

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

Том 3. № 1 / 2025

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, Пуццо, 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);
Ксенофонов 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);
Чердиченко 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 – **М.А. Польшина**

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/>

TIMIRYAZEV
BIOLOGICAL JOURNAL
ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Vol. 3(1)/2025

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 № ФЦ77-85810 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. Dzhaliylov**, 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 – **Marina A. Polshina**
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, Timiryazev-
skaya str., Moscow, 127550
Tel.: +7 (499) 976-07-48*2
E-mail: izvestiya_bio@rgau-msha.ru
<https://www.bioscience-journal.com/>

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЯ

- Оригинальная научная статья 202531101
Новиков Н.Н., Соколов А.А., Филатов Е.А.
 Действие биорегуляторов эпин-экстра и новосил на биохимические показатели качества зерна овса и ячменя
- Оригинальная научная статья 202531102
Голусов П.В., Польшина М.А., Гудова И.С.
 Анализ растительности заброшенных сельских населенных пунктов Центрального Черноземья
- Оригинальная научная статья 202531103
Баяурин Д.А., Лапушкин В.М.
 Промежуточные результаты изучения влияния капсулированного карбамида на урожайность и эффективность использования азота яровой пшеницей
- Оригинальная научная статья 202531104
Лежнев Д.В., Меньяева В.А.
 Состояние живого напочвенного покрова в насаждениях *Pinus sylvestris* L. национального парка «Лосиный остров»

БОТАНИКА, ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

- Оригинальная научная статья 202531201
Насимович Ю.А., Мухин В.А., Муратаев Р.А.
 Флора культивируемых и спонтанно растущих тополей (*Populus*, Salicaceae) малых городов европейской части России (на примере города Шатуры Московской области)
- Оригинальная научная статья 202531202
Варданын З.С., Байрамян Л.Е., Саакян Г.Р., Мхитарян А.К., Лебедев А.В.
 Биоэкологическая характеристика растений облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) в различных местообитаниях Лорийского марза Армении

ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

- Оригинальная научная статья 202531401
Кочетков Н.И., Никифоров-Никишин Д.Л., Гаврилин К.В., Белинский А.А.
 Морфологическая и функциональная характеристика лимфоидной ткани среднего отдела кишечника осетровых видов рыб на примере стерляди (*Acipenser ruthenus*)
- Оригинальная научная статья 202531402
Никифорова О.Н., Маркин Э.В.
 Изучение функциональных показателей дыхательной системы в разных видах спорта у студентов за время обучения
- Библиографический обзор 202531403
Максимов В.И., Волкова М.А., Ерхова К.А.
 Применение сахарозаменителей в кормлении свиней: библиографический обзор
- Оригинальная научная статья 202531404
Сорокин Д.В., Акиндинова М.М., Раковецкий А.И., Сопарев А.А.
 Физиология движений с использованием биомеханических принципов в физической культуре студентов
- Оригинальная научная статья 202531405
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)

CONTENTS

BIOLOGICAL RESOURCES, ECOLOGY

- Research article 202531101
Nikolay N. Novikov, Artem A. Sokolov, Evgeny A. Filatov
 Effect of the bioregulators Epin-extra and Novosil on biochemical indicators of oat and barley grain quality
- Research article 202531102
Pavel V. Goleusov, Marina A. Polshina, Irina S. Gudova
 Analysis of vegetation of abandoned rural settlements in the Central Chernozem Region of the Russian Federation
- Research article 202531103
Darya A. Bayurina, Vsevolod M. Lapushkin
 Interim results of the study of the effect of coated urea on yield and nitrogen use efficiency of spring wheat
- Research article 202531104
Daniil V. Lezhnev, Vera A. Menyayeva
 State of living ground cover in *Pinus sylvestris* L. stands of the Losiny Ostrov National Park

BOTANY, PLANT PHYSIOLOGY

- Research article 202531201
Yuri A. Nasimovich, Viktor A. Mukhin, Ramil A. Murataev
 Flora of cultivated and wild poplars (*Populus*, Salicaceae) in small towns of European Russia: a case study of Shatura, Moscow Region
- Research article 202531202
Zaruhi S. Vardanyan, Liliya E. Bairamyanyan, Gayane R. Sahakyan, Hasmik K. Mkhitaryan, Aleksandr V. Lebedev
 Bioecological characteristics of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) in different habitats of Lori Province, Armenia

ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

- Research article 202531401
Nikita I. Kochetkov, Dmitry L. Nikiforov-Nikishin, Kirill V. Gavrilin, Anton A. Belinsky
 Morphological and functional characteristics of lymphoid tissue in the midgut of sturgeon fish species: a case study of the sterlet (*Acipenser ruthenus*)
- Research article 202531402
Olga N. Nikiforova, Eduard V. Markin
 Investigation of the functional parameters of the respiratory system in various sports among students during their studies
- Bibliographic review 202531403
Vladimir I. Maksimov, Margarita A. Volkova, Ksenia A. Erkhova
 Application of sweeteners in pig feeding: a bibliographic review
- Research article 202531404
Denis V. Sorokin, Marina M. Akindinova, Aleksandr I. Rakovetsky, Andrey A. Soparev
 Physiology of movements using biomechanical principles in students' physical education
- Research article 202531405
Roman A. Ivolga, Daniil A. Malnov, Tatyana E. Kondratova, Artem A. Kidov
 Age structure and growth features of the fire-bellied toad (*Bombina bombina*, Amphibia, Anura, Bombinatoridae) in Kaliningrad Oblast (East Baltic Region, Russia)

Оригинальная научная статья
УДК 633.13: 633.16: 631.811.98
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-01>



Действие биорегуляторов эпин-экстра и новосил на биохимические показатели качества зерна овса и ячменя

Николай Николаевич Новиков, Артем Алексеевич Соколов,
Евгений Алексеевич Филатов

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

Автор, ответственный за переписку: Николай Николаевич Новиков;
tshanovikov@gmail.com

Аннотация

В 2021-2022 гг. проведены полевые опыты с овсом и ячменем на дерново-подзолистой почве со средним уровнем плодородности. Исследования выполнялись на фоне внесения перед посевом культур нитрата аммония, суперфосфата и хлорида калия в дозах 60 кг/га действующего вещества. В ходе исследований было выявлено, что применение на культуре овса во время выметывания метелок биорегулятора эпин-экстра инициировало при созревании зерновок ослабление синтеза альбуминов и легкорастворимых глобулинов и повышение концентрации глютелиновых белков. Под воздействием указанного биорегулятора также происходило усиление активности в формирующемся зерне всех α -амилаз и β -амилаз, активных при pH 5,5 и 7, пероксидаз (pH 8) и каталаз (pH 5,5). В процессе прорастания зерна овса отмечалось последствие эпин-экстра, в результате которого усиливалось действие β -амилаз, активных при pH 8, и всех пероксидаз и каталаз. Биорегулятор новосил, примененный в той же фазе развития растений овса, инициировал в созревающем зерне активизацию синтеза α -амилаз, активных при pH 5,5, и β -амилаз (pH 8), а в зерне 7-дневных проростков – пероксидаз (pH 7), каталаз (pH 5,5), α и β -амилаз (pH 8). Применение эпин-экстра во время колошения ячменя привело к активизации синтеза белков в созревающем зерне (увеличение содержания – на 0,6-1,2%), а также амилолитических и антиоксидантных ферментов: всех α -амилаз и активных при pH 7 и 8 β -амилаз, пероксидаз и каталаз. При этом в прорастающем зерне наблюдалась активизация α -амилаз и пероксидаз (pH 5,5), некоторых β -амилаз (pH 8) и каталаз (активных при pH 7 и 8). Биорегулятор новосил оказывал заметное действие на синтез белков и ферментов в созревающем зерне ячменя. Под его воздействием отмечалось усиление активности некоторых α -амилаз и каталаз (pH 8), активных при pH 7 и 8 пероксидаз и β -амилаз. В проведенных опытах отмечено более заметное действие на биохимические процессы в формирующихся зерновках овса и ячменя биорегулятора эпин-экстра.

Ключевые слова

белки овса и ячменя, биорегуляторы эпин-экстра и новосил, амилазы, каталазы, пероксидазы зерна

Для цитирования

Новиков Н.Н., Соколов А.А., Филатов Е.А. Действие биорегуляторов эпин-экстра и новосил на биохимические показатели качества зерна овса и ячменя // *Тимирязевский биологический журнал*. 2025. Т. 3, № 1. С. 202531101. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-01>

BYOLOGICAL RESOURCES

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-01



Effect of the bioregulators Epin-extra and Novosil on biochemical indicators of oat and barley grain quality

Nikolay N. Novikov, Artem A. Sokolov, Evgeny A. Filatov

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

Corresponding author: Nikolai N. Novikov; tshanovikov@gmail.com

Abstract

From 2021 to 2022, field experiments with oats and barley were conducted on sod-podzolic soil of average fertility. The experiments involved applying 60 kg/ha of ammonium nitrate, superphosphate, and potassium chloride before sowing the crops. The results showed that treating oat plants with the bioregulator Epin-Extra during the panicle formation phase reduced the synthesis of albumin and easily soluble globulins while increasing the concentration of glutelin proteins during grain maturation. The bioregulator increased the activity of α -amylases and β -amylases at pH 5.5 and 7, as well as of peroxidases at pH 8.0 and catalases at pH 5.5 in the developing grain. The aftereffect of Epin-Extra was observed in germinating oat grain, enhancing the activity of β -amylases at pH 8, as well as all peroxidases and catalases. When applied during the same phase of oat plant development, the bioregulator Novosil initiated the activation of α -amylase synthesis (active at pH 5.5) and β -amylase synthesis (active at pH 8) in ripening grain. It also activated peroxidase (active at pH 7) and catalase (active at pH 5.5) synthesis, as well as α - and β -amylase synthesis (active at pH 8), in grain of 7-day-old seedlings. Treating barley plants with Epin-Extra during the heading phase increased protein synthesis in ripening grain by 0.6-1.2%, as well as the synthesis of amylolytic and antioxidant enzymes. These enzymes include all α - and β -amylases, as well as peroxidases and catalases, which are active at pH 7 and 8. The activation of α -amylases and peroxidases (pH 5.5), some β -amylases (pH 8), and catalases (pH 7 and 8) was observed in germinating grain. The bioregulator Novosil markedly affected protein and enzyme synthesis in ripening barley grain. Under its influence, the activity of some α -amylases and catalases (pH 8), as well as peroxidases and β -amylases (pH 7 and 8), increased. The conducted experiments revealed a more significant impact of the Epin-extra bioregulator on the biochemical processes of ripening and germinating oat and barley grain.

Keywords

oat and barley proteins, bioregulators Epin-extra and Novosil, amylases, catalases, peroxidases of grain

For citation

Novikov N.N., Sokolov A.A., Filatov E.A. Effect of the bioregulators Epin-extra and Novosil on biochemical indicators of oat and barley grain quality. *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531101. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-01

Введение

Introduction

Оптимизация продуктивности растений и улучшение характеристик урожая сельскохозяйственных культур во многом зависят от использования фиторегуляторов – соединений природного или синтетического происхождения. В малых концентрациях они способны воздействовать на ход физиологических и биохимических процессов, стимулируя рост и развитие растений, что в итоге приводит к повышению урожайности и улучшению качества продукции сельскохозяйственных культур [1-5].

В связи с возможным влиянием фиторегуляторов на гормональную систему растений и процессы синтеза белков проводятся работы по их применению в растениеводстве. Основная задача этих

исследований – воздействие с помощью регуляторных препаратов на обмен азотистых и других веществ в тканях растений, в том числе активизация синтеза ферментов, катализирующих биохимические реакции формирования белкового комплекса при созревании зерна, а также процессы прорастания семян [6-9].

На посевах зерновых злаковых культур все более широкое применение находят такие биорегуляторы, как эпин-экстра и новосил.

Эпин-экстра представляет собой синтетический биорегулятор, у которого действующим веществом служит эпибрассинолид. Он влияет на выработку собственных гормонов в растениях, стимулируя синтез антиоксидантных ферментов, которые повышают устойчивость растений к действию стрессовых факторов окружающей среды и различным заболеваниям. Применение

этого биорегулятора может оказывать также влияние на физиолого-биохимические процессы формирования качества зерна [2, 5, 8, 10, 11].

Новосил – биорегулятор природного происхождения, состоящий из комплекса тритерпеновых кислот. Он повышает устойчивость растений к поражению вирусной, бактериальной, грибковой инфекцией, улучшает качественные показатели зерновой продукции, а также усиливает активность протеаз в растениях, поскольку ослабляет негативное воздействие на них абсцизовой кислоты [12-16].

В рамках наших исследований выяснялось влияние биорегуляторов эпин-экстра и новосила на количественный и качественный состав белков в зерне овса и ячменя, а также на активность ферментов: амилаз, каталаз и пероксидаз. Исследования проводились на созревших и пророщенных зерновках ячменя и овса, растения которых обрабатывали биорегуляторами в фазах колошения и выметывания метелок. **Цель исследований:** влияние биорегуляторов эпин-экстра и новосила на количественный и качественный состав белков в зерне овса и ячменя, а также на активность ферментов: амилаз, каталаз и пероксидаз.

Методика исследований

Research methods

Полевые испытания проводились в 2021-2022 гг. на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. В качестве объекта исследования были взяты сорта овса Яков и ячменя Златояр, выведенные в ФИЦ «Немчиновка». Почва экспериментального участка – дерново-подзолистая, средний суглинок. Содержание в почве гумуса составляет 2,2-2,3%, $pH_{\text{сол.}}$ – 5,2-5,7; поглощенные основания – 7,5-7,8, гидролитическая кислотность – 3,8-2,1 мг-экв. на 100 г почвы; P_2O_5 -275-270, K_2O – 115-125 мг/кг почвы (по ГОСТ 26207-91). Растения культивировались на фоне предварительного внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ (нитрат аммония, гранулированный суперфосфат и хлорид калия). Площадь каждой делянки составляла 1 м², а повторность опытов была пятикратной. На каждой делянке высевали 600 способных к прорастанию семян.

В фазы выметывания метелок и колошения растения овса и ячменя обрабатывали растворами биорегуляторов: новосила (ООО «Эколенд-Сибирь») и эпин-экстра (ННПП «НЭСТМ») при дозировках 40 и 5 мг/л рабочего раствора соответственно. При обработке одной делянки расходовалось 50 мл рабочего раствора. Последствие биорегуляторов на процесс прорастания семян оценивали по активности амилаз, каталаз и пероксидаз в зерне проростков, которые выращивали на воде при температуре 20°C в течение 7 дней.

Для определения содержания белкового азота и азота различных белковых фракций в зерне овса и ячменя, прошедшем стадию послеуборочного дозревания, использовали метод Кьельдаля. Белки последовательно извлекали из размолотого зерна с помощью обессоленной воды, 10% раствора хлорида калия, 70% этилового спирта и 0,2% раствора гидроксида натрия. Активность кислых (pH 5,5), нейтральных (pH 7) и щелочных (pH 8) амилаз, каталаз и пероксидаз исследовали с использованием усовершенствованных методик [17, 18]. Для создания необходимого pH в ходе реакций, катализируемых изучаемыми ферментами, применяли 1/15 M фосфатный буфер.

Статистическую обработку данных о зерновой продуктивности растений, содержании и составе белков в зерне, а также активности ферментов производили с применением программного обеспечения Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Условия произрастания растений в годы проведения опытов существенно различались. В 2021 г. в период всходов овса и ячменя наблюдался заметно выраженный недостаток влаги, за которым последовал избыток осадков, что привело к значительным потерям азота ввиду вымывания нитратов и денитрификации. В 2022 г. условия вегетации растений оказались более благоприятными для их роста и развития, что обеспечило повышенные урожаи овса и ячменя.

Поскольку обработка растений биорегуляторами проводилась на поздних стадиях их развития, она не оказала существенного влияния на урожайность овса и ячменя (табл. 1), однако способствовала увеличению содержания белков в зерне ячменя на 0,6-1,2%. Биорегулятор эпин-экстра также инициировал небольшое повышение содержания белков в зерне овса.

При воздействии на растения овса биорегулятора эпин-экстра в его зерновках наблюдалось уменьшение содержания водорастворимых белков и увеличение накопления глютелинов (щелочнорастворимых белков). При применении новосила происходило небольшое возрастание количества глобулинов. В опытах с ячменем заметное влияние указанных биорегуляторов на состав белков зерна не выявлено (табл. 2, 3).

В созревшем зерне овса под воздействием биорегулятора эпин-экстра возрастала активность α -амилаз (кислых, нейтральных, щелочных). Она также была повышена в проросших зерновках овса урожая 2021 г. (кислые и щелочные α -амилазы), когда период созревания зерна характеризовался повышенной температурой воздуха и выраженным дефицитом влаги (табл. 4).

Таблица 1

Урожайность и содержание белков в зерне овса и ячменя при обработке растений биорегуляторами

Варианты опытов	Выход зерна, г/м ²		Концентрация белков, % сух. массы	
	2021 г.	2022 г.	2021 г.	2022 г.
Овес				
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	211	636	9,8	10,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	208	639	10,1	10,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	206	634	9,9	10,1
НСР ₀₅	8	19	0,2	0,1
Ячмень				
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	177	450	10,6	10,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	170	440	11,5	12,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	154	446	11,2	12,1
НСР ₀₅	24	11	0,2	0,2

Table 1

Yield and protein content in oat and barley grains when treated with bioregulators

Experiment options	Grain yield, g/m ²		Protein content, % dry weight	
	2021	2022	2021	2022
Oat				
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	211	636	9.8	10.1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	208	639	10.1	10.5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	206	634	9.9	10.1
Least Significant Difference (LSD ₀₅)	8	19	0.2	0.1
Barley				
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	177	450	10.6	10.9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	170	440	11.5	12.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	154	446	11.2	12.1
LSD ₀₅	24	11	0.2	0.2

Таблица 2

**Состав белков зерна овса в опытах
с применением биорегуляторов (азот фракций, % от общего азота белков)**

Варианты опытов	Белки, растворимые:				Белки остатка
	в воде	в солевом растворе	в спиртовом растворе	в щелочном растворе	
2021 г.					
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	17,8	24,4	12,2	37,6	7,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	16,5	23,8	12,9	39,2	7,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	17,1	25,3	12,8	38,7	6,0
HCP ₀₅	0,2	0,3	0,1	0,4	0,1
2022 г.					
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19,0	25,0	16,5	32,5	7,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	18,8	24,8	15,2	33,8	7,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	19,9	25,8	14,4	32,8	7,1
HCP ₀₅	0,2	0,3	0,2	0,4	0,1

Table 2

**Protein composition of oat grain in experiments
with bioregulators (nitrogen fractions, % of total protein nitrogen)**

Experiment options	Proteins soluble in				Residue proteins
	water	saline solution	alcohol solution	alkaline solution	
2021					
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	17.8	24.4	12.2	37.6	7.9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	16.5	23.8	12.9	39.2	7.6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	17.1	25.3	12.8	38.7	6.0
LSD ₀₅	0.2	0.3	0.1	0.4	0.1
2022					
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	19.0	25.0	16.5	32.5	7.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	18.8	24.8	15.2	33.8	7.4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	19.9	25.8	14.4	32.8	7.1
LSD ₀₅	0.2	0.3	0.2	0.4	0.1

Таблица 3

Состав белков в зерне ячменя в опытах с применением биорегуляторов (азот фракций, % от общего азота белков)

Варианты опытов	Белки, растворимые:				Белки остатка
	в воде	в солевом растворе	в спиртовом растворе	в щелочном растворе	
2021 г.					
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	10,5	12,1	34,6	30,1	12,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	11,2	10,3	36,4	29,6	12,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	10,4	10,1	38,0	31,0	10,5
HCP ₀₅	1,4	2,9	3,9	3,4	1,4
2022 г.					
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	10,4	12,0	34,2	29,9	13,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	11,3	10,7	35,6	30,3	12,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	10,8	11,4	35,3	29,9	12,6
HCP ₀₅	1,1	1,3	3,9	3,4	1,4

Table 3

Protein composition of barley grain in experiments with bioregulators (nitrogen fractions in% of total protein nitrogen)

Experiment options	Proteins soluble in				Residue proteins
	water	saline solution	alcohol solution	alkaline solution	
2021					
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	10.5	12.1	34.6	30.1	12.7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	11.2	10.3	36.4	29.6	12.5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	10.4	10.1	38.0	31.0	10.5
LSD ₀₅	1.4	2.9	3.9	3.4	1.4
2022					
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	10.4	12.0	34.2	29.9	13.5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	11.3	10.7	35.6	30.3	12.1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	10.8	11.4	35.3	29.9	12.6
LSD ₀₅	1.1	1.3	3.9	3.4	1.4

Таблица 4

**Активность кислых, нейтральных, щелочных α -амилаз в зерне овса,
г крахмала, гидролизуемого за 1 ч, в расчете на 1 г сухой массы**

Варианты опытов	В созревшем зерне			В зерне 7-дневных проростков		
	кислые	нейтральные	щелочные	кислые	нейтральные	щелочные
2021 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,29	0,25	0,13	23,1	18,2	10,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	0,43	0,29	0,17	27,0	18,3	12,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	0,37	0,25	0,13	23,2	16,7	11,0
HCP ₀₅	0,02	0,01	0,01	0,9	0,8	0,4
2022 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,88	0,74	0,38	31,7	23,7	14,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	1,08	0,80	0,59	33,2	23,6	13,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	0,96	0,80	0,49	32,0	23,0	15,4
HCP ₀₅	0,07	0,04	0,02	1,6	1,0	0,7

Table 4

**Activity of acid, neutral, alkaline α -amylases
in oat grain (g of starch hydrolyzed in 1 hour per 1 g of dry weight)**

Experiment options	in riping grain			in grain of 7-day-old seedlings		
	acid	neutral	alkaline	acid	neutral	alkaline
2021						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0.29	0.25	0.13	23.1	18.2	10.1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	0.43	0.29	0.17	27.0	18.3	12.6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	0.37	0.25	0.13	23.2	16.7	11.0
LSD ₀₅	0.02	0.01	0.01	0.9	0.8	0.4
2022						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0.88	0.74	0.38	31.7	23.7	14.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	1.08	0.80	0.59	33.2	23.6	13.7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	0.96	0.80	0.49	32.0	23.0	15.4
LSD ₀₅	0.07	0.04	0.02	1.6	1.0	0.7

В созревшем зерне овса под воздействием эпин-экстра отмечалось увеличение активности кислых и нейтральных β -амилаз (табл. 6). В зерне проростков активность щелочных β -амилаз возрастала. При обработке растений овса биорегулятором новосил в зрелых зерновках наблюдалось повышение активности кислых α -амилаз, но уменьшалась активность щелочных изоферментов β -амилазы, а в зерне проростков отмечалось возрастание активности щелочных изоформ α и β -амилазы.

В созревших зерновках ячменя под воздействием эпин-экстра повышалась активность кислых, нейтральных и щелочных α -амилаз, а также кислых и нейтральных β -амилаз. В проросшем зерне наблюдалось повышение активности кислых α -амилаз и щелочных β -амилаз (табл. 5, 7).

При обработке растений ячменя биорегулятором новосил в зрелом зерне возрастала активность нейтральных, щелочных изоферментов β -амилазы и щелочных изоформ α -амилазы, в то время как в зерне проростков заметно выраженные изменения в активности амилаз не выявлены.

В созревшем зерне овса под воздействием эпин-экстра возрастала активность кислых изоферментов каталазы, а в результате последствия этого биорегулятора в зерне проростков повышалась активность всех каталаз (табл. 8). В проросшем зерне также выявлено последствие новосила, который заметно повышал активность кислых изоферментов каталазы.

В опытах с ячменем выяснено, что биорегулятор эпин-экстра стимулировал увеличение активности в созревшем и проросшем зерне нейтральных и щелочных изоформ каталазы (табл. 9). Действие новосила было менее эффективным, он повысил активность щелочных каталаз в зрелом зерне, а также нейтральных и щелочных каталаз в зерне проростков.

Применение эпин-экстра повышало активность щелочных пероксидаз в созревшем зерне овса и всех изоферментов пероксидазы в проросшем зерне (табл. 10). Действие новосила на пероксидазы овса было ограниченным, наблюдалось его положительное воздействие на нейтральные пероксидазы в прорастающих зерновках овса. Заметный эффект наблюдался при использовании новосила и эпин-экстра при обработке растений ячменя, которые активизировали нейтральные и щелочные пероксидазы в созревшем зерне (табл. 11). Кроме того, эпин-экстра повышал активность кислых пероксидаз в зерне проростков.

Таким образом, в результате обработки растений овса в фазе выметывания метелок раствором эпин-экстра в созревших зерновках отмечалось небольшое повышение общего содержания белков, обусловленное увеличением доли глобулинов, при этом концентрация водорастворимых белков уменьшалась. Заметно большее влияние этот биорегулятор оказывал в созревающем зерне овса

на активность амилаз и антиоксидантных ферментов. Он стимулировал повышение активности всех α -амилаз, нейтральных и кислых изоферментов β -амилазы, кислых изоформ каталазы и щелочных изоформ пероксидазы.

