga R.A., Kondratova T.E. Early maturation and high growth rates in the Eastern Treefrog, *Hyla orientalis* Bedriaga, 1890, population after the species' expansion in Kaliningrad Oblast (East Baltic Sea region). *Herpetology Notes.* 2025;18:781-786.
14. Ushakov V.A., Lebedinsky A.A., Grefner N.M. Analysis of the size-age structure of grass frog populations in urban areas. *Vestnik zoologii*. 1982;2:67-68. (In Russ.)
15. Vershinin V.L. *Ecological features of amphibian populations in urban areas*. DSc (Bio) thesis. Ekaterinburg, Russia, 1997:25. (In Russ.)

16. Замалетдинов Р.И. *Экология земноводных в условиях большого города (на примере г. Казани)*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Казань, 2003:24.
17. Замалетдинов Р.И., Файзулин А.И., Михайлова Р.И., Кузовенко А.Е. Материалы к мониторингу возрастной структуры популяций амфибий на урбанизированных территориях Волжского бассейна. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2013;213:85-90.
18. Степанкова И.В., Африн К.А., Саитов В.Р. и др. Возрастная структура, рост и плодовитость травяной лягушки (*Rana temporaria*, Amphibia, Anura, Ranidae) в популяциях города Москвы. *Вестник Тверского государственного университета. Серия*: *Биология и экология.* 2024;(1(73)):71-82. https://doi.org/10.26456/vtbio346
19. Ryan M.E., Johnson J.R., Fitzpatrick B.M. Invasive hybrid tiger salamander genotypes impact native amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2009;106(27):11166-11171. https://doi.org/10.1073/pnas.0902252106
20. Turner A., Heard G., Hall A., Wassens S. Age structure of amphibian populations with endemic chytridiomycosis, across climatic regions with markedly different infection risk. *Ecology and Evolution*. 2022;12(7): e9123. https://doi.org/10.1002/ece3.9123
21. IUCN SSC Amphibian Specialist Group. *Pelophylax ridibundus*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. 2023: e.T58705A63864334. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2023-1.RLTS.T58705A63864334.en
22. Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Окрут С.В. и др. Оценка рекреационной нагрузки на Тебердинский государственный природный биосферный заповедник. *Успехи современного естествознания*. 2021;(11):58-63. https://doi.org/10.17513/use.37713
23. Дега Н.С., Реснов Д.Г., Байрамкулова А.Р. Проблемы развития экологического туризма на особо охраняемых природных территориях (на примере тебердинского национального парка). *Мониторинг. Наука и технологии*. 2024;(4(62)):35-42. https://doi.org/10.25714/MNT.2024.62.005
24. Davis S.J., Caldeira K., Matthews H.D. Future CO2 emissions and climate change from existing energy infrastructure. *Science*. 2010;329(5997):1330-1333. https://doi.org/10.1126/science.1188566
25. Смирина Э.М. Методика определения возраста амфибий и рептилий по слоям в кости. *Руководство по изучению земноводных и пресмыкающихся*. Киев, 1989:144-153.
26. Rozenblut B., Ogielska M. Development and growth of long bones in European water frogs (Aphibia: Anura: Ranidae), with remarks on age determination. *Journal*

16. Zamaletdinov R.I. *Ecology of amphibians in big city conditions (on the example of Kazan city)*. CSc (Bio) thesis. Kazan, Russia, 2003:24. (In Russ.)
17. Zamaletdinov R.I., Fayzulin A.I., Mikhailova R.I., Kuzovenko A.E. Materials to monitoring of amphibians populations age structure in the urbanized territories of the Volga basin. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N.E. Baumana.* 2013;213:85-90. (In Russ.)
18. Stepankova I.V., Afrin K.A., Saitov V.R. et al. Age structure, growth and fertility of the common frog (*Rana temporaria*, Amphibia, Anura, Ranidae) in the Moscow populations. *Herald of Tver State University. Series*: *Biology and Ecology.* 2024;(1(73)):71-82. (In Russ.) https://doi.org/10.26456/vtbio346
19. Ryan M.E., Johnson J.R., Fitzpatrick B.M. Invasive hybrid tiger salamander genotypes impact native amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2009;106(27):11166-11171. https://doi.org/10.1073/pnas.0902252106
20. Turner A., Heard G., Hall A., Wassens S. Age structure of amphibian populations with endemic chytridiomycosis, across climatic regions with markedly different infection risk. *Ecology and Evolution*. 2022;12(7): e9123. https://doi.org/10.1002/ece3.9123
21. IUCN SSC Amphibian Specialist Group. *Pelophylax ridibundus*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. 2023: e.T58705A63864334. https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2023-1.RLTS.T58705A63864334.en
22. Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E., Okrut S.V. et al. Assessment of recreation load on the Teberdin state natural biosphere reserve. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya.* 2021;(11):58-63. (In Russ.) https://doi.org/10.17513/use.37713
23. Dega N.S., Resnov D.G., Bayramkulova A.R. Development of ecological tourism in specially protected natural areas: case study of Teberda national park. *Monitoring. Science & Technologies*. 2024;(4(62)):35-42. (In Russ.) https://doi.org/10.25714/MNT.2024.62.005
24. Davis S.J., Caldeira K., Matthews H.D. Future CO2 emissions and climate change from existing energy infrastructure. *Science*. 2010;329(5997):1330-1333. https://doi.org/10.1126/science.1188566
25. Smirina E.M. Methodology for determining the age of amphibians and reptiles by layers in bone. *Guide to the Study of Amphibians and Reptiles*. 1989:144-153. (In Russ.)
26. Rozenblut B., Ogielska M. Development and growth of long bones in European water frogs (Aphibia: Anura: Ranidae), with remarks on age determination. *Journal*

of Morphology. 2005;265(3):304-317. https://doi.org/10.1002/jmor.10344
27. Hemelaar A.S.M. An improved method to estimate the number of year rings resorbed in phalanges of *Bufo bufo* (L.) and its application to populations from different latitudes and altitudes. *Amphibia-Reptilia*. 1985;6(4):323-341. https://doi.org/10.1163/156853885X00326
28. Кузьмин С.Л. *Земноводные бывшего СССР. Издание второе, переработанное*. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2012:370.
29. Seber G.A.F. *The estimation of animal abundance and related parameters*. London: Griffin. 1973:506. https://doi.org/10.1126/science.184.4137.686
30. Robson D.S., Chapman D.G. Catch curves and mortality rates. *Transactions of the American Fisheries Society*. 1961;90(2):181-189. https://doi.org/10.1577/1548-8659(1961)90[181:CCAMR]2.0.CO;2
31. Александровская Т.О. О сроках наступления половозрелости у озерной лягушки в Армении. *Вопросы герпетологии*. 1985:6-7.
32. Александровская Т.О., Котова Е.Л. Предварительные данные по возрастной характеристике озерной лягушки (*Rana ridibunda* Pallas) из трех точек Армении. *Труды Зоологического института АН СССР*. 1986;157:177-181.
33. Мелкумян Л.С. *Экологические основы адаптации наземных экзотермных позвоночных с переходом из равнин в высокогорье*. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. Свердловск, 1990:34.
34. Дега Н.С., Онищенко В.В., Узденов У.Б. Геоэкологическая оценка озера Кара-Кель Карачаево-Черкесской Республики. *Успехи современного естествознания*. 2022;(9):33-38. https://doi.org/10.17513/use.37889

of Morphology. 2005;265(3):304-317. https://doi.org/10.1002/jmor.10344
27. Hemelaar A.S.M. An improved method to estimate the number of year rings resorbed in phalanges of *Bufo bufo* (L.) and its application to populations from different latitudes and altitudes. *Amphibia-Reptilia*. 1985;6(4):323-341. https://doi.org/10.1163/156853885X00326
28. Kuzmin S.L. *Amphibians of the Former Soviet Union*. Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd, 2012:370. (In Russ.)
29. Seber G.A.F. *The estimation of animal abundance and related parameters*. London: Griffin. 1973:506. https://doi.org/10.1126/science.184.4137.686
30. Robson D.S., Chapman D.G. Catch curves and mortality rates. *Transactions of the American Fisheries Society*. 1961;90(2):181-189. https://doi.org/10.1577/1548-8659(1961)90[181:CCAMR]2.0.CO;2
31. Aleksandrovskaya T.O. About the timing of age maturity in the marsh frog in Armenia. *Voprosy gerpetologii*. 1985:6-7. (In Russ.)
32. Aleksandrovskaya T.O., Kotova E.L. Preliminary data on the age characteristics of *Rana ridibunda* Pallas from Armenia. *Trudy Zoologicheskogo instituta AN SSSR.* 1986;157:177-181. (In Russ.)
33. Melkumyan L.S. *Ecological bases of adaptation of terrestrial exothermic vertebrates with transition from valleys to mountains.* DSc (Bio) thesis. Sverdlovsk, Russia, 1990:34. (In Russ.)
34. Dega N.S., Onischenko V.V., Uzdenov U.B. Geoecological assessment of lake Kara-Kel of the Karachay-Cherkess Republic. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya.* 2022;(9):33-38. (In Russ.) https://doi.org/10.17513/use.37889

Сведения об авторах

Роман Александрович Иволга, ассистент кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; romanivolga@gmail.com; https://orcid.org/0000-0003-2050-5279

Жаонен Миссиз Минквет-Ми-Мбенг, обучающийся кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

Татьяна Эдуардовна Кондратова, ассистент кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; t.kondratova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7533-7327

Information about the authors

Roman A. Ivolga, Assistant Lecturer at the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; romanivolga@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-2050-5279

Jaonen M. Minkwet-Mi-Mbeng, student of the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation

Tatyana E. Kondratova, Assistant Lecturer at the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; t.kondratova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7533-7327

Владимир Олегович Ерашкин, ассистент кафедры зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; v.erashkin@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-1589-6340

Елена Алексеевна Астахова, младший научный сотрудник лаборатории поведения низших позвоночных, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук; 119071, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, 33; e.astakhova@sev-in.ru; https://orcid.org/0009-0006-6210-9636

Артем Александрович Кидов, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой зоологии и аквакультуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; kidov@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-9328-2470

Vladimir O. Erashkin, Assistant Lecturer at the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; v.erashkin@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-1589-6340

Elena A. Astakhova, Junior Research Associate at the Laboratory of Lower Vertebrate Behavior, Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Science; 33 Leninsky Ave., Moscow, 119071, Russian Federation; e.astakhova@sev-in.ru; https://orcid.org/0009-0006-6210-9636

Artem A. Kidov, CSc (Bio), Professor, Head of the Department of Zoology and Aquaculture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: kidov@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-9328-2470

Вклад авторов

Р.А. Иволга – концептуализация, методология, анализ, проведение исследований, ресурсы, администрирование данных, создание черновика рукописи, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование, визуализация, руководство исследованиями
Ж.М. Минквет-Ми-Мбенг – проведение исследований.
Т.Э. Кондратова – проведение исследований, ресурсы.
В.О. Ерашкин – проведение исследований, ресурсы.
Е.А. Астахова – проведение исследований, ресурсы.
А.А. Кидов – администрирование проекта.

Contribution of the authors

R.A. Ivolga – conceptualization, methodology, analysis, investigation, resources, data curation, writing – original draft, writing – review & editing, visualization, supervision
J.M. Minkwet-Mi-Mbeng – investigation.
T.E. Kondratova – investigation, resources.
V.O. Erashkin – investigation, resources.
E.A. Astakhova – investigation, resources.
A.A. Kidov – project administration.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 04.06.2026
Одобрена после рецензирования 17.06.2026
Принята к публикации 17.06.2026

The article was submitted to the editorial office June 04, 2026
Approved after reviewing June 17, 2026
Accepted for publication June 17, 2026

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 597.5:639.337
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-04

Новый биомаркер в оценке скрытых маститов у коров

Владимир Георгиевич Вертипрахов, Анастасия Дмитриевна Ильченко

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владимир Георгиевич Вертипрахов,
vertiprahov@rgau-msha.ru

Аннотация
Для борьбы с маститом коров и минимизации ущерба, наносимого этим заболеванием, наибольший интерес представляют те методы диагностики, которые позволяют как можно раньше выявить начало заболевания до появления клинических признаков. В результате сравнительных исследований в молоке коров активности трипсина и соматических клеток (с помощью прибора Соматос-Мини) у животных с лактацией более 100 суток и новотельной коровы, выделяющей молозиво. Установлено, что у здоровых коров уровень фермента составляет 34.3 ± 1.48 ед/л. В молозиве, содержащем значительно больше белка в первые дни лактации, активность фермента выше на 37.6% по сравнению со зрелым молоком в более поздние сроки лактации. Результаты разных способов определения мастита у коров согласуются между собой. Следовательно, по активности трипсина в молоке коров можно судить о состоянии здоровья молочной железы.

Ключевые слова
Активность трипсина, скрытый мастит, молозиво, коровы, соматические клетки

Для цитирования
Вертипрахов В.Г., Ильченко А.Д. Новый биомаркер в оценке скрытых маститов у коров. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(2):404. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-04

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-04

A new biomarker for the assessment of subclinical mastitis in cows

Vladimir G. Vertiprakhov, Anastasia D. Ilchenko

[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russia

Corresponding author: Vladimir G. Vertiprakhov, vertiprahov@rgau-msha.ru

Abstract
To combat mastitis in cows and minimize the economic losses caused by this disease, the most valuable diagnostic methods are those that enable early detection of the onset of the disease, prior to the manifestation of clinical signs. In a comparative study, we assessed trypsin activity and somatic cell count (using the Somatos-Mini device) in the milk of cows with lactation periods exceeding 100 days and in a freshly calved cow producing colostrum. In healthy cows, the enzyme level was found to be 34.3 ± 1.48 U/L. In colostrum, which contains significantly higher protein content during the first days of lactation, trypsin activity was 37.6% higher compared to mature milk obtained at later lactation stages. The results obtained from different methods of mastitis detection in cows were consistent with each other. Therefore, trypsin activity in cow's milk can serve as an indicator of udder health status.

Keywords
Trypsin activity, subclinical mastitis, colostrum, cows, somatic cells

© Вертипрахов В.Г., Ильченко А.Д., 2026
© Vertiprakhov V.G., Ilchenko A.D., 2026

For citation
Vertiprakhov V.G., Ilchenko A.D. A new biomarker for the assessment of subclinical mastitis in cows. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):404. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-04

Введение
Introduction

Для борьбы с маститом коров и минимизации ущерба, наносимого этим заболеванием, наибольший интерес представляют те методы диагностики, которые позволяют как можно раньше выявить начало заболевания до появления клинических признаков. Самыми чувствительными из применяющихся в настоящее время способов являются те из них, которые основаны на контроле содержания в молоке соматических клеток, нуклеиновых кислот, АТФ [1]. Они требуют специальной подготовки образца и ввиду большого фонового разброса показателей этих параметров у различных животных не всегда могут дать однозначный ответ на вопрос о том, есть или нет воспаление. Предложен способ, основанный на измерении количества продуктов окисления липидов, которое возрастает при воспалении по причине интенсификации этого процесса [2]. Способ включает в себя определение содержания в молоке нитрозотиолов и нитрита. При содержании нитрита выше 10% от содержания нитрозотиолов диагностируют наличие воспалительного процесса. Результаты исследований по диагностике и лечению маститов у коров в опыте выявили особенности разных методов. Использование нового метода на основе активности трипсина в молоке и сыворотке крови коров в диагностике маститов показало свою перспективность [3]. Кроме того, в статье впервые приводятся данные по активности трипсина в молозиве от коровы, что имеет определенное практическое значение в поисках взаимосвязи активности фермента и количества белка в нем. Молозиво является ценным продуктом, так как оно обладает более высокой питательной и биологической ценностью, чем зрелое молоко. В нем увеличено содержание легкоусвояемых сывороточных белков, защитных иммунных факторов (иммуноглобулина А, лактоферрина, лейкоцитов-макрофагов, нейтрофилов, лимфоцитов), а также природных антиоксидантов (витаминов А и Е, β-каротина, цинка, селена) [4, 5]. В связи с усовершенствованием этого метода нами возобновлены исследования в данном направлении, и полученные данные отражены в представленной научной статье.

Цель исследований: определение активности трипсина в фильтрате молока и сравнение с показателями, полученными в молозиве коров.

Методика исследований
Research method

Эксперименты проводили на базе зоостанции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на коровах разного возраста и породы с целью оценки активности трипсина в молоке от лактирующих более 100 суток и новотельных коров. Животные имели разную продуктивность, находились в помещении с оптимальными условиями кормления и содержания.

Краткая характеристика коров. Марна – корова красно-пестрой голштинской породы, возраст – 5 лет, 8-й месяц после отела, удой – 15 л/сутки. Состояние удовлетворительное, признаков мастита нет, вымя без патологий, молоко соответствует норме. Фрида – корова черно-пестрой породы, возраст – 4 года, 7-й месяц после отела, удой – 10 л/сутки. Отклонений в здоровье нет, вымя и молоко в норме. Яронка – корова костромской породы, возраст – 6 лет, 4-й месяц после отела, удой – 20 л/сутки. Активная, с хорошим аппетитом, вымя и молоко без отклонений. Дикси – корова черно-пестрой голштинской породы, возраст – 3 года, первый отел, роды прошли нормально. Молозиво для исследований получали на 1, 3 и 9 дни.

Протокол исследований. Пробы молока (по 50 мл из каждой доли вымени) получали утром при доении индивидуально из каждого соска вымени. Каждую маркировали датой, временем и идентификатором животного. Тотчас выполняли исследования молока на мастит двумя методами: традиционным с использованием прибора Соматос-мини и инновационным – по активности трипсина в молоке.

Определение с помощью прибора Соматос-мини. Модель используемого вискозиметра – «Соматос-Мини», который полностью соответствует требованиям ГОСТ 23453-2014. Вискозиметрический анализ молока – экспресс-метод определения количества соматических клеток по вязкости смеси молока – выполняли с помощью препарата «Мастоприм». Суть данного метода заключается в том, что продолжительность вытекания определяется вязкостью смеси сырого молока с раствором препарата «Мастоприм», которая коррелирует с исходным содержанием в нем соматических клеток. Диапазон определения количества соматических клеток при использовании капиллярных вискозиметров составляет от 90 до 1500 тыс. в 1 $см^3$ сырого молока, и продолжительность вытекания смеси из капилляра колеблется от 12 до 58 с.

При времени от 12 до 15 с количество соматических клеток соответствовало от 90 до 200 тыс/см³, то есть в этом случае воспаление в молочной железе не наблюдалось.

Биохимические исследования. Для анализа новым способом из пробы свежеполученного молока брали 300 мкл и центрифугировали на центрифуге Eppendorf MiniSpin® plus (Германия) при 13 тыс. об/мин в течение 10 мин с мембраной-фильтром (100 КДа), чтобы отделить молекулы трипсина от жира и более крупных белков. Затем определяли активность трипсина на биохимическом анализаторе BioChem SA с использованием субстрата БАПНА [6]. Полученные результаты обрабатывали методом вариационной статистики, используя таблицы Стьюдента.

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

В первые дни после отела у коровы выделяется из молочной железы молозиво, которое отличается по своим физико-химическим свойствам от молока. Взятое в первый день молозиво по внешнему виду отличается от полученного на третий день после отела. Данные по активности трипсина в молозиве в динамике после отела представлены в таблице 1.

Данные таблицы 1 показали, что в молозиве, полученном в первый день после отела, активность трипсина не отличается от молока контрольной группы коров. В процессе лактации на третий день активность трипсина в молозиве увеличивается с 36.6 ± 1.37ед/л до 47.2 ± 1.60 ед/л ($p < 0.05$), то есть на 29.0%. Следовательно, в первые дни молозиво содержит большое количество иммуноглобулинов, и активность трипсина в молозиве снижается (за счет ингибиторов), чтобы не гидролизовать ценные белки молока, а в последующие дни активность трипсина линейно возрастает в молозиве для гидролиза белков молока и лучшего усвоения пептидов и аминокислот теленком.

Анализ активности трипсина в разных долях в вымени коровы указывает на их отличие, что может быть связано с разной интенсивностью секреции в молочной железе. Выполненные исследования на приборе Соматос-мини свидетельствуют о различных показателях в составе молока в начальный период лактации и позднее (табл. 2).

Анализ результатов (табл. 2) показал, что после отела, когда молочная железа коровы секретирует молозиво в течение 7 суток, определение состояния железы с помощью прибора Соматос-мини не дает объективной оценки. Это связано с тем, что вязкость молозива намного отличается от молока

Таблица 1. Активность трипсина в молозиве у коровы Дикси в динамике по дням лактации.

Table 1. Trypsin activity in colostrum of cow Dixie over lactation days.

Показатель ***Parameter***	**Период лактации, ед/л** ***Udder quarter, U/L***			
	первый день после отела ***day 1 postpartum***	**третий день после отела** ***day 3 postpartum***	**девятый день после отела** ***day 9 postpartum***	**в среднем у лактирующих коров** ***mean value in lactating cows***
ЛЗ *LR*	37.1±3.83	40.5±1.27	49.1±3.15	34.8±1.44
ЛП *LF*	37.1±1.12	54.6±2.31	48.2±3.33	30.4±1.00
ПЗ *RR*	37.1±1.97	50.5±1.38	41.4±3.37	29.6±2.00
ПП *RF*	35.0±3.65	43.1±0.12	45.6±3.47	42.6±1.17

Примечание. ЛЗ – левая задняя доля вымени, ЛП – левая передняя доля вымени, ПЗ – правая задняя доля вымени, ПП – правая передняя доля вымени.

Note: LR – left rear quarter; LF – left front quarter; RR – right rear quarter; RF – right front quarter.

Таблица 2. Показатели прибора Соматос-мини по определению соматических клеток в молозиве коровы Дикси.

Table 2. Somatic cell count (SCC) parameters measured with the Somatos-Mini device in colostrum of cow Dixie.

№ пробы *Sample No.*	**Показатель** *Parameter*	**Доля молочной железы** *Udder quarter*			
		ЛЗ *LR*	**ЛП** *LF*	**ПЗ** *RR*	**ПП** *RF*
1	Продолжительность вытекания, с *Flow duration, s*	28.8	12.5	26.7	26.4
	Соматических клеток, тыс./мм³ *SCC, ×10³/mm³*	658.0	107.5	570.8	558.3
2	Продолжительность вытекания, с *Flow duration, s*	30.9	58.0	28.6	25.2
	Соматических клеток, тыс./мм³ *SCC, ×10³/mm³*	745.8	1500.0	649.5	503.3
3	Продолжительность вытекания, с *Flow duration, s*	26.7	35.2	30.5	24.4
	Соматических клеток, тыс./мм³ *SCC, ×10³/mm³*	570.8	650.0	729.0	482.4
Среднее *Mean*	Продолжительность вытекания, с *Flow duration, s*	28.8±0.85	32.6±1.11	28.6±0.88	25.3±0.48
	Соматических клеток, тыс./мм³ *SCC, ×10³/mm³*	658.0±41.8	752.0±377.0	649.8±37.90	514.7±18.82

Примечание. ЛЗ – левая задняя доля вымени, ЛП – левая передняя доля вымени, ПЗ – правая задняя доля вымени, ПП – правая передняя доля вымени.

Note: LR – left rear quarter; LF – left front quarter; RR – right rear quarter; RF – right front quarter.

во время обычной лактации, и вискозиметр показывает завышенные значения, которые не укладываются с норму (до 200 тыс/мм³). В отдельной доле расчетное количество соматических клеток достигало 1500 тыс/мм³. Данные по активности трипсина и показателям соматических клеток представлены в таблице 3.

Результаты показали, что среднее значение активности трипсина у коров с продолжительностью лактации более 100 дней составляет 34.3 ± 1.48 ед/л, а на девятый день лактации – 44.7 ± 2.02 ед/л. Это указывает на постепенное снижение активности трипсина в молоке коров в процессе лактации, хотя нельзя не учитывать индивидуальные особенности каждого животного и состояние молочной железы. Активность трипсина в вымени неоднородна как между коровами, так и между отдельными долями. Наиболее высокие значения активности фермента регистрируются в правой передней доле (ПП), а самые низкие – в правой задней (ПЗ). У коровы Фриды междолевые различия особенно яркие, что может указывать на индивидуальные физиологические особенности или локальные факторы (например, степень кровоснабжения, местная воспалительная активность или особенности секреции молока в конкретной доле). Из показателей прибора Соматос-Мини следует, что между отдельными долями

Таблица 3. Активность трипсина и количество соматических клеток, определяемых с помощью прибора Соматос-мини в молоке у группы лактирующих коров с продолжительностью лактации более 100 дней.

Table 3. Trypsin activity and somatic cell count (measured with the Somatos-Mini device) in milk of lactating cows with lactation duration exceeding 100 days.

Показатель *Parameter*	**Доля молочной железы** *Udder quarter*			
	ЛЗ *LR*	**ЛП** *LF*	**ПЗ** *RR*	**ПП** *RF*
Фрида *Frida*				
Активность трипсина, ед/л *Trypsin activity, U/L*	28.7±2.30	26.8±4.85	21.6±0.82	47.0±3.68
Соматических клеток, тыс./мм³ *SCC, ×10³/mm³*	186.8±41.2	151.8±142.5	148.3±4.36	177.0±3.96
Марна *Marna*				
Активность трипсина, ед/л *Trypsin activity, U/L*	37.1±2.8	30.0±4.82	36.5±2.14	38.5±0.14
Соматических клеток, тыс./мм³ *SCC, ×10³/mm³*	149.0±1.50	132.8±13.44	122.7±5.95	119.2±10.82
Яронка *Yaronka*				
Активность трипсина, ед/л *Trypsin activity, U/L*	38.4±3.05	34.3±6.78	30.8±5.71	42.2±3.07
Соматических клеток, тыс./мм³ *SCC, ×10³/mm³*	141.5±8.35	114.9±6.00	122.9±3.63	125.3±8.47

Примечание. ЛЗ – левая задняя доля вымени, ЛП – левая передняя доля вымени, ПЗ – правая задняя доля вымени, ПП – правая передняя доля вымени.