Исследование проростков овса показало, что обработка растений эпин-экстра существенно повысила в прораставшем зерне активность кислых, нейтральных, щелочных каталаз и пероксидаз, а также щелочных β -амилаз. В зерне проростков, которое сформировалось в условиях дефицита влаги, под действием эпин-экстра повысилась активность α -амилаз.

При воздействии на растения овса в фазе выметывания метелок биорегулятором новосил отмечалось некоторое увеличение доли глобулинов в белковом комплексе зрелого зерна и повышение активности кислых изоформ α -амилазы. Одновременно наблюдалось уменьшение активности щелочных изоферментов β -амилазы. После обработки новосилом в прораставших зерновках фиксировался рост активности как щелочных изоферментов α и β -амилаз, так и кислых изоформ каталазы, а также нейтральных изоформ пероксидазы.

Сравнивая полученные данные, можно отметить, что на культуре овса выявлено более эффективное действие на биохимические процессы как в созревающем, так и прорастающем зерне биорегулятора эпин-экстра. При этом наиболее целесообразным является его применение при выращивании семенного зерна овса, так как в созревших зерновках данный биорегулятор повышал активность амилаз, что ухудшало товарные качества зерна, в то время как в прорастающем зерне это способствовало повышению его всхожести.

Фиторегулятор эпин-экстра также оказывал заметное влияние на биохимические процессы в созревающем и прорастающем зерне ячменя. При обработке растений ячменя этим фиторегулятором в фазе колошения в созревших зерновках увеличивалось накопление белков на 0,6-1,2%, а также возрастала активность всех α -амилаз, нейтральных и щелочных изоферментов β -амилазы, щелочных и нейтральных изоформ каталазы и пероксидазы.

В результате последствия эпин-экстра в зерне проростков ячменя отмечалось увеличение активности кислых α -амилаз, щелочных β -амилаз, нейтральных и щелочных каталаз, а также кислых пероксидаз. В зерне, сформированном в условиях дефицита влаги, последствие эпин-экстра стимулировало активность кислых и щелочных α -амилаз. Поскольку под действием данного биорегулятора повышалась активность амилаз в созревшем зерне ячменя, что ухудшало его потребительские свойства, наиболее целесообразным является применение эпин-экстра при обработке растений ячменя, предназначенного для выращивания семенного материала.

Таблица 5

Активность кислых, нейтральных, щелочных α -амилаз в зерне ячменя, г крахмала, гидролизуемого за 1 ч, в расчете на 1 г сухой массы

Варианты опытов	В созревшем зерне			В зерне 7-дневных проростков		
	кислые	нейтральные	щелочные	кислые	нейтральные	щелочные
2021 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,58	0,50	0,32	37,9	31,6	27,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	0,59	0,52	0,34	39,0	30,8	29,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	0,70	0,56	0,37	41,1	35,8	31,4
HCP ₀₅	0,05	0,04	0,02	3,2	2,5	1,6
2022 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,69	0,59	0,29	49,6	42,4	27,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	0,89	0,59	0,34	57,1	36,8	21,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	1,00	0,69	0,41	59,7	41,2	24,4
HCP ₀₅	0,07	0,05	0,03	4,0	3,0	1,9

Table 5

Activity of acid, neutral, alkaline α -amylases in barley grain (g of starch hydrolyzed in 1 hour per 1 g of dry weight)

Experiment options	in riping grain			in grain of 7-day-old seedlings		
	acid	neutral	alkaline	acid	neutral	alkaline
2021						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0.58	0.50	0.32	37.9	31.6	27.8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	0.59	0.52	0.34	39.0	30.8	29.3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	0.70	0.56	0.37	41.1	35.8	31.4
LSD ₀₅	0.05	0.04	0.02	3.2	2.5	1.6
2022						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0.69	0.59	0.29	49.6	42.4	27.1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	0.89	0.59	0.34	57.1	36.8	21.7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	1.00	0.69	0.41	59.7	41.2	24.4
LSD ₀₅	0.07	0.05	0.03	4.0	3.0	1.9

Таблица 6

**Активность кислых, нейтральных, щелочных β -амилаз в зерне овса,
г крахмала, гидролизуемого за 1 ч, в расчете на 1 г сухой массы**

Варианты опытов	В созревшем зерне			В зерне 7-дневных проростков		
	кислые	нейтральные	щелочные	кислые	нейтральные	щелочные
2021 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,92	0,70	0,40	9,0	5,4	3,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	1,00	0,76	0,40	7,2	4,9	3,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	0,92	0,69	0,35	10,0	5,9	4,1
HCP ₀₅	0,04	0,02	0,01	0,7	0,5	0,2
2022 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2,88	2,23	1,39	11,0	8,0	4,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	3,25	2,47	1,18	12,2	8,6	8,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	3,03	2,07	1,25	11,8	6,9	5,0
HCP ₀₅	0,10	0,07	0,05	1,0	0,7	0,4

Table 6

**Activity of acid, neutral, alkaline β -amylases
in oat grain (g of starch hydrolyzed in 1 hour per 1 g of dry weight)**

Experiment options	in riping grain			in grain of 7-day-old seedlings		
	acid	neutral	alkaline	acid	neutral	alkaline
2021						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0.92	0.70	0.40	9.0	5.4	3.4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	1.00	0.76	0.40	7.2	4.9	3.8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	0.92	0.69	0.35	10.0	5.9	4.1
LSD ₀₅	0.04	0.02	0.01	0.7	0.5	0.2
2022						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2.88	2.23	1.39	11.0	8.0	4.3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	3.25	2.47	1.18	12.2	8.6	8.3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	3.03	2.07	1.25	11.8	6.9	5.0
LSD ₀₅	0.10	0.07	0.05	1.0	0.7	0.4

Таблица 7

Активность кислых, нейтральных, щелочных β -амилаз в зерне ячменя, г крахмала, гидролизуемого за 1 ч, в расчете на 1 г сухой массы

Варианты опытов	В созревшем зерне			В зерне 7-дневных проростков		
	кислые	нейтральные	щелочные	кислые	нейтральные	щелочные
2021 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,63	2,92	1,42	14,9	10,1	6,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	3,52	3,22	1,61	15,2	10,4	7,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	3,70	3,34	1,77	15,7	10,7	7,5
HCP ₀₅	0,20	0,15	0,08	0,9	0,7	0,5
2022 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,77	3,06	1,56	24,7	20,6	9,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	3,66	3,36	1,75	25,1	21,5	9,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	4,31	3,48	2,12	25,6	22,0	10,3
HCP ₀₅	0,19	0,15	0,07	0,8	0,8	0,5

Table 7

Activity of acid, neutral, alkaline β -amylases in barley grain (g of starch hydrolyzed in 1 hour per 1 g of dry weight)

Experiment options	in riping grain			in grain of 7-day-old seedlings		
	acid	neutral	alkaline	acid	neutral	alkaline
2021						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3.63	2.92	1.42	14.9	10.1	6.8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	3.52	3.22	1.61	15.2	10.4	7.1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	3.70	3.34	1.77	15.7	10.7	7.5
LSD ₀₅	0.20	0.15	0.08	0.9	0.7	0.5
2022						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3.77	3.06	1.56	24.7	20.6	9.7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	3.66	3.36	1.75	25.1	21.5	9.8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	4.31	3.48	2.12	25.6	22.0	10.3
LSD ₀₅	0.19	0.15	0.07	0.8	0.8	0.5

Таблица 8

**Активность кислых, нейтральных, щелочных каталаз в зерне овса,
 мкмоль за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы**

Варианты опытов	в созревшем зерне			в зерне 7-дневных проростков		
	кислые	нейтральные	щелочные	кислые	нейтральные	щелочные
2021 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	20,4	75,0	79,8	27,0	79,8	82,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	22,8	76,8	72,6	35,4	82,8	87,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	21,0	75,6	72,6	31,8	78,0	81,6
HCP ₀₅	1,2	1,8	1,2	1,2	1,8	1,8
2022 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	18,0	68,4	70,2	25,2	74,4	81,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	19,2	69,0	81,0	30,6	82,8	88,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	18,6	67,2	75,0	31,2	79,2	85,8
HCP ₀₅	0,6	1,2	1,2	1,8	3,0	2,4

Table 8

Activity of acid, neutral, alkaline catalases in oat grain (μmol in 1 minute per 1 g of dry weight)

Experiment options	in riping grain			in grain of 7-day-old seedlings		
	acid	neutral	alkaline	acid	neutral	alkaline
2021						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	20.4	75.0	79.8	27.0	79.8	82.8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	22.8	76.8	72.6	35.4	82.8	87.6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	21.0	75.6	72.6	31.8	78.0	81.6
LSD ₀₅	1.2	1.8	1.2	1.2	1.8	1.8
2022						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	18.0	68.4	70.2	25.2	74.4	81.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	19.2	69.0	81.0	30.6	82.8	88.8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	18.6	67.2	75.0	31.2	79.2	85.8
LSD ₀₅	0.6	1.2	1.2	1.8	3.0	2.4

Таблица 9

**Активность кислых, нейтральных, щелочных каталаз в зерне ячменя,
 мкмоль за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы**

Варианты опытов	В созревшем зерне			В зерне 7-дневных проростков		
	кислые	нейтральные	щелочные	кислые	нейтральные	щелочные
2021 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30,0	42,0	42,0	30,0	84,0	96,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	30,0	42,0	48,0	36,0	102,0	108,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	30,0	48,0	48,0	30,0	102,0	108,0
HCP ₀₅	0,6	0,6	0,6	0,6	1,8	1,8
2022 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	24,0	48,0	48,0	30,0	84,0	96,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	36,0	78,0	90,0	30,0	102,0	114,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	36,0	66,0	66,0	36,0	108,0	114,0
HCP ₀₅	1,2	1,2	1,8	1,2	2,4	3,6

Table 9

Activity of acid, neutral, alkaline catalases in barley grain (μmol in 1 minute per 1 g of dry weight)

Experiment options	in riping grain			in grain of 7-day-old seedlings		
	acid	neutral	alkaline	acid	neutral	alkaline
2021						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30.0	42.0	42.0	30.0	84.0	96.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	30.0	42.0	48.0	36.0	102.0	108.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	30.0	48.0	48.0	30.0	102.0	108.0
LSD ₀₅	0.6	0.6	0.6	0.6	1.8	1.8
2022						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	24.0	48.0	48.0	30.0	84.0	96.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	36.0	78.0	90.0	30.0	102.0	114.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	36.0	66.0	66.0	36.0	108.0	114.0
LSD ₀₅	1.2	1.2	1.8	1.2	2.4	3.6

Таблица 10

**Активность кислых, нейтральных, щелочных пероксидаз в зерне овса,
 мкмоль за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы**

Варианты опытов	В созревшем зерне			В зерне 7-дневных проростков		
	кислые	нейтральные	щелочные	кислые	нейтральные	щелочные
2021 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	31,8	225,6	326,4	152,4	297,6	514,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	34,8	231,0	347,4	166,2	306,0	540,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	31,2	226,2	325,2	153,6	285,6	523,2
HCP ₀₅	3,6	7,2	13,2	4,8	7,8	8,4
2022 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	25,8	168,6	292,8	115,8	219,0	402,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	32,4	192,6	313,2	141,0	259,2	427,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	28,8	184,2	306,6	126,0	235,8	412,2
HCP ₀₅	3,0	6,0	12,0	7,8	10,8	16,2

Table 10

Activity of acidic, neutral, alkaline peroxidases in oat grain (μmol in 1 minute per 1 g of dry weight)

Experiment options	in riping grain			in grain of 7-day-old seedlings		
	acid	neutral	alkaline	acid	neutral	alkaline
2021						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	31.8	225.6	326.4	152.4	297.6	514.2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	34.8	231.0	347.4	166.2	306.0	540.6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	31.2	226.2	325.2	153.6	285.6	523.2
LSD ₀₅	3.6	7.2	13.2	4.8	7.8	8.4
2022						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	25.8	168.6	292.8	115.8	219.0	402.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	32.4	192.6	313.2	141.0	259.2	427.8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	28.8	184.2	306.6	126.0	235.8	412.2
LSD ₀₅	3.0	6.0	12.0	7.8	10.8	16.2

Таблица 11

**Активность кислых, нейтральных, щелочных пероксидаз в зерне ячменя,
 мкмоль за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы**

Варианты опытов	В созревшем зерне			В зерне 7-дневных проростков		
	кислые	нейтральные	щелочные	кислые	нейтральные	щелочные
2021 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30,0	198,0	300,0	126,0	288,0	396,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	30,0	246,0	336,0	138,0	288,0	384,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	30,0	240,0	336,0	138,0	294,0	396,0
HCP ₀₅	1,2	6,0	12,6	6,6	8,4	16,2
2022 г.						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30,0	252,0	330,0	144,0	306,0	450,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + новосил	36,0	288,0	372,0	144,0	312,0	468,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + эпин-экстра	42,0	282,0	360,0	150,0	348,0	474,0
HCP ₀₅	1,2	3,0	7,8	2,4	4,2	9,0

Table 11

Activity of acidic, neutral, alkaline peroxidases in barley grain (μmol in 1 minute per 1 g of dry weight)

Experiment options	in riping grain			in grain of 7-day-old seedlings		
	acid	neutral	alkaline	acid	neutral	alkaline
2021						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30.0	198.0	300.0	126.0	288.0	396.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	30.0	246.0	336.0	138.0	288.0	384.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	30.0	240.0	336.0	138.0	294.0	396.0
LSD ₀₅	1.2	6.0	12.6	6.6	8.4	16.2
2022						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30.0	252.0	330.0	144.0	306.0	450.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Novosil	36.0	288.0	372.0	144.0	312.0	468.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + Epin-extra	42.0	282.0	360.0	150.0	348.0	474.0
LSD ₀₅	1.2	3.0	7.8	2.4	4.2	9.0

При применении биорегулятора новосил для обработки растений ячменя в фазе колошения в созревших зерновках наблюдалось увеличение содержания белков на 0,9-1,1%, а также повышение активности щелочных изоферментов α -амилазы, щелочных и нейтральных изоформ β -амилазы, щелочных изоформ каталазы, щелочных и нейтральных пероксидаз. В то же время в зерне проростков ячменя не выявлено влияние новосила на активность амилаз и пероксидаз, но отмечено повышение активности щелочных и нейтральных изоферментов каталазы. С учетом того, что новосил стимулировал увеличение активности амилаз в созревшем зерне, снижавшее его качество, и не оказывал существенного воздействия на эти ферменты в прорастающем зерне, применение указанного биорегулятора на ячмене является менее эффективным по сравнению с эпин-экстра.

В ряде других опытов было показано, что при обработке растений пивоваренного ячменя биорегулятором эпин-экстра в зрелых зерновках возрастала активность амилаз и каталаз, а под воздействием новосила повышалась активность α -амилаз, но снижалась активность β -амилаз [16]. В результате последствия эпин-экстра в проросшем зерне пивоваренного ячменя возрастала активность амилаз и пероксидаз [8, 16]. При обработке растений пшеницы в фазе колошения эпин-экстра в зерне проростков активность амилаз не повышалась, тогда как под воздействием новосила происходило увеличение активности этих ферментов [13].

Выводы

Conclusions

1. Применение на культуре овса во время выметывания метелок биорегулятора эпин-экстра инициировало при созревании зерновок ослабление

синтеза альбуминов и легкорастворимых глобулинов и повышение концентрации глютелиновых белков. Происходило также усиление активности всех α -амилаз и некоторых β -амилаз, пероксидаз и каталаз. В процессе прорастания зерна усиливалось действие всех пероксидаз и каталаз, а также β -амилаз, активных при pH 8.

2. Биорегулятор новосил, примененный в той же фазе развития растений овса, инициировал в созревающем зерне активизацию синтеза α -амилаз, активных при pH 5,5, и β -амилаз (pH 8), а в зерне 7-дневных проростков – пероксидаз (pH 7), каталаз (pH 5,5), α и β -амилаз (pH 8).

3. Применение эпин-экстра во время колошения ячменя привело к активизации синтеза белков в созревающем зерне (увеличение содержания – на 0,6-1,2%), а также амилолитических и антиоксидантных ферментов: всех α -амилаз и активных при pH 7 и 8 β -амилаз, пероксидаз и каталаз. При этом в прорастающем зерне наблюдалась активизация α -амилаз и пероксидаз (pH 5,5), некоторых β -амилаз (pH 8) и каталаз (активных при pH 7 и 8).

4. Биорегулятор новосил оказывал заметное действие на синтез белков и ферментов в созревающем зерне ячменя. Под его воздействием отмечалось увеличение концентрации белков на 0,9-1,1% и усиление синтеза некоторых α -амилаз и каталаз (pH 8), активных при pH 7 и 8 пероксидаз и β -амилаз.

5. При проведении опытов отмечено более заметное действие на биохимические процессы в формирующихся зерновках овса и ячменя биорегулятора эпин-экстра, причем полученные данные свидетельствуют о том, что наиболее эффективно его применение при выращивании семенного зерна.

Список источников

1. Tabur S., Demir K. Role of some growth regulators on cytogenetic activity of barley under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2010;60:99-104. <https://doi.org/10.1007/s10725-009-9424-6>
2. Пономарева Ю.Н., Захарова О.А. Действие минеральных удобрений и регуляторов роста на урожайность и качество пивоваренного ячменя в условиях засухи // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2015. № 3(27). С. 36-42. EDN: UXKGHD
3. Сорокин А.И., Цевденнова А.С. Применение регуляторов роста под яровой ячмень на светло-каштановых почвах // *Зерновое хозяйство России*. 2016. № 1. С. 35-38. EDN: VQAVLP

References

1. Tabur S., Demir K. Role of some growth regulators on cytogenetic activity of barley under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2010;60:99-104. <https://doi.org/10.1007/s10725-009-9424-6>
2. Ponomareva Yu.N., Zaharova O.A. The effect of mineral fertilizers and growth regulator on yield and quality of malt barley when drought. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2015;(3(27)):36-42. (In Russ.)
3. Sorokin A.I., Tsevdanova A.S. Use of growth regulators for spring barley on light-brown soils. *Grain Economy of Russia*. 2016;(1):35-38. (In Russ.)

4. Шешегова Т.К., Щенникова И.Н. Реакция нового сорта ячменя Родник Прикамья на применение регуляторов роста // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018. Т. 64, № 3. С. 28-33. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.28-33>
5. Евдокимова М.А., Марьина-Чермных О.Г. Влияние регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность посевов ярового ячменя // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. Т. 44, № 4. С. 91-97. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-91-97>
6. Watanabe Y., Miura S., Yukawa T., Takenaka S. Effects of plant hormones on Pythium snow rot resistance of barley. *Japanese Journal of Crop Science*. 2008;1:78-83. <https://doi.org/10.1626/jcs.77.78>
7. Козлов Ф.П., Конова А.М., Самойлов Л.Н., Ладонин В.Ф. Влияние средств химизации на урожайность и качество культур полевого севооборота // *Агрехимия*. 2003. № 7. С. 24-31. EDN: ONKUQL
8. Гамзаева Р.С. Влияние фиторегуляторов эпин и циркон на амилолитическую активность и содержание редуцирующих сахаров в прорастающих зернах пивоваренного ячменя // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2016. № 44. С. 27-32. EDN: XHPWFH
9. Alam P., Balawi T., Ashraf M., Ahinad P. 24-Epibrassinolide (EBR) reduces oxidative stress damage induced by Cadmium toxicity by restricting uptake and modulating some key antioxidant enzymes in maize plants. *Pakistan Journal of Botany*. 2021;53(1):59-66. [http://dx.doi.org/10.30848/pjb2021-1\(27\)](http://dx.doi.org/10.30848/pjb2021-1(27))
10. Персикова Т.Ф., Сергеева И.И. Применение регуляторов роста и бакпрепаратов на посевах ячменя и гороха // *Плодородие*. 2006. № 1 (28). С. 19-20. EDN: HTRNAD
11. Novikov N.N., Zharikhina A.A. Protein composition and grain quality of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the level of nitrogen nutrition and phytohormones use in case of cultivation on sod-podzol medium loamy soil. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2013;(5):142-152. EDN: RVBEJR
12. Шатилова Т.И., Карпиленко Г.П., Витол С.Б., Шаненко Е.Ф. и др. Влияние регуляторов метаболизма на белково-протеиназный комплекс ячменя, выращенного на разном агрофоне // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2005. № 3. С. 82-90. EDN: HVJGGP
13. Шатилова Т.И., Белопухов С.Л., Романова Е.В., Витол И.С. и др. Амилолитические и протеолитические ферменты ячменного солода, полученного с применением препаратов фиторегуляторов // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2013. № 3. С. 31-38. EDN: QZPMNX
4. Sheshhegova T.K., Shchennikova I.N. The response of a new barley variety Rodnik Prikamiya to the use of plant growth regulators. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;64(3):28-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.28-33>
5. Evdokimova M.A., Maryina-Chermnykh O.G. Influence of growth regulators on photosynthetic activity of spring barley crops. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018;4(44):91-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-4-91-97>
6. Watanabe Y., Miura S., Yukawa T., Takenaka S. Effects of plant hormones on Pythium snow rot resistance of barley. *Japanese Journal of Crop Science*. 2008;1:78-83. <https://doi.org/10.1626/jcs.77.78>
7. Kozlov F.P., Konova A.M., Samoilov L.N., Ladonin V.F. The effect of chemicals on the yield and quality of crops in field crop rotation. *Agrohimia*. 2003;(7):24-31. (In Russ.)
8. Gamzaeva R.S. Effect of phytohormones Epin and Zircon on amylolytic activity and content of reducing sugars in germinating malting barley grains. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2016;(44):27-32. (In Russ.)
9. Alam P., Balawi T., Ashraf M., Ahinad P. 24-Epibrassinolide (EBR) reduces oxidative stress damage induced by Cadmium toxicity by restricting uptake and modulating some key antioxidant enzymes in maize plants. *Pakistan Journal of Botany*. 2021;53(1):59-66. [http://dx.doi.org/10.30848/pjb2021-1\(27\)](http://dx.doi.org/10.30848/pjb2021-1(27))
10. Persikova T.F., Sergeeva I.I. Application of growth regulators and bacterial preparations on barley and pea crops. *Plodородие*. 2006;1(28):19-20. (In Russ.)
11. Novikov N.N., Zharikhina A.A. Protein composition and grain quality of spring soft wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on the level of nitrogen nutrition and phytohormones use in case of cultivation on sod-podzol medium loamy soil. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2013;(5):142-152.
12. Shatilova T.I., Karpilenko G.P., Vitol S.B., Shanenko E.F. et al. Effect of metabolic regulators on the protein-proteinase complex of barley grown under different agricultural conditions. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2005;(3):82-90. (In Russ.)
13. Shatilova T.I., Belopukhov E.V., Romanova Ye.V., Vitol I.S. et al. Amylolytic and proteolytic enzymes of barley malt obtained with the use of phytohormones. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2013;(3):31-38. (In Russ.)

14. Витол И.С., Карпиленко Г.П. Белково-протеиназный комплекс ячменя, выращенного на разном агрофоне с применением препаратов регуляторного действия // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2007. Т. 43. № 3. С. 356-364. EDN: HFKRD
15. Витол И.С., Бобков А.А., Карпиленко Г.П. Углеводно-амилазный комплекс и технологические показатели качества пивоваренного ячменя, выращенного в условиях Нечерноземья // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2007. № 2 (297). С. 24-27. EDN: KUYUHD
16. Новиков Н.Н., Соловьева Н.Е. Формирование пивоваренных свойств зерна ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2020. № 2. С. 5-19. <https://doi.org/10.26897/0021-342x-2020-2-5-19>
17. Новиков Н.Н., Таразанова Т.В. *Лабораторный практикум по биохимии растений*: Учебное пособие. Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. 2012. 97 с. EDN: WQCLXF
18. Новиков Н.Н. Новый метод определения активности пероксидаз в растениях // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2016. № 3. С. 36-46. EDN: WLZTAR
14. Vitol I.S., Karpilenko G.P. The protein-proteinase complex of the barley grown on a different agronomic background using regulatory preparations. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2007;43(3):356-364. (In Russ.)
15. Vitol I.S., Bobkov A.A., Karpilenko G.P. Carbohydrate-amylase complex and technological indicators of the quality of brewing barley grown in the conditions of the Non-Black Earth Region. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*. 2007;2(297):24-27. (In Russ.)
16. Novikov N.N., Solovyeva N.Ye. Formation of brewing properties of barley grain when grown on sod-podzolic soil depending on nutrition pattern and phyto regulator application. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2020;(2):5-19. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342x-2020-2-5-19>
17. Novikov N.N., Tarazanova T.V. *Laboratory workshop on plant biochemistry: a study guide*. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2012:97. (In Russ.)
18. Novikov N.N. The new method of peroxydases activity determination in plants. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2016;(3):36-46. (In Russ.)

Информация об авторах

Николай Николаевич Новиков, доктор биологических наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: tshanovikov@gmail.com

Артем Алексеевич Соколов, аспирант кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: sakred.gladiator@mail.ru

Евгений Алексеевич Филатов, аспирант кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 125500, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: filatov@rgau-msha.ru

Information about the authors

Nikolay N. Novikov, DSc (Bio), Professor at the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: tshanovikov@gmail.com

Artem A. Sokolov, postgraduate student of the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: sakred.gladiator@mail.ru

Evgeny A. Filatov, postgraduate student of the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: filatov@rgau-msha.ru

Статья поступила в редакцию 08.03.2025
Одобрена после рецензирования 23.03.2025
Принята к публикации 30.03.2025

The article was submitted to the editorial office
March 08, 2025
Approved after reviewing March 23, 2025
Accepted for publication March 30, 2025

ЭКОЛОГИЯ

Оригинальная научная статья
УДК 581.5: 574.42: 911.37(470.32)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-02>



Анализ растительности заброшенных сельских населенных пунктов Центрального Черноземья

Павел Вячеславович Голеусов¹, Марина Александровна Польшина^{1,2},
Ирина Сергеевна Гудова¹

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, Россия

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Марина Александровна Польшина; polshina@rgau-msha.ru

Аннотация

Сокращение сельского населения в России и мире приводит к появлению заброшенных территорий, где формируются вторичные сукцессии растительности. Изучение этих процессов важно для понимания механизмов самовосстановления экосистем. Несмотря на значительное количество исследований по данной тематике в других регионах, для Центрального Черноземья РФ подобные работы являются единичными. Целью работы является изучение особенностей растительности постагрогенных и постселитебных геосистем на примере двух заброшенных населенных пунктов в Белгородской и Воронежской областях, выявление закономерностей их ренатурации. Исследования проводились в 2020 г. на двух объектах – на хуторе Новый Путь (Белгородская область) и в поселке Красный Дон (Воронежская область). Методология включала в себя дешифрирование космических снимков для выбора объекта исследований, заложение геоботанических площадок (3×3 м) на территориях объектов, описание растительности с учетом видового состава, жизненных форм, эколого-ценотических групп и ареалов, сравнительный анализ с фоновыми фитоценозами. В результате установили, что направление ренатурации определяется соседствующими фитоценозами. Результаты могут быть использованы для прогнозирования сукцессий и разработки мер по восстановлению нарушенных экосистем.

Ключевые слова

заброшенные территории, растительность, анализ растительности, постагрогенные геосистемы, постселитебные геосистемы, вторичные сукцессии, самовосстановление экосистем, ренатурация, Центральное Черноземье РФ

Для цитирования

Голеусов П.В., Польшина М.А., Гудова И.С. Анализ растительности заброшенных сельских населенных пунктов Центрального Черноземья // *Тимирязевский биологический журнал*. 2025. Т. 3, № 1. С. 202531102. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-02>

ECOLOGY

Research article
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-02>



Analysis of vegetation of abandoned rural settlements in the Central Chernozem Region of the Russian Federation

Pavel V. Goleusov¹, Marina A. Polshina^{1,2}, Irina S. Gudova¹

¹ Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Marina A. Polshina; polshina@rgau-msha.ru

Abstract

The reduction of the rural population in Russia and around the world leads to the emergence of abandoned areas where secondary vegetation succession is formed. Studying these processes is important for understanding the mechanisms

of ecosystem self-restoration. Despite the significant number of studies on this topic in other regions, such research is rare in the Central Chernozem Region of the Russian Federation. The aim of the work is to study the vegetation features of post-agrogenic and post-settlement geosystems by analyzing two abandoned settlements in the Belgorod and Voronezh regions, and to identify the patterns of their renaturation. The research was conducted in 2020 at two sites: the Novy Put farmstead (Belgorod Region) and the Krasny Don settlement (Voronezh Region). The methodology included interpreting space images to select the research sites, establishing geobotanical plots (3×3 m) at the sites, describing the vegetation with regard to species composition, life forms, ecological and cenotic groups, and habitats, and conducting a comparative analysis with background phytocenoses. The results revealed that the trend of renaturation is influenced by neighboring phytocenoses. These results can be used to predict succession and develop measures to restore disturbed ecosystems.

Keywords

Abandoned areas, vegetation, vegetation analysis, post-agrogenic geosystems, post-settlement geosystems, secondary succession, ecosystem self-restoration, renaturation, Central Chernozem Region of the Russian Federation

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

For citation

Goleusov P.V., Polshina M.A., Gudova I.S. Analysis of vegetation of abandoned rural settlements in the Central Chernozem Region of the Russian Federation. *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531102. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-02>

Введение Introduction

Численность сельского населения в России ежегодно сокращается. По данным Росстата на 1 января 2024 г. численность сельского населения России составила 36,2 млн чел., сократившись с 2000 г. с 39,2 млн чел¹, или на 8%. Снижение численности сельского населения обусловлено как ростом естественной убыли, так и миграционными потерями [1]. Тенденция сокращения численности сельского населения отмечается не только в России – она имеет глобальный характер [2].

В результате убыли сельского населения возникают участки заброшенных населенных пунктов и прочих объектов прежней хозяйственной деятельности: постселитебные и постагрогенные геосистемы, которые в свою очередь становятся частью ландшафта [3]. Формирующиеся вторичные сукцессии растительности на заброшенных сельских территориях можно подразделить, соответственно, на 2 типа: постагрогенные (образовавшиеся при забрасывании огородов и в деградирующих фруктовых садах) и постселитебные – оставшиеся на дворовых площадках усадеб и развалинах строений. Изучение вторичных сукцессий представляет значительный интерес для понимания процессов самовосстановления природной среды.

Значительный вклад в развитие представлений об особенностях вторичных сукцессий на заброшенных сельских территориях внесли Б.М. Миркин и его научная школа [4-8] – для условий горно-лесной зоны Южного Урала. Также существуют работы, посвященные изучению растительности заброшенных сельских населенных

пунктов на территории Полесской ландшафтной провинции (Белоруссия) [9], Казахстана [10], Поволжья [11, 12], Сибири [13-16], Северного Кавказа [17], Дальнего Востока [18], Ростовской области [19] и др. В зарубежной науке также представлены работы о растительности заброшенных сельских населенных пунктов США [20], Центральной и Восточной Европы [21-23], Вьетнама [24], Азорских островов [25], Африки [26] и др.

Все эти исследования направлены на понимание процессов природного восстановления компонентов и функционирования (ренатурации), когда воздействие человека на природу ослабевает или прекращается. Анализ растительности важен для оценки потенциала самовосстановления экосистемы и разработки мероприятий для восстановления нарушенных экотопов. Однако несмотря на значительный интерес к изучению вторичных сукцессий, встречаются лишь единичные исследования по данной тематике для территории Черноземья РФ [27]. В связи с этим **цель работы** – изучить особенности постселитебных и постагрогенных фитоценозов заброшенных населенных пунктов на территории Центрального Черноземья РФ.

Методика исследований

Research methods

В рамках исследований на подготовительном этапе по космическим снимкам (Bing Maps, Яндекс. Карты, Google Maps) были определены местоположения заброшенных сельских поселений, которые не содержали признаков современной обработки земли. Еще одним признаком для идентификации заброшенных поселений было наличие зарастающих грунтовых дорог. Основное внимание в исследованиях было сосредоточено на двух областях

¹ Российский статистический ежегодник. 2024 / Росстат. М., 2024. 630 с.

Черноземья: Белгородской и Воронежской областях [28].

На территории Белгородской области объектом изучения выбран заброшенный хутор Новый Путь (рис. 1), расположенный в Красненском районе Белгородской области (50.970716, 38.492316). Этот хутор граничит с крупным лесным массивом, представляющим собой дубравный тип леса.

На территории Воронежской области в качестве объекта изучения определен заброшенный поселок Красный Дон (рис. 2), находящийся в Богучарском районе Воронежской области (49.715101, 40.508297).

Оба объекта имеют схожие параметры – такие, как площадь и период возникновения (образование хуторов датируется: Красный Дон – 1924 г., Новый Путь – 1926 г.), они были оставлены человеком примерно в начале 2000-х гг. Однако оба объекта различаются характеру фоновой растительности, что делает их интересными для сравнительного анализа: хутор Новый Путь соседствует с лесными сообществами, а поселок Красный Дон – со степными сообществами.

Изучение растительности на объектах исследований (заброшенные хутор Новый Путь

и поселок Красный Дон) проводили в июле-августе 2020 г. экспедиционным методом. В рамках исследований на каждом объекте были заложены пробные площади (точки исследования размером 3×3 м), в пределах которых выполнялось геоботаническое описание растительного покрова. На объекте Новый Путь было заложено всего 23 точки исследования (из них 2 – в пределах фоновых фитоценозов). На объекте Красный Дон всего было заложено 25 точек исследования, из которых 5 – в пределах фоновых фитоценозов.

Среди точек исследований охвачены разнообразные типы исходного землепользования: участки бывших огородов, садов, палисадников, хозяйственных построек, придомовых территорий, выгребных ям, свалок. Тип исходного землепользования идентифицировали по косвенным признакам (наличие следов фундамента строения, разрушенных стен, наличие садовой древесно-кустарниковой растительности, присутствие земляных межей).

Фоновые точки закладывали на значительном удалении от объектов изучения в местах типичных фитоценозов.

Геоботаническое описание фитоценозов выполняли на бланках, где фиксировали ключевые



Рис. 1. Развалины хозяйственных построек на хуторе Новый Путь Белгородской области (фото – П.В. Голусов)

Fig. 1. Ruins of outbuildings at the Novy Put farmstead, Belgorod Region (photo by P.V. Goleusov)



Рис. 2. Панорама поселка Красный Дон Воронежской области (фото – П.В. Голусов)

Fig. 2. Panorama of the Krasny Don settlement, Voronezh region (photo by P.V. Goleusov)

характеристики растительности: вид, семейство, особенности местопроизрастания, название растительной ассоциации, ярусность, проективное покрытие, обилие (по Друде). В камеральных условиях была дана характеристика каждого вида по следующим критериям: определили жизненную форму, ареал обитания, эколого-ценотическую группу².

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Общее количество видов высших сосудистых растений, обнаруженное на объектах исследований, приведено в таблице. Травянистые формы растений преобладают на обоих объектах, однако древесных, кустарниковых и полукустарниковых форм растений на исследовательских точках обнаружено больше по сравнению с фоном. Видовое разнообразие на объекте хутор Новый Путь Белгородской области выше (всего 138 видов), чем на объекте поселок Красный Дон (всего 87 видов).

Распределение видов растений по семействам на объектах исследований представлено на рисунках 3, 4.

На объекте поселок Красный Дон среди древесных, кустарниковых и полукустарниковых форм на участках исследований преобладают представители семейства Rosaceae (*Prunus subgen. Cerasus* (Mill.) A. Gray), Sapindaceae (*Acer negundo* L., *Acer platanoides* L., *Acer tataricum* L.) и Ulmaceae (*Ulmus laevis* Pall.). Эти виды являются типичными садовыми или декоративными растениями. На фоновых точках среди древесно-кустарниковых форм преобладают представители совершенно иных семейств: Asteraceae (*Cirsium arvens* (L.) Scop., *Centaurea jacea* L.), Rubiaceae (*Galium mollugo* L., *Asperula cynanchica* L.), Fabaceae (*Lathyrus tuberosus* L., *Trifolium arvense* L.).

На объекте хутор Новый Путь среди древесных, кустарниковых и полукустарниковых форм на участках исследований преобладают также представители семейств Rosaceae (*Prunus subgen.*

Таблица

Распределение растений на объектах исследований

Форма растения	Поселок Красный Дон				Хутор Новый Путь			
	Исследовательские точки, количество видов		Фоновые точки, количество видов		Исследовательские точки, количество видов		Фоновые точки, количество видов	
	<i>шт.</i>	%	<i>шт.</i>	%	<i>шт.</i>	%	<i>шт.</i>	%
Древесные, кустарниковые и полукустарниковые формы	18	20,7	3	5,4	30	21,7	5	18,5
Травянистые формы	69	79,3	53	94,6	108	78,3	22	81,5
Итого	87	100,0	56	100,0	138	100,0	27	100,0

Table

Distribution of plants at the research sites

Plant form	Krasny Don settlement				Novy Put farmstead			
	Research points, number of species		Background points, number of species		Research points, number of species		Background points, number of species	
	<i>pcs</i>	%	<i>pcs</i>	%	<i>pcs</i>	%	<i>pcs</i>	%
Woody, shrubby and half-shrubby forms	18	20.7	3	5.4	30	21.7	5	18.5
Herbaceous forms	69	79.3	53	94.6	108	78.3	22	81.5
Total	87	100.0	56	100.0	138	100.0	27	100.0

²Тиходеева М.Ю., Лебедева В.Х. Практическая геоботаника (анализ состава растительных сообществ): Учебное пособие. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2015. 166 с.

Cerasus (Mill.) A. Gray, *Pyrus communis* L.) и Sapindaceae (*Acer tataricum* L., *Acer campestre* L.). На фоновых точках произрастают представители семейств Rosaceae (*Potentilla recta* L.), Oleaceae (*Fraxinus excelsior* L.), Caprifoliaceae (*Lonicera tatarica* L.), Fagaceae (*Quercus robur* L.), Salicaceae (*Salix acutifolia* L.).

Среди травянистых форм преобладающую часть на исследовательских точках на территории поселка Красный Дон составляет одно из самых больших семейств двудольных растений – Asteraceae (*Cirsium vulgare* S., *Senecio jacobaea* L.). Также немалую часть всех растений составляют представители семейств Lamiaceae (*Lycopus europaeus* L., *Salvia pratensis* L.), Poaceae (*Poa nemoralis* L., *Poa pratensis* L.), представители остальных семейств во флоре составляют менее 10%.

На фоновых точках поселка Красный Дон – аналогичное соотношение представителей семейств. На объекте хутор Новый Путь на исследовательских точках также преобладают представители семейства Asteraceae (*Ambrosia artemisiifolia* L., *Centaurea scabiosa* L.), на втором месте по числу видов – семейство Fabaceae (*Astragalus glycyphyllos* L., *Securigera varia* L.); также немалую часть всех семейств составляют представители семейств Lamiaceae (*Lycopus europaeus* L., *Melissa officinalis* L.), Poaceae (*Poa pratensis* L., *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin). На фоновых точках значительно преобладают представители двух семейств: Asteraceae (*Cirsium vulgare* S., *Sonchus oleraceus* L.) и Poaceae (*Poa nemoralis* L., *Agrostis tenuis* Sibth), представители остальных семейств во флоре составляют менее 10%.

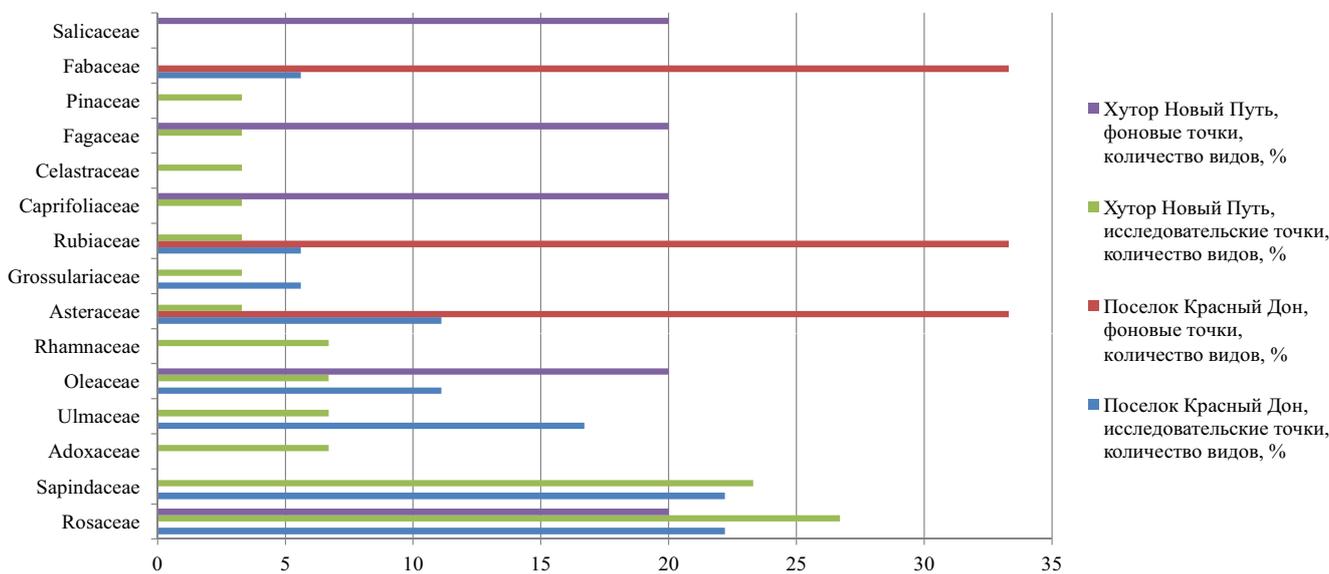


Рис. 3. Распределение древесных, кустарниковых и полукустарниковых видов по семействам на объектах исследований, %

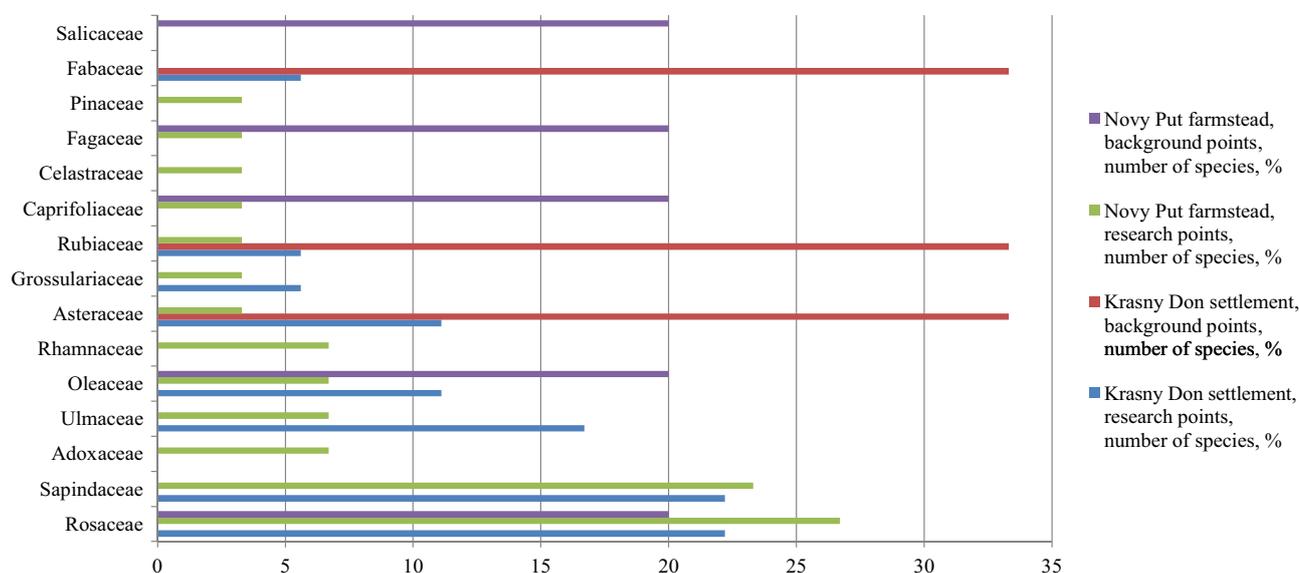


Fig. 3. Distribution of woody, shrubby and half-shrubby species by families at the study sites, %

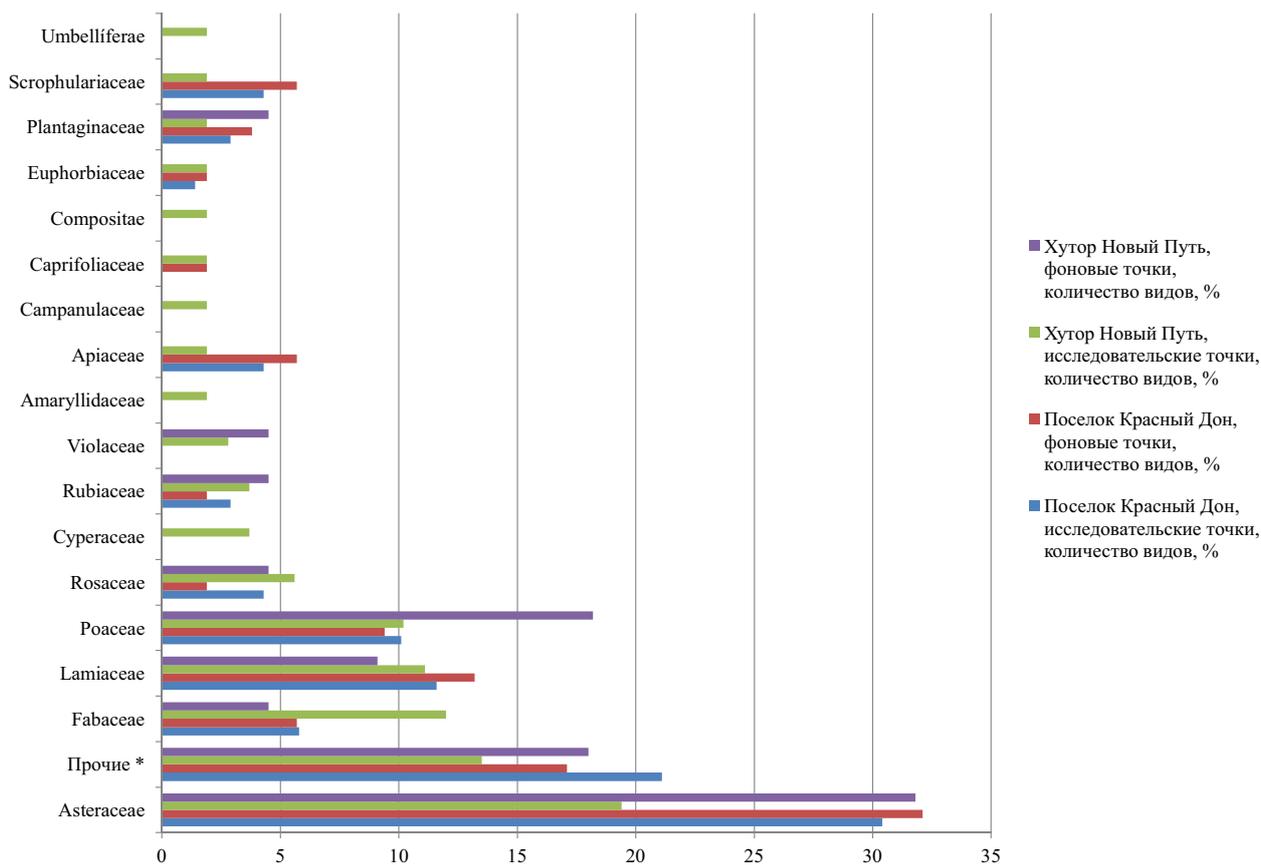


Рис. 4. Распределение травянистых видов по семействам на объектах исследований, %.
 *Прочие семейства, численность видов которых составляет менее 2.