Note: LR – left rear quarter; LF – left front quarter; RR – right rear quarter; RF – right front quarter.

наблюдаются отличия, но в целом у всех коров значения не превышают физиологическую норму (< 200 тыс/мм³). Определение корреляции между показателями активности трипсина и количеством соматических клеток в молоке дает основание считать, что в период получения «зрелого» молока биохимический и физический способы позволяют получать аналогичные результаты, в то время как у коров в молозиве наиболее объективную оценку состояния молочной железы можно получить благодаря определению в молозиве активности трипсина.

Молозиво, которое выделяют молочные железы коровы в первые 7 суток после отела, существенно отличается от молока коров в период интенсивной лактации. В молозиве белка в 4-7 раз больше, чем в обычном молоке от коровы. Главная функция молозива заключается в передаче пассивного иммунитета теленку (IgG всасываются в кишечнике только в первые часы жизни) [7-11]. IgG противостоит бактериям и токсинам в крови и лимфатической системе, IgM обнаруживает вирусные агенты и связывается с ними в системе кровообращения, IgD и IgE устраняют посторонние вещества

из системы кровообращения и инициируют аллергические реакции. Лейкоциты стимулируют выработку интерферона, который подавляет размножение вирусов. Лактоферрин (ЛФ) – гликопротеид с молекулярной массой ~ 80 кДа и pI ~ 9 – связан с транспортом железа в эритроциты [12]. Он защищает организм от инфекций и раковых опухолей, оказывает противовоспалительный эффект. Лактоферрин регулирует метаболизм в костной ткани, репродуктивную функцию и развитие эмбриона, действуя как иммуномодулятор. Лактоферрин регулирует активность иммунной системы: стимулирует, когда она работает недостаточно эффективно (во время инфекций), или подавляет гиперактивные состояния (при автоиммунных заболеваниях). Лизоцим – фермент класса гидролаз [13] – разрушает клеточную стенку бактерий и вирусный капсид.

Молозиво содержит регуляторные факторы: пролин – полипептид (PRP), или трансфер-фактор, регулирует деятельность щитовидной железы, как инициирует, так и подавляет иммунный отклик. Цитокины регулируют интенсивность и продолжительность иммунного отклика. Они обладают антивирусным и противоопухолевым эффектами. Интерлейкин-10 подавляет воспалительные процессы. Лимфокины регулируют иммунный отклик. Ангиогенин – белок, запускающий механизм интенсивного образования кровеносных сосудов в поврежденных органах (устранение нарушений при инсульте, инфаркте, ишемической болезни сердца). В молозиве содержится 8-10 мг/л ангиогенина [12-14].

Молозиво содержит больше липидов, чем зрелое молоко, что дает теленку энергию для терморегуляции. Профиль жирных кислот отличается: в молозиве меньше короткоцепочечных (C4:0, C6:0), больше пальмитиновой (C16:0), миристиновой (C14:0) и полиненасыщенных (PUFA, особенно n-3 и n-6). В зрелом молоке больше короткоцепочечных кислот [9].

В молозиве содержится меньше лактозы, чем в зрелом молоке, что профилактирует осмотический понос у теленка (у новорожденных – низкая активность лактазы). В зрелом молоке лактоза выше, она обеспечивает осмотическое давление и объем молока. Молозиво богаче минералами для быстрого роста и костеобразования. В нем в 1.5-2 раза больше особенно Ca, P, Mg, Na, K, а также микроэлементов Cu, Fe, Zn. Состав молозива быстро меняется: уже через 3-5 дней белок падает, через 7-10 дней молозиво переходит в «переходное молоко», а к 10-14 дням приближается к зрелому. В зрелом молоке преобладают казеин и обычные сывороточные белки. После 100 дней различия с молозивом являются максимальными [11]. Определение трипсина в молозиве ранее не проводилось. В литературе имеются данные о наличии протеаз микробного происхождения, которые находятся в стенках бактерий, присутствующих в молозиве. Ранее мы определяли активность трипсина в молоке разных животных и обнаружили увеличение активности трипсина при маститах [12], что послужило основанием для разработки нового метода определения скрытых маститов у коров.

Выводы
Conclusions

1. В молоке здоровых коров содержится трипсин в активном состоянии (34.3 ± 1.48 ед/л). При этом активность трипсина в молоке имеет отличие как между разными коровами, так и между отдельными долями, что связано, по-видимому, с индивидуальными особенностями животных.

2. Молозиво, полученное от коровы в первые дни после отела, содержит в 4-7 раз больше белка, отличается по активности трипсина от зрелого молока тем, что показатель фермента превышает зрелое молоко на 37.6%. По мере продолжительности лактации активность трипсина постепенно снижается.

3. Установлена положительная корреляция между показателями активности трипсина и количеством соматических клеток, полученных путем исследования на приборе Соматос-Мини (r = 41-56), что позволяет считать биохимический метод определения скрытых маститов по активности трипсина перспективным способом. При этом у коров наиболее объективную оценку состояния молочной железы можно получить только благодаря определению в молозиве активности трипсина.

Список источников

1. Kitchen B.J. Bovine mastitis: milk compositional changes and related diagnostic tests. *Journal of Dairy Research*. 1981;48(1):167-188. https://doi.org/10.1017/S0022029900021580
2. Титов В.Ю., Фисинин В.И. *Способ ранней диагностики маститов у коров*. Патент на изобретение RU2371717 C1. Заявка № 2008104222/13 от 04.02.2008.

References

1. Kitchen B.J. Bovine mastitis: milk compositional changes and related diagnostic tests. *Journal of Dairy Research*. 1981;48(1):167-188. https://doi.org/10.1017/S0022029900021580
2. Titov V.Yu., Fisinin V.I. *Method for early diagnosis of mastitis in cows.* Patent RU2371717 C1. Application, No. 2008104222/13 dated February 04, 2008. (In Russ.)

3. Вертипрахов В.Г., Селионова М.И., Юлдашбаев Ю.А. и др. *Способ диагностики скрытых маститов у коров*. Патент на изобретение RU2798226 C1. Заявка № 2022121574 от 09.08.2022.
4. Sacerdote P., Mussano F., Franchi S. et al. Biological components in a standardized derivative of bovine colostrum. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(3):1745-1754. https://doi.org/10.3168/jds.2012-5928
5. Conte F., Scarantino S. A study on the quality of bovine colostrum: physical, chemical and safety assessment. *International Food Research Journal*. 2013;20(2):925-931.
6. Вертипрахов В.Г., Грозина А.А. Оценка состояния поджелудочной железы методом определения активности трипсина в крови птицы. *Ветеринария*. 2018;(12):51-54. https://doi.org/10.30896/0042-4846.2018.21.12.51-54
7. McGrath B.A., Fox P.F., McSweeney P.L.H. et al. Composition and properties of bovine colostrum: a review. *Dairy Science & Technology*. 2016;96:133-158. https://doi.org/10.1007/s13594-015-0258-x
8. Puppel K., Gołębiewski M., Grodkowski G. et al. Composition and factors affecting quality of bovine colostrum: a review. *Animals*. 2019;9(12):1070. https://doi.org/10.3390/ani9121070
9. Wilms J.N., Hare K.S. Fischer-Tlustos A.J. et al. Fatty acid profile characterization in colostrum, transition, and mature milk from primiparous and multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2022;105(3):2612-2630. https://doi.org/10.3168/jds.2021-20880
10. Arslan A., Kaplan M., Duman H. et al. Bovine colostrum and its potential for human health and nutrition. *Frontiers in Nutrition*. 2021;8:651721. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.651721
11. Кузьмин С.В., Русаков В.Н., Синицына О.О. и др. Молозиво коров: компонентный состав, биологические свойства и практика применения. *Вопросы питания*. 2023;92(2):97-108. https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-2-97-108
12. Бейкер Е.Н., Бейкер Х.М., Кун Н., Кидд Р.Д. Лактоферрин: свойства и применение. *Молочная промышленность*. 2006;(2):38-39.
13. Li H., Aluko R.E. Bovine colostrum as a bioactive product against human microbial infections and gastrointestinal disorders. *Current Topics in Nutraceutical Research*. 2006;4(3-4):227-237.
14. Комолова Г.С., Тихомирова Н.А., Андреева О.И. Ангиогенин молока – активная основа лечебных средств. *Молочная промышленность*. 2007;(2):56-57.
15. Вертипрахов В.Г., Селионова М.И., Малородов В.В. и др. Активность трипсина в молоке коров повышается при маститах одновременно с экспрессией генов воспаления. *Сельскохозяйственная биология*. 2023;58(4):685-699. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.4.685rus

3. Vertiprakhov V.G., Selionova M.I., Yuldashbaev Yu.A. et al. Method for diagnosing latent mastitis in cows. Patent RU2798226 C1. Application, No. 2022121574 dated August 09, 2022. (In Russ.)
4. Sacerdote P., Mussano F., Franchi S. et al. Biological components in a standardized derivative of bovine colostrum. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(3):1745-1754. https://doi.org/10.3168/jds.2012-5928
5. Conte F., Scarantino S. A study on the quality of bovine colostrum: physical, chemical and safety assessment. *International Food Research Journal*. 2013;20(2):925-931.
6. Vertiprakhov V.G., Grozina A.A. The estimation of pancreatic functionality in chicken using tryptic activity in blood serum. *Veterinary Medicine.* 2018;(12):51-54. (In Russ.) https://doi.org/10.30896/0042-4846.2018.21.12.51-54
7. McGrath B.A., Fox P.F., McSweeney P.L.H. et al. Composition and properties of bovine colostrum: a review. *Dairy Science & Technology*. 2016;96:133-158. https://doi.org/10.1007/s13594-015-0258-x
8. Puppel K., Gołębiewski M., Grodkowski G. et al. Composition and factors affecting quality of bovine colostrum: a review. *Animals*. 2019;9(12):1070. https://doi.org/10.3390/ani9121070
9. Wilms J.N., Hare K.S. Fischer-Tlustos A.J. et al. Fatty acid profile characterization in colostrum, transition, and mature milk from primiparous and multiparous Holstein cows. *Journal of Dairy Science*. 2022;105(3):2612-2630. https://doi.org/10.3168/jds.2021-20880
10. Arslan A., Kaplan M., Duman H. et al. Bovine colostrum and its potential for human health and nutrition. *Frontiers in Nutrition*. 2021;8:651721. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.651721
11. Kuzmin S.V., Rusakov V.N., Sinitsyna O.O. et al. Cow colostrum: component composition, biological properties and application practice. *Problems of Nutrition*. 2023;92(2):97-108. (In Russ.) https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-2-97-108
12. Baker E.N., Baker H.M., Coon N., Kidd R.D. Lactoferrin: properties and applications. *Dairy Industry*. 2006;(2):38-39. (In Russ.)
13. Li H., Aluko R.E. Bovine colostrum as a bioactive product against human microbial infections and gastrointestinal disorders. *Current Topics in Nutraceutical Research*. 2006;4(3-4):227-237.
14. Komolova G.S., Tihomirova N.A., Andreev O.I. Angiogenin of milk – an active basis of the medicative means. *Dairy Industry*. 2007;(2):56-57. (In Russ.)
15. Vertiprakhov V.G., Selionova M.I., Malorodov V.V. et al. Milk trypsin clear increases under bovine mastitis simultaneously with inflammation gene expression. *Agricultural Biology*. 2023;58(4):685-699. (In Russ.) https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.4.685rus

Сведения об авторах

Владимир Георгиевич Вертипрахов, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой физиологии, этологии и биохимии животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; vertiprahov@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-3240-7636

Анастасия Дмитриевна Ильченко, обучающаяся, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49

Information about the authors

Vladimir G. Vertiprakhov, DSc (Bio), Associate Professor, Head of the Department of Physiology, Ethology and Biochemistry of Animals, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; vertiprahov@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-3240-7636

Anastasia D. Ilchenko, student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation

Вклад авторов

В.Г. Вертипрахов – создание черновика рукописи, оформление окончательной версии (доработка) рукописи, визуализация, организация исследований.
А.Д. Ильченко – проведение исследований, подготовка и создание рукописи.

Contribution of the authors

V.G. Vertiprakhov – writing – original draft, writing – review & editing, visualization, project administration.

A.D. Ilchenko – investigation, writing – original draft.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 08.04.2026
Одобрена после рецензирования 17.06.2026
Принята к публикации 17.06.2026

The article was submitted to the editorial office
April 08, 2026
Approved after reviewing June 17, 2026
Accepted for publication June 17, 2026

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 571.17 (598.2)
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-05

Малочисленные и редкие виды воробьинообразных птиц на территории государственного природного заказника «Бунгарапско-Ажендаровский»

Илья Сергеевич Кузнецов[1], Анастасия Александровна Клюева[1,2]

[1] Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия
[2] НИИ КПССЗ, Кемерово, Россия

Автор, ответственный за переписку: Кузнецов Илья Сергеевич,
roboilya07@mail.ru

Аннотация
Структура населения птиц на конкретной территории зависит в основном от видов-доминантов. Тем не менее виды, количество которых является незначительным, представляют интерес для изучения, так как могут отражать начинающиеся изменения в состоянии экосистемы в целом. К таким изменениям относятся, например, расширение ареалов и смена биотопов отдельных видов. Кроме того, изучение видов с низкой численностью помогает в разработке мер их охраны, в пополнении данных как для региональной, так и федеральной Красных книг. Исследования проводились с 2022 по 2025 гг. По результатам отловов паутинными сетями обозначены 66 видов воробьинообразных птиц с невысокой относительной численностью, обитающие на территории государственного природного заказника «Бунгарапско-Ажендаровский». Составлены наблюдения и закономерности встречаемости для малочисленных видов. Большая часть видов (22 из 66 малочисленных и редких видов воробьинообразных) имеет относительно стабильную численность. Сокращается численность у четырех видов воробьинообразных: белая трясогузка *Motacilla alba (Linnaeus, 1758)*, желтоголовая трясогузка *Motacilla citreola (Pallas, 1776)*, черноголовый чекан *Saxicola torquata (Linnaeus, 1766)*, дубонос *Coccothraustes coccothraustes (Linnaeus, 1758)*. Чаще стали встречаться северная бормотушка *Hippolais caligata (Lichtenstein, 1823)*, вид с нестабильной численностью – береговая ласточка *Riparia riparia (Linnaeus, 1758).* Выявлены виды, встречающиеся только в один из сезонов исследований (редкие), в том числе внесенная в Красную книгу Российской Федерации овсянка-ремез *Ocyris rusticus* (Pallas, 1776). Выявлено, что большинство малочисленных и редких видов встречаются в начале осеннего пролета. Среди изученных выявлены 22 вида, гнездящиеся на территории заказника.

Ключевые слова
Относительная численность птиц, редкие виды, малочисленные виды, Бунгарапско-Ажендаровский заказник, Красная книга Кузбасса, Красная книга России

Для цитирования
Кузнецов И.С., Клюева А.А. Малочисленные и редкие виды воробьинообразных птиц на территории государственного природного заказника «Бунгарапско-Ажендаровский». *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(2):405. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-05

© Кузнецов И.С., Клюева А.А., 2026
© Kuznetsov I.S., Klyueva A.A., 2026

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-05

Rare and low-abundance passerine species in the Bungarapsko-Azhendarovsky State Nature Reserve

Ilya S. Kuznetsov, Anastasia A. Klyueva

[1] Kemerovo State University, Kemerovo, Russia
[2] NII KPSSZ, Kemerovo, Russia

Corresponding author: Ilya Sergeevich Kuznetsov, roboilya07@mail.ru

Abstract
The structure of avian communities in any given area is largely determined by dominant species. Nevertheless, low-abundance species are of particular interest for study, as they may reflect incipient changes in the overall state of the ecosystem – such as range expansions or shifts in habitat use by certain species. Furthermore, investigations of low-abundance species helps develop conservation measures and provide valuable data for both regional and federal Red Data Books. The study was conducted from 2022 to 2025. Using mist-net captures, we recorded 66 passerine species with relatively low abundance on the territory of the Bungarapsko-Azhendarovsky State Nature Reserve. Observations and patterns of occurrence were compiled for these low-abundance species. The majority of species (22 out of 66) exhibited relatively stable population numbers. A decline in abundance was observed for four passerine species: white wagtail *Motacilla alba (Linnaeus, 1758)*, citrine wagtail *Motacilla citreola (Pallas, 1776)*, stonechat *Saxicola torquata (Linnaeus, 1766)*, hawfinch *Coccothraustes coccothraustes (Linnaeus, 1758)*. An increase in occurrence was recorded for the the northern warbler *Hippolais caligata (Lichtenstein, 1823)*, while the sand martin *Riparia riparia (Linnaeus, 1758)* showed unstable population numbers. Species recorded in only one season of the study (rare species) were identified, including penduline bunting *Ocyris rusticus (Pallas, 1776)*, which is listed in the Red Data Book of the Russian Federation. Most low-abundance and rare species were found to occur primarily during the early autumn migration period. Among the studied species, 22 were confirmed to breed within the reserve.

Keywords
Relative abundance of birds, rare species, few species, Bungarapsko-Azhendarovsky Reserve, Red Data Book of Kuzbass, Red Data Book of Russia

For citation
Kuznetsov I.S., Klyueva A.A. Rare and low-abundance passerine species in the Bungarapsko-Azhendarovsky State Nature Reserve. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):405. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-4-05

Введение
Introduction

Редкие и малочисленные виды, несмотря на небольшую численность, являются важной частью орнитофауны Бунгарапско-Ажендаровского заказника. Без них невозможны изучение, охрана и рациональное использование животного мира. Они необходимы для поддержания биоразнообразия и предотвращения разрушения экосистемы. Эти виды могут служить в качестве биоиндикаторов среды. Изучение редких и малочисленных видов воробьинообразных птиц может помочь также в охране краснокнижных видов на территории исследований.

ГПЗ «Бунгарапско-Ажендаровский» находится в Кемеровской области и включает в себя часть территории Беловского и Крапивинского муниципальных округов [1]. На территории заказника ведутся работы для поддержания биоразнообразия, в том числе по сохранению и восстановлению численности редких и исчезающих видов. В заказнике отмечено 216 видов птиц [2], часть из которых имеет низкую относительную численность или является охраняемой. Среди них значительную часть видового разнообразия составляют птицы отряда воробьинообразные.

Цель исследований: выявление малочисленных и редких видов воробьинообразных птиц на территории ГПЗ «Бунгарапско-Ажендаровский».

Методика исследований
Research method

Сбор информации осуществлялся с помощью отловов птиц паутинными сетями на территории Бунгарапско-Ажендаровского заказника с 2022 по 2025 гг. в течение летне-осеннего

периода. Использовались сети из тонкой черной синтетической нити с ячейкой 17 мм. Все сети имели стандартную длину 10 м высоту 2.5-3 м. Ловчие сети во время исследований работали круглосуточно. Проверка сетей проводилась один раз в час, при неблагоприятных погодных условиях (дождь, жара, сильный ветер) частота проверки сокращалась до 15-30 мин. На территории исследований с 2022 по 2025 гг. суммарно было установлено 27 ловчих полотен. Вид отловленных птиц определяли по справочнику-определителю В.К. Рябицева «Птицы Сибири» [3] и по книге «Птицы Кемеровской области» А.А. Васильченко [4]. В статье термином «малочисленные» обозначены виды, которые ежегодно составляют в отловах от 1 до 3%; термином «редкие» – виды, которые встречались не каждый год и в небольшом количестве (не более 1%). Данное распределение частично основывается на градации видов по численности А.П. Кузякина [5] и А.Б. Мамаева [6] с авторскими дополнениями. Статистическая обработка данных производилась в программе Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

Всего за время исследований было зарегистрировано 9679 птиц, 78 видов. По результатам отловов к малочисленным можно отнести 29 видов воробьинообразных птиц; 37 видов являются редкими. Среди редких птиц отмечен вид, внесенный в Красную книгу Кузбасса и Красную книгу России: окольцовано 2 особи овсянки-ремеза [7, 8] в 2022 и 2023 гг. Все рассматриваемые виды составляют в среднем 22% от общего количества отловленных особей воробьинообразных.

Количество редких видов, отмеченных в разные годы, является неодинаковым (табл. 1). Так, в 2022 г. было отмечено 20 редких видов, в 2023 г. – 14, в 2024 г. – 15. В 2025 г. было отмечено наибольшее количество редких видов за все сезоны исследований – 21 вид. Это может быть связано с благоприятными погодными условиями и высокой численностью насекомых по сравнению с прошлыми сезонами. Многие из редких видов встречались только в один из сезонов. Для части из них это объясняется не только невысокой численностью вида в районе исследований, но и тем, что их места обитания не расположены в непосредственной близости от установленных ловушек.

Только в 2022 г. из редких видов были отмечены обыкновенная иволга *Oriolus oriolus* (Linnaeus, 1758), пеночка-таловка *Phylloscopus borealis* (Blasius, 1858), соловей-свистун *Luscinia sibilans* (Swinhoe, 1863), камышовая овсянка *Schoeniclus schoeniclus* (Linnaeus, 1758); в 2023 г. – чиж *Carduelis spinus* (Linnaeus, 1758); в 2024 г. – белошапочная овсянка *Emberiza leucocephala* (Gmelin, 1771), обыкновенная пищуха *Certhia familiaris* (Linnaeus, 1758); в 2025 г. – корольковая пеночка *Ph. proregulus* (Pallas, 1811), кукша *Perisoreus infaustus* (Linnaeus, 1758), луговой чекан *Saxicola rubetra* (Linnaeus, 1758), снегирь *Pyrrhula pyrrhula* (Linnaeus, 1758), толстоклювая пеночка *Ph. schwarzi* (Radde, 1863), урагус *Uragus sibiricus* (Pallas, 1773), ширококлювая мухоловка *Muscicapa dauurica* (Pallas, 1811). Остальные виды отловлены не менее чем в двух сезонах.

Единично, но относительно регулярно встречаются сибирский жулан, малая желтоголовая трясогузка, белобровик, оливковый дрозд, индийская камышевка, зеленая пеночка, пеночка-весничка, таежный сверчок, московка.

Таблица 1. Относительная численность редких видов на территории исследования.

Table 1. Relative abundance of rare bird species in the study area.