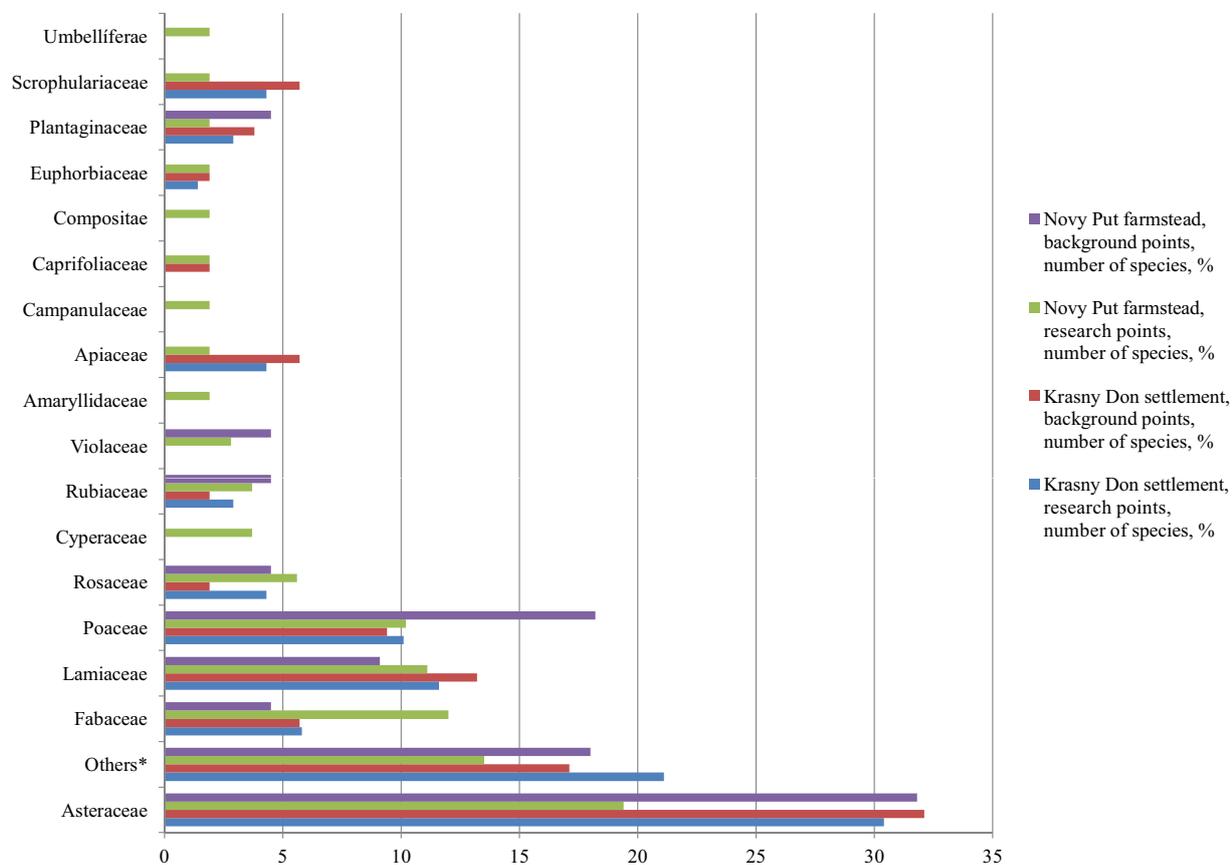


Fig. 4. Distribution of herbaceous species by families at the study sites, %
 *Other families with less than 2 species

Доминирование семейств Rosaceae и Astera-seae является типичным для освободившихся территорий. Представители Asteraceae активно участвуют в строительстве фитоценозов, часто обладают выраженной приуроченностью к местам с сильной антропогенной преобразованностью [15].

Распределение видов растений по типам ареалов на объектах исследований представлено на рисунках 5, 6.

На объекте поселок Красный Дон среди древесных, кустарниковых и полукустарниковых форм на участках исследований и фоновых точках преобладают представители понтическо-казахстанского ареала (*Prunus subgen. Cerasus* (Mill.) A. Gray, *Artemisia austriaca* Jacq.); велика доля адвентивных видов (*Acer negundo* L., *Cyclachaena xanthiifolia* (Nutt.) Fresen).

На объекте хутор Новый Путь среди древесных, кустарниковых и полукустарниковых форм на участках исследований преобладают также представители палеарктического (*Festuca ovina* L., *Taraxacum officinale* L.) и понтическо-казахстанского (*Melica transsilvanica* Schur, *Salvia tesquicola* Klokov and Pobed) ареалов.

На фоновых точках на обоих объектах, несмотря на их удаленность, среди древесно-кустарниковых форм преобладают представители одинаковых ареалов: понтическо-казахстанского (*Artemisia austriaca* Jacq., *Salvia tesquicola* Klokov and Pobed.), евроазиатского степного (*Caragana frutex* L., *Isatis tinctoria* L.), европейско-средиземноморского (*Cirsium vulgare* Savi.) и средиземноморско-евразийского степного (*Stipa capillata* L.) ареалов.

Среди травянистых форм преобладающую часть на исследовательских точках на территории поселка Красный Дон составляют растения западно-палеарктического (*Melilotus officinalis* L.) и палеарктического (*Inula britannica* L.) ареалов. Также немалую часть всех растений составляют представители ареалов: европейско-средиземноморского (*Securigera varia* L.), европейско-средиземноморско-переднеазиатского (*Euphorbia virgata* Waldst. et Kit.) и голарктического (*Poa nemoralis* L.). Представители остальных семейств во флоре составляют менее 10%. На фоновых точках поселка Красный Дон преобладающую часть травянистых растений составляют представители палеарктического и западно-палеарктического типов ареала.

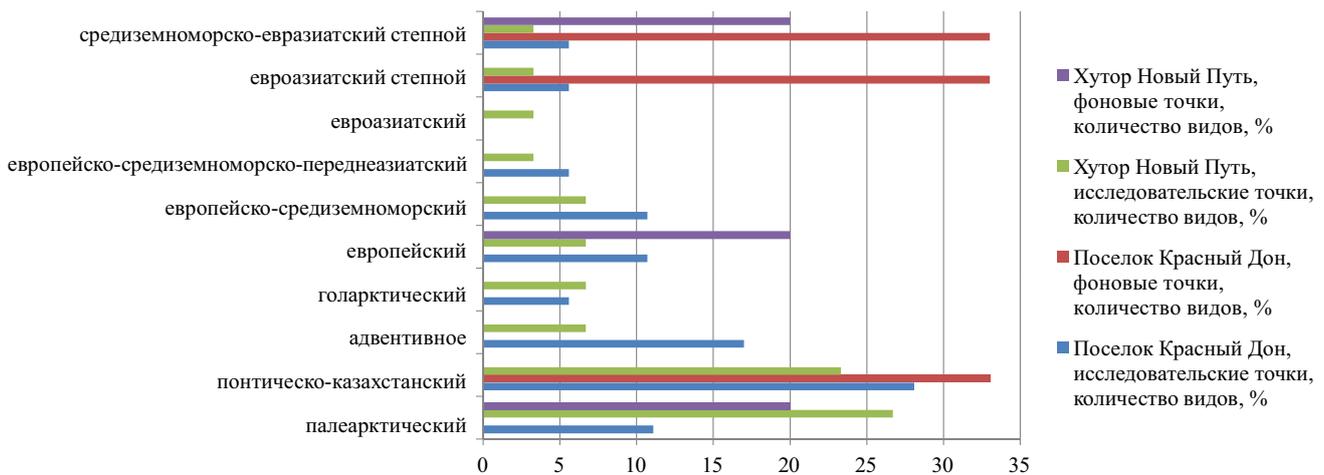


Рис. 5. Распределение древесных, кустарниковых и полукустарниковых видов по типам ареала, %

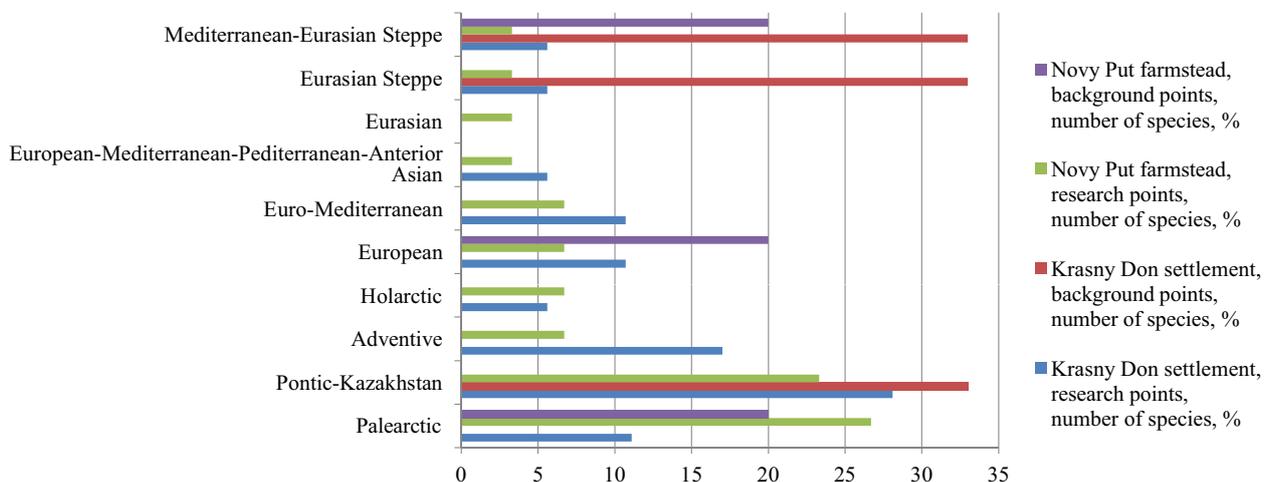


Fig. 5. Distribution of woody, shrubby and half-shrubby species by range type, %

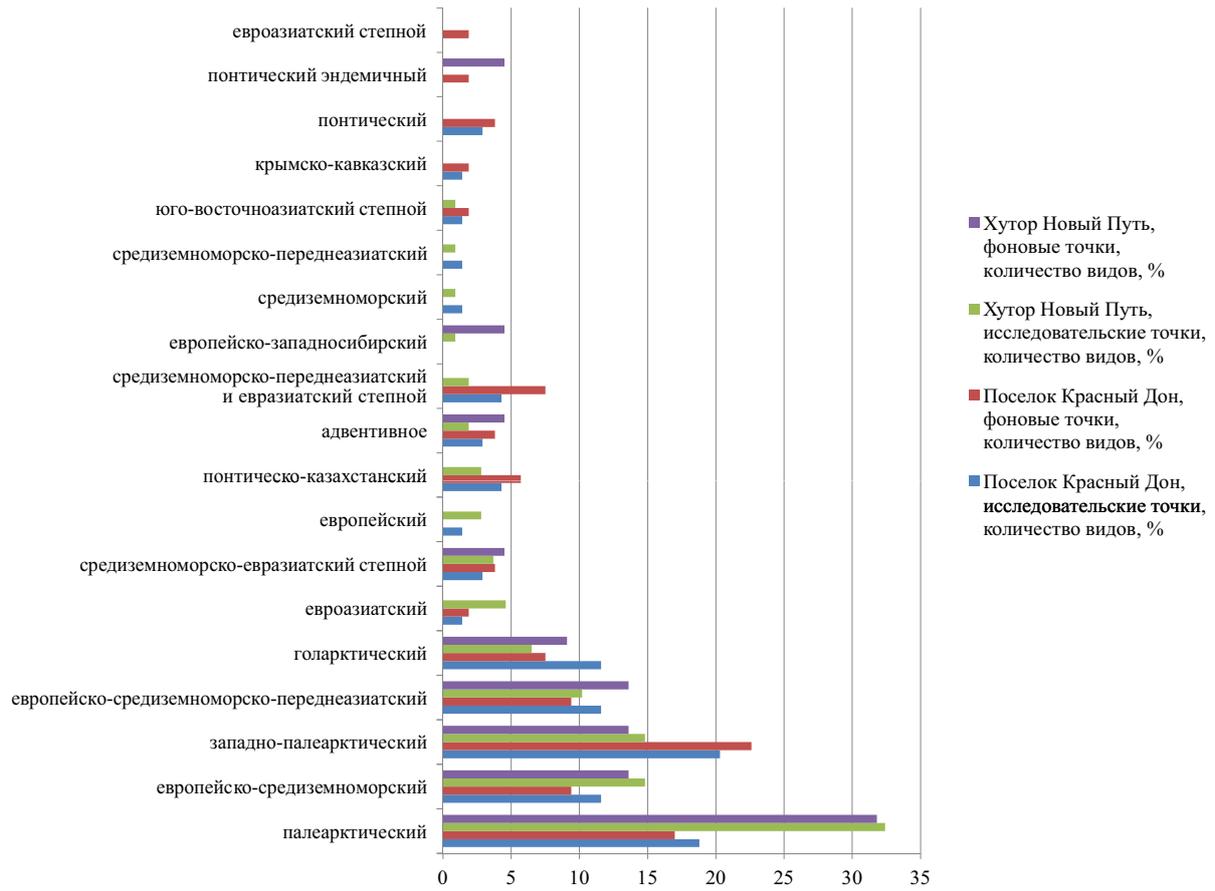


Рис. 6. Распределение травянистых видов по типам ареала, %

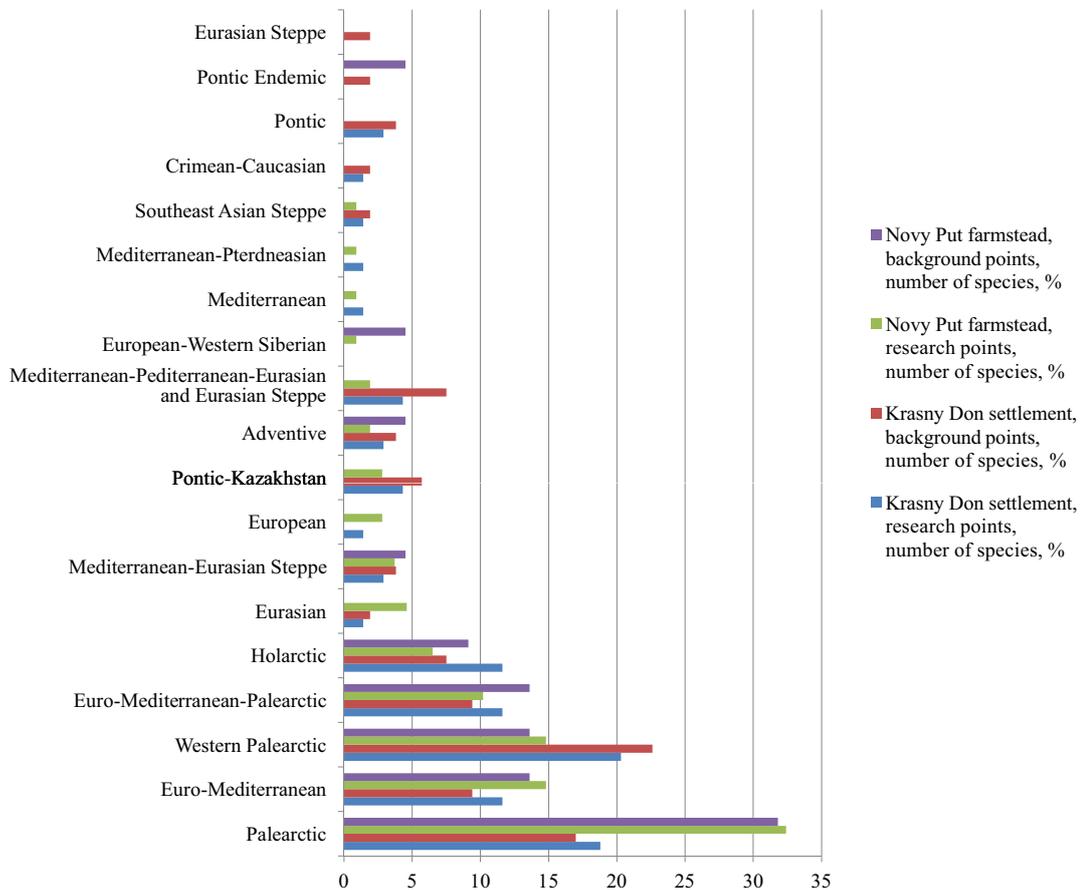


Fig. 6. Distribution of herbaceous species by range type, %

На объекте хутор Новый Путь на исследовательских точках также преобладают представители палеарктического (*Astragalus glycyphyllos* L.), европейско-средиземноморского (*Cirsium arvense* L.) и западно-палеарктического ареалов (*Heracleum sibiricum* L.); представители остальных семейств во флоре составляют менее 10%.

На фоновых точках поселка Новый Путь – аналогичное соотношение представителей по типам ареала.

Преобладание растений палеарктического происхождения на заброшенных участках лесостепи и степи связано с историческими процессами формирования флоры данного региона. Палеарктический ареал включает в себя территории, которые в прошлом были частью единой флористической области, связанной с Евразией [16].

Распределение видов растений по жизненным формам на объектах исследований представлено на рисунках 7, 8.

Среди травянистых видов по жизненным формам на территории обоих объектов исследований большую часть составляют многолетние травы, среди которых – короткокорневищные (*Lathyrus tuberosus* L., *Campanula glomerata* L.), стержнекорневые (*Stachys annua* L., *Senecio vernalis* Waldst. et Kit.) и длиннокорневищные (*Lycopus europaeus* L., *Bromus inermis* Leyss.). На фоновых точках количественное распределение травянистых растений по жизненным формам является примерно аналогичным.

Сукцессия растительности на заброшенных территориях обычно происходит по предсказуемой схеме, переходя от открытой однолетней растительности к многолетним травянистым растениям, кустарникам, и в итоге – к лесным сообществам. Например, на умеренно влажных полях сукцессия может привести к образованию лесных массивов в течение 25-30 лет, в то время как на сухих полях в течение десятилетий преобладают злаковые и редкие кустарники [23].

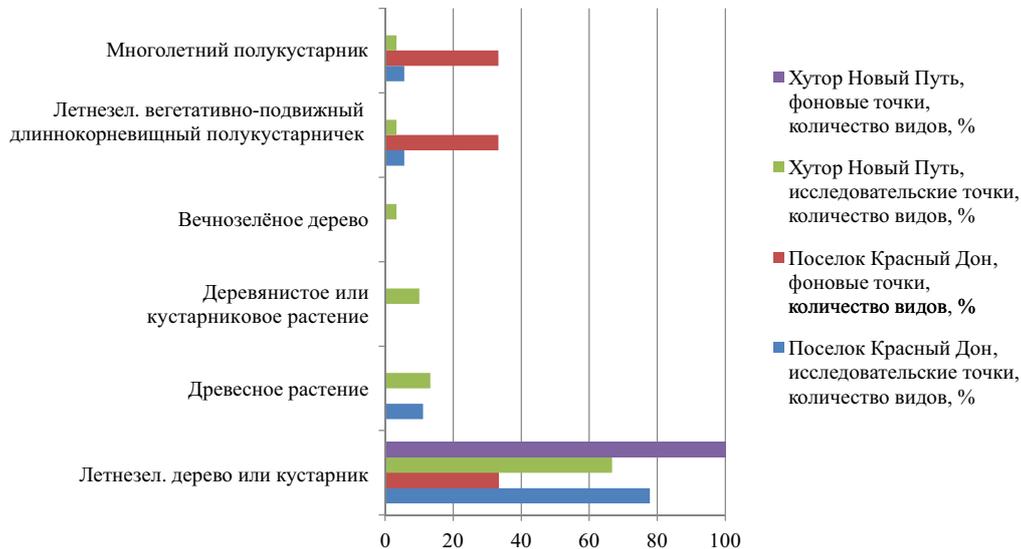


Рис. 7. Распределение древесных, кустарниковых и полукустарниковых видов по жизненным формам, %

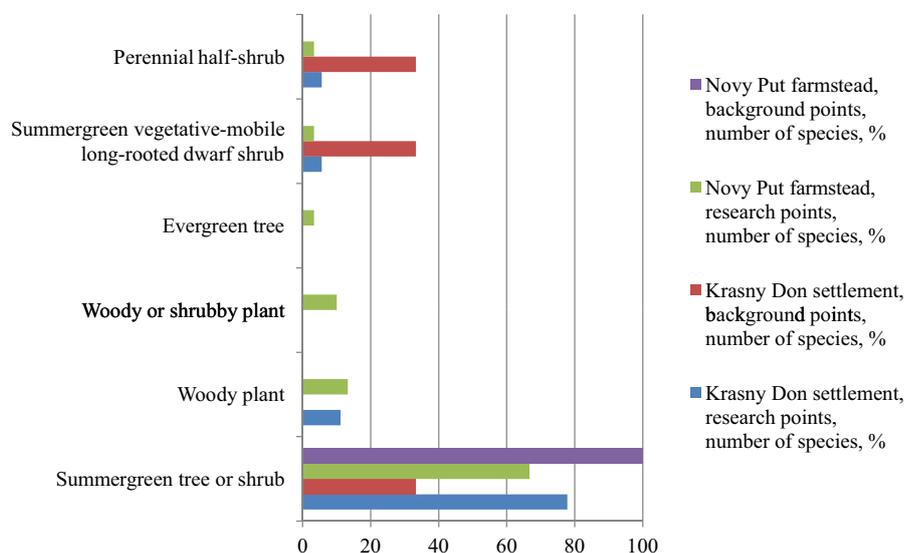


Fig. 7. Distribution of woody, shrubby and half-shrubby species by life forms, %

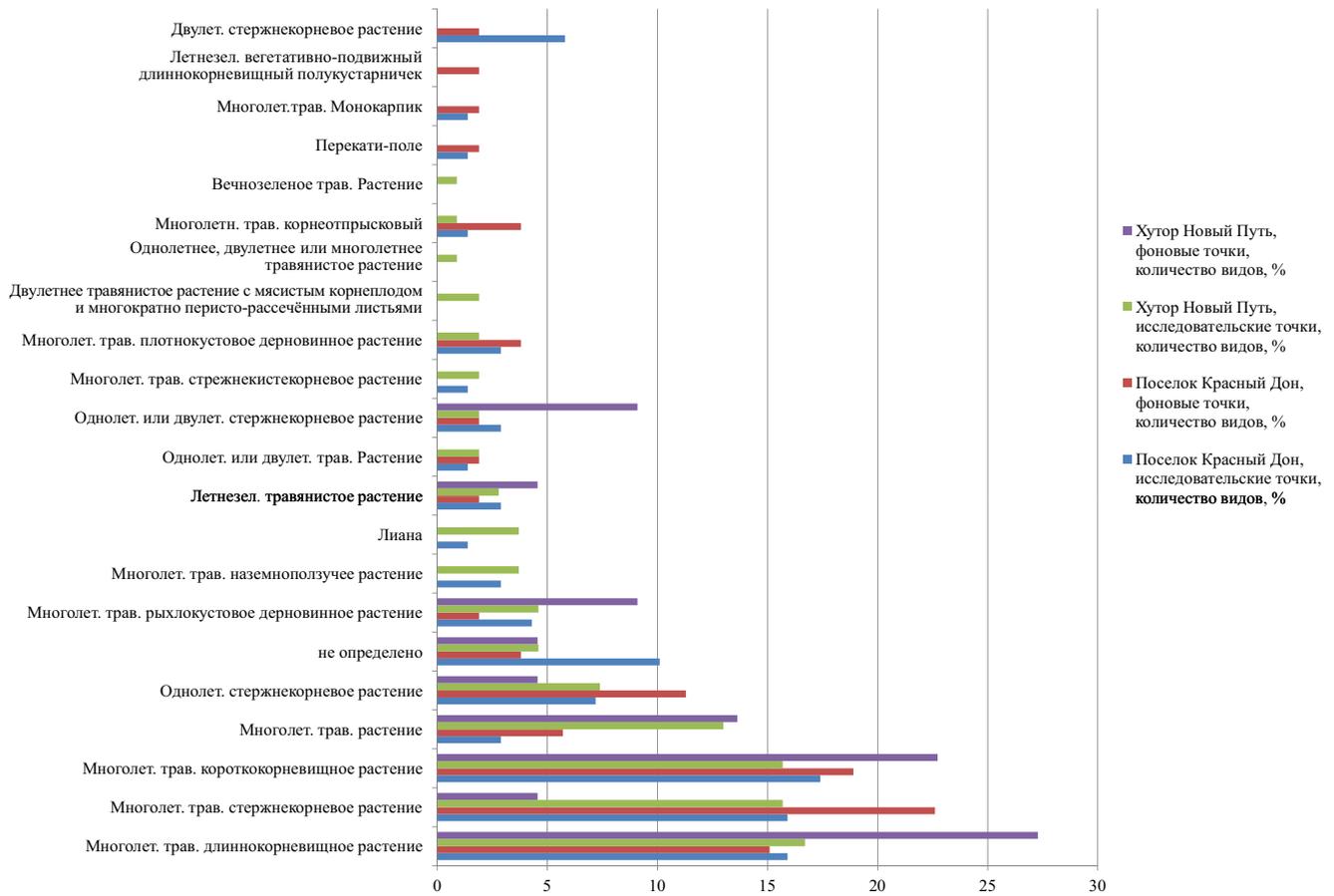


Рис. 8. Распределение травянистых видов по жизненным формам, %

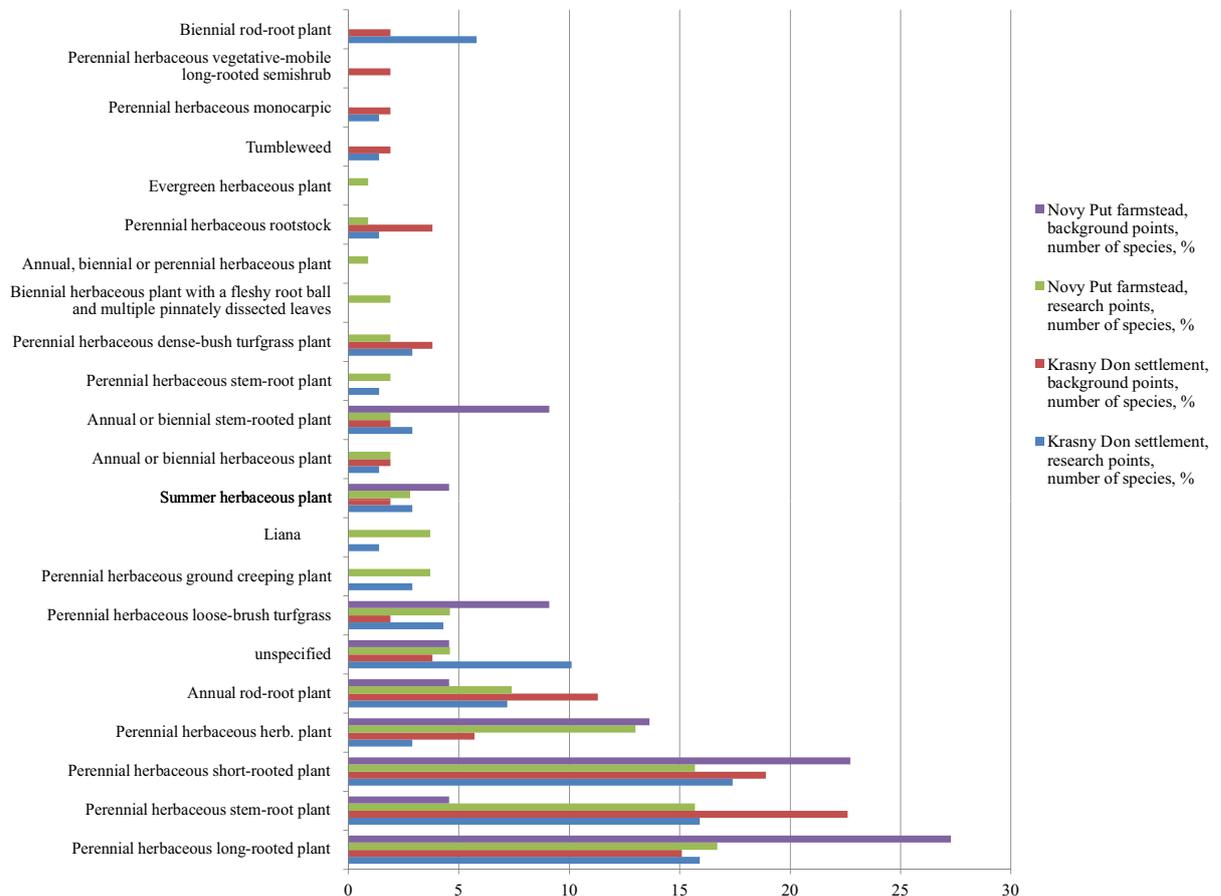


Fig. 8. Distribution of herbaceous species by life forms, %

Распределение видов по эколого-ценотическим группам на объектах исследований представлено на рисунках 9, 10.

На объекте Красный Дон среди древесных, кустарниковых и полукустарниковых видов на исследовательских точках преобладают интродуцированные виды (*Prunus subgen. Cerasus* (Mill.) A. Gray, *Acer negundo* L.), а также в большом количестве – представители лугово-степной (*Rosa canina* L.) и лесной (*Ulmus minor* Mill., *Ulmus glabra* Huds.) эколого-ценотических групп.

На фоновых участках поселка Красный Дон преобладающей эколого-ценотической группой является лугово-степная растительность (*Caragana frutex* L., *Asperula cynanchica* L.).

Среди древесных, кустарниковых и полукустарниковых видов на исследовательских точках объекта Новый Путь большая часть принадлежит интродуцированной (*Cerasus vulgaris* Mill., *Pyrus communis* L.) и лесной группам (*Quercus robur* L., *Lonicera tatarica* L.) в равном соотношении. На фоновых точках преобладает лесная (*Quercus robur* L., *Fraxinus excelsior* L.) эколого-ценотическая группа. Таким образом, близость

лесного массива на объекте хутор Новый Путь оказывает значительное влияние на формирование фитоценозов.

Среди травянистых видов растений на исследовательских точках объекта Красный Дон преобладают следующие эколого-ценотические группы растений: опушечно-луговые (*Dianthus deltoides* L.), сорные (*Delphinium consolida* L.), лугово-степные (*Seseli tortuosum* L.), степные (*Limonium platyphyllum* Lincz.). Представители остальных групп составляют менее 10%. На фоновых точках объекта Красный Дон значительно преобладают представители степной (*Carduus acanthoides* L.), опушечно-луговой (*Lathyrus tuberosus* L.), сорной (*Cyclachaena xanthiifolia* Nutt.) и лугово-степной (*Helichrysum arenarium* L.) групп.

На объекте Новый Путь среди травянистых видов на исследовательских точках большая часть представителей флоры относится к опушечно-луговой группе (*Heracleum sibiricum* L., *Glechoma hederacea* L.) и к сорной растительности (*Cirsium vulgare* Savi., *Cirsium arvense* L.), представители остальных групп составляют менее 10%.

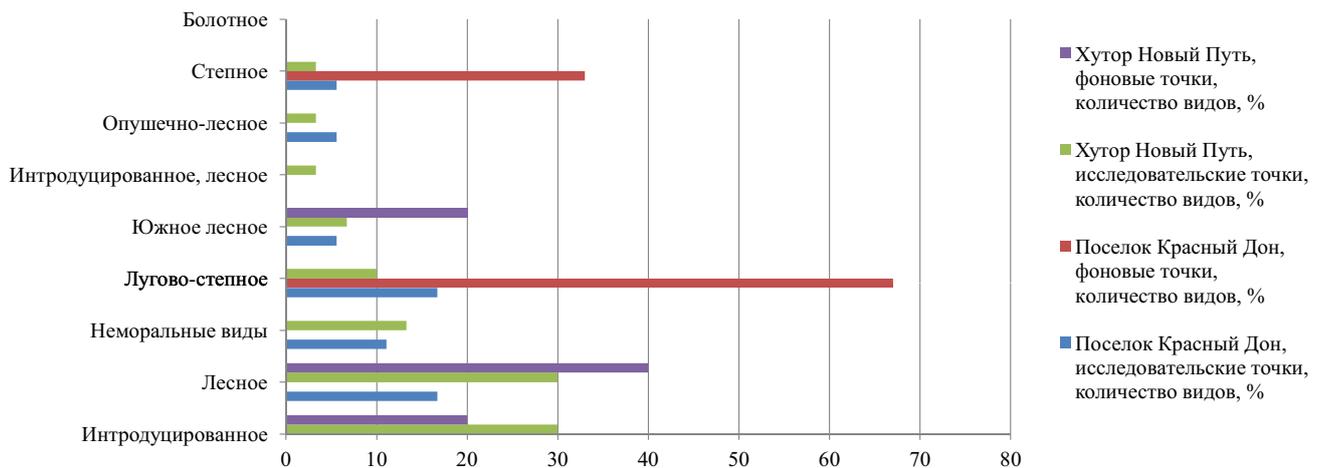


Рис. 9. Распределение древесных, кустарниковых и полукустарниковых видов по эколого-ценотическим группам, %

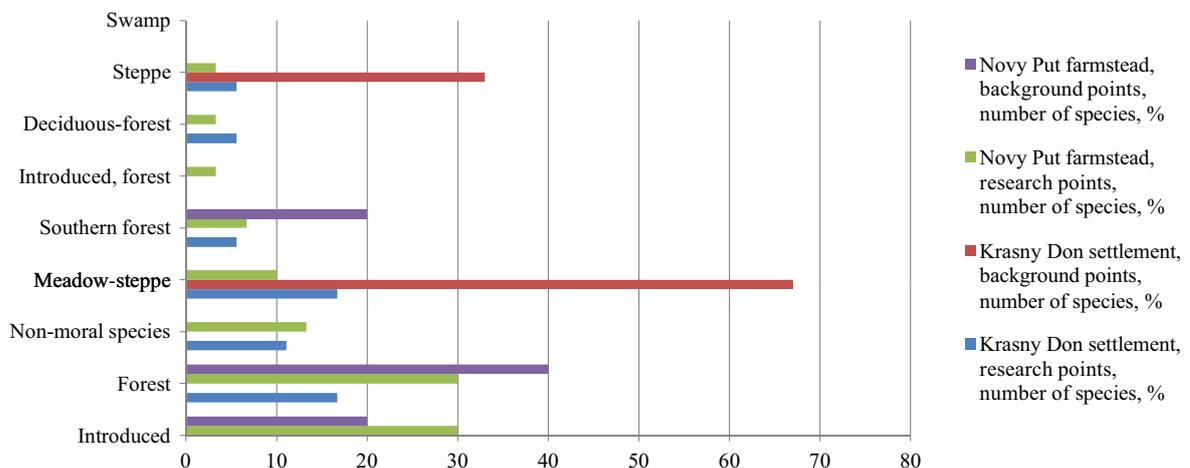


Fig. 9. Distribution of woody, shrubby and half-shrubby species by ecological and cenotic groups, %

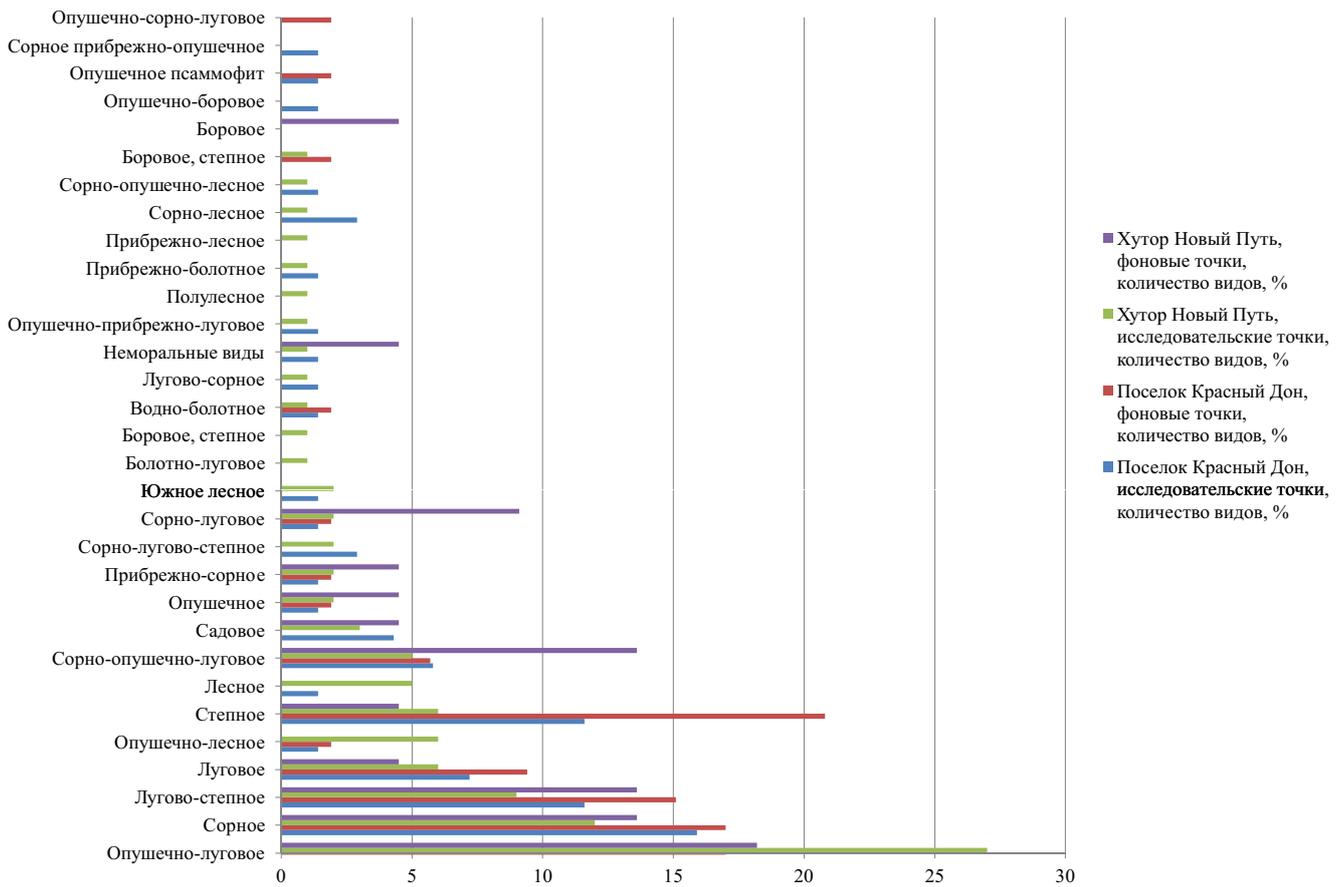


Рис. 10. Распределение травянистых видов по эколого-ценотическим группам, %

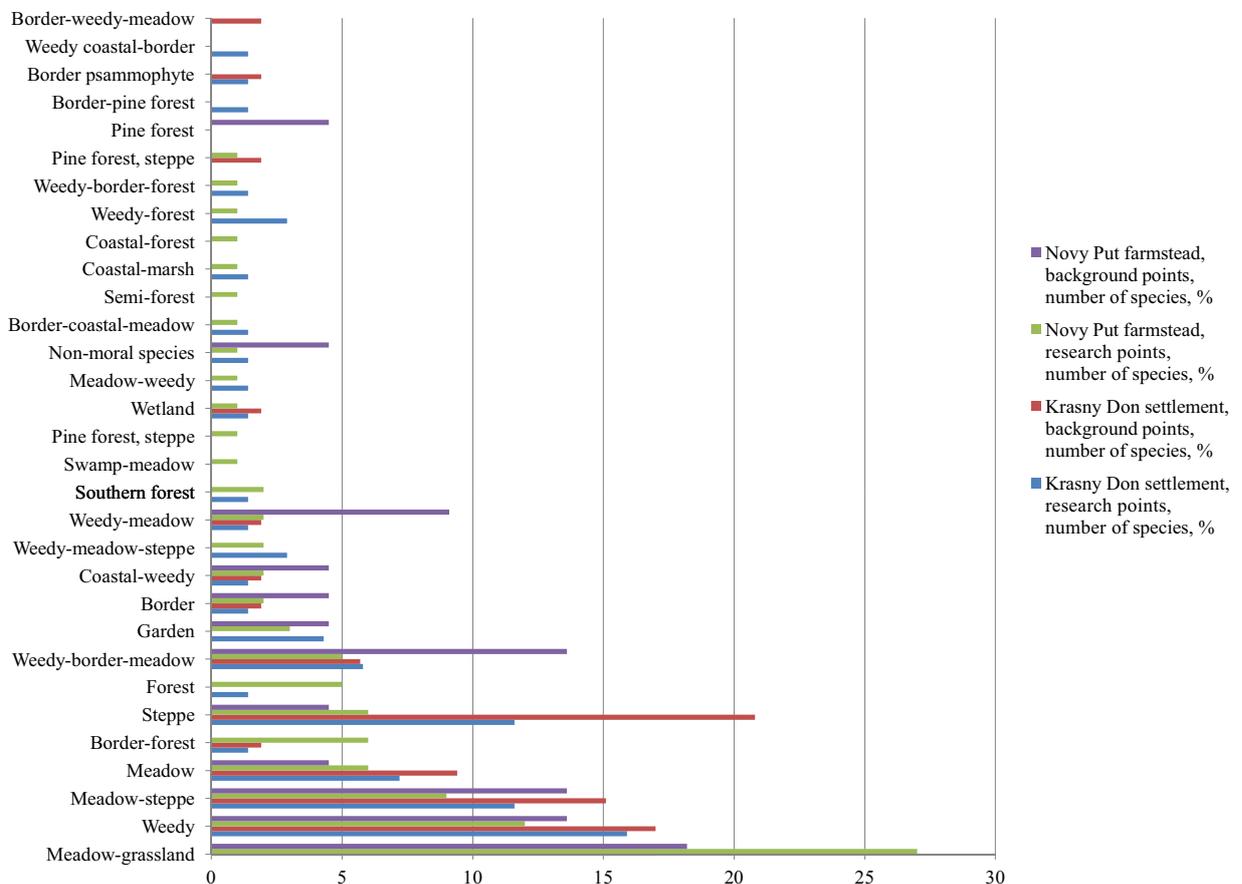


Fig. 10. Distribution of herbaceous species by ecological and cenotic groups, %

На фоновых точках преобладающими эколого-ценотическими группами являются: опушечно-луговая (*Veronica chamaedrys* L., *Galium rubioides* L.), сорная (*Cirsium vulgare* Savi., *Cirsium arvense* L.), лугово-степная (*Helichrysum arenarium* L., *Senecio jacobaea* Gaertn.) и сорно-опушечно-луговая (*Pastinaca sativa* L., *Lavatera thuringiaca* L.).

По результатам анализа эколого-ценотических групп на объекте Красный Дон, можно сделать вывод о том, что преобладающими направлениями ренатурации выступают остепнение, олуговение и рудерализация. Степное направление сукцессий характерно для территорий, на которых есть климатические и литологические предпосылки для существования степного климакса сообществ [23, 27].

На участке Новый Путь преимущественным направлением ренатурации территории является облесение. Это обусловлено тем, что сукцессии лесного типа простимулированы ближайшим лесным массивом, который окружает хутор с востока.

Таким образом, полученные результаты анализа растительности постагрогенных и постселительных геосистем Центрального Черноземья не противоречат закономерностям процессов самовосстановления природной среды заброшенных населенных пунктов, представленным в научных работах, которые приведены в списке источников.

Список источников

1. Безвербный В.А., Максимов А.Н. Тенденции депопуляции сельских территорий Российской Федерации по данным Всероссийской переписи населения 2020 // *Наука. Культура. Общество*. 2022. № 4. С. 150-161. <https://doi.org/10.19181/nko.2022.28.4.12>
2. Lichter D.T., Johnson K.M. Depopulation, Deaths, Diversity and Deprivation: The 4Ds of Rural Population Change. *The Russell Sage Foundation Journal of the Social Sciences*. 2025;11(2):88-114. <https://doi.org/10.7758/RSF.2025.11.2.05>
3. Голусов П.В., Чугунова Н.В., Марциневская Л.В., Польшина М.А. и др. Пространственное распределение и ренатурационная динамика постселительных геосистем Центрально-Черноземного района. *Региональные геосистемы*. 2020. Т. 44, № 4. С. 462-473. <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-4-462-473>
4. Ямалов С.М., Сайфуллина Н.М., Миркин Б.М. Травяная растительность заброшенных населенных пунктов горно-лесной зоны Республики Башкортостан // *Растительность России*. 2008. № 12. С. 104-130. EDN: KDNOBN
5. Широких П.С., Мартыненко В.Б., Ямалов С.М., Бикбаев И.Г. и др. Влияние

Выводы Conclusions

1. Фоновые точки обладают меньшим видовым разнообразием по сравнению с точками исследований на объектах.

2. На участке хутор Новый Путь (Белгородская область) выявлено больше древесных и кустарниковых форм растений по сравнению с участком поселок Красный Дон (Воронежская область), что может являться последствием влияния лесного массива вблизи объекта хутор Новый Путь.

3. Среди травянистых форм на обоих участках преобладают опушечно-луговые виды. При этом на участке поселок Красный Дон велика доля степных видов, на объекте Новый Путь велика доля сорных видов.

4. Присутствие интродуцированных видов (вишня, побеги груши и сливы) является свидетельством деградирующих плодовых и декоративных насаждений садов и палисадников.

5. Сорная растительность сохраняется на заброшенных территориях благодаря высокому трофическому статусу почв.

6. Направление ренатурации определяется соседствующими фитоценозами: в Новом Пути преобладает облесение под влиянием лесного массива, а в Красном Доне – степная сукцессия.

References

1. Bezverbny V.A., Maksimov A.N. Depopulation trends of rural areas of the Russian Federation according to the Russian Census 2020. *Nauka. Kultura. Obshchestvo*. 2022;(4):150-161. (In Russ.) <https://doi.org/10.19181/nko.2022.28.4.12>
2. Lichter D.T., Johnson K.M. Depopulation, Deaths, Diversity and Deprivation: The 4Ds of Rural Population Change. *The Russell Sage Foundation Journal of the Social Sciences*. 2025;11(2):88-114. <https://doi.org/10.7758/RSF.2025.11.2.05>
3. Goleusov P.V., Chugunova N.V., Martsinevskaya L.V., Polshina M.A. et al. Spatial distribution and renaturation dynamics of post-settlement geosystems of the Central Chernozem Region. *Regional Geosystems*. 2020;44(4):462-473. (In Russ.) <https://doi.org/10.18413/2712-7443-2020-44-4-462-473>
4. Yamalov S.M., Saifullina N.M., Mirkin B.M. Herbaceous vegetation of the abandoned settlements in the mountain-forest zone of Bashkortostan Republic. *Vegetation of Russia*. 2008;(12):104-130. (In Russ.)
5. Shirokikh P.S., Martynenko V.B., Yamalov S.M., Bikbaev I.G. et al. Effect of agricultural use

- сельскохозяйственного использования на формирование растительности залежей горно-лесной зоны Южного Урала // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2017. № 3-1. С. 221-227. EDN: ZIAHAJ
6. Мартыненко В.Б., Широких П.С., Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Синтаксономический анализ восстановительных сукцессий после вырубki светлохвойных лесов Южно-Уральского региона // *Журнал общей биологии*. 2014. Т. 75, № 6. С. 478-490. EDN: ТЕСТМХ
7. Ямалов С.М., Баянов А.В., Сайфуллина Н.М., Хазиахметов Р.М. и др. Использование фитосоциологического спектра для изучения антропогенной динамики растительности // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14, № 1-5. С. 1420-1424. EDN: RBFRLN
8. Миркин Б.М., Ямалов С.М., Баянов А.В., Сайфуллина Н.М. Использование синтаксономии для изучения антропогенной динамики растительности // *Растительность России*. 2012. № 21. С. 135-143. EDN: PJDVEH
9. Гусев А.П. Сукцессии растительности и оценка способности техногенно-нарушенных геосистем к самовосстановлению // *Вестник БГУ. Серия 2 «Химия. Биология. География»*. 2008. № 2. С. 82-86. EDN: TDNUIB
10. Simanchuk Ye.A., Sultangazina G.Zh., Kuprijanov A.N. Analysis of Group-Thicket Communities on Iron Ore Industry Dumps in Kostanay Region. *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Series: Biological Sciences*. 2023;3(144):26-39. <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2023-144-3-26-39>
11. Винюсева Г.В. Экологический анализ флоры и растительности окрестностей заброшенного мелового добывающего карьера у р.п. Старая Кулатка // *Самарский научный вестник*. 2015. № 2 (11). С. 51-53. EDN: VIJCYR
12. Козловская О.В., Ильина В.Н., Сычева Е.В., Шерстобитов Д.Н. Комплексный анализ флоры антропогенно нарушенной территории «Мазутное озеро» // *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. 2025. № 1. С. 89-98. <https://doi.org/10.24412/2071-6176-2025-1-89-98>
13. Синюткина А.А., Гашкова Л.П. Анализ фитоценологических показателей антропогенно измененных болотных геосистем Томской области // *Торфяники Западной Сибири и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Четвертого Международного полевого симпозиума, 4-17 августа 2014 г.* Новосибирск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2014. С. 362-365. EDN: TDBFVF
14. Двуреченский В.Г., Середина В.П. Трансформация природных эколого-почвенных систем таежного пояса юга Западной Сибири под воздействием техногенеза // *Безопасность жизнедеятельности*. 2020. № 6 (234). С. 57-64. EDN: ZYGLKM
- on the formation of the vegetation of fallow lands in the mountain-forest zone of the Southern Urals. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2017;(3-1):221-227. (In Russ.)
6. Martynenko V.B., Shirokikh P.S., Mirkin B.M., Naumova L.G. Syntaxonomic analysis of restorative successions after cutting down light coniferous forests of South Ural Region. *Journal of General Biology*. 2014;75(6):478-490. (In Russ.)
7. Yamalov S.M., Bayanov A.V., Sayfullina N.M., Khaziahmetov R.M. et al. Use the Phytosociological Spectrum to Study the Anthropogenic Vegetation Dynamics. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2012;14(1-5):1420-1424. (In Russ.)
8. Mirkin B.M., Yamalov S.M., Bayanov A.V., Sayfullina N.M. Use of syntaxonomy to study the anthropogenic vegetation dynamics. *Vegetation of Russia*. 2012;(21):135-143. (In Russ.)
9. Gusev A.P. Vegetation succession and assessment of self-restoration capacity of technogenically disturbed geosystems. *Vestnik BGU. Seriya 2 "Khimiya. Biologiya. Geografiya"*. 2008;(2):82-86. (In Russ.)
10. Simanchuk Ye.A., Sultangazina G.Zh., Kuprijanov A.N. Analysis of Group-Thicket Communities on Iron Ore Industry Dumps in Kostanay Region. *Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Series: Biological Sciences*. 2023;3(144):26-39. <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2023-144-3-26-39>
11. Vinyuseva G.V. Environmental analysis of flora and vegetation around abandoned chalk upstream career urban settlement Staraja Kulatka. *Samara Journal of Science*. 2015;(2(11)):51-53. (In Russ.)
12. Kozlovskaya O.V., Ilyina V.N., Sycheva Ye.V., Sherstobitov D.N. Comprehensive analysis of the flora of the anthropogenic disturbed territory of "Mazutnoe lake". *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Yestestvennyye nauki*. 2025;(1):89-98. <https://doi.org/10.24412/2071-6176-2025-1-89-98>
13. Sinyutkina A.A., Gashkova L.P. Analysis of phytocenotic indicators of anthropogenically modified bog geosystems of the Tomsk region. *Chetvertiy Mezhdunarodniy polevoy simpozium 'Torfyaniki Zapadnoy Sibiri i tsikl ugleroda: proshloye i nastoyashcheye'. August 4-17, 2014.* Novosibirsk, Russia: Tomsk State University, 2014:362-365. (In Russ.)
14. Dvurechenskij V.G., Seredina V.P. Transformation of the natural ecological and soil systems of the taiga zone in the south of Western Siberia under the influence of technogenesis. *Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti*. 2020;(6(234)):57-64. (In Russ.)