Вид ***Species***	**Доля от общего количества регистраций птиц в отловах, %** ***Proportion of total bird captures, %***				
	2022	**2023**	**2024**	**2025**	**весь срок**
Acrocephalus agricola (Jerdon, 1845)	0.04	0.04	0.07	0	0.03
Acrocephalus arundinaceus (Linnaeus, 1758)	0.17	0	0.15	0	0.06
Aegithalos caudatus (Linnaeus, 1758)	0.25	0	0	0.4	0.21
Carduelis spinus (Linnaeus, 1758)	0	0.12	0	0	0.03
Certhia familiaris (Linnaeus, 1758)	0	0	0.07	0	0.01

Продолжение табл. 1 / Table 1 continued

Вид ***Species***	**Доля от общего количества регистраций птиц в отловах, %** ***Proportion of total bird captures, %***				
	2022	**2023**	**2024**	**2025**	**весь срок**
Emberiza leucocephala (Gmelin, 1771)	0	0	0.07	0	0.01
Erithacus rubecula (Linnaeus, 1758)	0	0.04	0	0.02	0.02
Hippolais icterina (Vieillot, 1817)	0	0	0.07	0.14	0.06
Lanius cristatus (Linnaeus, 1758)	0.17	0.2	0	0.46	0.26
Locustella fasciolata (Gray, 1861)	0	0.08	0.07	0.14	0.08
Luscinia sibilans (Swinhoe, 1863)	0.04	0	0	0	0.01
Motacilla (citreola) werae (Buturlin, 1907)	0.34	0.2	0	0.06	0.15
Motacilla flava (Linnaeus, 1758)	0.04	0	0.73	0	0.11
Muscicapa dauurica (Pallas, 1811)	0	0	0	0.31	0.11
Muscicapa sibirica (Gmelin, 1789)	0	0.04	0	0.02	0.02
Ocyris pusilla (Pallas, 1776)	0.04	0	0.07	0	0.02
Ocyris rusticus (Pallas, 1776)	0.04	0.04	0	0	0.02
Oenanthe oenanthe (Linnaeus, 1758)	0	0	0.07	0.06	0.03
Oriolus oriolus (Linnaeus, 1758)	0.08	0	0	0	0.02
Parus ater (Linnaeus, 1758)	0.04	0.04	0	0.2	0.09
Passer domesticus (Linnaeus,1758)	0	0.12	0	0.08	0.06
Perisoreus infaustus (Linnaeus, 1758)	0	0	0	0.02	0.01
Phragamaticola aedon (Pallas, 1776)	0.04	0	0	0.26	0.1
Phylloscopus borealis (Blasius, 1858)	0.04	0	0	0	0.01
Phylloscopus proregulus (Pallas, 1811)	0	0	0	0.02	0.01
Phylloscopus schwarzi (Radde, 1863)	0	0	0	0.23	0.08
Phylloscopus trochiloides (Sundevall, 1837)	0.08	0	0.44	0.02	0.09
Phylloscopus trochilus (Linnaeus, 1758)	0.04	0	0.07	0.06	0.04
Pyrrhula pyrrhula (Linnaeus, 1758)	0	0	0	0.06	0.02

Окончание табл. 2 / Table 2 finished

Вид ***Species***	**Доля от общего количества регистраций птиц в отловах, %** ***Proportion of total bird captures, %***				
	2022	**2023**	**2024**	**2025**	**весь срок**
Saxicola rubetra (Linnaeus, 1758)	0	0	0	0.02	0.01
Schoeniclus schoeniclus (Linnaeus, 1758)	0.17	0	0	0	0.04
Sturnus vulgaris (Linnaeus, 1758)	0.13	0.12	0	0	0.06
Tarsiger cyanurus (Pallas, 1773)	0.04	0	0.07	0	0.02
Turdus iliacus (Linnaeus, 1766)	0.08	0.04	0.22	0	0.06
Turdus merula (Linnaeus, 1758)	0	0.04	0.07	0	0.02
Turdus obscurus (Gmelin, 1789)	0.04	0.12	0.07	0	0.05
Uragus sibiricus (Pallas, 1773)	0	0	0	0.02	0.01

Относительно малочисленных птиц (табл. 2) удалось отметить несколько интересных наблюдений и закономерностей. Большинство изучаемых видов имеют стабильную относительную численность с незначительными перепадами в разных сезонах. К видам со стабильной относительной численностью можно отнести деревенскую ласточку *Hirundo rustica* (Linnaeus, 1758), горную трясогузку *Motacilla cinerea* (Tunstall, 1771), маскированную трясогузку *M. personata* (Gould, 1861), лесного конька *Anthus trivialis* (Linnaeus, 1758), обыкновенного жулана *Lanius collurio* (Linnaeus, 1758), певчего сверчка *Locustella certhiola* (Pallas, 1811), серую славку *Sylvia communis* (Latham, 1787), бурую пеночку *Ph. fuscatus* (Blyth, 1842), мухоловку-пеструшку *Ficedula hypoleuca* (Pallas, 1764), малую мухоловку *F. parva* (Bechstein, 1794), горихвостку-лысушку *Phoenicurus phoenicurus* (Linnaeus, 1758), соловья-красношейку *L. calliope* (Pallas, 1776), варакушку *L. svecica* (Linnaeus, 1758), синего соловья *L. cyane* (Pallas, 1776), чернозобого дрозда *Turdus atrogularis* (Jarocki, 1819), дрозда-рябинника *T. pilaris* (Linnaeus, 1758), пухляка *Parus montanus* (Baldenstein, 1827), обыкновенного поползня *Sitta europaea* (Linnaeus, 1758), юрка *Fringilla montifringilla* (Linnaeus, 1758), полевого воробья *Passer montanus* (Linnaeus, 1758), черноголового щегла *C. carduelis* (Linnaeus, 1758), обыкновенную овсянку *E. citrinella* (Linnaeus, 1758).

Таблица 2. Относительная численность малочисленных видов на территории исследования.

Table 2. Relative abundance of low-abundance bird species in the study area.

Вид ***Species***	**Доля от общего количества регистраций птиц в отловах, %** ***Proportion of total bird captures, %***				
	2022	**2023**	**2024**	**2025**	**весь срок**
Anthus trivialis (Linnaeus, 1758)	0.2	0.33	0.36	0.2	0.26
Carduelis carduelis (Linnaeus, 1758)	0.97	0.29	2.48	0.26	0.76
Coccothraustes coccothraustes (Linnaeus, 1758)	1.38	2.27	0.88	0.06	1.05
Emberiza citrinella (Linnaeus, 1758)	0.71	0.33	0.15	0.34	0.4

Окончание табл. 2 / Table 2 finished

Вид ***Species***	**Доля от общего количества регистраций птиц в отловах, %** ***Proportion of total bird captures, %***				
	2022	**2023**	**2024**	**2025**	**весь срок**
Ficedula hypoleuca (Pallas, 1764)	1.38	0.99	1.24	1.6	1.34
Ficedula parva (Bechstein, 1794)	0.25	0.41	0.15	0.51	0.37
Fringilla montifringilla (Linnaeus, 1758)	0.13	0.04	0.07	0.02	0.06
Hippolais caligata (Lichtenstein, 1823)	0.08	0.37	0.36	0.31	0.28
Hirundo rustica (Linnaeus, 1758)	1.8	1.86	2.48	1.34	1.75
Lanius collurio (Linnaeus, 1758)	0.55	0.29	0.15	0.11	0.27
Locustella certhiola (Pallas, 1811)	0.5	0.12	0.44	1.05	0.6
Luscinia calliope (Pallas, 1776)	1	0.9	1.24	1.97	1.37
Luscinia cyane (Pallas, 1776)	2.1	0.58	0.58	1.31	1.21
Luscinia svecica (Linnaeus, 1758)	1.47	0.87	0.88	1.42	1.21
Motacilla alba (Linnaeus, 1758)	0.08	0.08	0.07	0.03	0.06
Motacilla cinerea (Tunstall, 1771)	0.25	0.17	0.15	0.11	0.17
Motacilla citreola (Pallas, 1776)	0.21	0.29	0.07	0.02	0.14
Motacilla personata (Gould, 1861)	0.84	0.46	0.58	0.2	0.48
Parus montanus (Baldenstein, 1827)	0.29	0.58	0.44	1	0.64
Passer montanus (Linnaeus, 1758)	0.88	0.66	0.66	0.34	0.6
Phoenicurus phoenicurus (Linnaeus, 1758)	0.21	1.45	0.58	1	0.86
Phylloscopus fuscatus (Blyth, 1842)	0.21	0.08	0.07	0.14	0.13
Riparia diluta (Sharpe et Wyatt, 1893)	0.13	0.46	0.44	0.4	0.35
Riparia riparia (Linnaeus, 1758)	0.8	3	0.15	1.7	1.6
Saxicola torquata (Linnaeus, 1766)	1.21	0.83	0.66	0.37	0.73
Sitta europaea (Linnaeus, 1758)	0.46	0.87	0.15	0.71	0.6
Sylvia communis (Latham, 1787)	1.26	1.86	1.09	1.48	1.46
Turdus atrogularis (Jarocki, 1819)	0.38	1.32	0.51	0.02	0.5
Turdus pilaris (Linnaeus, 1758)	0.34	0.37	0.66	0.02	0.36

Тенденцию снижения численности показывают белая трясогузка, желтоголовая трясогузка, азиатский черноголовый чекан, дубонос. Наибольший процент в отловах у черноголового чекана был отмечен в 2022 г., во все последующие годы его встречаемость в отловах уменьшилась приблизительно в 1.5 раза. Доля белой трясогузки в отловах с 2022 по 2024 гг. оставалась практически неизменной, но в 2025 г. упала в 2.7 раза. Численность дубоноса резко снизилась в 2025 г. несмотря на то, что в прошлые годы этот вид отмечался достаточно часто. Процент в отловах у желтоголовой трясогузки в 2022 и 2023 гг. был практически одинаковым, но в 2024 г. и в последующем 2025 г. он снизился приблизительно в 4 раза. Северная бормотушка, наоборот, стала встречаться чаще: ее численность возросла с 0.08% в 2022 г. до 0.37% в 2023 г. и практически не изменялась на протяжении последующих сезонов. Численность береговой ласточки значительно колеблется; наиболее часто этот вид отлавливали в 2023 г., когда количество зарегистрированных птиц составило 3% от общего количества отловов.

Во время гнездового периода (конец мая – середина июля) были зарегистрированы деревенская ласточка, береговая ласточка, бледная береговушка *Riparia diluta (Sharpe et Wyatt, 1893)*, лесной конек, маскированная трясогузка *Motacilla personata (Gould, 1861)*, обыкновенный скворец *Sturnus vulgaris (Linnaeus, 1758)*, певчий сверчок, северная бормотушка, серая славка, мухоловка-пеструшка, горихвостка-лысушка, соловей-красношейка, варакушка, синий соловей, чернозобый дрозд, черный дрозд *Turdus merula (Linnaeus, 1758)*, пухляк, обыкновенный поползень, полевой воробей, черноголовый щегол, дубонос, обыкновенная овсянка.

Выводы
Conclusions

В качестве выводов можно отметить, что видовое разнообразие воробьинообразных птиц на территории исследований остается стабильным за выбранный период (2022-2025 гг.). Из 78 отмеченных видов малочисленными являются 29, редкими – 37. Эти 66 видов составляют в среднем 22% от общего количества отловленных особей. Большинство этих птиц (44 вида) встречаются только с середины июля по август, в начале осенних миграций. К гнездовой фауне территории исследований относятся 22 вида с невысокой численностью.

Список источников

1. Кадастр ООПТ регионального значения в Кемеровской области – Кузбассе. *Департамент по охране объектов животного мира Кузбасса*. URL: https://depoozm.ru/index.php/departament/direktsiya-osobo-okhranyaemykh-prirodnykh-territorij/kadastr-oopt-regionalnogo-znacheniya-v-kemerovskoj-oblasti (дата обращения: 20.04.2026).
2. Кадастровый отчет по ООПТ государственный природный заказник регионального значения «Бунгарапско-Ажендаровский». *Электронный библиографический путеводитель по особо охраняемым природным территориям*. URL: https://oopt.kemrsl.ru/user/pages/bungarapsko-azhendarovskii/of/Bungarapsko-Azhendarovskij.pdf (дата обращения: 20.04.2026).
3. Рябицев В.К. *Птицы Сибири*. Москва, Екатеринбург: Кабинетный ученый, 2014;1:438.
4. Васильченко А.А. *Птицы Кемеровской области*. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2004:487.
5. Мамаев А.Б. Структура орнитофауны открытых биотопов северной части Прикаспийской низменности. *Вопросы степеведения*. 2013;(10):59-61.
6. Кузякин А.П. Зоогеография СССР. *Учёные Записки Московского областного педагогического*

References

1. Cadastre of Protected Areas of Regional Significance in the Kemerovo Region – Kuzbass. *Department for the Protection of Wildlife of Kuzbass*. (In Russ.) URL: https://depoozm.ru/index.php/departament/direktsiya-osobo-okhranyaemykh-prirodnykh-territorij/kadastr-oopt-regionalnogo-znacheniya-v-kemerovskoj-oblasti (accessed: April 20, 2026).
2. Cadastral report on the specially protected natural area, the the Bungarapsko-Azhendarovsky State Nature Reserve. *Electronic bibliographic guide to specially protected natural areas.* (In Russ.) URL: https://oopt.kemrsl.ru/user/pages/bungarapsko-azhendarovskii/of/Bungarapsko-Azhendarovskij.pdf (accessed: November 12, 2025).
3. Ryabitsev V.K. Birds of Siberia. Moscow, Yekaterinburg, Russia: Kabinetniy ucheniy, 2014;1:438. (In Russ.)
4. Vasilchenko A.A. Birds of the Kemerovo Region. Kemerovo, Russia: Kuzbassvuzizdat, 2004:487. (In Russ.)
5. Mamaev A.B. Structure of the Avifauna of Open Biotopes of the Northern Part of the Caspian Lowland. *Voprosy stepevedeniya.* 2013;(10):59-61. (In Russ.)
6. Kuzyakin A.P. Zoogeography of the USSR. *Uchonye Zapiski Moskovskogo oblastnogo pedagogicheskogo*

института им. Н.К. Крупской. Москва, 1962;109(1):182.
7. *Красная книга Кузбасса. Т. II. 3-е издание, переработанное и дополненное*. Кемерово: «ВЕКТОР-ПРИНТ», 2021:232.
8. *Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-е издание*. Москва: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021:1128.

instituta im. N.K. Krupskoy. Moscow, USSR, 1962;109(1):182. (In Russ.)
7. *The Red Data Book of Kuzbass. Vol. II. 3rd edition, revised and supplemented.* Kemerovo, Russia: "VECTOR-PRINT", 2021:232. (In Russ.)
8. The Red Data Book of the Russian Federation, Volume "Animals." 2nd edition. Moscow, Russia: All-Russian Research Institute of Ecology, 2021:1128. (In Russ.)

Сведения об авторах

Илья Сергеевич Кузнецов, обучающийся, Кемеровский государственный университет; 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6; roboilya07@mail.ru

Анастасия Александровна Клюева, ассистент, Кемеровский государственный университет; 650043, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6; младший научный сотрудник, НИИ КПССЗ; Россия, г. Кемерово, б-р Л.С. Барбараша, 6, к. 2; kaiketsu@mail.ru

Information about the authors

Ilya S. Kuznetsov, student, Kemerovo State University; 6 Krasnaya St., Kemerovo, 650043, Russian Federation; roboilya07@mail.ru

Anastasia A. Klyueva, assistant, Kemerovo State University; 6 Krasnaya St., Kemerovo, 650043, Russian Federation; Junior Research Associate, NII KPSSZ; 6/2 L.S. Barbarasha Ave., Kemerovo; kaiketsu@mail.ru

Вклад авторов
И.С. Кузнецов – получение, анализ, интерпретация и визуализация данных исследования, написание черновика статьи, утверждение окончательной версии для публикации.
А.А. Клюева – руководитель исследования, получение, анализ и интерпретация данных исследования, редактирование статьи, утверждение окончательной версии для публикации.

Contribution of the authors
I.S. Kuznetsov – data acquisition, analysis, interpretation, and visualization; writing – original draft; writing – review & editing.

A.A. Klyueva – principal investigator; data acquisition, analysis, and interpretation; writing – review & editing.

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests
The authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 19.01.2026
Одобрена после рецензирования 30.06.2026
Принята к публикации 30.06.2026

The article was submitted to the editorial office January 19, 2026
Approved after reviewing June 30, 2026
Accepted for publication June 30, 2026

Обзорная статья
УДК 579.842:615.33
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-5-01

Антибиотикорезистентность в ветеринарии и медицине: механизмы формирования и глобальные угрозы

Полина Александровна Бочарова[1], Валентина Михайловна Бачинская[1], Евгения Сергеевна Баранович[1], Дмитрий Витальевич Гончар[2]

[1] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
[2] Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Валентина Михайловна Бачинская, bachinskaya@rgau-msha.ru

Аннотация
Проблема резистентности бактерий к антимикробным препаратам является одной из наиболее острых в современной ветеринарии и медицине. С каждым годом ситуация усугубляется, и появляются новые штаммы бактерий, которые проявляют устойчивость не к одному, а сразу к нескольким классам антибиотиков. Это создает серьезную угрозу для здоровья животных и человека, поскольку привычные методы лечения инфекций становятся неэффективными. Специалисты сталкиваются с необходимостью искать альтернативные, зачастую более дорогостоящие и менее безопасные схемы терапии. Особую тревогу вызывает распространение мультирезистентных штаммов – бактерий, устойчивых к большинству доступных антибиотиков, способных быстро распространяться. Опасные резистентные бактерии с множественной лекарственной устойчивостью напрямую связаны с избыточным и нерациональным использованием антимикробных средств. В ветеринарной медицине проблема приобретает еще более сложный характер. Так, нерациональное применение антибиотиков, применяемых для профилактики заболеваний у сельскохозяйственных животных, приводит к накоплению резистентных бактерий. Эти микроорганизмы могут передаваться человеку через продукты животного происхождения (мясо, молоко), а также через контакт с животными или с их отходами. Поэтому исследование механизмов формирования и распространения резистентности микроорганизмов становится приоритетной задачей для научного сообщества. В связи с этим необходима разработка мер по предотвращению резистентности, что требует в ветеринарии сокращения использования антибиотиков для профилактики заболеваний, внедрения альтернативных методов защиты животных (например, применение пробиотиков, вакцин), контроля за применением препаратов; в медицине необходимо строго соблюдать протоколы назначения антибиотиков, осуществлять повышение квалификации специалистов, а также информирование пациентов о рисках самолечения. Таким образом, анализ механизмов формирования устойчивости, статистических данных и современных тенденций развития проблемы показывает, что резистентность бактерий развивается по нескольким направлениям и необходим комплексный подход к решению проблемы, включающий в себя строгий контроль за использованием антибиотиков в ветеринарии и медицине, совершенствование методов диагностики резистентности микроорганизмов, разработку новых антимикробных препаратов, внедрение альтернативных методов лечения и усиление международного сотрудничества в области мониторинга резистентности.

Ключевые слова
Антибиотикорезистентность, мультирезистентные штаммы, устойчивость бактерий, антимикробные препараты, мониторинг резистентности, антибиотикотерапия

Для цитирования
Бочарова П.А., Бачинская В.М., Баранович Е.С., Гончар Д.В. Антибиотикорезистентность в ветеринарии и медицине: механизмы формирования и глобальные угрозы. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(2):501. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-5-01

© Бочарова П.А., Бачинская В.М., Баранович Е.С., Гончар Д.В., 2026
© Bocharova P.A., Bachinskaya V.M., Baranovich E.S., Gonchar D.V., 2026

MICROBIOLOGY, MOLECULAR BIOLOGY

Review article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-5-01

Antibiotic resistance in veterinary medicine and human healthcare: mechanisms and global threats

Polina A. Bocharova[1], Valentina M. Bachinskaya[1], Evgeniya S. Baranovich[1], Dmitriy V. Gonchar[2]

[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
[2] Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Skryabin, Moscow, Russia

Corresponding author: Valentina M. Bachinskaya, bachinskaya@rgau-msha.ru

Abstract
Bacterial resistance to antimicrobial agents is one of the most pressing challenges in contemporary veterinary and human medicine. The situation is worsening each year, with new bacterial strains emerging that are resistant not to a single antibiotic but to multiple classes of antimicrobials simultaneously. This poses a serious threat to both animal and human health, as conventional treatment protocols for infectious diseases become increasingly ineffective. Clinicians are compelled to seek alternative therapeutic regimens, which are often more expensive and less safe. Of particular concern is the spread of multidrug-resistant (MDR) strains – bacteria resistant to most available antibiotics – which can disseminate rapidly. The emergence of dangerous MDR bacteria is directly linked to the excessive and inappropriate use of antimicrobial agents. In veterinary medicine, the problem is further compounded: the indiscriminate use of antibiotics for disease prevention in farm animals leads to the accumulation of resistant bacteria. These microorganisms can be transmitted to humans through animal-derived products (meat, milk), as well as through direct contact with animals or their waste. Consequently, investigating the mechanisms of resistance emergence and spread has become a research priority. In response, the development of measures to prevent resistance is critically needed. In veterinary practice, this requires reducing prophylactic antibiotic use, implementing alternative approaches to animal health management (e.g., probiotics, vaccines), and monitoring of drug application. In human medicine, it necessitates adherence to antibiotic prescribing protocols, continuous professional education, and public awareness campaigns on the risks of self-medication. In summary, the analysis of resistance mechanisms, statistical data, and current trends indicates that bacterial resistance develops through multiple pathways. A comprehensive, multidisciplinary approach is required, encompassing strict regulation of antibiotic use in both veterinary and human medicine, improved diagnostic methods for resistance detection, the development of novel antimicrobial agents, the adoption of alternative therapeutic strategies, and strengthened international collaboration in resistance surveillance.

Keywords
Antibiotic resistance, multidrug-resistant strains, bacterial resistance, antimicrobial agents, resistance surveillance, antibiotic therapy

For citation
Bocharova P.A., Bachinskaya V.M., Baranovich E.S., Gonchar D.V. Antibiotic resistance in veterinary medicine and human healthcare: mechanisms and global threats. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):501. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-5-01

Введение
Introduction

Резистентность (устойчивость) бактерий к антимикробным препаратам – одна из наиболее острых и тревожных проблем, с которой сталкивается современная ветеринария и медицина на сегодняшний день. Эта проблема не просто осложняет работу специалистов, но представляет собой серьезную угрозу для общественного здоровья, поскольку напрямую приводит к снижению эффективности лечения инфекционных заболеваний, существенному увеличению сроков госпитализации пациентов и, к сожалению, к росту случаев смертности. Ситуация требует незамедлительного внимания и комплексного подхода к решению, поскольку последствия бездействия могут быть катастрофическими. По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), к 2050 г. ежегодное число смертей по причине резистентных инфекций может достичь 10 млн чел. Эта статистика подчеркивает критическую важность решения проблемы

антибиотикорезистентности на глобальном уровне, вовлекая в работу не только медицинских и ветеринарных специалистов, но и исследователей, представителей фармацевтической индустрии [1, 2].

Известно, что открытие антибиотиков в XX в. стало настоящим прорывом в медицине, перевернувшим представление о лечении инфекционных заболеваний. В 1928 г. Александр Флеминг совершил одно из величайших открытий в истории медицины: он выделил пенициллин. Это событие положило начало эре антимикробной терапии, которая радикально изменила медицинскую практику. Благодаря пенициллину и последующим разработкам в области антибиотиков удалось спасти миллионы жизней. Эти препараты позволили эффективно контролировать ранее смертельные инфекции – такие, как пневмония, туберкулез, сепсис, а также значительно улучшили прогнозы при хирургических вмешательствах, сделав операции менее рискованными. Однако, как часто бывает в науке, вместе с преимуществами появились и новые вызовы. Уже в 1940-е гг. были зафиксированы первые случаи резистентности к пенициллину у *Staphylococcus aureus*. Этот факт стал тревожным сигналом, показав, что бактерии обладают удивительной способностью адаптироваться к действию даже самых передовых на тот момент лекарственных препаратов [3, 4]. С тех пор проблема резистентности неуклонно нарастает, приобретая масштабы глобальной угрозы. Существует несколько ключевых причин, способствующих этому негативному явлению: массовое производство антибиотиков, которое, с одной стороны, делает препараты более доступными, но с другой – способствует неконтролируемому их использованию. Фармацевтические компании, стремясь удовлетворить спрос, наращивают объемы производства, что приводит к избыточному присутствию антибиотиков в окружающей среде.

Антибиотики активно применяются для профилактики заболеваний у животных, что создает так называемые «резервуары» устойчивых бактерий. Эти микроорганизмы могут передаваться человеку через продукты питания (мясо, молоко, яйца) или при прямом контакте с животными. Особенно тревожит практика добавления антибиотиков в качестве профилактики развития патологических процессов, что напрямую способствует распространению устойчивости и высокой адаптационной способности бактерий [5]. Микроорганизмы демонстрируют поразительную способность к мутациям, обмену генетическим материалом и развитию сложных механизмов защиты от антимикробных препаратов. Это делает борьбу с резистентностью особенно сложной, поскольку бактерии постоянно «совершенствуются», опережая разработки новых лекарств. Механизмы резистентности у бактерий отличаются большим разнообразием и включают в себя такие ключевые процессы, как производство ферментов, разрушающих антибиотики. Например, β-лактамазы инактивируют пенициллины и цефалоспорины, делая их бесполезными против определенных штаммов бактерий, и изменяют структуру мишеней действия препаратов. Бактерии могут модифицировать рибосомы или клеточную стенку, чтобы антибиотики не могли с ними взаимодействовать. Бактерии выстраивают дополнительные барьеры, препятствующие проникновению лекарств внутрь клетки. Этот механизм позволяет бактериям «выталкивать» антибиотики наружу, не давая им оказать лечебное действие, и способствует формированию биопленок – сложных сообществ бактерий, защищенных слизистым матриксом. Биопленки создают дополнительную преграду для антимикробных средств, делая лечение более сложным и неэффективным [1, 5].

Механизмы устойчивости бактерий к антибиотикам

Mechanisms of bacterial resistance to antibiotics

Бактерии развивают устойчивость к антибиотикам с помощью различных механизмов. Первый – модификация мишени действия антибиотика: изменения в структуре белков или других молекул, на которые воздействует препарат, снижают его эффективность. Например, мутации в генах, кодирующих пенициллинсвязывающие белки, приводят к резистентности к β-лактамным антибиотикам [2, 3].

Второй механизм – инактивация антибиотика: бактерии вырабатывают ферменты, разрушающие или модифицирующие препарат. К примеру, β-лактамазы гидролизуют β-лактамное кольцо пенициллинов и цефалоспоринов, аминогликозид-модифицирующие ферменты инактивируют аминогликозиды, а хлорамфениколацетилтрансфераза модифицирует хлорамфеникол [2, 5].

Третий механизм – снижение проницаемости клеточной стенки: изменение структуры пориновых каналов или других компонентов мембраны ограничивает проникновение антибиотика внутрь клетки, что особенно характерно для грамотрицательных бактерий с их внешней мембраной [2, 7].

Четвертый механизм – активное выведение антибиотика (эффлюкс): специальные насосы выводят препарат из клетки быстрее, чем он успевает подействовать. Этот механизм характерен для резистентности к тетрациклинам, фторхинолонам и макролидам.

Пятый механизм – формирование биопленок: бактерии, объединенные в биопленки, защищены от действия антибиотиков и иммунной

системы хозяина. Биопленки состоят из внеклеточного матрикса, включающего в себя полисахариды, белки и ДНК [2, 8].

Шестой механизм – метаболический шунт: бактерии могут формировать альтернативные метаболические пути, обходя блокируемые антибиотиком реакции: например, приобретение генов дигидрофолатредуктазы, нечувствительной к триметоприму [2, 7].

Седьмой механизм – врожденная резистентность: некоторые бактерии изначально нечувствительны к определенным антибиотикам ввиду отсутствия мишени или низкой проницаемости. Например, Mycoplasma не имеет клеточной стенки и поэтому нечувствительна к β-лактамам [2, 4].