15. Привалова Е.Г. Некоторые представители подсемейства Asteroidae (Asteraceae) и рода Geranium (Geraniaceae) Прибайкалья (обзор) // *Фармация и фармакология*. 2021. № 9(6). С. 426-440. <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2021-9-6-426-440>
16. Антипова Е.М. Методические вопросы выделения географических элементов флоры лесостепных экосистем Средней Сибири // *Вестник КрасГАУ*. 2012. № 3(66). С. 78-84. EDN: OVYSRP
17. Алиев И.Н., Воронина В.П., Хамарова З.Х. Вторичная сукцессия в карьерах Северного Кавказа // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2023. № 1 (69). С. 21-36. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-01-02>
18. Озарян Ю.А., Бубнова М.Б., Усиков В.И. Методика дистанционного мониторинга природно-технических систем (на примере горнопромышленных районов юга Дальневосточного региона) // *Горный журнал*. 2020. № 2. С. 84-89. <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.02.13>
19. Кумачева В.Д. Восстановление растительного покрова в ходе экогенетической сукцессии на техногенной территории в условиях Нижнего Дона // *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 6 (60). <https://doi.org/10.51419/202136610>
20. Jackson R.D. Old Fields: Dynamics and Restoration of Abandoned Farmland. *Ecological Restoration*. 2008;26(4):376-378. <https://doi.org/10.3368/er.26.4.376>
21. Goga T., Feranec J., Bucha T., Rusnák M. et al. A review of the application of remote sensing data for abandoned agricultural land identification with focus on Central and Eastern Europe. *Remote Sensing*. 2019;11(23):2759. <https://doi.org/10.3390/rs11232759>
22. Бондаренко Е.Ю. Систематическая структура флоры антропогенно преобразованных экотопов низовий междуречья Днестр-Тилигул (Одесская область, Украина) // *Фиторазнообразия Восточной Европы*. 2017. Т. 11, № 2. С. 45-56. EDN: YRLLAV.
23. Rehoukova K., Tichy L., Prach K. Succession in abandoned fields: Chronosequence data verified by monitoring of semipermanent plots. *Journal of Vegetation Science*. 2024;35(5). <https://doi.org/10.1111/jvs.13303>
24. Нгуен Д.Х., Тишков А.А. Вторичные сукцессии и структура тропических муссонных ландшафтов Центрального Вьетнама // *Известия Российской академии наук*. 2021. Т. 85, № 1. С. 59-69. <https://doi.org/10.31857/S2587556621010088>
25. Mendes C., Dias E., Rochefort L., Azevedo J. Regenerative succession of Azorean peatlands after grazing: vegetation path to self-recovery. *Wetlands Ecology and Management*. 2020;28(4):675-692. <https://doi.org/10.1007/s11273-019-09701-3>
15. Privalova E.G. A few representatives of Asteroidae (Asteraceae) subfamily and Geranium (Geraniaceae) genus in the Baikal Region (Review). *Pharmacy & Pharmacology*. 2021;9(6):426-440. (In Russ.) <https://doi.org/10.19163/2307-9266-2021-9-6-426-440>
16. Antipova E.M. Methodical issues of flora geographical element allocation in the Central Siberia forest-steppe ecosystems. *Bulletin of KSAU*. 2012;(3(66)):78-84. (In Russ.)
17. Aliev I.N., Voronina V.P., Khamarova Z.K. Secondary succession in the quarries of the North Caucasus. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2023;(1(69)):21-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-01-02>
18. Ozaryan Yu.A., Bubnova M.B., Usikov V.I. Technique of remote monitoring of natural-technical systems (in terms of the mining areas of in south of Russia's Far East). *Gorniy zhurnal*. 2020;(2):84-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2020.02.13>
19. Kumacheva V.D. Restoration of vegetation cover during ecogenetic succession in a technogenic area under the conditions of the Lower Don. *AgroEcoInfo*. 2023;(6(60)). (In Russ.) <https://doi.org/10.51419/202136610>
20. Jackson R.D. Old Fields: Dynamics and Restoration of Abandoned Farmland. *Ecological Restoration*. 2008;26(4):376-378. <https://doi.org/10.3368/er.26.4.376>
21. Goga T., Feranec J., Bucha T., Rusnák M. et al. A review of the application of remote sensing data for abandoned agricultural land identification with focus on Central and Eastern Europe. *Remote Sensing*. 2019;11(23):2759. <https://doi.org/10.3390/rs11232759>
22. Bondarenko E.Yu. The systematical structure of anthropogenically transformed ecotopes flora of lower reaches between the revers Dniester – Tiligul (Odessa Region, Ukraine). *Phytodiversity of Eastern Europe*. 2017;11(2):45-56. (In Russ.)
23. Rehoukova K., Tichy L., Prach K. Succession in abandoned fields: Chronosequence data verified by monitoring of semi-permanent plots. *Journal of Vegetation Science*. 2024;35(5). <https://doi.org/10.1111/jvs.13303>
24. Nguyen D., Tishkov A.A. Secondary successions and structure of monsoon tropical landscapes in Central Vietnam. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2021;85(1):59-69. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2587556621010088>
25. Mendes C., Dias E., Rochefort L., Azevedo J. Regenerative succession of Azorean peatlands after grazing: vegetation path to self-recovery. *Wetlands Ecology and Management*. 2020;28(4):675-692. <https://doi.org/10.1007/s11273-019-09701-3>

26. Makelele I.A. *Ecology and biogeochemistry of secondary succession in a central African lowland forest*. Ghent, Belgium: Ghent University. Faculty of Bioscience Engineering, 2022:113.
27. Гальцева Е.В., Смолянинов В.М., Шмыков В.И. Изучение природных условий и антропогенного воздействия на земельные ресурсы при проведении ландшафтно-экологического землеустройства на правом берегу Дона в пределах Воронежской области // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2012. № 2 (33). С. 304-310. EDN: RWLXXN
28. Голеусов П.В., Польшина М.А., Артищев В.Е. Тренды развития постселитебных геосистем Центрально-Черноземного региона // *VIII Международная научная конференция «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях»*. 22-25 октября 2019 г. Белгород: Издательский дом «Белгород», 2019. С. 43-46. EDN: RWSZDS
26. Makelele I.A. *Ecology and biogeochemistry of secondary succession in a central African lowland forest*. Ghent, Belgium: Ghent University. Faculty of Bioscience Engineering, 2022:113.
27. Galtseva E.V., Smolyaninov V.M., Shmykov V.I. Study of natural conditions and anthropogenic impact on land resources in carrying out landscape-ecological land management on the right bank of the Don River within the boundaries of the Voronezh Region. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2012;(2(33)):304-310. (In Russ.)
28. Goleusov P.V., Polshina M.A., Artishchev V.E. Development trends of post-settlement geosystems of the Central Black Earth region. *VIII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya 'Problemy prirodopolzovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeyskoy Rossii i na sopredelnykh territoriyakh. October 22-25, 2019*. Belgorod, Russia: Izdatelskiy dom "Belgorod", 2019:43-46. (In Russ.)

Сведения об авторах

Павел Вячеславович Голеусов, доктор географических наук, доцент, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра НИУ «БелГУ», Белгородский государственный национальный исследовательский университет; 308015, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Победы, 85; e-mail: goleusov@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9882-8142>

Марина Александровна Польшина, кандидат географических наук, начальник отдела инновационного развития РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; доцент кафедры природопользования и земельного кадастра НИУ «БелГУ», Белгородский государственный национальный исследовательский университет; 308015, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Победы, 85; e-mail: polshina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0363-1556>

Ирина Сергеевна Гудова, обучающийся 2-го курса магистратуры Института наук о Земле, кафедра природопользования и земельного кадастра НИУ «БелГУ», Белгородский государственный национальный исследовательский университет; 308015, Российская Федерация, г. Белгород, ул. Победы, 85; e-mail: gudowairina@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-8218-1235>

Information about the authors

Pavel V. Goleusov, Dsc (Geog), Associate Professor, Professor at the Department of Nature Management and Land Cadastre of National Research University "BelGU", Belgorod National Research University; 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russian Federation; e-mail: goleusov@bsuedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9882-8142>

Marina A. Polshina, Csc (Geog), Head of Innovative Development Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; Associate Professor at the Department of Nature Management and Land Cadastre of National Research University "BelGU", Belgorod National Research University; 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russian Federation; e-mail: polshina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0363-1556>

Irina S. Gudova, 2nd year Master's student of the Institute of Earth Sciences, Department of Nature Management and Land Cadastre of National Research University "BelGU", Belgorod National Research University; 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russian Federation; e-mail: gudowairina@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-8218-1235>

Статья поступила в редакцию 23.02.2025
Одобрена после рецензирования 05.03.2025
Принята к публикации 12.03.2025

The article was submitted to the editorial office
February 23, 2025
Approved after reviewing March 05, 2025
Accepted for publication March 12, 2025

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Оригинальная научная статья
УДК 633.11: 631.559.2: 631.811.1:631.841.7
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-03>



Промежуточные результаты изучения влияния капсулированного карбамида на урожайность и эффективность использования азота яровой пшеницей

Дарья Андреевна Баюрина, Всеволод Михайлович Лапушкин

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

Автор, ответственный за переписку: Всеволод Михайлович Лапушкин; lapushkin@rgau-msha.ru

Аннотация

Применение азотных удобрений сопряжено с существенными потерями азота, в результате чего коэффициент его использования в полевых условиях редко превышает 50%. Капсулирование удобрений способно снизить непроизводительные потери азота, повысить коэффициент его использования и урожайность сельскохозяйственных культур. В статье приведены промежуточные результаты многолетних исследований эффективности капсулированного карбамида. В условиях полевого опыта на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве показано, что применение мочевины с минеральным покрытием гранул обеспечивало более высокий уровень азотного питания растений. Это способствовало повышению урожайности яровой пшеницы на 6-12% относительно обычного удобрения, увеличению хозяйственного выноса азота на 6-11% и коэффициента использования азота на 8-16%. В модельном лабораторном опыте установлено, что при поверхностном применении мочевины потери аммиака на 3-5-е сутки снижались на 27-17% на кислой почве и на 63-38% – на известкованной, и как следствие – содержание минеральных форм азота в почве при применении карбамида с покрытием было выше на 28-30%.

Ключевые слова

яровая пшеница, карбамид, мочевина, урожайность, коэффициент использования, вынос, аммонификация, нитрификация, потери азота

Благодарности

Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Для цитирования

Баюрина Д.А., Лапушкин В.М. Промежуточные результаты изучения влияния капсулированного карбамида на урожайность и эффективность использования азота яровой пшеницей // *Тимирязевский биологический журнал*. 2025. Т. 3, № 1. С. 202531103. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-03>

BYOLOGICAL RESOURCES

Research article
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-03>



Interim results of the study of the effect of coated urea on yield and nitrogen use efficiency of spring wheat

Darya A. Bayurina, Vsevolod M. Lapushkin

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

Corresponding author: Vsevolod M. Lapushkin; lapushkin@rgau-msha.ru

Abstract

Nitrogen fertilizer use is often accompanied by significant nitrogen losses, resulting in a field-level utilization coefficient that rarely exceeds 50%. Fertilizer encapsulation offers a strategy to reduce these unproductive nitrogen losses, potentially increasing both the utilization coefficient and crop yields. This article presents interim results from long-term studies evaluating the effectiveness of coated urea. A field experiment conducted on sod-podzolic light loamy soil demonstrated that urea with a mineral coating enhanced nitrogen nutrition in plants. This resulted in a 6-12% increase in spring wheat yield

compared to conventional fertilizer, a 6-11% increase in economic nitrogen removal, and an 8-16% increase in the nitrogen utilization coefficient. A model laboratory experiment revealed that surface application of coated urea reduced ammonia losses by 27-17% on acidic soil and by 63-38% on limed soil during the 3rd-5th day after application. Consequently, the content of mineral nitrogen forms in the soil was 28-30% higher when using coated urea.

Keywords

spring wheat, urea, carbamide, yield, utilization coefficient, removal, ammonification, nitrification, nitrogen losses

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

Acknowledgments

This work was funded by the special project of University development within “Strategic Academic Leadership Program ‘Priority 2030.’”

For citation

Bayurina D.A., Lapushkin V.M. Interim results of the study of the effect of coated urea on yield and nitrogen use efficiency of spring wheat. *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531103. <http://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-03>

Введение

Introduction

Азотные удобрения стабильно занимают лидирующие позиции по объемам производства и применения как в мире, так и в нашей стране. По данным Российской ассоциации производителей удобрений (РАПУ), на долю азотных удобрений в 2023 г. приходилось 48% (12,5 млн т д.в.) [1]. Карбамид, или мочеви́на, является самым распространенным азотным удобрением в мире, на ее долю приходится около 50% всего внесенного азота. В Китае, Индии и Бразилии она занимает 1-е место по применению, в США несколько уступает жидкому аммиаку и карбамидно-аммиачным смесям, а в европейских странах и в России уступает аммиачной селитре [2]. В нашей стране ее ежегодное производство в среднем за последние 5 лет составляло 8,8 млн т в физическом весе и уступало только аммиачной селитре (10,4 млн т) [1].

Стабильная в обычных условиях мочеви́на при внесении в почву, под действием фермента уреазы, подвергается гидролизу и превращается в углекислый аммоний, который, являясь химически неустойчивым соединением, разлагается до бикарбоната аммония и газообразного аммиака. В щелочных почвах дальнейшему разложению может подвергаться и бикарбонат аммония. Таким образом, применение карбами́да может сопровождаться существенными потерями газообразного аммиачного азота, которые, по данным некоторых исследователей, могут достигать 60% и более [3, 4]. В среднем при обычных способах предпосевного внесения карбами́да глубина заделки основной массы удобрения не превышает 5-6 см, что согласно данным литературы является недостаточным для полного поглощения выделяющегося аммиака почвенными коллоидами [5, 6]. Поэтому потери азота в форме аммиака в среднем оцениваются почти в 15-40% [3, 6, 7]. Особенно большие потери аммиака наблюдаются при поверхностном внесении

карбами́да, в условиях повышенных температур, в почвах с щелочной реакцией среды, а также при известковании [4, 6, 8].

Также образовавшийся аммонийный азот подвергается нитрификации с образованием азотной кислоты, а в дальнейшем – и денитрификации, в результате которой в атмосферу улетучиваются газообразный азот (N_2) и его оксиды (N_2O , NO), что приводит к потерям и снижению эффективности азотных удобрений [7]. В целях снижения потерь азота и повышения эффективности применения карбами́да в настоящее время выпускают стабилизированную ингибиторами уреазы и нитрификации мочеви́ну. По данным ряда авторов, применение ингибиторов нитрификации обеспечивает прибавку урожайности различных культур – от 6 до 62% [3, 4, 9-12]. Использование ингибиторов уреазы позволяет существенно снизить газообразные потери аммиака и на 6-13% увеличить потребление азота сельскохозяйственными культурами [4, 9, 10, 12].

Наиболее современным способом повышения эффективности применения азотных удобрений является их капсулирование [12-16]. Нанесение на поверхность гранул различных покрытий, в зависимости от их состава и толщины, позволяет варьировать скоростью высвобождения элементов питания из состава удобрения, оптимизировать минеральное питание растений в отдельные фазы развития и обеспечить прирост урожайности различных сельскохозяйственных культур на 5-15% [12, 13, 15-17].

Целью работы стала оценка эффективности применения капсулированного карбами́да при выращивании яровой пшеницы. В задачи исследований входило: в условиях полевого опыта изучить динамику формирования биомассы и обеспеченности растений азотом; оценить влияние капсулированного карбами́да на урожай зерна яровой пшеницы; определить вынос элементов питания урожаем и коэффициенты использования азота из удобрений; в условиях лабораторного опыта оценить

размеры газообразных потерь аммиака и динамику содержания минерального азота в почве при поверхностном внесении карбамида.

Методика исследований

Research method

Исследования проводили в условиях мелко-деляночного полевого опыта на полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Почва опытного участка – дерново-подзолистая легкосуглинистая, ее агрохимическая характеристика представлена в таблице 1.

В полевом опыте действие карбамида с минеральным покрытием на основе ортофосфата кальция толщиной 50 и 100 мкм, произведенного АО НИУФ имени профессора Я.В. Самойлова [16], и карбамида с полимерным покрытием Ruscote сравнивали с действием обычной мочевины. Схема опыта состояла из 5 вариантов, эффективность удобрений изучали на фоне внесения небольшого количества фосфора в форме монокальцийфосфата для компенсации фосфора, внесенного в состав минерального покрытия: 1. Фон (P); 2. Фон + Nm – мочевина без покрытия; 3. Фон + Nm 50 мкм – мочевина с минеральным покрытием МКФ (монокальцийфосфат) толщиной 50 мкм; 4. Фон + Nm 100 мкм – мочевина с минеральным покрытием МКФ толщиной 100 мкм; Фон + Nm Ruscote – мочевина с полимерным покрытием. Общая площадь делянки – 1,96 м², учетная – 1,44 м², повторность опыта – 5-кратная.

Внесение и заделку удобрений в почву осуществляли вручную 15 мая из расчета 9 г азота на 1 м² (90 кг/га). Ввиду дополнительного поступления фосфора в состав минеральной оболочки гранул все варианты опыта были выровнены по внесению P₂O₅ 5,2 г/м² – путем внесения однозамещенного фосфата кальция. Посев проводили селекционной сеялкой 16 мая, убирали урожай вручную в фазе восковой спелости 5 августа. Опытная культура – пшеница яровая (*Triticum aestivum* L.) сорта Любава.

В течение вегетации отбирали растительные и почвенные образцы для проведения диагностики азотного питания [18, 19]. Химические анализы проводили по общепринятым методикам.

Лабораторные опыты по изучению размеров газообразных потерь аммиачного азота и превращения карбамида в почве проводили на кафедре агрономической, биологической химии и радиологии на кислой и известкованной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Опыты проводили в герметичных сосудах, в которые помещали навеску почвы и удобрения из расчета 150 мг N/кг и компостировали в течение 3, 5 и 7 суток при температуре +20°C. Выделившийся аммиак улавливали 0,01 н раствором серной кислоты и оттитровывали 0,01 н раствором гидроксида натрия. В этих же образцах определяли содержание аммонийного и нитратного азота фотометрическими методами.

Результаты полевого опыта обрабатывали методом однофакторного дисперсионного анализа с использованием MS Excel.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы

Гумус	pH _{KCl}	Hг	S	T	V	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{мин}
%	–	мг-экв/100 г			%	мг/кг		
ГОСТ 26213-2021	ГОСТ 26483-85	ГОСТ 26212-2021	ГОСТ 27821-2020	–	–	ГОСТ Р 54650-2011		ГОСТ 26489-85 ГОСТ 26951-86
3,01	5,22	2,49	11,2	13,7	82	317	122	27

Table 1

Agrochemical characteristics of sod-podzolic light loamy soil

Organic carbon (C)	pH _{KCl}	Ha	S	T	V	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{min}
%	–	cmol _c kg ⁻¹			%	mg kg ⁻¹		
State standard 26213-2021	State standard 26483-85	State standard 26212-2021	State standard 27821-2020	–	–	State standard 54650-2011		State standard 26489-85 26951-86
3.01	5.22	2.49	11.2	13.7	82	317	122	27

Погодные условия в период проведения исследований несколько отличались от среднеемноголетних значений (табл. 2). Среднесуточная температура воздуха почти на протяжении всего вегетационного периода пшеницы превышала среднеемноголетнюю примерно на 3°C, за исключением второй декады мая, третьей декады июля и первой декады августа. Самым теплым месяцем был июль, когда средняя температура воздуха составляла 22,4°C. Наименьшее значение среднесуточной температуры воздуха пришлось на вторую декаду

мая – 11,6°C, что меньше среднеемноголетних значений на 1,8°C.

После посева наблюдался существенный дефицит влаги: во II-III декадах мая сумма осадков была ниже среднеемноголетних данных на 70% (табл. 2). Июнь был самым влажным месяцем: сумма осадков составила 166 мм, что превышает среднеемноголетние значения в 2 раза. Таким образом, вегетационный период в 2024 г. оказался теплее на 17,1°C и более влажным на 73 мм по сравнению со средними многолетними показателями.

Таблица 2

Погодные условия в период проведения полевого опыта

Месяц	Декада	Среднесуточная температура, °C		Сумма осадков, мм	
		2024 г.	Среднеемноголетняя	2024 г.	Среднеемноголетняя
Май	II	11,6	13,4	4	18
	III	19,3	15,3	9	26
Июнь	I	20,1	16,2	51	23
	II	20,1	17,7	107	25
	III	20,0	18,4	8	30
Июль	I	24,2	19,0	29	24
	II	23,3	20,2	29	32
	III	19,8	20,3	35	27
Август	I	18,5	19,3	24	18

Table 2

Weather conditions during the field experiment

Month	Decade	Average daily temperature, °C		Total precipitation, mm	
		2024	Average perennial	2024	Average perennial
May	II	11.6	13.4	4	18
	III	19.3	15.3	9	26
June	I	20.1	16.2	51	23
	II	20.1	17.7	107	25
	III	20.0	18.4	8	30
July	I	24.2	19.0	29	24
	II	23.3	20.2	29	32
	III	19.8	20.3	35	27
August	I	18.5	19.3	24	18

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Во время проведения полевого опыта в основные фазы развития растений отбирали растительные образцы для учета темпов накопления биомассы яровой пшеницей. Как следует из результатов (рис. 1), преимущество капсулированных удобрений проявлялось в большей мере в фазу колошения-цветения, когда наблюдается максимальный период питания и накопления сухого вещества.

Биомасса растений в фазу колошения-цветения в вариантах с минеральными покрытиями была на 32-49% выше относительно обычного карбамида, что могло явиться следствием того, что между фазами выхода в трубку и колошения-цветения происходило наибольшее потребление азота растениями из удобрений. Данное предположение подтверждается результатами почвенной

и растительной (тканевой и фотометрической) диагностики азотного питания растений (табл. 3).

Результаты почвенной диагностики показали, что обеспеченность растений минеральным азотом в фазе колошения в вариантах с применением удобрений с минеральными покрытиями была выше на 64% по сравнению с обычной мочевиной. Несмотря на то, что в варианте с применением карбамида с полимерным покрытием содержание азота было заметно выше, он, по всей видимости, не был доступен для растений, что подтверждается результатами тканевой и фотометрической диагностики. Наиболее высокая обеспеченность растений азотом, по данным растительной диагностики, наблюдалась в варианте с внесением карбамида с покрытием фосфатом кальция толщиной 100 мкм.

Результаты корреляционного анализа показали, что наиболее тесная связь отмечалась между урожайностью и содержанием в растениях нитратного азота ($r = 0,87-0,94$).