Резистентность может быть врожденной, обусловленной структурными особенностями бактерии, или приобретенной, возникающей в результате мутаций в хромосомной ДНК (например, мутации в генах вызывают резистентность к фторхинолонам) либо горизонтального переноса генов через плазмиды (R-плазмиды), транспозоны, интегроны и бактериофаги [2, 3, 5, 7].

Факторы, способствующие распространению резистентности

Factors contributing to the spread of resistance

Основные факторы, способствующие распространению резистентности, включают в себя: нерациональное использование антибиотиков в медицине (самолечение, необоснованное назначение, несоблюдение дозировок и сроков приема); применение антибиотиков в животноводстве для профилактики заболеваний (остатки препаратов попадают в продукты питания и окружающую среду); загрязнение окружающей среды антибиотиками и резистентными бактериями через сточные воды фармацевтических предприятий, больниц и ветеринарных клиник (до 75% антибиотиков выводятся из организма в неизменном виде); горизонтальный перенос генов резистентности между бактериями разных видов (плазмиды с генами резистентности могут распространяться даже между отдаленными видами); недостаток новых антибиотиков (за последние десятилетия число новых классов антибактериальных препаратов резко сократилось по причине высокой стоимости и сложности разработки); глобальную миграцию и туризм, способствующие быстрому распространению резистентных штаммов по всему миру [1, 2, 5-7].

ВОЗ выделяет группу бактерий с высоким уровнем резистентности, представляющих особую угрозу (список приоритетных патогенов): S. aureus (метициллинрезистентный золотистый стафилококк), Enterococcus faecium (ванкомицинрезистентный энтерококк), Klebsiella pneumoniae (продуценты карбапенемаз), Acinetobacter baumannii (мультирезистентные штаммы), Pseudomonas aeruginosa (резистентная к фторхинолонам, аминогликозидам и β-лактамам), Streptococcus pneumoniae (пенициллинрезистентные штаммы) и Neisseria gonorrhoeae (широкая резистентность к цефалоспоринам и азитромицину) [1, 2, 6].

Методы определения чувствительности бактерий к антибиотикам

Methods for determining the sensitivity of bacteria to antibiotics

Для определения чувствительности бактерий к антибиотикам используют несколько методов. Диско-диффузионный метод (метод Кирби-Бауэра) предполагает наложение на агаровую пластину с посевом бактерий дисков, пропитанных антибиотиками, с последующей оценкой зон подавления роста. Метод серийных разведений определяет минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) антибиотика, подавляющую рост бактерий, и может выполняться в бульоне или на агаре. Автоматизированные системы могут быстро определить чувствительность к широкому спектру антибиотиков [6, 7]. Молекулярно-генетические методы включают в себя ПЦР в реальном времени для выявления генов резистентности, секвенирование для определения мутаций, связанных с резистентностью, и микрочипы для одновременного выявления множества детерминант резистентности. Масс-спектрометрия позволяет быстро идентифицировать резистентные штаммы и оценить активность β-лактамаз. Фенотипические тесты помогают выявить специфические механизмы резистентности: тест с клоксациллином, тест Хеддрика с выявлением карбапенемазы и Е-тест [5-7].

Стратегии преодоления резистентности включают в себя: рациональное использование антибиотиков (соблюдение протоколов назначения, ограничение применения в ветеринарии и сельском хозяйстве, образовательные программы для врачей и пациентов, внедрение систем контроля использования антибиотиков); разработку новых препаратов (поиск соединений с новыми механизмами действия, использование бактериофагов и антимикробных пептидов, создание ингибиторов эффлюкс-насосов и β-лактамаз, разработку наночастиц с антимикробной активностью); комбинированную терапию (применение нескольких антибиотиков с разными механизмами действия); иммунотерапию и вакцины (разработку вакцин против резистентных штаммов, например, против S. aureus и P. aeruginosa); мониторинг и контроль (глобальные и национальные системы наблюдения за распространением резистентности,

улучшение лабораторной диагностики); экологические меры (очистку сточных вод от антибиотиков и резистентных бактерий, контроль за выбросами фармацевтических производств) и альтернативные подходы (фаготерапию, применение пробиотиков для коррекции микробиоты, терапию антимикробными пептидами – дефензинами и кателицидинами) [1, 6, 7, 9].

Перспективные направления исследований охватывают разработку антибиотиков, действующих на новые мишени, использование избирательного уничтожения резистентных бактерий, создание «умных» антимикробных материалов с контролируемым высвобождением действующих веществ [7, 9, 10].

Особое внимание в современных исследованиях уделяется нанотехнологиям в антимикробной терапии. Разрабатываются липосомальные формы антибиотиков, позволяющие повысить их проникновение через биопленки и клеточные барьеры [6, 7, 9].

Перспективным направлением является фаготерапия – использование бактериофагов для лечения инфекций, вызванных резистентными бактериями. Фаги обладают высокой специфичностью и способны преодолевать механизмы резистентности, не затрагивая нормальную микрофлору. Исследуются также антимикробные пептиды (дефензины, кателицидины и их синтетические аналоги), которые разрушают бактериальные мембраны и обладают широким спектром действия. Их преимущество – низкая вероятность развития резистентности [7, 9, 10].

Таким образом, резистентность бактерий – сложная мультифакторная проблема, требующая комплексного подхода.

Анализ статистических данных по обнаружению антибиотикорезистентных микроорганизмов

Analysis of statistical data on the detection of antibiotic-resistant microorganisms

По данным на 2024 г., в России выявлены единичные штаммы энтерококков (*E. faecium*), устойчивых ко всем доступным антибиотикам, включая резервные препараты. Уровень резистентности к ванкомицину у *E. faecium* составил 27.83%, а большинство штаммов были устойчивы к ампициллину. Эти данные получены в результате мониторинга, проведенного НИИ антимикробной химиотерапии. Также в 2024 г. зарегистрированы 3.1% штаммов *Escherichia coli* и 1.37% штаммов *K. pneumoniae*, устойчивых к цефтазидиму-авибактаму и его комбинациям с азтреонамом. Это свидетельствует о росте числа энтеробактерий, вырабатывающих карбапенемазы – ферменты, обеспечивающие устойчивость к нескольким классам антибиотиков. В структуре инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, лидирующие позиции занимали энтеробактерии: *K. pneumoniae* (30.4%) и *E. coli* (15.45%) [6, 7, 11].

По данным за 2018-2023 гг., в 72 субъектах РФ было выявлено 47 507 антибиотикорезистентных микроорганизмов, что составило 82.7% всех выявленных возбудителей инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи. Более 75% из них относились к группе патогенов (*E. faecium, S. aureus, K. pneumoniae, A. baumannii, P. aeruginosa, Enterobacter spp*.), а 22.3% обладали множественной устойчивостью (MDR) [7].

Глобальные данные по резистентности бактерий публикует система ВОЗ GLASS (Global Antimicrobial Resistance and Use Surveillance System). В отчете за 2025 год представлены анализ распространенности антибиотикорезистентности в 2023 г. для 93 комбинаций «Тип инфекции патоген – антибиотик» и данные по трендам резистентности для 16 комбинаций за период с 2018 по 2023 гг. Отчет основан на данных более чем 23 млн подтвержденных бактериологических случаев инфекций кровотока, мочевыводящих путей, желудочно-кишечных инфекций и урогенитальной гонореи, полученных от 104 стран в 2023 г. и от 110 стран за период с 2016 по 2023 гг.

Ситуация с резистентностью возбудителей внебольничных инфекций в России в целом остается тревожной: появление среди ранее «благополучных» бактерий возбудителей с множественной резистентностью становится все более значимой [10]. В России проблема антибиотикорезистентности в ветеринарии остается актуальной несмотря на то, что с 2017 г. реализуется «Стратегия предупреждения распространения антимикробной резистентности в РФ на период до 2030 года». С 2022 г. действуют ограничения на применение антибиотиков в животноводстве согласно Федеральному закону «О биологической безопасности в Российской Федерации» № 492-ФЗ [16].

Характеристика мультирезистентных штаммов бактерий

Characteristics of multidrug-resistant bacterial strains

Точная статистика выявления мультирезистентных штаммов бактерий в ветеринарных клиниках варьирует в зависимости от региона, типа бактерий, вида животных и методов исследования. Однако данные указывают на растущую проблему антибиотикорезистентности в ветеринарной медицине, которая усложняет лечение инфекций и повышает риски для здоровья животных и человека [12, 13].

Мультирезистентные стафилококки (метициллин-резистентный S. pseudintermedius). В Европе в 2007 г. был выявлен в 23% образцов в одной референсной клинике за год [14]. В США в период с 2003 по 2004 гг. в 17% всех выделенных штаммов стафилококкова преобладали штаммы S. pseudintermedius [15]. В разных странах процент мультирезистентных штаммов S. pseudintermedius варьировал: в Великобритании – 5%, в Германии – 13%, в Италии – 21%, в Швейцарии – около 15%, во Франции – около 17% [15].

Энтерококки с множественной лекарственной устойчивостью. Исследование 2012 г. показало, что 48.9% изолятов энтерококков (n = 180), выделенных из фекалий здоровых кошек, постоянно проживающих в ветеринарных клиниках, имели устойчивость к трем и более противомикробным препаратам. Наиболее частая устойчивость наблюдалась к тетрациклину (75%), эритромицину (50%) и рифампицину (36.1%) [15].

Мультирезистентные энтеробактерии. По данным на 2022 г., у 6.3% из 842 пациентов (кошек и собак) были обнаружены резистентные штаммы семейства Enterobacteriaceae. В глобальном масштабе доля штаммов E. coli, устойчивых к тетрациклинам и ампициллину, выделенных от сельскохозяйственных животных, в ряде регионов превышает 50% [12].

Acinetobacter spp. В 2016 г. в ветеринарном госпитале Израиля произошла вспышка инфекции, вызванной мультирезистентным Acinetobacter, что привело к гибели 16 из 23 животных, находившихся на лечении [15]. В исследованиях, проведенных в РФ, среди ветеринарных клиник выявлена высокая устойчивость бактерий к критически важным препаратам: колистину, фторхинолонам (например, ципрофлоксацину), цефалоспоринам последних поколений (например, цефотаксиму), азитромицину и рифампицину. В исследовании 45 штаммов Salmonella infantis, S. enteritidis, S. typhimurium все они обладали множественной лекарственной устойчивостью, причем большинство были устойчивы одновременно к 11-18 препаратам [11-13].

Выводы

Conclusions

Проведенный анализ демонстрирует непростую ситуацию с распространением антибиотикорезистентности, которая может приобрести характер глобальной угрозы для ветеринарии и здравоохранения. Определение механизмов формирования устойчивости, анализ статистических данных и современных тенденций развития проблемы показывают, что резистентность бактерий развивается по множеству направлений: от генетических мутаций до горизонтального переноса генов устойчивости между различными видами микроорганизмов. Особую опасность представляют мультирезистентные штаммы, устойчивые к нескольким классам антибиотиков одновременно, среди которых выделяются *S. aureus*, *E. faecium, K. pneumoniae* и другие приоритетные патогены. Исследования выявили комплексный характер проблемы, охватывающей медицину, ветеринарию и сельское хозяйство. Нерациональное использование антибиотиков в этих сферах создает условия для формирования и распространения резистентных штаммов, которые могут передаваться между видами и через пищевые цепочки.

Статистические данные свидетельствуют о растущей распространенности антибиотикорезистентности. Так, в России выявлены штаммы энтерококков, устойчивых ко всем доступным антибиотикам, а глобальные показатели резистентности продолжают увеличиваться. По прогнозам ВОЗ, без принятия срочных мер к 2050 г. смертность от резистентных инфекций может достичь 10 млн случаев ежегодно. Поэтому необходим комплексный подход к решению проблемы, включающий в себя строгий контроль за использованием антибиотиков в ветеринарии и медицине, совершенствование методов диагностики резистентности, разработку новых антимикробных препаратов, внедрение альтернативных методов лечения и усиление международного сотрудничества в области мониторинга резистентности.

Особую тревогу вызывает тот факт, что современные механизмы контроля не успевают за скоростью распространения резистентности. Бактерии демонстрируют поразительную способность к адаптации, постоянно развивая новые способы защиты от существующих препаратов, что создает угрозу для ветеринарии и медицины.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка новых методов борьбы с резистентностью включая использование бактериофагов, антимикробных пептидов и нанотехнологий, а также совершенствование систем мониторинга и раннего предупреждения распространения устойчивых штаммов. Важное значение имеет также развитие образовательных программ для медицинских и ветеринарных работников и населения, направленных на формирование ответственного отношения к использованию препаратов.

Таким образом, проблема антибиотикорезистентности представляет собой сложный многоуровневый вызов, и благодаря объединению научных, медицинских, ветеринарных, образовательных ресурсов можно создать эффективную систему противодействия распространению резистентных штаммов бактерий и сохранить достижения современной медицины для будущих поколений.

Список источников

1. WHO. Global antibiotic resistance surveillance report 2025: WHO Global Antimicrobial Resistance and Use Surveillance System (GLASS) – Summary. Geneva: World Health Organization, 2025:19. https://doi.org/10.2471/B09585
2. Землянко О.М., Рогоза Т.М., Журавлёва Г.А. Механизмы множественной устойчивости бактерий к антибиотикам. *Экологическая генетика*. 2018;16(3):4-17. https://doi.org/10.17816/ecogen1634-17
3. Сидоренко С.В., Тишков В.И. Молекулярные основы резистентности к антибиотикам. *Успехи биологической химии*. 2004;44:263-306.
4. Супотницкий М.В. Механизмы развития резистентности к антибиотикам у бактерий. *Биопрепараты. Профилактика, диагностика, лечение*. 2011;2(42):4-13.
5. Лисицына Е.С., Черненькая Т.В., Ильина Е.Н. и др. Обнаружение генетических маркеров резистентности к β-лактамным антибиотикам у грамотрицательных микроорганизмов с помощью ПЦР-диагностики. *Антибиотики и химиотерапия*. 2015;60(9-10):17-22.
6. Белобородов В.Б., Голощапов О.В., Гусаров В.Г. и др. Диагностика и антимикробная терапия инфекций, вызванных полирезистентными микроорганизмами (обновление 2024 г.). *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2025;22(2):149-189. https://doi.org/10.24884/2078-5658-2025-22-2-149-189
7. Яковлев С.В., Сидоренко С.В., Проценко Д.Н. и др. *Программа СКАТ (Стратегия Контроля Антимикробной Терапии) при оказании стационарной медицинской помощи*: *Российские клинические рекомендации*. Москва: ООО КА «МедКом-Про», 2018:156.
8. Фурсова Н.К. *Лекарственная устойчивость микроорганизмов*. Москва: ОнтоПринт, 2012:247.
9. Аковбян В.А., Андреева И.В., Анкирская А.С. и др. *Практическое руководство по антиинфекционной химиотерапии*. Смоленск: НИИАХ СГМА, 2007:427.
10. Walker G.T., Quan J., Higgins S.G. et al. Predicting antibiotic resistance in gram-negative bacilli from resistance genes. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2019;63(4): e02462-18. https://doi.org/10.1128/aac.02462-18
11. ВОЗ. Глобальный план действий по борьбе с устойчивостью к противомикробным препаратам. Женева: Всемирная Организация Здравоохранения, 2016:40.
12. Baptiste K.E., Williams K., Willams N.J. et al. Methicillin-resistant staphylococci in companion animals. *Emerging Infectious Diseases*. 2005;11(12):1942-1944. https://doi.org/10.3201/eid1112.050241
13. Ghosh A., KuKanich K., Brown C.E., Zurek L. Resident cats in small animal veterinary hospitals carry multi-drug resistant enterococci and are likely

References

1. WHO. Global antibiotic resistance surveillance report 2025: WHO Global Antimicrobial Resistance and Use Surveillance System (GLASS) – Summary. Geneva: World Health Organization, 2025:19. https://doi.org/10.2471/B09585
2. Zemlyanko O.M., Rogoza T.M., Zhouravleva G.A. Mechanisms of bacterial multiresistance to antibiotics. *Ecological Genetics*. 2018;16(3):4-17. (In Russ.) https://doi.org/10.17816/ecogen1634-17
3. Sidorenko S.V., Tishkov V.I. Molecular basis of antibiotic resistance. *Uspekhi biologicheskoy khimii*. 2004;44:263-306. (In Russ.)
4. Supotnitskiy M.V. Mechanisms of antibiotic resistance in bacteria. *Biological Products. Prevention, Diagnosis, Treatment*. 2011;2(42):4-13. (In Russ.)
5. Lisitsina E.S., Chernenkaya T.V., Ilyina E.N. et al. Discovery of genetic markers of resistance to β-lactams in gramnegative microorganisms by PCR diagnosis. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2015;60(9-10):17-22. (In Russ.)
6. Beloborodov V.B., Goloshchapov O.V., Gusarov V.G. et al. Diagnosis and antimicrobial therapy of infections caused by polyresistant microorganisms (updated 2024). *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation*. 2025;22(2):149-189. (In Russ.) https://doi.org/10.24884/2078-5658-2025-22-2-149-189
7. Yakovlev S.V., Sidorenko S.V., Protsenko D.N. et al. The SKAT (Antimicrobial Therapy Control Strategy) program for providing inpatient medical care: Russian clinical guidelines. Moscow, Russia: Limited Liability Company Communications Agency “MedCom-Pro”, 2018:156. (In Russ.)
8. Fursova N.K. Drug resistance of microorganisms. Moscow, Russia: OntoPrint, 2012:247. (In Russ.)
9. Akobyan V.A., Andreeva I.V., Ankirskaya A.S. et al. *Practical guide to anti-infectious chemotherapy*. Smolensk, Russia: NIIAKh SGMA, 2007:427. (In Russ.)
10. Walker G.T., Quan J., Higgins S.G. et al. Predicting antibiotic resistance in gram-negative bacilli from resistance genes. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. 2019;63(4): e02462-18. https://doi.org/10.1128/aac.02462-18
11. WHO. Global action plan on antimicrobial resistance. Geneva: World Health Organization, 2016:40. (In Russ.)
12. Baptiste K.E., Williams K., Willams N.J., et al. Methicillin-resistant staphylococci in companion animals. *Emerging Infectious Diseases*. 2005;11(12):1942-1944. https://doi.org/10.3201/eid1112.050241
13. Ghosh A., KuKanich K., Brown C.E., Zurek L. Resident cats in small animal veterinary hospitals carry multi-drug resistant enterococci and are likely

involved in cross-contamination of the hospital environment. *Frontiers in Microbiology.* 2012;3:62.
14. Cohen R. et al. Multi-drug-resistant *Acinetobacter calcoaceticus-Acinetobacter baumannii* complex infection outbreak in dogs and cats in a veterinary hospital. *Journal of Small Animal Practice*. 2016;57:617-625. https://doi.org/10.1111/jsap.12555
15. Ruzauskas M., Siugzdiniene R., Klimiene I. et al. Prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus haemolyticus* in companion animals: a cross-sectional study. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*. 2014;13:56. https://doi.org/10.1186/s12941-014-0056-y
16. Федеральный закон от 30 декабря 2020 г. № 492-ФЗ «О биологической безопасности в Российской Федерации». КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/ (дата обращения: 17.04.2026)

involved in cross-contamination of the hospital environment. *Frontiers in Microbiology.* 2012;3:62.
14. Cohen R. et al. Multi-drug-resistant *Acinetobacter calcoaceticus-Acinetobacter baumannii* complex infection outbreak in dogs and cats in a veterinary hospital. *Journal of Small Animal Practice*. 2016;57:617-625. https://doi.org/10.1111/jsap.12555
15. Ruzauskas M., Siugzdiniene R., Klimiene I. et al. Prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus haemolyticus* in companion animals: a cross-sectional study. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials*. 2014;13:56. https://doi.org/10.1186/s12941-014-0056-y
16. Federal Law of December 30, 2020 No. 492-FZ “On Biological Safety in the Russian Federation.” ConsultantPlus. URL: https://www.consultant.ru/ (accessed: April 17, 2026)

Сведения об авторах

Полина Александровна Бочарова, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; polina.bocharova@rgau-msha.ru

Валентина Михайловна Бачинская, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; bachinskaya@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7763-3066

Евгения Сергеевна Баранович, кандидат ветеринарных наук, доцент, доцент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; ebaranovich@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-4689-2510

Дмитрий Витальевич Гончар, кандидат биологических наук, доцент кафедры паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К.И. Скрябина; 109472, г. Москва, Академика Скрябина ул., 23; san111194@mail.ru

Information about the authors

Polina A. Bocharova, CSc (Bio), Senior Lecturer at the Department of Morphology, Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; polina.bocharova@rgau-msha.ru

Valentina M. Bachinskaya, DSc (Bio), Associate Professor, Head of the Department of Morphology, Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; bachinskaya@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7763-3066

Evgeniya S. Baranovich, CSc (Vet), Associate Professor at the Department of Morphology, Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; ebaranovich@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-4689-2510

Dmitriy V. Gonchar, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Parasitology and Veterinary and Sanitary Examination, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Skryabin; 23 Akademika Skryabina St., Moscow, 109472, Russian Federation; san111194@mail.ru

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests
The authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 06.05.2026
Одобрена после рецензирования 27.05.2026
Принята к публикации 27.05.2026

The article was submitted to the editorial office May 06, 2026
Approved after reviewing May 27, 2026
Accepted for publication May 27, 2026

МИКРОБИОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья
УДК 637.065
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-5-02

Профилактика обсеменения тушек цыплят-бройлеров кампилобактериями в ваннах охлаждения

Юлия Александровна Козак[1], Сергей Степанович Козак[1,2], Ольга Гавриловна Волобуева[1]

[1] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
[2] Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности – филиал ФНЦ «ВНИТИП» (ВНИИПП), Московская обл., Россия

Автор, ответственный за переписку: Юлия Александровна Козак, kozak@rgau-msha.ru

Аннотация
Патогенные штаммы *Campylobacter* – такие, как *C. jejuni* и *C. coli*, широко распространены в кишечной экосистеме птиц включая домашнюю птицу и многие виды диких птиц. Сырое мясо птицы может быть в значительной степени обсеменено кампилобактериями, в том числе патогенными штаммами. Бактерионосительство бактерий рода *Campylobacter* у домашней птицы достигает 90%, в связи с чем мясо птицы рассматривается в качестве основного источника возникновения пищевого кампилобактериоза. При первичной переработке птицы технологические операции удаления перьевого покрова, потрошения приводят к выведению или утечке содержимого кишечника, высвобождению зараженного материала, особенно из зоба и кишечника, что непреднамеренно способствует созданию среды, благоприятной для перекрестного заражения видами *Campylobacter* других тушек. Поэтому для снижения числа случаев пищевых токсикоинфекций и отравления бактериального происхождения у людей требуется внедрение современных технологий, обеспечивающих снижение интенсивности обсеменения кампилобактериями различных птицепродуктов. В связи с этим проведены исследования по разработке способа профилактики перекрестного обсеменения бактериями рода *Campylobacter* тушек птицы при водяном охлаждении. При выполнении работы исследовали антимикробные свойства технологического вспомогательного средства (НУК), содержащего в своем составе: 15 ± 2% надуксусной кислоты и 18 ± 2% перекиси водорода при экспозиции 25 мин. В качестве тест-культуры использовали *C. jejuni*. Отбор проб, микробиологические, органолептические и физико-химические исследования проводили согласно стандартным методикам. Установили, что использование для охлаждения тушек 0.03%-ных растворов НУК позволяет инактивировать *C. jejuni* в охлаждающей среде и профилактировать перекрестное обсеменение тушек. Растворы НУК 0.1%-ной концентрации обеспечивают снижение КМАФАнМ, профилактику перекрестного обсеменения и инактивацию *C. jejuni* на поверхности тушек. Тушки цыплят-бройлеров, охлажденные в 0.1%-ном растворе ТСВ по физико-химическим и органолептическим показателям, соответствуют требованиям ГОСТ 31962-2013. У обработанных тушек по сравнению с контролем отмечается изменение цвета поверхности тушек и внутреннего жира: цвет становится более бледным.

Ключевые слова
Тушки цыплят-бройлеров, C. jejuni, водяное охлаждение, микробиологические, органолептические, физико-химические показатели

Для цитирования
Козак Ю.А., Козак С.С., Волобуева О.Г. Профилактика обсеменения тушек цыплят-бройлеров кампилобактериями в ваннах охлаждения. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(2):502. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-5-02

© Козак Ю.А., Козак С.С., Волобуева О.Г., 2026
© Kozak Yu.A., Kozak S.S., Volobueva O.G., 2026

MICROBIOLOGY, MOLECULAR BIOLOGY

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-5-02

Preventing Campylobacter contamination of broiler carcasses in chilling tanks

Yulia A. Kozak[1], Sergey S. Kozak[1,2], Olga G. Volobueva[1]

[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
[2] All-Russian Research Institute of Poultry Processing Industry – branch of All-Russian Research and Technological Poultry Institute "ARRTPI", Moscow Region, Russia

Corresponding author: Yulia A. Kozak, kozak@rgau-msha.ru

Abstract
Pathogenic *Campylobacter* strains, such as *C. jejuni* and *C. coli*, are widespread in the intestinal ecosystem of birds, including poultry and many wild species. Raw poultry meat can be heavily contaminated with *Campylobacter*, including pathogenic strains. The carriage rate of *Campylobacter* bacteria in poultry reaches 90%, making poultry meat the primary source of foodborne campylobacteriosis. During primary poultry processing, defeathering and evisceration processes lead to the release or leakage of intestinal contents, particularly from the crop and intestines, inadvertently creating conditions favourable for cross-contamination of other carcasses with *Campylobacter* species. Therefore, reducing the incidence of bacterial foodborne toxic infections and poisoning in humans requires the introduction of modern technologies to reduce the level of *Campylobacter* contamination in poultry products. In this context, studies were conducted to develop a method for preventing cross-contamination of poultry carcasses with *Campylobacter* bacteria during water chilling. The antimicrobial properties of a technological processing aid (TPA) containing 15 ± 2% peracetic acid and 18 ± 2% hydrogen peroxide were investigated with a 25-minute exposure. *C. jejuni* was used as the test culture. Sampling, microbiological, organoleptic, and physicochemical analyses were performed according to standard methods. It was established that the use of 0.03% TPA solutions for carcass chilling inactivates *C. jejuni* in the cooling medium and prevents cross-contamination of carcasses. TPA solutions at 0.1% concentration reduced the total viable count (TVC), prevented cross-contamination, and inactivated *C. jejuni* on the carcass surface. Broiler carcasses chilled in 0.1% TPA solution met the physicochemical and organoleptic requirements of GOST 31962-2013. Compared with the control, the treated carcasses exhibited a paler colour of both the surface and the internal fat.

Keywords
Broiler chicken carcasses, C. jejuni, water chilling, microbiological, organoleptic, physicochemical parameters

For citation
Kozak Yu.A., Kozak S.S., Volobueva O.G. Preventing Campylobacter contamination of broiler carcasses in chilling tanks. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):502. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-5-02

Введение
Introduction

Решение проблемы пищевых инфекций, в том числе кампилобактериозной этиологии, при употреблении мяса домашней птицы – это многогранная задача, требующая комплексного подхода [1, 2]. Заболевания, передающиеся через пищу и вызываемые такими патогенами, как *Campylobacter*, могут быть связаны с широким спектром пищевых и непищевых источников [3]. Данные анализа заболеваний, передающихся через пищу, указывают на куриное мясо как на причину почти 2/3 (64.7%) случаев заболеваний, вызванных *Campylobacter*, не связанных с молочными продуктами, и на то, что 56,5% случаев заражения человека *Campylobacter* связано с зараженными продуктами птицеводства. Это подчеркивает роль мяса птицы как значительного источника кампилобактериоза [5-7]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) совместно с Референтной группой по эпидемиологии бремени пищевых заболеваний (FERG) сообщила в 2020 г., что из примерно 550 млн случаев пищевых отравлений в год *Campylobacter* входит в четверку основных глобальных возбудителей диарейных заболеваний [8]. *Campylobacter* является причиной 166 млн ежегодных случаев диареи и 31 700 случаев синдрома Гийена-Барре (неврологического расстройства) – проблема, усугубляемая широким

распространением мультирезистентных штаммов патогена [9, 10].

Патогенные штаммы *Campylobacter* – такие, как *C. jejuni* и *C. coli*, широко распространены в кишечной экосистеме птиц включая домашнюю птицу и многих видов диких птиц [11-13]. Из сырых птицепродуктов, включая тушки цыплят-бройлеров, индеек, перепелов, а также полуфабрикаты, кампилобактерии выделяли в 45% случаев исследований. Бактерионосительство бактерий рода *Campylobacter* у домашней птицы достигает 90%, в связи с чем мясо птицы рассматривается в качестве основного источника возникновения пищевого кампилобактериоза [14].

Высокая плотность птиц в закрытых помещениях способствует повышению температуры и уровня влажности, что ускоряет передачу патогенов от птицы к птице и способствует росту *Campylobacter*, особенно в летние месяцы [15]. Для снижения риска заражения человека крайне важно уменьшить количество бактерий *Campylobacter* как на уровне фермы, так и на других этапах цепочки поставок, – например, в процессе убоя [16]. Этап подготовки к убою включает в себя перемещение бройлеров с фермы на птицеперерабатывающее предприятие. Птиц помещают в клетки для транспортировки, лишают корма и воды и подвергают стрессу во время перевозки, что способствует перекрестному заражению от одного зараженного бройлера к другим через контакт с фекалиями или перьевым покровом. Стресс, который испытывают бройлеры во время транспортировки, увеличивает выделение фекалий, что способствует микробному загрязнению [17]. Меры – такие, как очистка и дезинфекция загрязненных клеток до транспортировки бройлеров и после нее, могут оказать лишь незначительное влияние на предотвращение кампилобактериозной инфекции [18].

Удаление перьевого покрова, операция потрошения приводят к выведению или утечке содержимого кишечника, высвобождению зараженного материала, особенно из зоба и кишечника, что непреднамеренно способствует созданию среды, благоприятной для перекрестного заражения видами *Campylobacter* других тушек [19].

Способы предотвращения или удаления бактериального загрязнения туш можно подразделить на три категории: физические методы обработки (горячая вода, холодная плазма, паровое облучение, ультразвук, ультрафиолетовое излучение, охлаждение воздуха, замораживание и др.); химические методы обработки (природные антимикробные средства, эфирные масла, органические кислоты (например, молочная кислота), хлор, гипохлорит, электролизированная окислительная вода и озонированная вода); биологические методы обработки (бактериофаги и пробиотики) [20]. Применение 2% молочной кислоты на тушках птицы потенциально может снизить риск заражения кампилобактером на 37-56%. Использование подкисленного хлорита натрия (1200 мг/л) и тринатрийфосфата (10-12% при pH 12) при обработке туш может снизить этот риск на 75-96% и 67-84% [21]. Такие методы, как использование пероксиуксусной кислоты и охлаждение погружением в воду (широко используемая процедура в США), также способствуют стратегиям снижения количества патогенов [22].

Внедрение современных технологий, обеспечивающих снижение интенсивности обсеменения кампилобактериями различных птицепродуктов, необходимо для снижения числа случаев пищевых токсикоинфекций и отравления бактериального происхождения у людей [23].

Цель исследований: разработка способа профилактики перекрестного обсеменения бактериями рода *Campylobacter* тушек птицы при водяном охлаждении.

Методика исследований

Research method

Работа выполнена в лаборатории санитарно-гигиенической оценки сырья и продуктов ВНИИПП. При выполнении работы использовали технологическое вспомогательное средство на основе надуксусной кислоты (далее – НУК), содержащее в своем составе 15 ± 2% надуксусной кислоты и 18 ± 2% перекиси водорода.

Отбор проб проводили согласно ГОСТ 31467-2012 «Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Методы отбора проб и подготовка их к испытаниям». Выделение бактерий рода *Campylobacter* проводили по ГОСТ ISO 10272-1-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы обнаружения и подсчета бактерий *Campylobacter* spp.». Для посевов использовали бульон Болтона, колумбийский кровяной агар. Органолептические и физико-химические исследования проводили по ГОСТ 31470-2012 «Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Методы органолептических и физико-химических исследований». Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) определяли по ГОСТ 7702.2.1-2017 «Продукты убоя птицы, продукция из мяса птицы и объекты окружающей производственной среды. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов».

Установление дезинфицирующей активности растворов НУК проводили согласно Р 4.2.3676-20

«Методы лабораторных исследований и испытаний дезинфекционных средств для оценки их эффективности и безопасности». В качестве тест-культуры использовали *C. jejuni*.

Готовили растворы НУК в концентрациях от 0.005; 0.001; 0.01; 0.09; 0.45 и 0.9% по надуксусной кислоте из расчета 500 мл раствора на каждый тест-объект, используя водопроводную воду.

В рабочие растворы НУК погружали батистовые тест-объекты, контаминированные *C. jejuni*. Через 25 мин вынимали по 2 тест-объекта и после 2-кратной промывки в воде (по 5 мин) делали посев на бульон Болтона.

Для установления режимов применения растворов НУК, для профилактики перекрестного обсеменения поверхности тушек кампилобактериями была смоделирована ванна охлаждения. Поверхность тушек цыплят-бройлеров контаминировали тест-культурой *C. jejuni*, для чего в емкости с холодной водопроводной водой, из расчета 2.0 л на тушку, добавляли 0,1 мл суточной культуры и погружали в нее тушки на 5 мин. Затем добавляли НУК определенных концентраций и выдерживали в течение 25 мин. Делали посевы воды из контрольной и опытных емкостей, а также смывы с тушек цыплят-бройлеров.

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

Результаты исследований дезинфицирующей активности растворов НУК по отношению к *C. jejuni* в опытах с батистовыми тест-объектами представлены в таблице 1. Как следует из данных таблицы, 0.001, 0.005%-ные растворы НУК не обеспечивают инактивацию *C. jejuni* на батистовых тест-объектах: после 24 ч инкубации отмечали гомогенное помутнение и осадок в бульоне Болтона, после последующего пересева на колумбийский кровяной агар и инкубации в течение 24-48 ч отмечали характерный для кампилобактерий рост в виде плоских, влажных слизистых, сероватых, мелких колоний, напоминающих «капли». Инактивацию *C. jejuni* при экспозиции 25 мин в опытах с батистовыми тест-объектами обеспечивали 0.01 и 0.09%-ные растворы НУК.

Используемая для охлаждения водопроводная вода за счет смывания микрофлоры с поверхности тушек может способствовать их перекрестному загрязнению. В связи с этим исследовали влияние растворов НУК на микрофлору охлаждающей среды при охлаждении тушек, поверхностно контаминированных *C. jejuni* (табл. 2).

Как следует из данных (табл. 2), 0.01%-ный раствор средства снижает в охлаждающей среде КМАФАнМ на два порядка: с $(1.74 \pm 0.08)\times10^4$ до $(1.04 \pm 0.06)\times10^2$ КОЕ/см^3, но не обеспечивает инактивации *C. jejuni*.

Использование 0.03 и 0.05%-ных растворов НУК позволяет инактивировать *C. jejuni* и снизить КМАФАнМ (КОЕ/см^3) в охлаждающей среде после 25-минутной экспозиции до единичных колоний.

Далее изучили влияние охлаждения тушек в растворах НУК на микрофлору поверхности тушек, контаминированных *C. jejuni*. В качестве контроля для охлаждения использовали водопроводную воду (табл. 3).

Анализ полученных результатов, представленных в таблице, показал, что инактивация *C. jejuni* на поверхности тушек обеспечивается при использовании для охлаждения 0.1%-ного раствора НУК; КМАФАнМ при этом снижается до единичных колоний (КОЕ/см^3).

Далее изучили влияние охлаждения тушек в 0.1%-ном растворе НУК на качество мяса цыплят-бройлеров. Проведенными по ГОСТ 31470-2012 «Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Методы органолептических и физико-химических исследований», физико-химическими исследованиями мяса, а также органолептической оценкой бульона (прозрачность, аромат), приготовленного из мяса птицы и охлажденного обычным способом и в растворах НУК, достоверных различий

Таблица 1. Дезинфицирующая активность НУК по отношению к *C. jejuni*.

Table 1. Disinfectant activity of the technological processing aid (TPA) against *C. jejuni*.

Контроль ***Control***	**Растворы НУК, %** ***TPA solutions, %***			
	0.001	**0.005**	**0.01**	**0.09**
+	+	+	–	–

Примечание. + – наличие роста *C. jejuni*; – отсутствие роста *C. jejuni*.

Note. + indicates growth of *C. jejuni*; – indicates no growth of *C. jejuni*.

Таблица 2. Влияние растворов НУК на микрофлору охлаждающей среды при охлаждении тушек, n = 5.

Table 2. Effect of TPA solutions on the microflora of the chilling medium during carcass cooling (n = 5).

Показатели* *Indicators**	**Охлаждающая среда** *Chilling medium*			
	Водопроводная вода *Tap water*	**Растворы НУК, %** *TPA solutions, %*		
		0.01	**0.03**	**0.05**
C. jejuni, КОЕ/см³ *C. jejuni, CFU/cm³*	(2.82 ± 0.14)×10³	(1.26 ± 0.06) ×10³	Н/о *n.d.*	Н/о *n.d.*
КМАФАнМ, КОЕ/см³ *Total viable count (TVC), CFU/cm³*	(1.74 ± 0.08) ×10⁴	(1.04 ± 0.05)×10²	<10	<10

Примечание. Н/о – не обнаружено; p ≤ 0.05.

Note.n.d. – not detected; p ≤ 0.05.

Таблица 3. Влияние растворов НУК на микрофлору поверхности контаминированных *C. jejuni* тушек при водяном охлаждении, n=5.

Table 3. Effect of TPA solutions on the surface microflora of *C. jejuni*-contaminated carcasses during water chilling (n = 5).

Показатели *Indicators*	**Охлаждающая среда** *Chilling medium*				
	Водопроводная вода *Tap water*	**Растворы НУК, %** *TPA solutions, %*			
		0.01	**0.03**	**0.05**	**0.1**
C. jejuni, КОЕ/см³ *C. jejuni, CFU/cm³*	(2.63 ± 0.13)×10³	(2.19 ± 0.01)×10³	(1.8 ± 0.08)×10³	(1.6 ± 0.07)×10³	Н/о *n.d.*
КМАФАнМ, КОЕ/см³ *Total viable count (TVC), CFU/cm³*	(4.62 ± 0.23)×10⁶	(1.35 ± 0.06)×10³	<10	<10	<10

не установлено. Мясо птицы соответствовало требованиям ГОСТ 31962-2013 «Мясо кур (тушки кур, цыплят, цыплят-бройлеров и их части). Технические условия». Однако у обработанных тушек по сравнению с контролем отмечается слабое изменение цвета поверхности тушек и внутреннего жира: их цвет становится более бледным.

В таблице 4 представлены физико-химические показатели тушек, охлажденных в водопроводной воде и в 0.1%-ном растворе НУК. Как следует из данных таблицы, содержание летучих жирных кислот в тушках, охлажденных в 0.1%-ном растворе НУК, составило 2.44 ± 0.56 мг КОН, в тушках, охлажденных обычным способом (контроль), – 2.43 ± 0.56 мг КОН. Перекисное число жира в тушках, охлажденных в растворе НУК, – 0.2 ± 0.02 ммоль O_2/кг, а в контроле – 0.1 ± 0.01 ммоль O_2/кг. Кислотное число жира в тушках, охлажденных в растворе НУК, составило 0.44 ± 0.03 мг КОН/г, а охлажденных обычным способом – 0.43 ± 0.03 мг КОН/г.

Таблица 4. Влияние охлаждения в 0.1%-ном растворе НУК на физико-химические показатели тушек.

Table 4. Effect of chilling in 0.1% TPA solution on the physicochemical parameters of broiler carcasses.

Показатели *Indicators*	**Охлаждающая среда** *Chilling medium*	
	Водопроводная вода *Tap water*	**Раствор НУК** *TPA solution*
Летучие жирные кислоты, мг КОН *Volatile fatty acids, mg KOH*	2.43 ± 0.56	2.44 ± 0.56
Перекисное число жира, ммоль O_2/кг *Peroxide value of fat, mmol O_2/kg*	0.1 ± 0.01	0.2 ± 0.02
Кислотное число жира, мг КОН/г *Acid value of fat, mg KOH/g*	0.43 ± 0.03	0.44 ± 0.03

Выводы
Conclusions

Использование для охлаждения тушек 0.03%-ных растворов НУК позволяет инактивировать в охлаждающей среде *C. jejuni* после 25-минутной экспозиции.

Охлаждение тушек в 0.1%-ных растворах НУК снижает КМАФАнМ до единичных колоний в 1 $см^3$ и обеспечивает инактивацию *C. jejuni* на их поверхности.

Тушки цыплят-бройлеров, охлажденные в 0.1%-ном растворе ТСВ при экспозиции 25 мин по физико-химическим и органолептическим показателям, соответствуют требованиям ГОСТ 31962-2013. У обработанных тушек по сравнению с контролем отмечается изменение цвета поверхности тушек и внутреннего жира: цвет становится более бледным.

Список источников

1. Шевелева С.А., Ефимочкина Н.Р., Козак С.С. и др. Влияние традиционных технологий охлаждения на профиль патогенных микробных контаминантов мяса птицы отечественного производства. *Вопросы питания*. 2016;85(S2):38.
2. Козак С.С., Дерина Д.С., Козак Ю.А. Обнаружение бактерий рода *Campylobacter* при производстве мяса птицы. *Птица и Птицепродукты*. 2020;(3):22-24. https://doi.org/10.30975/2073-4999-2020-22-3-22-24
3. Pogreba-Brown K., O'Connor P., Matthews J. et al. Case-case analysis of *Campylobacter* and *Salmonella* – using surveillance data for outbreak investigations and monitoring routine risk factors. *Epidemiology & Infection*. 2018;146(15):1916-1921. https://doi.org/10.1017/S0950268818002200
4. Mujahid S., Hansen M., Miranda R. et al. Prevalence and

References

1. Sheveleva S.A., Efimochkina N.R., Kozak S.S. et al. Impact of traditional cooling technologies on the profile of pathogenic microbial contaminants of domestically produced poultry meat. *Problems of Nutrition.* 2016;85(S2):38. (In Russ.)
2. Kozak S.S., Derina D.S., Kozak Yu.A. *Campylobacter* bacteria genus detection in poultry meat production. *Poultry & Chicken Products.* 2020;(3):22-24. (In Russ.) https://doi.org/10.30975/2073-4999-2020-22-3-22-24
3. Pogreba-Brown K., O'Connor P., Matthews J. et al. Case-case analysis of *Campylobacter* and *Salmonella* – using surveillance data for outbreak investigations and monitoring routine risk factors. *Epidemiology & Infection*. 2018;146(15):1916-1921. https://doi.org/10.1017/S0950268818002200
4. Mujahid S., Hansen M., Miranda R. et al. Prevalence and

antibiotic resistance of *Salmonella* and *Campylobacter* isolates from raw chicken breasts in retail markets in the United States and comparison to data from the plant level. *Life (Basel)*. 2023;13(3):642. https://doi.org/10.3390/life13030642

5. Varrone L., Stafford R.J., Lilly K. et al. Investigating locally relevant risk factors for *Campylobacter* infection in Australia: protocol for a case-control study and genomic analysis. *BMJ Open*. 2018;8(12): e026630. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-026630
6. Poudel S., Li T., Chen S. et al. Prevalence, antimicrobial resistance, and molecular characterization of *Campylobacter* isolated from broilers and broiler meat Raised without Antibiotics. *Microbiology Spectrum*. 2022;10(3): e0025122. https://doi.org/10.1128/spectrum.00251-22
7. Myintzaw P., Jaiswal A.K., Jaiswal S. A review on campylobacteriosis associated with poultry meat consumption. *Food Reviews International*. 2023;39(4):2107-2121. https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1942487
8. Gharbi M., Béjaoui A., Ben Hamda C. et al. *Campylobacter* spp. in eggs and laying hens in the North-East of Tunisia: high prevalence and multidrug-resistance phenotypes. *Veterinary Science*. 2022;9(3):108. https://doi.org/10.3390/vetsci9030108
9. Khemnu N., Serichantalergs O., Ruekit S. et al. Description of novel capsule biosynthesis loci of *Campylobacter jejuni* clinical isolates from South and South-East Asia. *PLoS One*. 2023;18(1): e0280583. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280583
10. Булахов А.В., Ананьева А.В., Быкова И.Б. и др. Контроль патогенов в тушках цыплят-бройлеров с использованием современных методических подходов. *Птица и птицепродукты*. 2010;(6):45-49.
11. Mota-Gutierrez J., Lis L., Lasagabaster A. et al. *Campylobacter* spp. prevalence and mitigation strategies in the broiler production chain. *Food Microbiology*. 2022;104:103998. https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.103998
12. Tawakol M.M., Nabil N.M., Samir A. et al. The potential role of migratory birds in the transmission of pathogenic *Campylobacter* species to broiler chickens in broiler poultry farms and live bird markets. *BMC Microbiology*. 2023;23(1):66. https://doi.org/10.1186/s12866-023-02794-0
13. Козак С.С., Дерина Д.С. Выделение бактерий *Campylobacter* в цехе убоя птицы. *Птица и птицепродукты*. 2021;(4):49-51. https://doi.org/10.30975/2073-4999-2021-23-4-49-51

antibiotic resistance of *Salmonella* and *Campylobacter* isolates from raw chicken breasts in retail markets in the United States and comparison to data from the plant level. *Life (Basel)*. 2023;13(3):642. https://doi.org/10.3390/life13030642

5. Varrone L., Stafford R.J., Lilly K. et al. Investigating locally relevant risk factors for *Campylobacter* infection in Australia: protocol for a case-control study and genomic analysis. *BMJ Open*. 2018;8(12): e026630. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-026630
6. Poudel S., Li T., Chen S. et al. Prevalence, antimicrobial resistance, and molecular characterization of *Campylobacter* isolated from broilers and broiler meat Raised without Antibiotics. *Microbiology Spectrum*. 2022;10(3): e0025122. https://doi.org/10.1128/spectrum.00251-22
7. Myintzaw P., Jaiswal A.K., Jaiswal S. A review on campylobacteriosis associated with poultry meat consumption. *Food Reviews International*. 2023;39(4):2107-2121. https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1942487
8. Gharbi M., Béjaoui A., Ben Hamda C. et al. *Campylobacter* spp. in eggs and laying hens in the North-East of Tunisia: high prevalence and multidrug-resistance phenotypes. *Veterinary Science*. 2022;9(3):108. https://doi.org/10.3390/vetsci9030108
9. Khemnu N., Serichantalergs O., Ruekit S. et al. Description of novel capsule biosynthesis loci of *Campylobacter jejuni* clinical isolates from South and South-East Asia. *PLoS One*. 2023;18(1): e0280583. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280583
10. Bulahov A.V., Anan'eva A.V., Bykova I.B. et al. Pathogen control in broiler chicken carcasses using modern methodological approaches. *Poultry & Chicken Products.* 2010;(6):45-49. (In Russ.)
11. Mota-Gutierrez J., Lis L., Lasagabaster A. et al. *Campylobacter* spp. prevalence and mitigation strategies in the broiler production chain. *Food Microbiology*. 2022;104:103998. https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.103998
12. Tawakol M.M., Nabil N.M., Samir A. et al. The potential role of migratory birds in the transmission of pathogenic *Campylobacter* species to broiler chickens in broiler poultry farms and live bird markets. *BMC Microbiology*. 2023;23(1):66. https://doi.org/10.1186/s12866-023-02794-0
13. Kozak S.S., Derina D.S. *Campylobacter* isolation in poultry slaughtering department. *Poultry & Chicken Products.*2021;(4):49-51. (In Russ.) https://doi.org/10.30975/2073-4999-2021-23-4-49-51

14. Hansson I., Sandberg M., Habib I. et al. Knowledge gaps in control of *Campylobacter* for prevention of campylobacteriosis. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2018;65(Suppl 1):30-48. https://doi.org/10.1111/tbed.12870
15. Horvat A., Luning P.A., DiGennaro C. et al. The impacts of biosecurity measures on *Campylobacter* contamination in broiler houses and slaughterhouses in the Netherlands: a simulation modelling approach. *Food Control*. 2022;141:109151. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109151
16. Hakeem M.J., Lu X. Survival and control of *Campylobacter* in poultry production environment. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2021;10:615049. https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.615049
17. Ridley A., Morris V., Cawthraw S. et al. Potential sources of *Campylobacter* infection on chicken farms: contamination and control of broiler-harvesting equipment, vehicles and personnel. *Journal of Applied Microbiology*. 2011;111(1):233-244. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05038.x
18. Ефимочкина Н.Р., Быкова И.Б., Стеценко В.В. и др. *Изучение характера контаминации и уровней содержания бактерий рода Campylobacter в отдельных видах пищевой продукции*. *Вопросы питания*. 2016;85(5):52-59.
19. Dzianach P.A., Pérez-Reche F.J., Strachan N.J.C. et al. The use of interdisciplinary approaches to understand the biology of *Campylobacter jejuni*. *Microorganisms*. 2022;10(12):2498. https://doi.org/10.3390/microorganisms10122498
20. Taha-Abdelaziz K., Singh M., Sharif S. et al. Intervention strategies to control campylobacter at different stages of the food chain. *Microorganisms*. 2023;11(1):113. https://doi.org/10.3390/microorganisms11010113
21. Williams M.S., Ebel E.D., Nyirabahizi E. Comparative history of *Campylobacter* contamination on chicken meat and campylobacteriosis cases in the United States: 1994-2018. *International Journal of Food Microbiology*. 2021;342:109075. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109075
22. Шевелева С.А., Булахов А.В., Быкова И.Б., Козак С.С. Апробация новых приемов контроля тушек птицы на патогенные микроорганизмы. *Качество и безопасность производства продукции из мяса птицы и яиц*. М.о.: ВНИИПП, 2014:247-250.