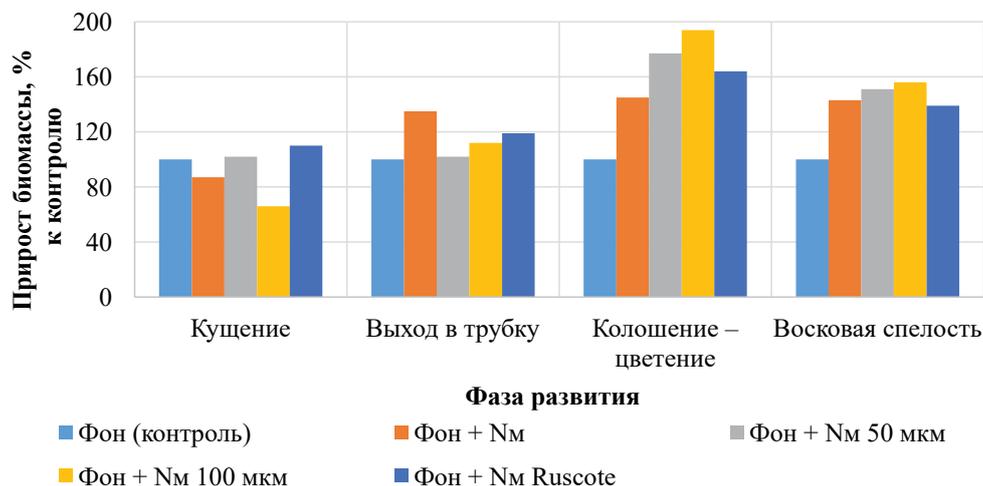


Рис. 1. Темпы накопления биомассы растениями яровой пшеницы при применении разных форм карбамида

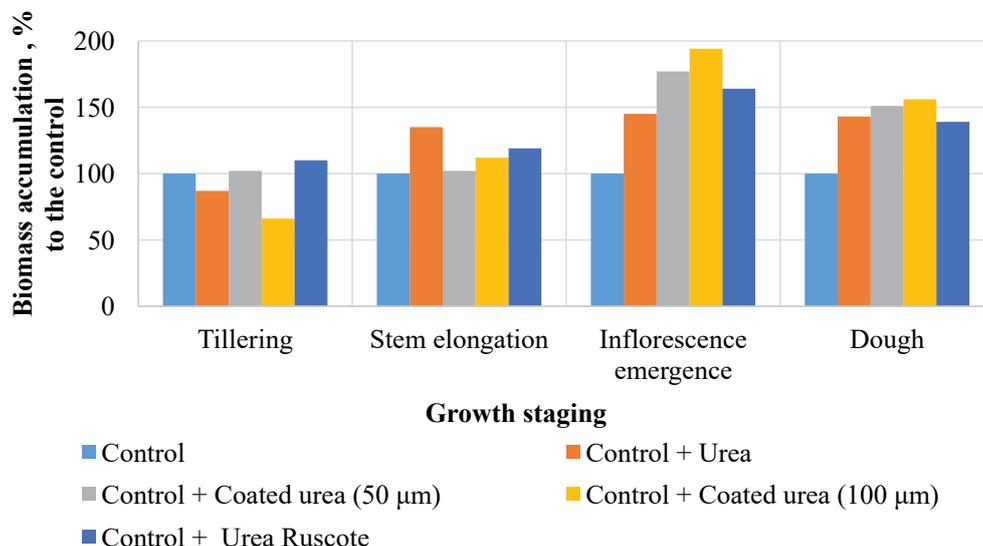


Fig. 1. Rates of biomass accumulation by spring wheat plants when using different forms of urea

Таблица 3

Обеспеченность растений азотом в течение вегетации

Вариант	Содержание азота в слое почвы 0-20 см			Результаты растительной диагностики					
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N _{мин}	Кушение	Выход в трубку	Колошение	Кушение	Выход в трубку	Колошение
	мг/кг			Баллы по Церлинг			N- тестер		
Фон	7	7	13	1,3	0,7	0,3	322	291	324
Фон + NМ	7	7	14	3,0	2,8	1,8	308	306	417
Фон + NМ 50 мкм	12	12	23	3,0	2,8	1,8	358	350	390
Фон + NМ 100 мкм	11	13	23	3,0	3,0	2,0	372	353	439
Фон + NМ Ruscote	26	8	33	1,8	1,2	1,1	310	330	360
r*	0,17	0,71	0,41	0,89	0,87	0,94	0,52	0,84	0,79

r* – коэффициент корреляции между показателем и урожайностью яровой пшеницы.

Table 3

Provision of plants with nitrogen during the growing season

Treatments	Nitrogen content in the soil			Results of plant diagnostics					
	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	N _{min}	Tillering	Stem elongation	Inflorescence emergence	Tillering	Stem elongation	Inflorescence emergence
	mg kg ⁻¹			Zerling scores			N- tester		
Control	7	7	13	1.3	0.7	0.3	322	291	324
Control + Urea	7	7	14	3.0	2.8	1.8	308	306	417
Control + Coated urea (50 μm)	12	12	23	3.0	2.8	1.8	358	350	390
Control + Coated urea (100 μm)	11	13	23	3.0	3.0	2.0	372	353	439
Control + Urea Ruscote	26	8	33	1.8	1.2	1.1	310	330	360
r*	0.17	0.71	0.41	0.89	0.87	0.94	0.52	0.84	0.79

r – correlation coefficient between the indicator and the spring wheat yield

Результаты учета структуры урожая показали, что азотные удобрения способствовали увеличению длины растений и колосьев на 8-13 и 16-28%, соответственно. Масса колоса возрастала на 49-70%, а масса зерна с одного колоса – на 51-73%, при этом число зерен с колоса увеличилось на 32-47%. Азотные удобрения во всех вариантах дали достоверную прибавку урожая зерна яровой пшеницы относительно фонового варианта, и их применение способствовало повышению урожайности в 1,4-1,6 раза (табл. 4).

Использование минерального покрытия на карбамиде с толщиной покрытия 50 мкм способствовало увеличению числа продуктивных стеблей на 8%, и как следствие – получению достоверной прибавки урожайности относительно варианта с классической мочевиной. Применение более толстого покрытия (100 мкм) не приводило к повышению эффективности удобрения. Покрытие гранул карбамида монокальцийфосфатом обеспечило получение прибавки урожая зерна на 6-12% относительно обычного карбамида.

На основе содержания элементов питания в растениях был рассчитан их вынос зерном и соломой. Соотношение элементов питания в выносе соответствовало средним значениям для яровой пшеницы: 2,5-3: 1: 1,5-2,2, что говорит о сбалансированности минерального питания. Нанесение минеральных покрытий на карбамид увеличивало хозяйственный вынос азота на 7-11% (табл. 5), причем наибольший вынос наблюдается в варианте с покрытием 50 мкм.

Рассчитанный на основе хозяйственного выноса питательных веществ коэффициент использования азота показал, что эффективность усвоения азота из состава удобрений с минеральным покрытием была на 8 и 16% выше, соответственно, для толщины 50 и 100 мкм.

Из данных литературы следует, что размеры потерь аммиака при применении карбамида возрастают на щелочных и известкованных почвах [2, 4, 6]. Поэтому в лабораторном опыте интенсивность выделения NH_3 изучали на кислой ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 4,34$) и известкованной ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,50$) дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (рис. 2).

В опыте на кислой дерново-подзолистой почве было установлено, что в первые 3, 5 и 7 суток эксперимента потери азота при применении капсулированного карбамида были на 27, 17, 18% ниже соответственно. На известкованной дерново-подзолистой почве снижение потерь азота при использовании минерального покрытия было более существенным и составляло 63, 38 и 5% соответственно.

Таблица 4

Влияние разных форм карбамида на формирование элементов структуры урожая яровой пшеницы

Вариант	Длина растения, см	Длина колоса, мм	Масса колоса, г	Масса зерна с 1 колоса, г	Озерненность колоса, шт.	Наземная масса, г/м ²	Масса зерна, г/м ²	Масса побочной продукции, г/м ²	Масса 1000 зерен, г
Фон	78	67	0,70	0,55	19	862	370	492	30,1
Фон + N _M	84	80	1,09	0,88	26	1133	528	606	34,6
Фон + N _M 50 мкм	86	84	1,13	0,91	25	1262	593	669	36,9
Фон + N _M 100 мкм	88	86	1,19	0,95	28	1178	559	619	34,2
Фон + N _M Ruscote	85	78	1,04	0,83	28	1072	504	568	29,9
НСР ₀₅	4	7	0,11	0,08	4	64	40	59	3,4

Table 4

Urea form effects on spring wheat crop structure

Treatments	Plant length, cm	Ear length, mm	Ear weight, g	Grain weight from one ear, g	Ear grain content, pcs	Above ground mass, g/m ²	Grain weight, g/m ²	Mass of straw, g/m ²	Thousand-kernel weight, g
Control	78	67	0.70	0.55	19	862	370	492	30.1
Control + Urea	84	80	1.09	0.88	26	1133	528	606	34.6
Control + Coated urea (50 μm)	86	84	1.13	0.91	25	1262	593	669	36.9
Control + Coated urea (100 μm)	88	86	1.19	0.95	28	1178	559	619	34.2
Control + Urea Ruscote	85	78	1.04	0.83	28	1072	504	568	29.9
LSD ₀₅	4	7	0.11	0.08	4	64	40	59	3.4

Таблица 5

Вынос элементов питания яровой пшеницей и коэффициент использования азота

Вариант	Хозяйственный вынос, г/м ²			Удельный вынос, кг/т			КИУН %
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Фон	8,5	3,6	6,1	23,0	9,7	16,5	–
Фон + N _M	14,2	5,8	8,6	26,9	11,0	16,3	64
Фон + N _M 50 мкм	15,7	6,2	10,2	26,5	10,5	17,2	80
Фон + N _M 100 мкм	15,0	6,3	9,0	26,8	11,3	16,1	72
Фон + N _M Ruscote	13,1	5,4	8,6	26,0	10,7	17,1	51

Table 5

Nutrient removal in spring wheat and nitrogen utilization rate

Treatments	Nutrient removal by harvest, g/m ²			Specific nutrient removal, kg/t			NUE %
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Control	8.5	3.6	6.1	23.0	9.7	16.5	–
Control + Urea	14.2	5.8	8.6	26.9	11.0	16.3	64
Control + Coated urea (50 μm)	15.7	6.2	10.2	26.5	10.5	17.2	80
Control + Coated urea (100 μm)	15.0	6.3	9.0	26.8	11.3	16.1	72
Control + Urea Ruscote	13.1	5.4	8.6	26.0	10.7	17.1	51

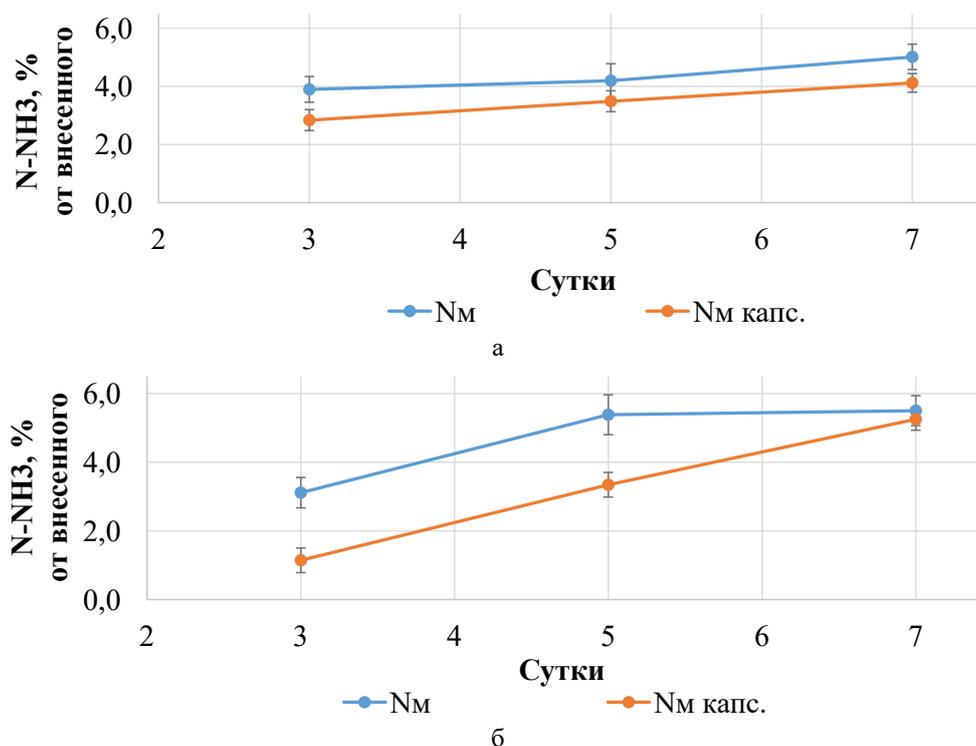


Рис. 2. Потери аммиачного азота на кислой (а) и известкованной (б) дерново-подзолистой почве при поверхностном внесении карбамида

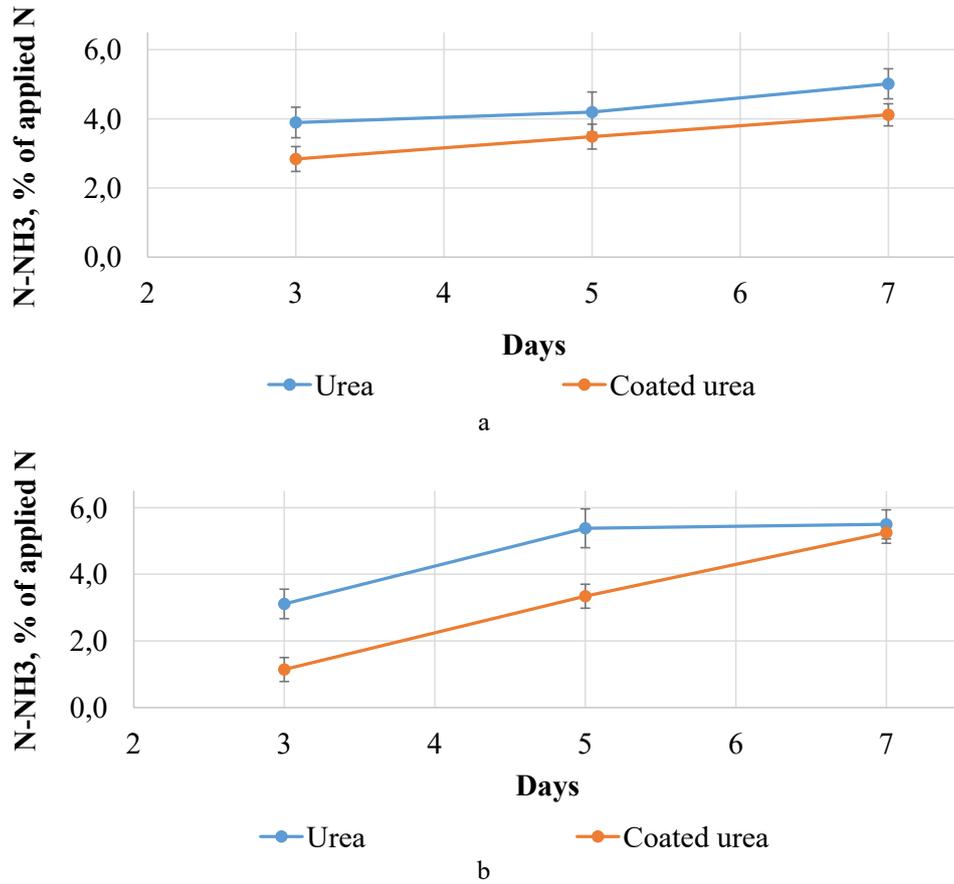


Fig. 2. Ammonia volatilization from urea on acidic (a) and limed (b) sod-podzolic soil

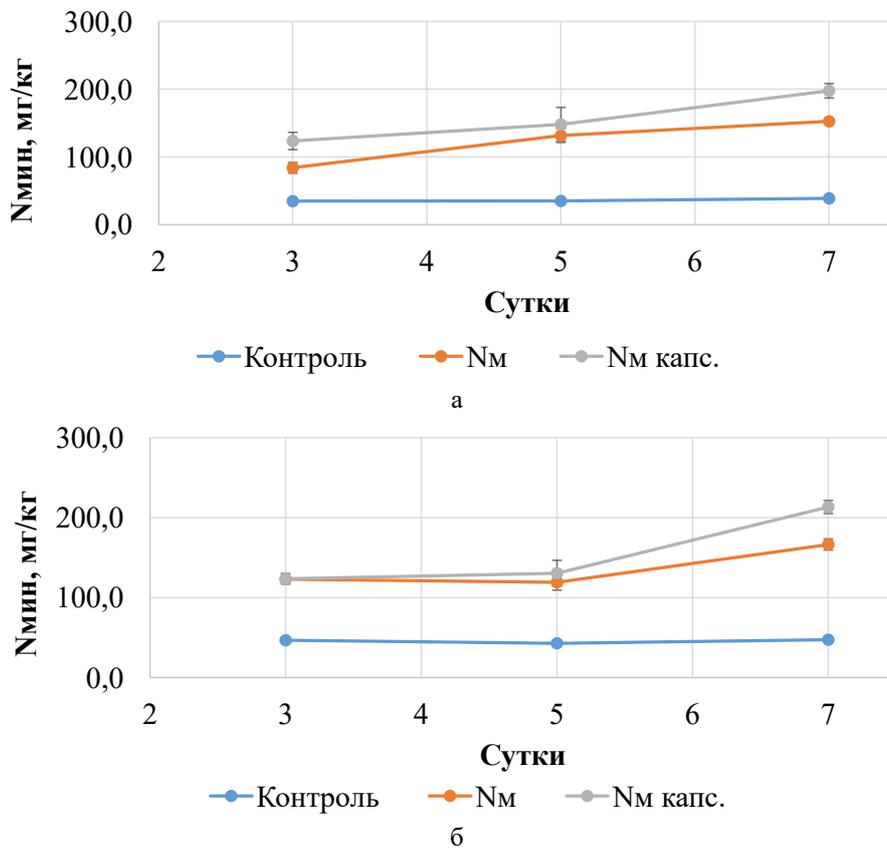


Рис. 3. Содержание минеральных форм азота в кислой (а) и известкованной (б) дерново-подзолистой почве при поверхностном внесении карбамида

Благодаря снижению газообразных потерь, содержание минеральных форм азота в почве было выше при применении капсулированного карбамида (рис. 3).

Как следует из представленных на рисунке 3 данных, после 7 суток компостирования содержание минерального азота в кислой почве было

на 30%, а в известкованной – на 28% выше при применении капсулированной мочевины. Это подтверждает результаты почвенной и растительной диагностики в полевом опыте и гипотезу о том, что данное покрытие способствует снижению потерь аммиака и сохранению в почве большего количества азота в доступной для растений форме.

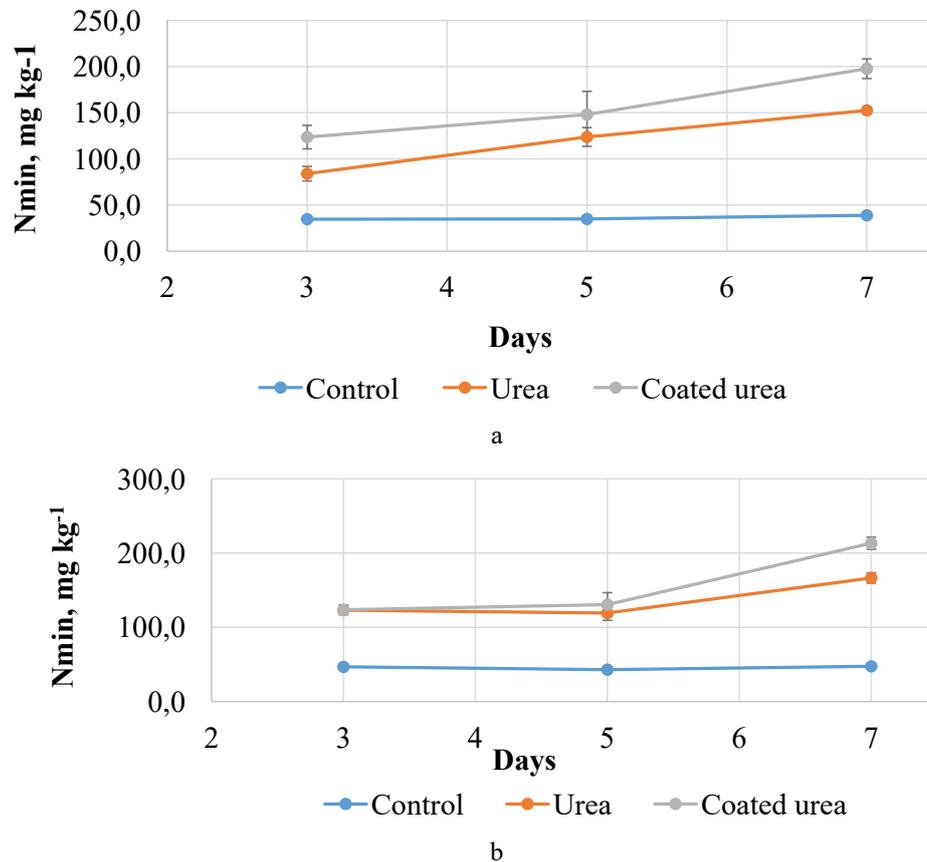


Fig. 3. Mineral nitrogen in acidic (a) and limed (b) sod-podzolic soil with surface application of urea

Выводы Conclusions

Таким образом, проведенные исследования показали, что покрытие гранул карбамида фосфатом кальция обеспечивало существенное снижение газообразных потерь азота удобрений в первые 3-5 суток на 17-63%, и как следствие – более высокое содержание минеральных форм азота в почве в течение вегетации, что подтверждается результатами почвенной и растительной

диагностики. Усиление азотного питания при применении мочевины с минеральным покрытием способствовало получению дополнительной прибавки урожайности до 12% относительно обычного карбамида. Нанесение минеральных покрытий на карбамид увеличивало хозяйственный вынос азота на 7-11% и повышало коэффициент использования азота на 8-16%, что говорит о более полном потреблении азота яровой пшеницей и высокой эффективности изучаемых удобрений.

Список источников

1. Российская ассоциация производителей удобрений (РАПУ). URL: <https://rapu.ru/analitics/> (дата обращения: 06.02.2025)

References

1. Russian Fertilizers Producers Association (RFPA). (In Russ.) URL: <https://rapu.ru/analitics/> (accessed: April 06, 2025)

2. International Fertilizer Association (IFA). URL: <https://www.fertilizer.org/> (дата обращения: 06.02.2025)
3. Маннхайм Т., Бергер Н. Удобрение культур стабилизированными азотными удобрениями // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2015. № 3. С. 28-30. EDN: RXSJDO
4. Pan B., Lam S.K., Mosier A., Luo Y. et al. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016;232:283-289. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.019>
5. Rochette P., MacDonald J.D., Angers D.A., Chantigny M.H. et al. Banding of urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *Journal of Environmental Quality*. 2009;38(4):1383-1390. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0295>
6. Визирская М.М., Аканова Н.И., Мамедов Г.М. Эффективность различных форм азотных удобрений в условиях неустойчивого увлажнения // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020. № 3. С. 9-12. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-13040>
7. Завалин А.А., Благовещенская Г.Г., Чернова Л.С., Шмырева Н.Я. Управление азотным питанием растений в почве // *Агрохимический вестник*. 2012. № 4. С. 38-40. EDN: PBEOKZ
8. Engel R., Romero C., Jones C. Ammonia loss and fertilizer ¹⁵N recovery in no-till winter wheat following broadcast urea application. *Crops & Soils*. 2017;50 (4):30-33. <https://doi.org/10.2134/cs2017.50.0406>
9. Abalos D., Jeffery S., Sanz-Cobena A., Guardia G. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014;189:136-144. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036>
10. Linquist B.A., Liu L.J., van Kessel C., van Groenigen K.J. Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: meta-analysis of yield and nitrogen uptake. *Field Crops Research*. 2013;154:246-254. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.014>
11. Pasda G., Hähndel R., Zerulla W. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biology and Fertility of Soils*. 2001;34:85-97. <https://doi.org/10.1007/s003740100381>
12. Trenkel M.E. *Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture*. Paris, France: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2010:163.
13. Лапушкин В.М., Игралиев Ф.Г., Лапушкина А.А., Торшин С.П. и др. Эффективность новых форм NPK-удобрений с замедленным и регулируемым высвобождением питательных веществ при выращивании
2. International Fertilizer Association (IFA). URL: <https://www.fertilizer.org/> (accessed: April 06, 2025)
3. Mannheim T., Berger N. Fertilizing crops with stabilized nitrogen fertilizers. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2015;(3):28-30. (In Russ.)
4. Pan B., Lam S.K., Mosier A., Luo Y. et al. Ammonia volatilization from synthetic fertilizers and its mitigation strategies: a global synthesis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2016;232:283-289. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.019>
5. Rochette P., MacDonald J.D., Angers D.A., Chantigny M.H. et al. Banding of urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *Journal of Environmental Quality*. 2009;38(4):1383-1390. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0295>
6. Vizirskaya M.M., Akanova N.I., Mamedov G.M. Effectiveness of various forms of nitrogen fertilizers in conditions of unstable hydration. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*. 2020;(3):9-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-13040>
7. Zavalin A.A., Blagoveshchenskaya G.G., Chernova L.S., Shmyreva N.Ya. Management of plant nitrogen nutrition in soil. *Agrochemical Herald*. 2012;(4):38-40. (In Russ.)
8. Engel R., Romero C., Jones C. Ammonia loss and fertilizer ¹⁵N recovery in no-till winter wheat following broadcast urea application. *Crops & Soils*. 2017;50 (4):30-33. <https://doi.org/10.2134/cs2017.50.0406>
9. Abalos D., Jeffery S., Sanz-Cobena A., Guardia G. Meta-analysis of the effect of urease and nitrification inhibitors on crop productivity and nitrogen use efficiency. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014;189:136-144. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.03.036>
10. Linquist B.A., Liu L.J., van Kessel C., van Groenigen K.J. Enhanced efficiency nitrogen fertilizers for rice systems: meta-analysis of yield and nitrogen uptake. *Field Crops Research*. 2013;154:246-254. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.08.014>
11. Pasda G., Hähndel R., Zerulla W. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. *Biology and Fertility of Soils*. 2001;34:85-97. <https://doi.org/10.1007/s003740100381>
12. Trenkel M.E. *Slow- and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture*. Paris, France: International Fertilizer Industry Association (IFA), 2010:163.
13. Lapushkin V.M., Igraliev F.G., Lapushkina A.A., Torshin S.P et al. Efficiency of new forms of NPK-fertilizers with delayed and controlled release of nutrients when growing spring wheat on sod-podzolic

- яровой пшеницы на дерново-подзолистой почве // *Агрохимия*. 2023. № 2. С. 29-35. <https://doi.org/10.31857/S0002188123020096>
14. Козел Е.Г. Получение капсулированных с ингибиторами форм мочевины и их влияние на активность уреазы и содержание азота в почве // *Инновации и инвестиции*. 2019. № 10. С. 221-225. EDN: EOHNSUT
15. Козел Е.Г. Эффективность применения медленнодействующих форм мочевины на выщелоченных черноземах Северной лесостепи Тюменской области // *Инновации и инвестиции*. 2019. № 11. С. 191-195. EDN: MICENT
16. Патент 2776275 C1 (Российская Федерация): C05G 3/40. Способ получения удобрений с замедленным и контролируемым высвобождением питательных веществ / А.М. Норов, Д.А. Пагалешкин, П.С. Федотов, В.В. Соколов и др., 2022. EDN: FGZDKC
17. Раджабов А.К., Никитенко А.А., Лапушкин В.М. Особенности роста и питания саженцев яблони сорта Орлик в зависимости от способа выращивания и состава субстрата // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2017. № 6. С. 5-15. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2017-6-5-15>
18. Ромодина Л.В., Волобуева В.Ф., Лапушкин В.М. *Комплексная диагностика питания растений: Учебное пособие*. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 238 с. EDN: TZNTVH
19. *Методика фотометрической диагностики азотного питания зерновых и других культур* / Под ред. академика Россельхозакадемии В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2010. 32 с. EDN: UDUGZF
- soil. *Agrohimia*. 2023;2:29-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0002188123020096>
14. Kozel E.G. Preparation of urea forms encapsulated with inhibitors and their effect on urease activity and nitrogen content in soil. *Innovation & Investment*. 2019;10:221-225. (In Russ.)
15. Kozel E.G. Efficiency of application of slow-acting forms of urea on leached chernozems of the Northern forest-steppe of the Tyumen region. *Innovation & Investment*. 2019;11:191-195. (In Russ.)
16. Patent 2776275 C1 (Russian Federation): C05G 3/40. Method for obtaining fertilizers with delayed and controlled release of nutrients. Norov A.M., Pagaleshkin D.A., Fedotov P.S., Sokolov V.V. et al., 2022. (In Russ.)
17. Radzhabov A.K., Nikitenko A.A., Lapushkin V.M. Characteristics of growth and nutrition of apple seedlings (the Orlik variety) depending on cultivation methods and substrate composition. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2017;6:5-15. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2017-6-5-15>
18. Romodina L.V., Volobueva V.F., Lapushkin V.M. *Complex diagnostics of plant nutrition: a study guide*. Moscow, Russia: Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 2015:196. (In Russ.)
19. *Methodology of photometric diagnostics of nitrogen nutrition of grain and other crops*. Ed. by Academician of the Russian Academy of Agricultural Sciences V.G. Sychev. Moscow, Russia: VNIIA, 2010:32. (In Russ.)