14. Hansson I., Sandberg M., Habib I. et al. Knowledge gaps in control of *Campylobacter* for prevention of campylobacteriosis. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2018;65(Suppl 1):30-48. https://doi.org/10.1111/tbed.12870
15. Horvat A., Luning P.A., DiGennaro C. et al. The impacts of biosecurity measures on *Campylobacter* contamination in broiler houses and slaughterhouses in the Netherlands: a simulation modelling approach. *Food Control.* 2022;141:109151. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109151
16. Hakeem M.J., Lu X. Survival and control of *Campylobacter* in poultry production environment. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2021;10:615049. https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.615049
17. Ridley A., Morris V., Cawthraw S. et al. Potential sources of *Campylobacter* infection on chicken farms: contamination and control of broiler-harvesting equipment, vehicles and personnel. *Journal of Applied Microbiology*. 2011;111(1):233-244. https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05038.x
18. Efimochkina N.R., Bykova I.B., Stetsenko V.V. et al. The study of the contamination and the levels of *Campylobacter* spp. during the processing of selected types of foods. *Problems of Nutrition.* 2016;85(5):52-59. (In Russ.)
19. Dzianach P.A., Pérez-Reche F.J., Strachan N.J.C. et al. The use of interdisciplinary approaches to understand the biology of *Campylobacter jejuni*. *Microorganisms*. 2022;10(12):2498. https://doi.org/10.3390/microorganisms10122498
20. Taha-Abdelaziz K., Singh M., Sharif S. et al. Intervention strategies to control campylobacter at different stages of the food chain. *Microorganisms*. 2023;11(1):113. https://doi.org/10.3390/microorganisms11010113
21. Williams M.S., Ebel E.D., Nyirabahizi E. Comparative history of *Campylobacter* contamination on chicken meat and campylobacteriosis cases in the United States: 1994-2018. *International Journal of Food Microbiology*. 2021;342:109075. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109075
22. Sheveleva S.A., Bulakhov A.V., Bykova I.B., Kozak S.S. Testing new methods of monitoring poultry carcasses for pathogenic microorganisms. *Quality and Safety of Production of Poultry Meat and Eggs.* Moscow Region, Russia: All-Russian Research Institute of Poultry Processing Industry, 2014:247-250. (In Russ.)

Сведения об авторах

Юлия Александровна Козак, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры микробиологии и иммунологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; kozak@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0002-2050-0905

Сергей Степанович Козак, доктор биологических наук, профессор кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; главный научный сотрудник, руководитель ИЛЦ, Всероссийский научно-исследовательский институт птицеперерабатывающей промышленности – филиал ФНЦ «ВНИТИП» (ВНИИПП); 141552, Россия, Московская обл., г.о. Солнечногорск, р.п. Ржавки, стр. 1; vniippkozak@gmai.com; https://orcid.org/0000-0001-7823-7719

Ольга Гавриловна Волобуева, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой микробиологии и иммунологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: ovolobueva@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0002-5422-0792

Information about the authors

Yulia A. Kozak, CSc (Vet), Associate Professor at the Department of Microbiology and Immunology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; kozak@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-2050-0905

Sergey S. Kozak, DSc (Bio), Professor at the Department of Morphology, Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; Chief Research Associate, Head of the Testing Laboratory Centre, All-Russian Research Institute of Poultry Processing Industry – branch of All-Russian Research and Technological Poultry Institute “ARRTPI”; buid.1, Rzhavki townsite, Solnechnogorsk urban district, Moscow Region, 141552, Russian Federation; vniippkozak@gmail.com; https://orcid.org/0000-0001-7823-7719

Olga G. Volobueva, DSc (Ag), Associate Professor, Acting Head of the Department of Microbiology and Immunology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; ovolobueva@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-5422-0792

Вклад авторов
Авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors:
The authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests
The authors declare no relevant conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 17.06.2026
Одобрена после рецензирования 23.06.2026
Принята к публикации 23.06.2026

The article was submitted to the editorial office June 17 2026
Approved after reviewing June 22 2026
Accepted for publication June 22 2026

Оригинальная научная статья
УДК 597.5:639.337
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-6-01

Урожайность и содержание азота в системе «Почва-растение» в зависимости от уровня интенсивности технологий возделывания ярового ячменя в Нечерноземной зоне

Елена Владимировна Калабашкина[1], Сергей Леонидович Белопухов[2], Инга Ивановна Серегина[2], Виктор Николаевич Музраев[1], Виталия Александровна Цымбалова[1], Людмила Ивановна Мавлютова[1]

[1] ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», Москва, Россия
[2] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Инга Ивановна Серегина, iseregina@rgau-msha.ru

Аннотация
Изучено влияние агротехнологий на содержание нитратного азота в почве, его накопление в растениях и урожайность ярового ячменя. Установлено, что повышение уровня интенсивности агротехнологии возделывания ячменя способствовало увеличению содержания нитратов в почве до 39.3 мг/кг в начальной фазе развития. Анализ содержания азота в надземной части растений показал его изменение в зависимости от уровня технологии возделывания культуры и сортовой специфики растений ячменя. Максимальные величины содержания азота в надземной части растений (2.89%) зафиксированы у ячменя сорта Милан при выращивании в условиях высокоинтенсивной технологии. Показано, что все изучаемые сорта ячменя демонстрировали рост урожайности при повышении уровня технологии возделывания культуры. Так, при интенсивной технологии возделывания урожайность растений ячменя увеличилась до 4.32-5.62 т/га, а на высоком уровне агротехнологии – до 4.70-5.86 т/га. При этом в условиях базовой технологии урожайность находилась в диапазоне 3.55-4.93 т/га. Наибольшая урожайность (5.86 т/га) получена на фоне высокоинтенсивной агротехнологии при выращивании ячменя сорта Белозар. В тех же условиях максимальная прибавка урожая зерна (1.15 т/га) отмечена у ячменя сорта Милан. Урожайность зерна ячменя сорта Милан при высокоинтенсивной технологии возделывания составила 4.70 т/га по сравнению с использованием базовой технологии возделывания (3.55 т/га).

Ключевые слова
яровой ячмень, содержание азота в почве и растениях, уровень интенсивности агротехнологии выращивания, урожайность

Для цитирования
Калабашкина Е.В., Белопухов С.Л., Серегина И.И. и др. Урожайность и содержание азота в системе «Почва-растение» в зависимости от уровня интенсивности технологий возделывания ярового ячменя в Нечерноземной зоне. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(2):601. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-6-01

© Калабашкина Е.В., Белопухов С.Л., Серегина И.И. и др., 2026
© Kalabashkina E.V., Belopukhov S.L., Seregina I.I. et al., 2026

LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

Original article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-6-01

Yield and nitrogen content in the soil-plant system depending on the intensity level of spring barley cultivation technologies in the Non-Chernozem zone

Elena V. Kalabashkina[1], Sergey L. Belopukhov[2], Inga I. Seregina[2], Viktor N. Muzraev[1], Vitaliya A. Tsymbalova[1], Lyudmila I. Mavlyutova[1]

[1] Federal Research Center "Nemchinovka", Moscow, Russia
[2] Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Inga I. Seregina, iseregina@rgau-msha.ru

Abstract
This study investigated the effect of agricultural technologies on soil nitrate nitrogen content, its accumulation in plants, and the yield of spring barley. It was found that increasing the intensity level of barley cultivation technology contributed to a rise in soil nitrate content up to 39.3 mg/kg at the initial growth stage. Analysis of nitrogen content in the aboveground plant parts revealed its variation depending on the level of cultivation technology employed and on the varietal characteristics of barley plants. The maximum nitrogen content in aboveground plant parts (2.89%) was recorded in the Milan barley variety grown under high-intensity technology. It was demonstrated that all studied barley varieties exhibited increased yields in response to higher levels of cultivation technology. Under intensive cultivation technology, barley yield increased to 4.32-5.62 t/ha, while under high-intensity agricultural technology, it reached 4.70-5.86 t/ha. Under basic technology conditions, the yield ranged from 3.55 to 4.93 t/ha. The highest yield (5.86 t/ha) was obtained under high-intensity agricultural technology for the Belozar barley variety. Under the same conditions, the maximum grain yield increase (1.15 t/ha) was recorded for the Milan barley variety. The grain yield of the Milan barley variety under high-intensity cultivation technology amounted to 4.70 t/ha, compared to 3.55 t/ha under the basic cultivation technology.

Keywords
spring barley, nitrogen content in soil and plants, intensity level of cultivation technology, yield

For citation
Kalabashkina E.V., Belopukhov S.L., Seregina I.I. et al. Yield and nitrogen content in the soil-plant system depending on the intensity level of spring barley cultivation technologies in the Non-Chernozem zone. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):601. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-6-01

Введение
Introduction

Производство зерна, прежде всего – ярового ячменя, занимает важное место в агропромышленном комплексе, обеспечивая продовольственную безопасность и оказывая существенное влияние на экономическую стабильность страны. Отмечается устойчивое увеличение объемов производства зерновых культур, что свидетельствует о системном и последовательном развитии данной отрасли. Современные агротехнологии для ярового ячменя все чаще основываются на использовании высокопродуктивных сортов и интенсивных методов ведения хозяйства [1-3].

Эффективное использование азота для ярового ячменя на дерново-подзолистых почвах требует тщательного подхода, учитывающего особенности почвы и сорта. Оптимальный режим питания является одним из ключевых факторов в повышении урожайности, улучшении качества зерна и устойчивости растений по отношению к стрессам [4-6].

Использование азотных удобрений в агротехнологии ярового ячменя оказывает существенное влияние на содержание азота как в почве, так и в растениях, в частности, в его надземной массе. Умеренность, правильно подобранное время и способ внесения, а также учет климатических условий способствуют снижению риска избыточного накопления нитратов, сохраняя экологическую безопасность и качество будущего урожая [7-10].

В условиях дерново-подзолистых почв, характеризующихся низкой плодородностью и высоким уровнем кислотности, эффективное регулирование азотного питания является важной составляющей агропромышленной практики, позволяющей получать стабильную и высокую урожайность,

а также обеспечивать продовольственную безопасность страны [11, 12].

Цель исследований: изучение влияния уровней агротехнологии возделывания ярового ячменя на урожайность и содержание азота в системе «Почва-растение» в зависимости от сортовой специфики в условиях Нечерноземной зоны.

В задачи исследований входило изучение влияния уровней интенсивности возделывания различных сортов ярового ячменя на урожайность растений, а также оценка изменения содержания нитратного азота в почве и изучение динамики накопления общего азота в надземной части растений в течение вегетационного периода в зависимости от условий выращивания.

Методика исследований
Research method

Исследовательские работы были проведены на опытном участке ФИЦ «Немчиновка» на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. По результатам агрохимического анализа почвы установлено, что она характеризуется слабокислой реакцией (pH_{KCl}, равный 5.4), содержание подвижного фосфора соответствует высокому уровню (183 мг/кг), а количество подвижного калия является повышенным (136 мг/кг).

Закладку полевого опыта и дисперсионный анализ проводили по Б.А. Доспехову [13]. Общая площадь опытной делянки составила 80 м², из которых учетная – 64 м². Проведение опыта предусматривало трехкратную повторность. План исследований включал в себя использование сортов ярового ячменя (фактор А) и различные технологии возделывания (фактор Б), характеризующиеся различной интенсивностью питания растений и применением средств защиты.

Базовая технология включает в себя основное внесение аммиачной селитры N_{35} и подкормку в фазу кущения N_{30}. Обработка посевов в фазе кущения против сорняков производилась гербицидом Примадонна 0.6 л/га + Мортира 15 г/га, Фидес 0.5 л/га, против вредителей инсектицидом – Борей Нео в дозе 0.2 л/га и фунгицидом Альто Супер в дозе 0.5 л/га.

Интенсивная технология – основное внесение N_{35}; подкормка в фазу кущения N_{45} и вторая подкормка – в фазу выхода в трубку N_{30}. Обработка посевов в фазе кущения против сорняков гербицидом Примадонна 0,6 л/га + Мортира 15 г/га, Фидес 0.5 л/га, против вредителей инсектицидом – Борей Нео в дозе 0.2 л/га и фунгицидом Альто Супер в дозе 0.5 л/га.

Высокоинтенсивная технология – основное внесение N_{35}; две подкормки в фазу кущения и выхода в трубку $N_{60} + N_{45}$. Обработка посевов в фазе кущения против сорняков производилась гербицидом Примадонна 0.6 л/га + Мортира 15 г/га, Фидес 0.6 л/га, против вредителей инсектицидом – Борей Нео в дозе 0.2 л/га и фунгицидом Альто Супер в дозе 0.5 л/га, Новалон листовое удобрения – 1-2 кг/га в фазу молочной спелости, повторное применение – Альто Супер в дозе 0.5 л/га при необходимости после мониторинга.

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

В течение вегетационного периода ярового ячменя концентрация нитратного азота в почве варьировала в зависимости от сортовых признаков и уровня применяемой технологии. В фазу кущения в пахотном слое (0-20 см) при использовании базовой технологической системы содержание нитратного азота составляло 22.4-25.1 мг/кг почвы, что свидетельствует о высоком уровне обеспеченности доступным для растений азотом. При повышении уровня интенсивности возделывания культуры ячменя наблюдалось увеличение содержания нитратного азота в почве. Так, при использовании интенсивной агротехнологии содержание нитратного азота составляло 27.0-32.4 мг/кг, а при высокой технологии – 25.7-39.3 мг/кг (рис. 1).

В связи с активным потреблением азота в фазу выхода в трубку отмечается уменьшение содержания азота в почве. Так, при использовании базовой технологии для выращивания ячменя обеспеченность растений нитратным азотом составила 8.9-11.3 мг/кг почвы. При использовании интенсивных технологий возделывания ячменя величины содержания нитратного азота в почве составили 13.6-21.6 мг/кг.

В фазе колошения максимальные значения азота на фоне всех уровней технологий отмечаются в почве при выращивании ячменя сорта Зоран (9.4-16.9 мг/кг). При выращивании ячменя сортов Белозар и Милан содержание нитратного азота в почве было ниже: в пределах 8.0-12.9 и 7.9-13.0 мг/кг соответственно. Выявленные различия по содержанию нитратной формы азота в почве при выращивании различных сортов ячменя обусловлены сортовыми различиями растений, а также уровнем агротехнологий.

Динамика накопления азота в надземной части растений ярового ячменя в течение вегетационного периода напрямую отражает их состояние и уровень питательной обеспеченности. На начальных этапах развития растений азот способствует активному росту и формированию листовой поверхности растений, а при подготовке к созреванию уровень азота, как правило, снижается. Исследование содержания азота в надземной массе позволяет лучше понять процессы поглощения

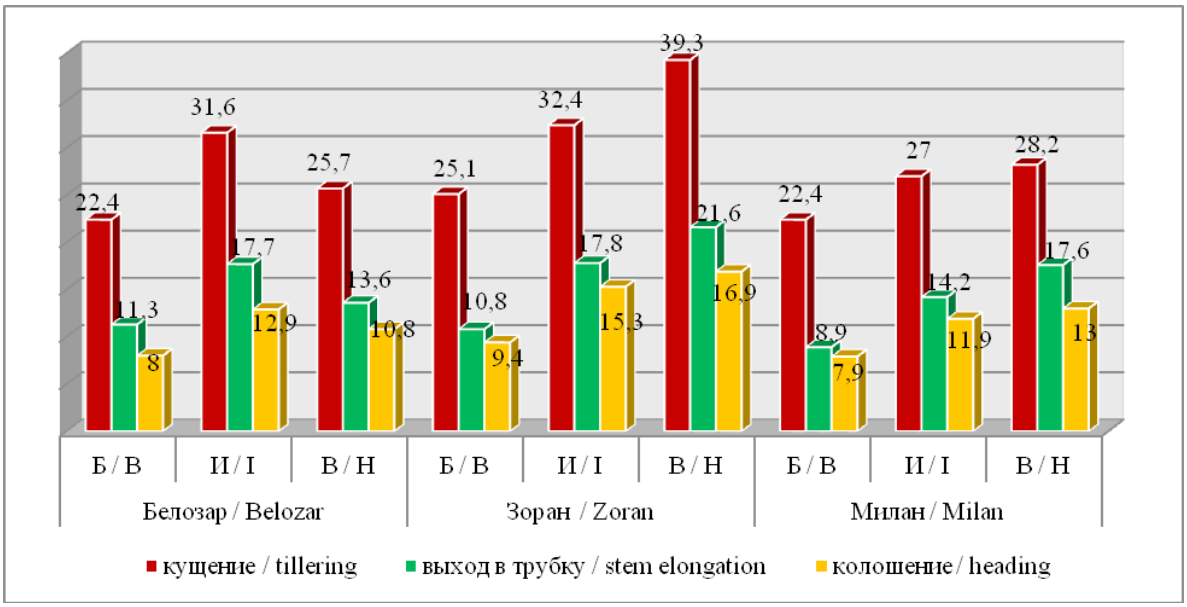


Рисунок 1. Содержание нитратного азота в почве, мг/кг. Б – Базовая технология, И – Интенсивная технология, В – Высокоинтенсивная технология.

Figure 1. Soil nitrate nitrogen content, mg/kg. B – Basic technology, I – Intensive technology, H – High-intensity technology.

и ассимиляции азота в растениях в зависимости от условий выращивания.

В условиях проведения исследований содержание азота в надземной массе ярового ячменя изменялось в зависимости от сорта и уровня интенсивности технологии выращивания. При выращивании ячменя в условиях базовой технологии содержание азота в растениях составило 2.06-2.27%. Повышение уровня обеспеченности растений ячменя минеральным питанием и улучшение условий защиты растений способствовали повышению содержания азота до 2.48%. Из представленных сортов наибольшее значение зафиксировано у ячменя сорта Милан (рис. 2). Несмотря на высокое содержание азота в почве в фазу кущения (рис. 1), накопление его в растениях находилось ниже оптимального значения. Коэффициент корреляции между содержанием азота в почве и растениях ячменя составил r = 0,35, что указывает на снижение размеров поглощения азота растениями. Возможно, это обусловлено неблагоприятными погодно-климатическими условиями в данный период

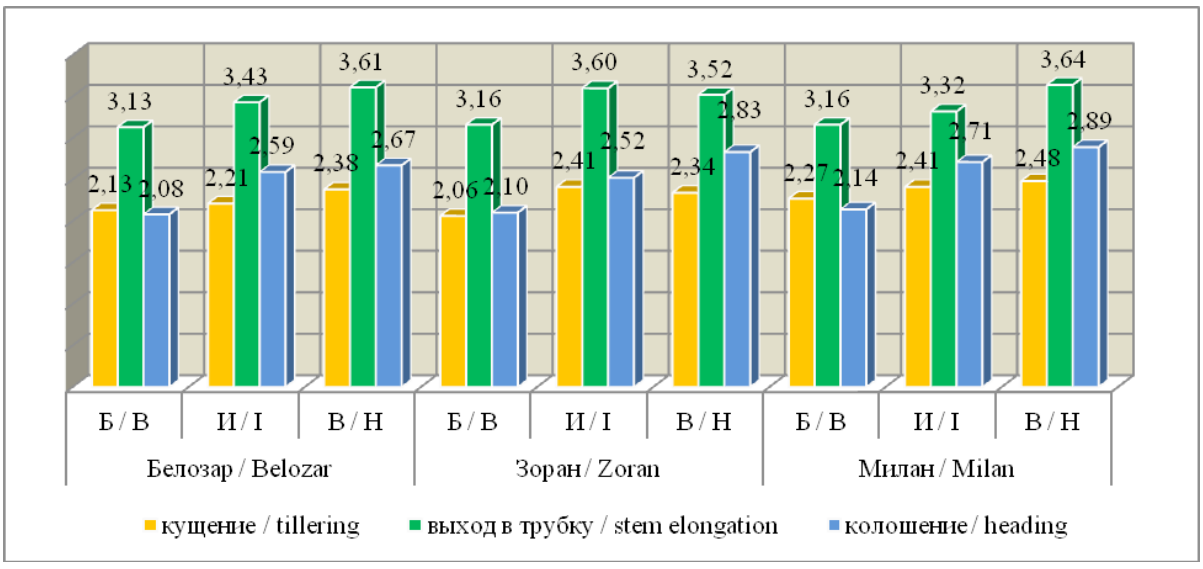


Рисунок 2. Содержание азота в надземной массе ярового ячменя, %. Б – Базовая технология, И – Интенсивная технология, В – Высокоинтенсивная технология.

Figure 2. Nitrogen content in the aboveground plant matter of spring barley (%). B – Basic technology; I – Intensive technology; H – High-intensity technology.

роста растений. В период выращивания гидротермический коэффициент составил 1,0, что соответствует засушливому уровню влагообеспечения территории. Это свидетельствует о дефиците влажности почвы, что произошло в результате недостатка осадков при выращивании растений ячменя.

Наиболее высокое содержание азота в надземной массе ячменя отмечается в фазу выхода в трубку, что свидетельствует об активном накоплении азота и обусловлено его существенной ролью в процессе роста. Содержание азота в растениях ячменя при базовой технологии выращивания варьировало от 3.13 до 3.16%. При этом коэффициент корреляции составил 0.60, что свидетельствует о повышении интенсивности развития растений ячменя. Улучшение условий питания и защиты растений обеспечивало возрастание размеров накопления азота в растениях. Так, при интенсивной технологии возделывания ячменя содержание азота в надземной части растений составило 3.32-3.60%, при высокоинтенсивной технологии – 3.52-3.64%.

Известно, что в фазе колошения содержание азота в растениях снижается, что обусловлено активизацией процессов перераспределения азота из вегетативных органов в генеративные и использованием азота растениями для формирования зерна. В связи с этим в проведенных исследованиях было изучено влияние технологий разной интенсивности на содержание азота в надземной массе растений различных сортов ячменя. Показано, что содержание азота в надземной массе растений ячменя находилось в пределах от 2.08 до 2.89% в зависимости от их сортовой специфики. Максимальное накопление азота продемонстрировал сорт Милан при выращивании в условиях интенсивной технологии минерального питания и защиты растений. Корреляционная связь между азотом нитратов почвы и азотом в растениях определена как высокая с коэффициентом корреляции 0.77.

Урожайность ярового ячменя во многом зависит от уровня интенсивности агротехнических мероприятий, применяемых в процессе его возделывания. Однако степень влияния этих факторов подвержена изменению в зависимости от сортовых особенностей и почвенно-климатических условий. Получено, что урожайность ярового ячменя при базовой технологии возделывания составила 3.55-4.93 т/га в зависимости от сорта ячменя. Все сорта показали прирост урожайности при повышении уровня интенсивности применения агрохимикатов. При интенсивной технологии возделывания ячменя величина урожая зерна составила 4.32-5.62 т/га, а при высоком уровне интенсивности – 4.70-5.86 т/га. Максимальная прибавка урожайности (1.15 т/га) выявлена у растений ячменя сорта Милан (4.70 т/га) при выращивании в условиях высокоинтенсивной технологии по сравнению с применением базовой технологии возделывания (3.55 т/га). В то же время наибольшая урожайность (5.86 т/га) отмечена у растений ячменя сорта Белозар при высокоинтенсивной технологии возделывания (табл. 1), что обусловлено большей интенсивностью накопления азота в надземной части растений (рис. 2) и усилением его оттока в репродуктивные органы при формировании и созревании зерна.

Таким образом, установлено, что ячмень сорта Милан при высокоинтенсивной технологии возделывания показал самое высокое содержание азота в надземной массе в фазу выхода в трубку (3.64%) при самой низкой урожайности 4.70 т/га. Растения ячменя сортов Белозар и Зоран в этих же условиях возделывания имеют более высокую урожайность (5.86 и 5.21 т/га) при меньшем содержании азота в надземной части в фазу выхода в трубку (3.6 и 3.52% соответственно). Возможно, это связано с тем, что растения ячменя сортов Белозар и Зоран более эффективно используют поглощенный азот на формирование зерновой продуктивности.

Выводы
Conclusions

1. Установлено, что уровень интенсивности технологии возделывания существенно влияет на урожайность ярового ячменя изучаемых сортов. Показано, что наибольшая урожайность получена при высокоинтенсивной технологии возделывания ярового ячменя сорта Белозар, которая составила 5.86 т/га. В тех же условиях максимальная эффективность применяемых агротехнических приемов получена при выращивании ячменя сорта Милан. Прибавка урожая зерна составила 1.15 т/га.

2. Выявлено, что содержание нитратного азота в почве и общего азота в надземной массе ярового ячменя определяется уровнем применяемых агротехнологий возделывания, а также значительно зависит от сортовой специфики растений и фазы их развития.

3. Показано, что растения ячменя сортов Белозар и Зоран более эффективно используют поглощенный азот на формирование зерновой продуктивности, что, вероятно, обусловлено генетическими особенностями данных сортов.

4. Результаты исследований показывают важность комплексного подхода к управлению азотным режимом в системе «Почва-растение», а также обусловливают необходимость применения интенсивных технологий для повышения урожайности сельскохозяйственной культуры и выбора наиболее подходящих сортов в конкретных почвенно-климатических условиях.

Таблица 1. Урожайность ярового ячменя.

Table 1. Spring barley yield.

Сорт ***Variety***	**Технология** ***Technology***	**Урожайность, т/га** ***Yield (t/ha)***	**Прибавка, т/га** ***Increase (t/ha)***	**Прибавка, %** ***Increase (%)***
Белозар *Belozar*	Б *B*	4.93	–	–
	И *I*	5.62	0.69	14.0
	В *H*	5.86	0.93	18.9
Зоран *Zoran*	Б *B*	4.32	–	–
	И *I*	5.18	0.86	19.9
	В *H*	5.21	0.89	20.6
Милан *Milan*	Б *B*	3.55	–	–
	И *I*	4.32	0.77	21.6
	В *H*	4.70	1.15	32.4
$НСР_{05}$ (фактор А) *HCP_{05} (factor A)*		0.42		
$НСР_{05}$ (фактор Б) *HCP_{05} (factor B)*		0.47		

Примечание. Б – Базовая технология, И – Интенсивная технология, В – Высокоинтенсивная технология.

Note. B – Basic technology; I – Intensive technology; H – High-intensity technology.

Список источников

1. Фесенко М.А., Шпанев А.М. Влияние агротехнологических факторов на урожайность ярового ячменя в условиях Ленинградской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(3):330-339. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.330-339
2. Якушев В.П., Михайленко И.М., Драгавцев В.А. Агротехнологические и селекционные резервы повышения урожаев зерновых культур в России. *Сельскохозяйственная биология.* 2015;50(5):550-560. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.550rus
3. Евдокимова М.А. Влияние элементов технологий возделывания на структуру урожая ярового ячменя. *Агропродовольственная*

References

1. Fesenko M.A., Shpanev A.M. The influence of agrotechnological factors on the yield of spring barley in the conditions of the Leningrad Region. *Agricultural Science Euro-North-East.* 2024;25(3):330-339. (In Russ.) https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.3.330-339
2. Yakushev V.P., Mikhailenko I.M., Dragavtsev V.A. Reserves of agro-technologies and breeding for cereal yield increasing in the Russian Federation. *Agricultural Biology.* 2015;50(5):550-560. (In Russ.) https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.550rus
3. Evdokimova M.A. Influence of elements of cultivation technologies on the structure of spring barley harvest. *Agroprodovolstvennaya*

экономика. 2021;(6):52-57. https://doi.org/10.54092/24122521_2021_6_52
4. Беленков А.И., Пискунова А.С., Аммар Аббас Убайд А.Г., Биналиев И.Ф. Оценка технологии возделывания ячменя в полевых опытах РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. *Владимирский земледелец*. 2021;(2(96)):4-10. https://doi.org/10.24412/2225-2584-2021-2-4-10
5. Артюхова О.А., Гладышева О.В., Свирина В.А. Влияние элементов технологий возделывания на урожайность новых пивоваренных сортов ярового ячменя. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2020;(2):21-25. https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/2/21-25
6. Исламгулова Р.Р., Серегина И.И. Влияние условий минерального питания на качество фракций зерновок пивоваренного ячменя. *Плодородие.* 2026;(1(148)):26-30. https://doi.org/10.25680/S19948603.2026.148.05
7. Гаврилова А.Ю., Конова А.М., Самсонова Н.Е. Влияние доз и сочетаний минеральных удобрений на формирование урожайности и качества зерна пивоваренного ячменя в Центральном Нечерноземье. *Агрохимия.* 2020;(9):24-31. https://doi.org/10.31857/S0002188120090069
8. Смуров С.И., Наумкин В.Н., Ермолаев С.Н. Урожайность и качество зерна ярового ячменя в зависимости от различных предшественников и фонов минерального питания. *Вестник аграрной науки*. 2020;(2(83)):38-46. https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.36
9. Макаров В.И. Влияние доз азотных удобрений на урожайность ячменя, химический состав зерна и соломы. *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020;(1(61)):49-58. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2020_1_49
10. Гребенщиков В.Ю., Верхотуров В.В., Белопухов С.Л., Серегина И.И. Влияние минерального питания на урожайность и качество зерна ячменя (*Hordeum vulgare* L.) при выращивании на серой лесной почве лесостепи Приангарья. *Проблемы агрохимии и экологии*. 2019;(3):20-26. https://doi.org/10.26178/AE.2019.79.33.004
11. Воронов С.И., Калабашкина Е.В., Музраев В.Н. и др. Влияние агротехнологий разного уровня интенсивности на продуктивность сортов яровой пшеницы и экономическую эффективность в условиях Центральной Нечерноземной зоны. *Аграрная Россия*. 2025;(3):3-7. https://doi.org/10.30906/1999-5636-2025-3-3-7
12. Попов Ф.А., Козлова Л.М., Носкова Е.Н., Светлакова Е.В. Эффективность возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта Новичок. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(2):254-263. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263

ekonomika. 2021;(6):52-57. (In Russ.) https://doi.org/10.54092/24122521_2021_6_52
4. Belenkov A.I., Piskunova A.S., Ammar Abbas Ubaid A.G., Binaliev I.F. Assessment of barley cultivation technology within field trial of the Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev. *Vladimirskiy zemledelets*. 2021;(2(96)):4-10. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2225-2584-2021-2-4-10
5. Artyukhova O.A., Gladysheva O.V., Svirina V.A. Cultivation technology elements influence on new spring barley brewing varieties. *Vestnim of the Russian Agricultural Science.* 2020;(2):21-25. (In Russ.) https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/2/21-25
6. Islamgulova R.R., Seregina I.I. Influence of mineral nutrition conditions on the quality indicators of malting barley grain fractions. *Plodorodie*. 2026;(1(148)):26-30. (In Russ.) https://doi.org/10.25680/S19948603.2026.148.05
7. Gavrilova A.Yu., Konova A.M., Samsonova N.E. Influence of doses and combinations of mineral fertilizers on formation of productivity and quality of malting barley grain in the Central Non-Chernozem Region. *Agrohimia.* 2020;(9):24-31. (In Russ.) https://doi.org/10.31857/S0002188120090069
8. Smurov S.I., Naumkin V.N., Ermolaev S.N. Yield and grain quality of spring barley depending on various precursors and mineral nutrition backgrounds. *Bulletin of Agrarian Science.* 2020;(2(83)):38-46. (In Russ.) https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.36
9. Makarov V.I. The effect of urea doses on barley yield and on chemical composition of grain and straw. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy.* 2020;(1(61)):49-58. (In Russ.) https://doi.org/10.48012/1817-5457_2020_1_49
10. Grebenshchikov V.Yu., Verkhoturov V.V., Belopukhov S.L., Seregina I.I. Influence of mineral nutrition on yield and quality of barley grain (*Hordeum vulgare* L.) When grown on the gray forest soil of forest-steppe of Priangarie. *Agrochemistry and Ecology Problems.* 2019;(3):20-26. (In Russ.) https://doi.org/10.26178/AE.2019.79.33.004
11. Voronov S.I., Kalabashkina E.V., Muzraev V.N. et al. Impact of different intensity levels of agricultural technologies on the productivity of spring wheat varieties and economic efficiency in the conditions of the Central Non-Chernozem Zone. *Agrarnaya Rossiya.* 2025;(3):3-7. (In Russ.) https://doi.org/10.30906/1999-5636-2025-3-3-7
12. Popov F.A., Kozlova L.M., Noskova E.N., Svetlakova E.V. Effectiveness of increasing doses of mineral fertilizers in the cultivation of spring barley of the Novichok variety. *Agricultural Science Euro-North-East.* 2021;22(2):254-263. (In Russ.) https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263

13. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. Москва: Альянс, 2011:350.

Сведения об авторах

Елена Владимировна Калабашкина, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка»; 121205, Россия, г. Москва, Инновационный центр Сколково, Большой бульвар, 30с1; kalabashkina@gmail.com; https://orcid.org/0000-0001-7952-1842

Сергей Леонидович Белопухов, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры химии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; belopuhov@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-4473-4466

Инга Ивановна Серегина, доктор биологических наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; seregina.i@inbox.ru; https://orcid.org/0000-0002-2400-4159

Виктор Николаевич Музраев, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка»; 121205, Россия, г. Москва, Инновационный центр Сколково, Большой бульвар, 30с1; viktor-muzraev@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0004-7935-9733

Виталия Александровна Цымбалова, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка»; 121205, Россия, г. Москва, Инновационный центр Сколково, Большой бульвар, 30с1; agronom-msha@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0001-8946-5485

Людмила Ивановна Мавлютова, лаборант-исследователь лаборатории сортовых технологий яровых зерновых культур и систем защиты растений, ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка»; 121205, Россия, г. Москва, Инновационный центр Сколково, Большой бульвар, 30с1

Конфликт интересов
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 12.04.2026
Одобрена после рецензирования 20.05.2026
Принята к публикации 20.05.2026

13. Dospekhov B.A. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). Moscow, Russia: Al'yans, 2011:350. (In Russ.)

Information about the authors

Elena V. Kalabashkina, CSc (Ag), Federal Research Center "Nemchinovka"; 121205, Russian Federation, Moscow, Skolkovo Innovation Center, Bolshoy Blvd., 30s1; kalabashkina@gmail.com; https://orcid.org/0000-0001-7952-1842

Sergey L. Belopukhov, DSc (Ag), Professor at the Department of Chemistry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; belopuhov@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-4473-4466

Inga I. Seregina, DSc (Bio), Professor at the Department of Agronomy, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; seregina.i@inbox.ru; https://orcid.org/0000-0002-2400-4159

Viktor N. Muzraev, CSc (Ag), Federal Research Center "Nemchinovka"; 121205, Russian Federation, Moscow, Skolkovo Innovation Center, Bolshoy Blvd., 30s1; viktor-muzraev@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0004-7935-9733

Vitaliya A. Tsymbalova, CSc (Ag), Federal Research Center "Nemchinovka"; 121205, Russian Federation, Moscow, Skolkovo Innovation Center, Bolshoy Blvd., 30s1; agronom-msha@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0001-8946-5485

Lyudmila I. Mavlyutova, Research Assistant at the Laboratory of Varietal Technologies of Spring Grain Crops and Crop Protection Systems, Federal Research Center "Nemchinovka"; 121205, Russian Federation, Moscow, Skolkovo Innovation Center, Bolshoy Blvd., 30s1

Conflict of interests
The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office
April 12, 2026
Approved after reviewing May 20, 2026
Accepted for publication May 20, 2026

ПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Оригинальная научная статья
УДК 332.2:528.8:004.85
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-6-02

Новые технологии мониторинга земель на основе снимков с БПЛА, OpenDroneMap и нейросетевой модели DINOv3

Надежда Владимировна Гавриловская, Николай Александрович Мякшин, Дмитрий Михайлович Бенин, Оксана Михайловна Кузина

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Надежда Владимировна Гавриловская, gavrilovskayanv@rgau-msha.ru

Аннотация

В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства и роста антропогенной нагрузки на почвы особую значимость приобретает оперативный мониторинг земель, позволяющий выявлять изменения структуры землепользования и состояния земельных ресурсов на ранних стадиях. Традиционные наземные обследования обеспечивают высокую точность, но отличаются высокой трудоемкостью и ограниченным пространственным охватом, что затрудняет их применение для регулярного мониторинга больших территорий. Целью исследований являлась разработка и апробация сквозного программного пайплайна мониторинга земель, включающего в себя получение снимков с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), их фотограмметрическую обработку в OpenDroneMap с формированием ортофотопланов в формате GeoTIFF, разметку данных по классам землепользования, обучение с учителем сегментационной «головы» нейросети на основе предобученного трансформера DINOv3, семантическую сегментацию типов земель и экспорт результатов в геоинформационные системы (ГИС) в формате GeoJSON. Съемка проводилась с использованием БПЛА над сельскохозяйственными угодьями, характеризующимися сочетанием пахотных земель, залежей, луговой растительности, лесных массивов и застроенных территорий. Многокадровые перекрывающиеся изображения обрабатывались в OpenDroneMap с получением ортофотопланов и цифровых моделей поверхности; на их основе в настольной ГИС выполнялись векторная разметка полигонов классов землепользования и экспорт в формат GeoJSON. Всего было подготовлено 2000 размеченных фрагментов ортофотопланов, использованных для обучения и валидации «головы» нейросетевой модели. В качестве базового экстрактора признаков применен предобученный трансформер DINOv3, поверх которого реализован сегментационный декодер с обучением в режиме с учителем на размеченных данных. Качество работы модели оценивалось по метрикам полноты, точности, F1-меры и пересечения-объединения (IoU) для каждого класса земель, а также по средней IoU по всем классам. Результаты экспериментов показали, что предложенный подход обеспечивает высокую точность автоматизированной классификации основных типов землепользования на основе ортофотопланов с БПЛА и может быть использован для актуализации карт землепользования, кадастровой оценки и оперативного экологического мониторинга. Реализация пайплайна с использованием свободно распространяемого программного обеспечения (OpenDroneMap, QGIS) и открытых библиотек глубинного обучения делает его доступным для научных и производственных организаций.

Ключевые слова

Мониторинг земель, беспилотные летательные аппараты, OpenDroneMap, DINOv3, семантическая сегментация, землепользование, GeoJSON, ГИС, почвоведение, кадастр

Для цитирования

Гавриловская Н.В., Мякшин Н.А., Бенин Д.М., Кузина О.М. Новые технологии мониторинга земель на основе снимков с БПЛА, OpenDroneMap и нейросетевой модели DINOv3. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(2):602. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-6-02

© Гавриловская Н.В., Мякшин Н.А., Бенин Д.М., Кузина О.М., 2026
© Gavrilovskaya N.V., Myakshin N.A., Benin D.M., Kuzina O.M., 2026

SOIL SCIENCE, LAND MANAGEMENT, LAND CADASTRE AND LAND MONITORING

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-6-02

New land monitoring technologies based on UAV imagery, OpenDroneMap and the DINOv3 neural network model

Nadezhda V. Gavrilovskaya, Nikolay A. Myakshin, Dmitriy M. Benin, Oksana M. Kuzina

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Nadezhda V. Gavrilovskaya, gavrilovskayanv@rgau-msha.ru

Annotation
In the context of the intensification of agricultural production and the growth of anthropogenic load on soils, operational land monitoring capable of detecting changes in land-use structure and land resource conditions at early stages has become critically important. Traditional ground-based surveys provide high accuracy but are labour-intensive and limited in spatial coverage, making them unsuitable for regular monitoring of large areas. The aim of this study was to develop and test an end-to-end software pipeline for land monitoring, encompassing the acquisition of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, photogrammetric processing in OpenDroneMap to generate orthomosaics in GeoTIFF format, data annotation by land-use classes, supervised training of a segmentation head based on the pre-trained DINOv3 transformer, semantic segmentation of land cover types, and export of results to Geographic information systems (GIS) in GeoJSON format. UAV surveys were conducted over agricultural lands comprising a mosaic of arable fields, fallow lands, grassland vegetation, forest areas, and built-up territories. Multi-frame overlapping images were processed in OpenDroneMap to produce orthomosaics and digital surface models; vector polygon annotation of land-use classes was performed in a desktop GIS environment, with subsequent export to GeoJSON. A total of 2,000 labeled orthomosaic tiles were prepared for training and validation of the neural network segmentation head. A pre-trained DINOv3 transformer was employed as the feature extractor, with a segmentation decoder trained in a supervised manner on the labeled dataset. Model performance was evaluated using recall, precision, F1-score, and intersection-over-union (IoU) metrics for each land-use class, as well as mean IoU across all classes. The experimental results demonstrate that the proposed approach achieves high accuracy in automated classification of major land-use types from UAV-derived orthomosaics, and can be applied to land-use map updating, cadastral assessment, and operational environmental monitoring. The implementation of the pipeline using open-source software (OpenDroneMap, QGIS) and open-source deep learning libraries makes it accessible to both research and production organisations.

Keywords
Land monitoring, unmanned aerial vehicles (UAV), OpenDroneMap, DINOv3, semantic segmentation, land use, GeoJSON, GIS, soil science, cadastre

For citation
Gavrilovskaya N.V., Myakshin N.A., Benin D.M., Kuzina O.M. New land monitoring technologies based on UAV imagery, OpenDroneMap and the DINOv3 neural network model. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(2):602. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-2-6-02

Введение
Introduction

В последние годы при решении задач мониторинга земель и почв все более широко применяются методы дистанционного зондирования в сочетании с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА), обеспечивающими высокое пространственное разрешение и оперативность получения данных по сравнению со спутниковыми системами. Одновременно наблюдается быстрый прогресс в области методов глубокого обучения включая сверточные нейронные сети и архитектуры на основе трансформеров, которые успешно используются для решения задач классификации и семантической сегментации земной поверхности по данным дистанционного зондирования.

Ряд исследований демонстрирует эффективность применения БПЛА и нейросетевых моделей для картирования землепользования, выявления изменений ландшафта, оценки состояния сельскохозяйственных угодий и почвенного покрова [1-4]. Вместе с тем многие работы либо фокусируются на отдельных стадиях обработки (например, только на фотограмметрической обработке или только на классификации), либо используют закрытое программное обеспечение, что затрудняет тиражирование и воспроизводимость результатов [5].

Особый интерес представляют модели на основе трансформеров – такие, как DINOv3, обеспечивающие высокое качество извлечения признаков и устойчивость к вариативности текстур и освещения, характерной для снимков с БПЛА. Их сочетание с обучаемой в режиме с учителем сегментационной «головой» позволяет решать задачи детальной классификации типов землепользования и состояния земель по ортофотопланам.

Цель исследований: разработка и экспериментальная оценка сквозного пайплайна мониторинга земель, включающего в себя все ключевые этапы: получение снимков с БПЛА, их фотограмметрическую обработку в OpenDroneMap, разметку данных по типам землепользования, обучение с учителем сегментационной «головы» нейросети поверх предобученного энкодера DINOv3 и экспорт результатов классификации в ГИС-системы в формате GeoJSON.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Организовать получение и фотограмметрическую обработку снимков с БПЛА с формированием ортофотопланов и цифровых моделей поверхности.

2. Разработать схему разметки типов землепользования и подготовить датасет из ~2000 размеченных фрагментов ортофотопланов в формате GeoJSON.

3. Реализовать и обучить сегментационную «голову» нейросети на основе предобученного трансформера DINOv3 для семантической сегментации земель.

4. Оценить качество работы модели по стандартным метрикам и интегрировать результаты классификации в настольные ГИС посредством формата GeoJSON.

Методика исследований

Research method

В качестве объекта мониторинга рассмотрен аграрный ландшафт, предоставленный заказчиком, представленный сочетанием пахотных земель, залежей, естественных кормовых угодий, лесных массивов, водных объектов и застроенных территорий. Такое сочетание классов землепользования характерно для задач почвенно-аграрного мониторинга и кадастровой оценки земель.

Съемка выполнялась с использованием многороторного БПЛА, оснащенного RGB-камерой и приемником GNSS. Полеты планировались в специализированной программе с обеспечением продольного и поперечного перекрытий кадров не менее 75 и 60% соответственно, что необходимо для устойчивой фотограмметрической обработки. Высота полета подбиралась таким образом, чтобы обеспечивать пространственное разрешение ортофотопланов порядка нескольких сантиметров на пиксель; съемка проводилась в безоблачную погоду около полудня для минимизации влияния теней.

Фотограмметрическая обработка снимков осуществлялась с использованием набора свободно распространяемого программного обеспечения OpenDroneMap (ODM/WebODM), реализующего полный цикл построения ортофотопланов и цифровых моделей рельефа по данным БПЛА. Стандартный технологический процесс включал в себя этапы вычленения ключевых точек, построения разреженного и плотного облака точек, генерации цифровой модели поверхности и построения ортофотоплана в формате GeoTIFF в единой системе координат.

Для объединения нескольких полетов и обеспечения сопоставимости результатов все проекты были приведены к единой системе координат. Полученные ортофотопланы служили в качестве основы для последующей разметки и обучения нейросетевой модели.

Разметка классов землепользования выполнялась в настольной ГИС (например, Google Earth Pro) по полученным ортофотопланам. На основе визуального анализа и доступных вспомогательных материалов были выделены классы, представленные в таблице 1.

Полигональные объекты каждого класса оцифровывались поверх ортофотоплана с соблюдением топологической корректности. Итоговые слои разметки экспортировались в формат GeoJSON, содержащий геометрию полигонов и атрибут «class», задающий тип землепользования.

Для обучения модели ортофотопланы автоматически нарезались на фрагменты фиксированного размера (например, 512 × 512 пикселей) с учетом соответствующих полигонов разметки; для каждого фрагмента формировалась маска классов в растровом формате. В итоговый датасет вошло 2000 размеченных фрагментов, которые были разделены на обучающую, валидационную и тестовую выборки (например, в пропорции 70/15/15) (рис. 1).

В качестве базового экстрактора признаков использовалась предобученная модель DINOv3, реализующая архитектуру Vision Transformer и обученная в режиме самосупервизии на масштабных наборах естественных изображений. Модель DINOv3 применялась в роли энкодера, преобразующего входные фрагменты ортофотопланов в многоканальные пространственные карты признаков.

Поверх энкодера была реализована сегментационная «голова», включающая в себя декодер с несколькими уровнями апсемплинга и блоками слития признаков разных масштабов, аналогично

Таблица 1. Виды классификации земель.

Table 1. Types of land cover classification.

№	Вид классификации / *Type of classification*
1	пахотные земли (обрабатываемые поля) / *arable land (cultivated fields)*
2	залежи и многолетние травы / *fallow lands and perennial grasses*
3	лесные и древесно-кустарниковые насаждения / *forest and woody shrub vegetation*
4	застроенные территории (здания, дороги, площадки) / *built-up areas (buildings, roads, and paved surfaces)*
5	водные объекты / *water bodies*
6	прочие (открытый грунт, техногенные объекты и т.п.) / *other (open ground, man-made objects, etc.)*

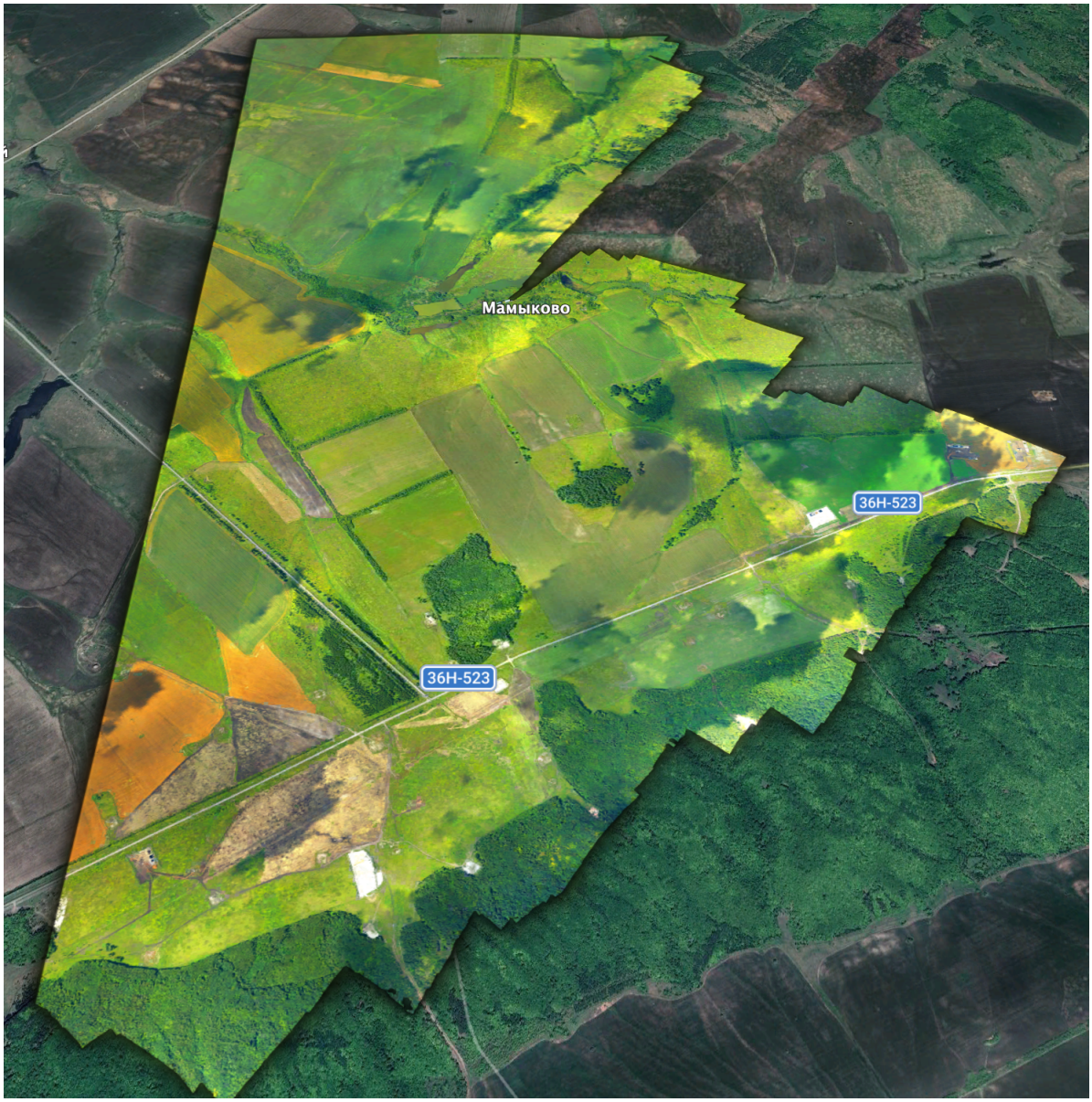


Рисунок 1. Скриншот проекта в Google Earth Pro с ортофотопланом исследуемого участка.

Figure 1. Screenshot of the Google Earth Pro project showing the orthomosaic of the study area.

распространенным архитектурам семантической сегментации (U-образные сети, FPN-подобные структуры) (рис. 2). Обучение сегментационной «головы» проводилось в режиме с учителем на замороженном или частично дообучаемом энкодере DINOv3 (вариант выбирался эмпирически на основе результатов валидации).

В качестве функции потерь использовалась комбинация многоклассовой перекрестной энтропии и обобщенной Dice-функции, что позволяет одновременно учитывать баланс классов и качество перекрытия масок.

Обучение модели проводилось в среде Python с использованием одной из современных библиотек глубокого обучения (например, PyTorch или TensorFlow). Входные фрагменты ортофотопланов нормировались и при необходимости преобразовывались в пространственное разрешение, согласованное с конфигурацией DINOv3. Для повышения обобщающей способности использовались методы аугментации (случайные повороты, отражения, изменения яркости и контраста в разумных пределах).

Обучение сегментационной «головы» выполнялось в среде Python с использованием библиотеки глубокого обучения PyTorch [7] (табл. 2). В качестве оптимизатора применялся AdamW со скоростью обучения 1×10^{-4} (lr = 1e-4). Обучение проводилось в течение 50 эпох с размером батча 4. Для ускорения вычислений и снижения потребления памяти использовалась смешанная точность (Automatic Mixed Precision, torch.amp.GradScaler и torch.amp.autocast). В качестве функции потерь использовалась многоклассовая перекрестная энтропия (CrossEntropyLoss) с игнорированием класса фона (ignore_index = 0). Сохранение контрольной точки модели выполнялось по критерию минимума средней ошибки (best_loss) на обучающей выборке. Вычисления производились на GPU Nvidia A6000 (CUDA). Обучение выполнялось в течение заданного числа эпох с контролем метрик на валидационной выборке и использованием алгоритма ранней остановки для предотвращения переобучения.

Для оценки качества семантической сегментации на тестовой выборке рассчитывались следующие метрики:

1. Общая точность (Overall Accuracy).
2. Полнота (Recall) и точность (Precision) по каждому классу.
3. F1-мера по каждому классу.
4. Метрика пересечения-объединения (IoU) по каждому классу и средняя IoU (mIoU).

Наиболее высокие значения IoU достигнуты для классов «Водные объекты» (IoU = 0.957) и «Лесные насаждения» (IoU = 0.918), что объясняется четкими спектральными и текстурными границами данных объектов на ортофотопланах. Наибольшие трудности классификации зафиксированы для классов «Залежи и многолетние травы» (IoU = 0.742) и «Прочие» (IoU = 0.704) ввиду высокой внутриклассовой вариабельности растительного покрова. Общая точность модели (Overall Accuracy) составила 0.924, средняя IoU (mIoU) – 0.838, что соответствует уровню современных работ по семантической сегментации земельного покрова по данным БПЛА [2-4, 6].

В ходе обучения сегментационного декодера в течение 50 эпох наблюдалось устойчивое снижение функции потерь CrossEntropyLoss с 1.0212 (эпоха 1) до 0.2809 (эпоха 50), что составило снижение на 72.5% относительно начального значения. Наиболее интенсивное уменьшение потерь зафиксировано в первые 5 эпох (с 1.0212 до 0.5790), что свидетельствует об эффективности предобученных признаков энкодера DINOv3 как начального приближения для задачи семантической сегментации земельного покрова. Дальнейшее стабильное снижение функции потерь без признаков переобучения подтверждает корректность выбора скорости обучения ($lr = 1 \times 10^{-4}$) и архитектуры декодера.

Данные рисунка 3 демонстрируют сходимость модели в процессе обучения. Снижение значений функции потерь на обучающей

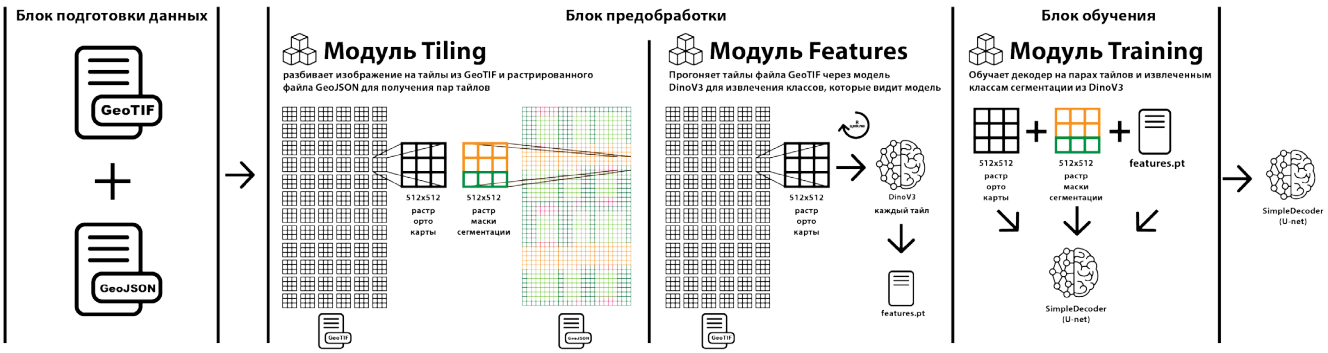


Рисунок 2. Схема пайплайна нейросетевой архитектуры (DINOv3-энкодер + сегментационный декодер).

Figure 2. Neural network architecture pipeline diagram (DINOv3 encoder + segmentation decoder).

Таблица 2. Метрики качества семантической сегментации на тестовой выборке.

Table 2. Semantic segmentation performance metrics on the test dataset.

Класс *Class*	**Точность** *Precision*	**Полнота** *Recall*	**F1-мера** *F1-score*	**IoU**
Пахотные земли *Arable land*	0.927	0.941	0.934	0.876
Залежи и многолетние травы *Fallow lands and perennial grasses*	0.861	0.843	0.852	0.742
Лесные насаждения *Forest vegetation*	0.953	0.962	0.957	0.918
Застроенные территории *Built-up areas*	0.912	0.904	0.908	0.832
Водные объекты *Water bodies*	0.976	0.981	0.978	0.957
Прочие *Other*	0.834	0.819	0.826	0.704
Среднее (macro) *Macro average*	0.911	0.908	0.909	0.838
Общая точность *Overall Accuracy*				0.924

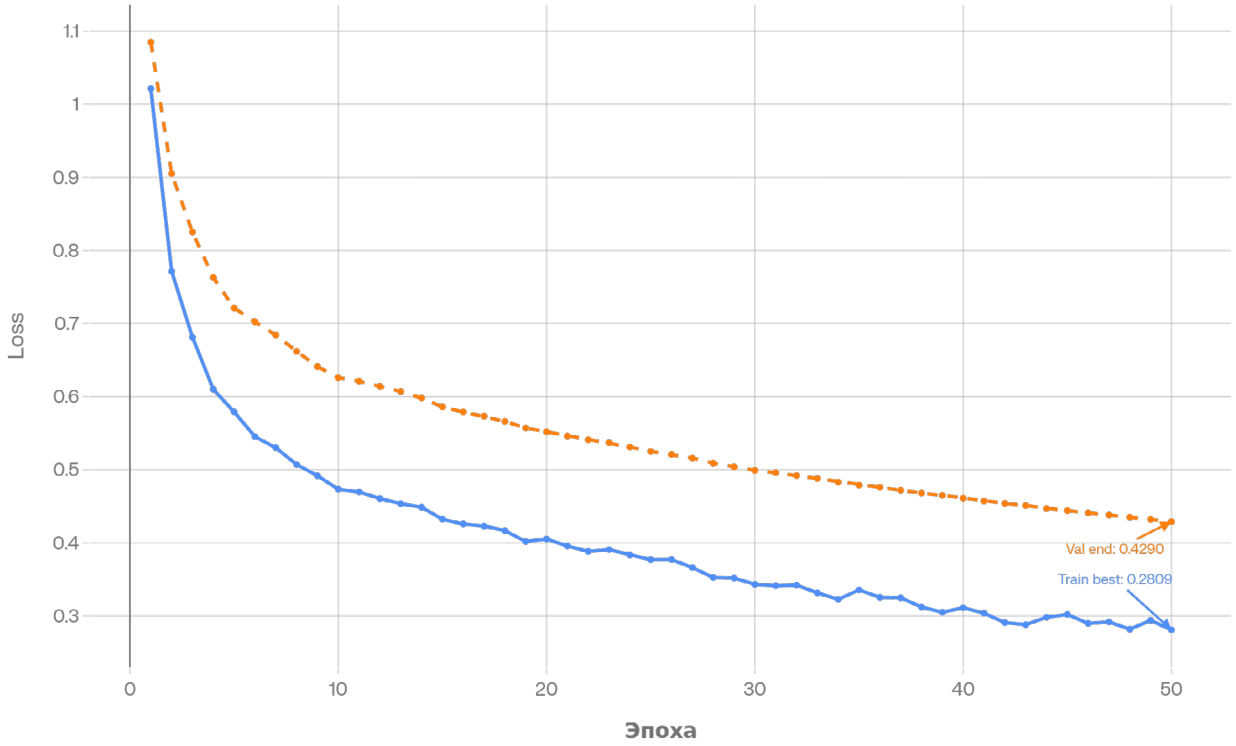


Рисунок 3. Кривые обучения и валидации сегментационного декодера DINOv3 в течение 50 эпох.

Figure 3. Training and validation curves of the DINOv3 segmentation decoder over 50 epochs.

и валидационной выборках указывает на корректный выбор гиперпараметров и устойчивое обучение сегментационного декодера. Различие между кривыми Train Loss и Val Loss остается умеренным, что свидетельствует о достаточной обобщающей способности модели на данных дистанционного зондирования [8].

Сегментационные предсказания модели пересчитывались в векторные слои (полигональные объекты) с сохранением информации о классе и степени уверенности модели. Полученные векторные слои экспортировались в формат GeoJSON (рис. 4) и загружались в настольную ГИС для визуализации, наложения на другие пространственные данные (кадастровые кварталы, почвенные карты) и проведения пространственного анализа [9].

Результаты и их обсуждение
Results and discussion

В результате обучения на датасете из 2000 размеченных фрагментов модель на основе DINOv3 продемонстрировала высокие значения точности и IoU для основных классов землепользования, прежде всего – для пахотных земель, лесных массивов и водных объектов. Наиболее сложными для корректной классификации оказались переходные типы угодий – такие, как залежи и участки с мозаичным растительным покровом, где наблюдается значительное внутриклассовое разнообразие текстур и спектральных характеристик.

Сопоставление результатов модели на основе DINOv3 с более простыми базовыми архитектурами (например, классическими U-Net-подобными

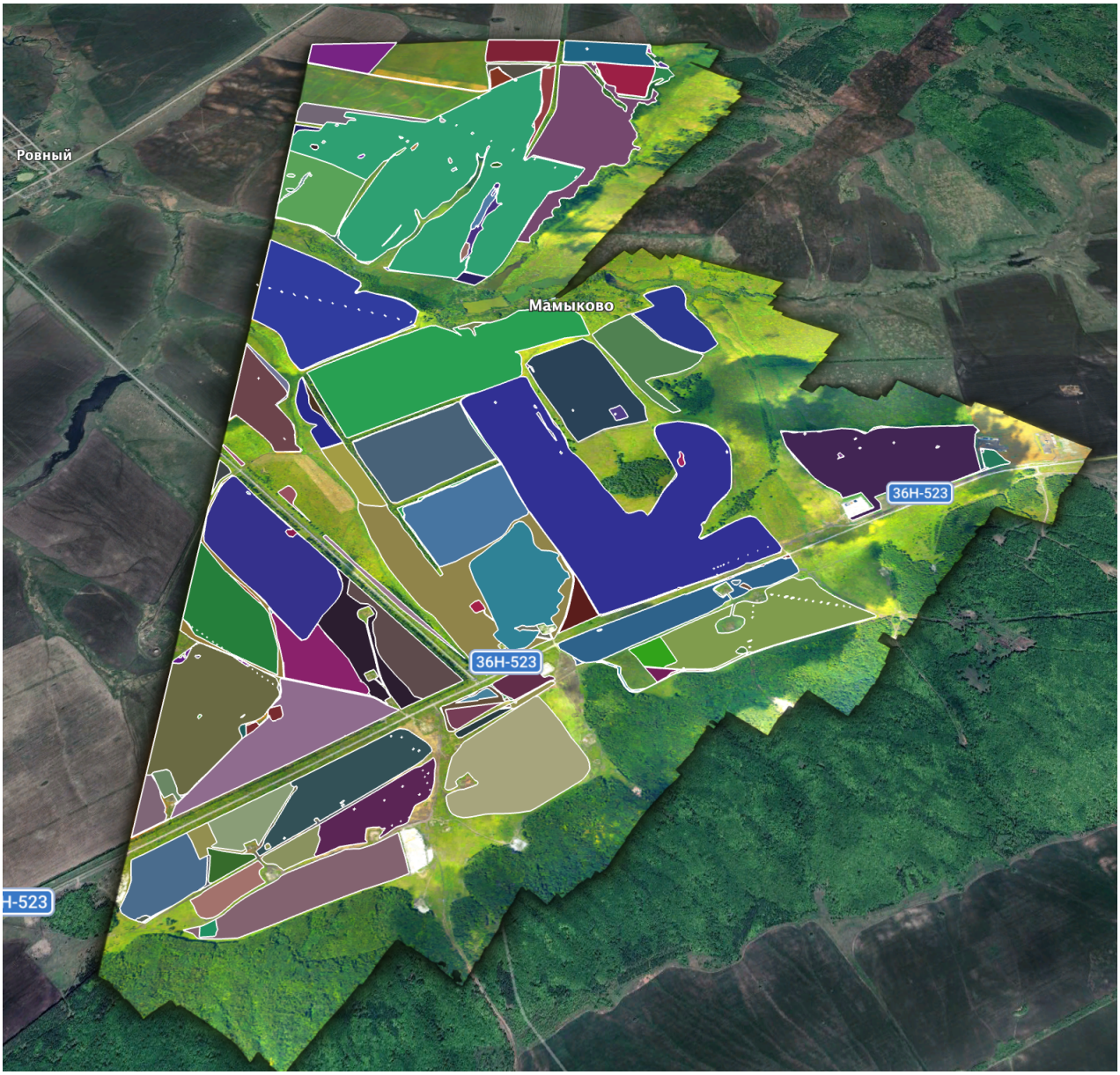


Рисунок 4. Карта с классификацией земель после обучения модели.

Figure 4. Land cover classification map generated after model training.

сетями без трансформерного энкодера) показало улучшение усредненной IoU и F1-меры, особенно на классах с сложной пространственной структурой (лесные массивы, застроенные территории) [2-4]. Это согласуется с данными литературы о преимуществах трансформеров и гибридных CNN-Transformer архитектур в задачах сегментации покрытий земной поверхности по данным БПЛА.

Визуальный анализ карт классификации выявил высокую согласованность границ классов с реальными контурами полей и другими объектами землепользования, что особенно важно для решения задач кадастровой оценки и мониторинга структуры посевных площадей. При этом наиболее заметные ошибки приходились на участки с сильной неоднородностью микрорельефа, смешением культур и наличием локальных затенений (рис. 5). В подобных случаях модель иногда фрагментировала контуры полей или смешивала классы «Пахотные земли» и «Прочие».

Сопоставление результатов моделей с полевыми наблюдениями и высокодетальными космическими снимками подтвердило пригодность предложенного подхода для выявления изменений землепользования (конверсия залежей в пашню, появление новых объектов застройки, изменение площади водных объектов) за счет регулярного повторения БПЛА-съемок и автоматизированной обработки.

Интеграция предсказанных карт землепользования в настольную ГИС через формат GeoJSON позволила использовать результаты сегментации как исходные слои для расчета площадей классов, построения статистики по землепользованию и анализа пространственных связей между типами земель и свойствами почв. В частности, возможны оценка доли пахотных земель на почвах различных генетических типов, выявление переуплотняемых участков, а также анализ динамики землепользования в контексте рекультивации нарушенных земель.

Использование открытого программного обеспечения (OpenDroneMap [10-12], QGIS) и распространенных форматов данных (GeoTIFF, GeoJSON) обеспечивает прозрачность и воспроизводимость всего процесса, а также облегчает интеграцию с существующими системами аграрного и экологического мониторинга.

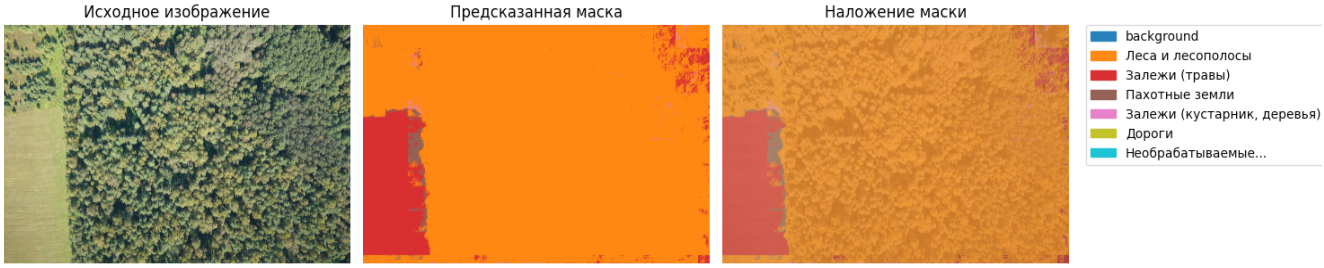


Рисунок 5. Сегментация одного снимка после обучения модели.

Figure 5. Segmentation output of a single UAV image after model training.

Выводы
Conclusions

Разработан и реализован сквозной программный пайплайн мониторинга земель, включающий в себя получение снимков с БПЛА, их фотограмметрическую обработку в OpenDroneMap, разметку типов землепользования, обучение сегментационной «головы» нейросети на основе предобученной модели DINOv3 и экспорт результатов семантической сегментации в ГИС в формате GeoJSON, который можно использовать как SaaS продукт.

На датасете из ~2000 размеченных фрагментов ортофотопланов продемонстрирована возможность получения высококачественных карт землепользования с детальным выделением пахотных земель, лесных массивов, водных объектов и застроенных территорий; наибольшие трудности классификации отмечены для переходных и мозаичных типов угодий.

Использование трансформерного энкодера DINOv3 в сочетании с обучаемой сегментационной «головой» обеспечивает улучшение метрик качества по сравнению с базовыми CNN-архитектурами, что согласуется с современными исследованиями в области глубинного обучения и дистанционного зондирования [2-4, 6].

Интеграция результатов сегментации в настольные ГИС через формат GeoJSON позволяет применять полученные карты при решении задач почвенного мониторинга, кадастровой оценки и анализа динамики землепользования, в том числе в составе существующих информационных систем аграрного профиля.

В дальнейшем планируется расширить размер и разнообразие обучающей выборки, включив мультиспектральные данные, а также

исследовать возможности адаптации обученной модели к другим регионам с отличающимися природно-почвенными и агротехническими условиями.

Исследования выполнены в рамках проекта по созданию и развитию инжинирингового центра РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (соглашение № 075-15-2025-543 от 16 июня 2025 г.).

Список источников

1. Hoummaidi L.E., Larabi A., Alam K. Using unmanned aerial systems and deep learning for agriculture mapping in Dubai. *Heliyon*. 2021;7(10): e08154. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08154
2. Lu T., Wan L., Qi S., Gao M. Land Cover Classification of UAV Remote Sensing Based on Transformer-CNN Hybrid Architecture. *Sensors.* 2023;23(11):5288. https://doi.org/10.3390/s23115288
3. Dou Z., Akpokodje E., He Y. et al. DINOv3-Driven Semantic Segmentation for Landslide Mapping in Mountainous Regions. *Sensors*. 2026;26(2):406. https://doi.org/10.3390/s26020406
4. Pal K., Gupta N. Machine learning and deep learning approaches for soil classification: methods, challenges, and future prospects. *International Journal of Remote Sensing*. 2025;46(22):8488-8545. https://doi.org/10.1080/01431161.2025.2570552
5. Muratov S.M., Fazilova D.Sh. Monitoring forest fund lands using remote sensing combined with CollectEarth point data. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences.* 2026;(1):5-18. https://doi.org/10.25587/2587-8751-2026-1-5-1
6. Шайтура С.В., Барбасов В.К., Минитаева А.М., Кожаев Ю.П. Мониторинг сельскохозяйственных земель при помощи беспилотных летательных аппаратов. *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель*. 2021;12:947-953. https://doi.org/10.33920/sel-04-2112-10
7. Imambi S., Prakash K.B., Kanagachidambaresan G.R. PyTorch. *Programming with TensorFlow*. Switzerland, Cham: Springer International Publishing. 2021:87-104. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57077-4_10
8. Basheer S., Wang X., Farooque A.A. et al. Comparison of Land Use Land Cover Classifiers Using Different Satellite Imagery and Machine Learning Techniques. *Remote Sensing*. 2022;14(19):4978. https://doi.org/10.3390/rs14194978
9. Jia X., Hou D. Mapping soil arsenic pollution at a brownfield site using satellite hyperspectral imagery and machine learning. *Science of The Total Environment*. 2023;857:159387. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159387
10. Букреев К.Д. Использование open-source по для создания ортофотопланов. *Цифровые компетенции – сельскому хозяйству.* 2025:96-98.
11. Gbagir A.M.G., Ek K., Colpaert A. OpenDroneMap: Multi-Platform Performance Analysis. *Geographies*. 2023;3(3):446-458. https://doi.org/10.3390/geographies3030023
12. Zhang S., Gavrilovskaya N., Al Said N., Afandi W.S. A new approach to snow avalanche rescue using UAV pictures based on convolutional neural networks. *Journal of Real-Time Image Processing*. 2023;20(4):65. https://doi.org/10.1007/s11554-023-01317-4

References

1. Hoummaidi L.E., Larabi A., Alam K. Using unmanned aerial systems and deep learning for agriculture mapping in Dubai. *Heliyon*. 2021;7(10): e08154. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08154
2. Lu T., Wan L., Qi S., Gao M. Land Cover Classification of UAV Remote Sensing Based on Transformer-CNN Hybrid Architecture. *Sensors.* 2023;23(11):5288. https://doi.org/10.3390/s23115288
3. Dou Z., Akpokodje E., He Y. et al. DINOv3-Driven Semantic Segmentation for Landslide Mapping in Mountainous Regions. *Sensors*. 2026;26(2):406. https://doi.org/10.3390/s26020406
4. Pal K., Gupta N. Machine learning and deep learning approaches for soil classification: methods, challenges, and future prospects. *International Journal of Remote Sensing*. 2025;46(22):8488-8545. https://doi.org/10.1080/01431161.2025.2570552
5. Muratov S.M., Fazilova D.Sh. Monitoring forest fund lands using remote sensing combined with CollectEarth point data. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences.* 2026;(1):5-18. https://doi.org/10.25587/2587-8751-2026-1-5-1
6. Shaytura S.V., Barbasov V.K., Minitaeva A.M., Kozhaev Yu.P. Monitoring of agricultural land with unmanned aerial vehicles. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel*. 2021;12:947-953. (In Russ.) https://doi.org/10.33920/sel-04-2112-10
7. Imambi S., Prakash K.B., Kanagachidambaresan G.R. PyTorch. *Programming with TensorFlow*. Switzerland, Cham: Springer International Publishing. 2021:87-104. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57077-4_10
8. Basheer S., Wang X., Farooque A.A. et al. Comparison of Land Use Land Cover Classifiers Using Different Satellite Imagery and Machine Learning Techniques. *Remote Sensing*. 2022;14(19):4978. https://doi.org/10.3390/rs14194978
9. Jia X., Hou D. Mapping soil arsenic pollution at a brownfield site using satellite hyperspectral imagery and machine learning. *Science of The Total Environment*. 2023;857:159387. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159387
10. Bukreev K.D. Using open-source software for creating orthophotomaps. *Digital Competencies for Agriculture.* 2025: 96-98. (In Russ.)
11. Gbagir A.M.G., Ek K., Colpaert A. OpenDroneMap: Multi-Platform Performance Analysis. *Geographies*. 2023;3(3):446-458. https://doi.org/10.3390/geographies3030023
12. Zhang S., Gavrilovskaya N., Al Said N., Afandi W.S. A new approach to snow avalanche rescue using UAV pictures based on convolutional neural networks. *Journal of Real-Time Image Processing*. 2023;20(4):65. https://doi.org/10.1007/s11554-023-01317-4

Сведения об авторах

Надежда Владимировна Гавриловская, кандидат технических наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; gavrilovskayanv@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-5060-7837

Николай Александрович Мякшин, ассистент кафедры систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; miakshin_na@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0009-0009-2921-2895

Дмитрий Михайлович Бенин, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; dbenin@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-1265-4071

Оксана Михайловна Кузина, старший преподаватель кафедры сельскохозяйственных мелиораций, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; kuzina_om@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-9229-4306

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 25.05.2026
Одобрена после рецензирования 24.06.2026
Принята к публикации 24.06.2026

Information about the authors

Nadezhda V. Gavrilovskaya, CSc (Eng), Associate Professor, Acting Head of the Department of Computer-Aided Design Systems and Engineering Analysis, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; gavrilovskayanv@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-5060-7837

Nikolay A. Myakshin, Assistant at the Department of Computer-Aided Design Systems and Engineering Analysis, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; miakshin_na@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0009-0009-2921-2895

Dmitriy M. Benin, CSc (Eng), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Agricultural Water Supply, Sanitation, Pumps and Pumping Stations, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; dbenin@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-1265-4071

Oksana M. Kuzina, Senior Lecturer at the Department of Agricultural Land Reclamation, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; kuzina_om@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-9229-4306

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office
May 25, 2026
Approved after reviewing June 24, 2026
Accepted for publication June 24, 2026

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ / TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

e-mail: izvestiya_bio@rgau-msha.ru
тел.: +7 (499) 976-07-48 добавочный 2

Адрес редакции:
127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 58, каб. 221
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Принято в печать 15.09.2026 г. Формат 60×84/8 6,06 печ. л.
Гарнитура шрифта «Times New Roman»