Сведения об авторах

Дарья Андреевна Баюрина, студент 2 курса магистратуры, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: 0864579@mail.ru

Всеволод Михайлович Лапушкин, доцент, канд. биол. наук, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: lapushkin@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9773-2077>

Статья поступила в редакцию 15.02.2025
Одобрена после рецензирования 13.03.2025
Принята к публикации 20.03.2025

Information about the authors

Vsevolod M. Lapushkin, CSc (Bio), Associate Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: lapushkin@rgau-msha.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9773-2077>

Daria A. Bayurina, 2nd year Master's student, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: 0864579@mail.ru

The article was submitted to the editorial office February 15, 2025
Approved after reviewing March 13, 2025
Accepted for publication March 20, 2025

Оригинальная научная статья
УДК 674.032.16: 631.4 (470-25)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-04>



Состояние живого напочвенного покрова в насаждениях *Pinus sylvestris* L. национального парка «Лосиный остров»

Даниил Викторович Лежнев^{1,2}, Вера Александровна Меняева³

¹ Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

² Институт лесоведения Российской академии наук, с. Успенское, Россия

³ Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку:

Лежнев Даниил Викторович; lezhnev.daniil@yandex.ru

Аннотация

В рамках исследований для систематизации и учета растительного покрова на постоянных пробных площадях с произрастанием сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), расположенных на территории национального парка «Лосиный остров», составлен комплексный список сосудистых растений, включающий в себя более 50 видов, принадлежащих 44 родам из 28 семейств. Анализ видового состава показал, что на отдельных участках число видов варьирует от 13 до 25, и это свидетельствует о различиях в структуре растительных сообществ. Наиболее часто встречающимися видами являются *Carex pilosa* Huds., *Convallaria majalis* L. и *Fragaria vesca* L. (90% встречаемости), а наибольшее проективное покрытие – у *Oxalis acetosella* L. (до 70%). Анализ эколого-ценотических групп показал преобладание неморальных, луговых и нитрофильных видов. Индексы Жаккара и Шеннона свидетельствуют о высокой устойчивости и биоразнообразии растительных сообществ, при этом локальные изменения обусловлены особенностями среды. Анализ стратегий растений показал преобладание видов с конкурентными и рудеральными стратегиями. Это отражает адаптивность сообществ к условиям широколиственных лесов. В целом исследования демонстрируют богатство флоры, сложность структурных связей и экологическую гибкость растительных сообществ «Лосиного острова», а также служит основой для дальнейших научных работ по экологии растительных сообществ.

Ключевые слова

Лосиный остров, индекс Шеннона, индекс Жаккара, индекс Бергера-Паркера, индекс Пиелу, эколого-ценотические группы, эколого-ценотические стратегии, живой напочвенный покров, Москва, сосна обыкновенная, *Pinus sylvestris* L., насаждения сосны обыкновенной в городе Москве

Для цитирования

Лежнев Д.В., Меняева В.А. Состояние живого напочвенного покрова в насаждениях *Pinus sylvestris* L. национального парка «Лосиный остров» // Тимирязевский биологический журнал. 2025. Т. 3, № 1. С. 202531104. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-04>

ECOLOGY

Research article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-02>



State of living ground cover in *Pinus sylvestris* L. stands of the Losiny Ostrov National Park

Daniil V. Lezhnev^{1,2}, Vera A. Menyaeva³

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

² Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences, Uspenskoe village, Russia

³ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Corresponding author: Daniil V. Lezhnev; lezhnev.daniil@yandex.ru

Abstract

As part of this study, a comprehensive list of vascular plants was compiled to systematize and account for the vegetation cover on permanent observation plots within the Losiny Ostrov National Park. The list includes more than 50 species representing 44 genera and 28 families. Analysis of species composition revealed that species richness varied from 13 to 25 species across observation plots, indicating structural differences among plant communities. *Carex pilosa* Huds., *Convallaria majalis* L., and *Fragaria vesca* L. were the most frequently occurring species (90% occurrence), while *Oxalis acetosella* L. exhibited the highest projective cover (up to 70%). Analysis of ecocoenotic groups indicated a prevalence of nemoral, meadow, and nitrophilous species. Jaccard and Shannon indexes suggested high stability and biodiversity in these plant communities, with local variations attributed to environmental factors. An analysis of plant strategies revealed a dominance of species exhibiting competitive and ruderal strategies, reflecting the adaptability of these communities to broad-leaved forest conditions. In summary, this study highlights the floristic richness, complex structural relationships, and ecological flexibility of the plant communities within the Losiny Ostrov National Park, providing a foundation for further ecological research.

Keywords

Losiny Ostrov National Park, Shannon index, Jaccard index, Berger-Parker index, Pielou index, eco-cenotic groups, eco-cenotic strategies, living ground cover, Moscow, Scotch pine, *Pinus sylvestris* L., stands of *Pinus sylvestris* L. in Moscow

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

For citation

Lezhnev D.V., Menyaeva V.A. State of living ground cover in *Pinus sylvestris* L. stands of the Losiny Ostrov National Park. *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531104. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-1-04>

Введение

Introduction

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является важным элементом садово-паркового ландшафта. Она образует чистые и смешанные лесные насаждения и является одной из основных лесобразующих пород в Москве и Московской области [1, 2].

Москва является крупнейшей городской агломерацией России [3]. За последние десятилетия в городе отмечаются рост среднегодовой температуры, увеличение вегетационного периода и количества ливневых осадков, сопровождающихся экстремальными метеоусловиями. Повышение температуры создает угрозу для лесных экосистем через засуху, вспышки вредителей и пожары, что негативно сказывается на их продуктивности и устойчивости [4-6].

Лесопарки играют ключевую роль в улучшении качества воздуха, регулировании микроклимата и сохранении биоразнообразия в городских условиях для населения, что подчеркивает необходимость изучения городской растительности. Москва подвержена воздействию урбанизации и техногенному воздействию, что вызывает негативные изменения растительности и почв. Сохранение и исследование урбоэкосистем приобретает особую актуальность для поддержания экологического баланса и удовлетворения потребностей населения [7-11].

Национальный парк «Лосиный остров» входит в систему особо охраняемых природных территорий и занимает территорию в северо-восточной части Москвы, охватывает территории Мытищинского, Щелковского и Балашихинского районов в Московской области, примыкает к городам Мытищи, Королёв, Щёлково и Балашиха, которые находится за пределами МКАД. На его территории

расположен уникальный водно-болотный комплекс р. Яузы и ее притоков [12-14].

Площадь территории парка составляет 11600 га. В рамках Лосинового острова сохраняется режим, близкий к заповедному, что создает благоприятные условия для сохранения сложных сообществ. Территория парка относится к Мещерской физико-географической провинции, характеризующейся моренно-водно-ледниковыми равнинами. Моренная гряда служит водоразделом рек Яуза и Пехорка¹. В результате на территории сохраняются ценные природные ландшафты², а также обеспечиваются условия для проведения научных исследований, связанных с природоохранной деятельностью [15-16].

Национальный парк отличается высоким биоразнообразием: на его территории насчитывается около 880 видов растений включая редкие виды, занесенные в Красную книгу Москвы и Московской области, что подчеркивает его уникальность и важность для сохранения биологического разнообразия. В лесных насаждениях преобладают мягколиственные породы³ – такие, как *Betula pendula* Roth, *Tilia cordata* Mill. и *Quercus robur* L., а *P. sylvestris* занимает лишь 8% площади [17, 18].

В настоящее время, в условиях изменения климатических характеристик и высокого антропогенного воздействия, возрастает необходимость изучения живого напочвенного покрова (ЖНП) как одного из ключевых индикаторов состояния лесных экосистем. Это исследование позволяет оценить влияние внешних факторов на продуктивность и устойчивость лесных сообществ [19-21].

ЖНП – это постоянный компонент лесных экосистем, который чувствителен к внешним воздействиям. Его сохранение имеет важное значение для поддержания устойчивости лесных насаждений. Кроме того, он участвует в малых биокруговоротах элементов питания, что способствует сохранению экологического равновесия, ресурсосбережению и повышению стабильности фитоценозов. Сохранение и поддержание ЖНП являются ключевым фактором для устойчивого функционирования городских экосистем [22, 23].

Изучение структуры живого напочвенного покрова является важным для сохранения

биоразнообразия и понимания его роли в экологическом балансе, особенно в условиях быстрого изменения климата и антропогенного воздействия. Эти исследования помогают выявить ключевые виды и процессы, обеспечивающие устойчивость экосистем и их адаптацию к новым условиям [24, 25].

Данные исследования способствуют углублению понимания структуры живого напочвенного покрова, а также выявлению динамических изменений, вызванных воздействием внешних факторов. Полученные результаты имеют важное значение для разработки эффективных мер по охране и восстановлению природных ресурсов данного природного объекта. Кроме того, исследования позволят получить данные о состоянии природных сообществ парка, что способствует расширению теоретических и практических знаний в области экологических наук.

Цель исследований: изучить структурную организацию и биоразнообразие живого напочвенного покрова в насаждениях сосны обыкновенной в национальном парке «Лосиный остров».

Для комплексного изучения фитоценозов были поставлены следующие задачи:

- определить флористический состав, проективное покрытие и обилие живого напочвенного покрова;
- проанализировать распределение живого напочвенного покрова на эколого-ценотические группы по общему проективному покрытию;
- оценить биоразнообразие с использованием индекса разнообразия Шеннона;
- установить сходство и различие между изучаемыми растительными сообществами с использованием коэффициента Жаккара;
- рассчитать частоты встречаемости разных видов по индексу выравненности Пиелу;
- определить уровень гетерогенности среды с использованием индекса относительной значимости Бергера-Паркера;
- проанализировать распределение видов живого напочвенного покрова по спектру функциональных типов растений.

Методика исследований

Research method

В рамках данных исследований, проведенных с 2022 по 2023 гг., на территории национального парка осуществлялся сбор полевого материала. Работы проводились на 10 постоянных пробных площадках (ППП) с произрастанием сосны обыкновенной в вегетационный период растений. Данное число проб является оптимальным для получения данных, обработки информации и проведения полевых работ.

¹ Соколов В.Е. «Лосиный остров» // Заповедники СССР. Национальные парки и заказники / Ред. Е.Е. Сыроечковский. Москва: АРФ, 1996. С. 11-33.

² Лесохозяйственный регламент «Национальный парк «Лосиный остров»» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный парк «Лосиный остров»».

³ Лесной план Московской области на 2019-2028 годы. Кн. 1 / Правительство Московской области, Комитет лесного хозяйства Московской области: утв. Постановлением губернатора Московской области от 21 марта 2019 г. № 116-ПГ. Красногорск, 2018. 155 с.

Исследования осуществлялись в припе-
вающих, спелых и перестойных сосновых на-
саждениях. Размер пробных площадей варьиру-
ет от 0,25 до 0,40 га. Тип лесорастительных ус-
ловий – С₂, тип леса – сосняк сложный, класс бо-
нитета – I-II, полнота варьирует от 0,76 до 1,13.

Доля *P.sylvestris* в составе общего запаса древесины
составляет более 40%.

ППП располагаются близ Верхнеяузских бо-
лот и на территории Моренной равнины (рис. 1).
Различия в ландшафтных условиях отображаются
на структуре живого напочвенного покрова.

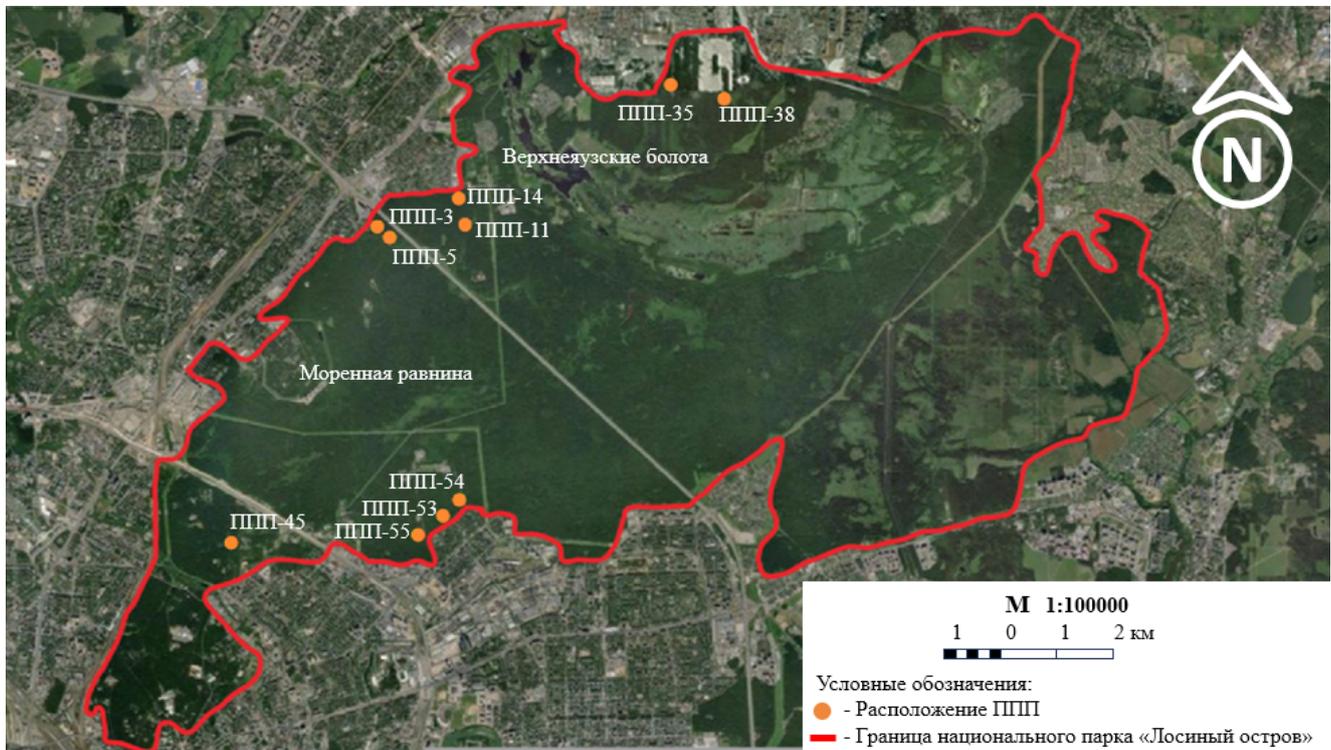


Рис. 1. Расположение объектов исследований на территории национального парка «Лосиный остров» (Источник: Яндекс Карты)

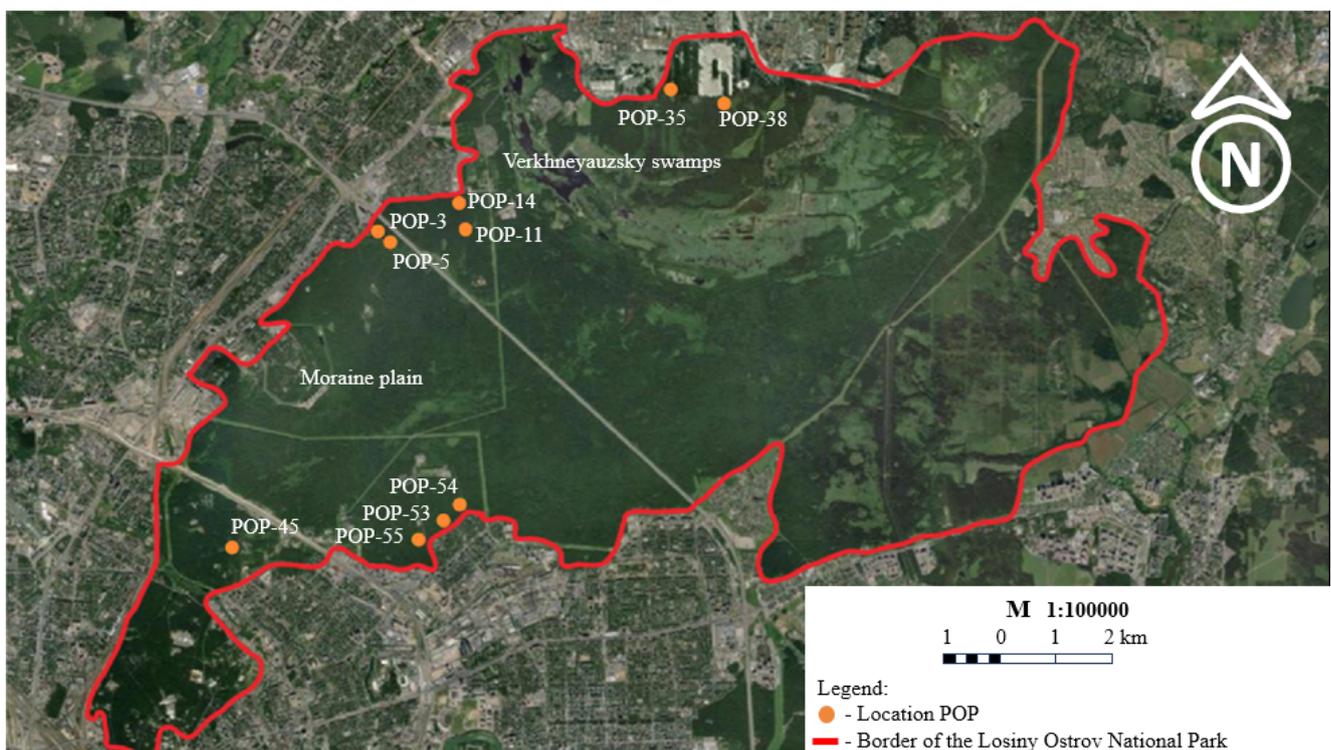


Fig. 1. Location of permanent observation plots (POPs) within the Losinyy Ostrov National Park (Source: YandexMaps)

На каждой исследуемой площади был проведен анализ флористического состава живого почвенного покрова, включающий в себя визуальную оценку разнообразия видов, определение общего проективного покрытия (ОПП) и расчет доли покрытия каждого вида по шкале Друде с последующим преобразованием в проценты⁴.

Названия сосудистых растений и их таксономическая принадлежность были указаны в соответствии со сводкой П.Ф. Маевского [26]. Для точной оценки экологического состояния выполнили анализ растительных сообществ по эколого-ценотическим группам (ЭЦГ) [27]. Классификация видов осуществлялась на основе данных базы «Флора сосудистых растений Центральной России», разработанной сотрудниками Института математических проблем биологии Российской академии наук (ИМПБ РАН) [28].

Для оценки видового разнообразия на исследуемых участках рассчитывался индекс Шеннона (табл. 1). Он показывает степень разнообразия: значение, равное 0, указывает на присутствие только одного вида, а максимальное значение достигается при равномерном участии всех видов сосудистых растений [29].

Для оценки равномерности распределения особей по видам использовался индекс выравнивания Пиелу [30], который помогает анализировать структуру растительных сообществ. В сочетании с другими показателями, например, индексом

Шеннона, он способствует более глубокому пониманию экосистемных процессов и биоразнообразия [31].

Дополнительно применялись и другие показатели. Так, индекс относительной значимости Бергера-Паркера (d) [32] использовался для оценки гетерогенности среды: он определяется как сумма проективных покрытий видов, у которых одинаковый балл по богатству почвы согласно экологическим шкалам Элленберга⁵. Рост значения индекса « d » свидетельствует о возрастании степени доминирования отдельных видов и снижении общего биоразнообразия.

Также для определения сходства растительных сообществ между объектами исследований рассчитывался индекс Жаккара (K_j). Этот показатель основан на сравнении видового состава и позволяет оценить степень их сходства [33].

На основе функциональных признаков характеризуются эколого-ценотические стратегии растений, которые отражают их генетическую обусловленность и сходство экологического поведения. Согласно классификации Грайма [34] выделяют 3 типа стратегий [35, 36]: конкуренты (С) – виды на богатых почвах с низким уровнем нарушений; стресс-толеранты (S) – виды, приспособленные к бедным почвам без нарушений, с низкой скоростью роста и долговечностью; рудералы (R) – виды, обитающие в условиях сильных нарушений, с высокой скоростью роста и коротким жизненным циклом.

Таблица 1

Индексы сходства, разнообразия, выравнивания и значимости растительных сообществ

№	Количественный показатель	Расчетная формула
1	Индекс Шеннона (H)	$H = -\sum_{i=0}^q pi \cdot \log pi$
2	Относительное участие вида (pi)	$pi = \frac{Ai}{A}$
3	Индекс Пиелу (J)	$J = \frac{H}{\log q}$
4	Индекс Бергера-Паркера (d)	$d = \frac{N \max}{N}$
5	Индекс Жаккара (K_j)	$K_j = \frac{N_{A+B}}{N_A + N_B - N_{A+B}}$

Примечание. q – число видов на площадке; pi – относительное участие вида i ; A_i – участие вида i ; A – сумма участия всех видов; N – общее число особей; N_{\max} – число особей самого обильного вида; N_{A+B} – число общих видов или жизненных форм в геоботанических описаниях A и B ; N_A и N_B – число видов или жизненных форм в геоботаническом описании A и B соответственно.

⁴Drude O. *Die Anwendung physiologischer Gesetze zur Erklärung der Vegetationslinien*. Göttingen: A. Breithaupt, 1876:33.

⁵Ellenberg. H. *Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas*. *Scripta geobotanica*. 1974;9:97.

Table 1

Indexes of similarity, diversity, evenness and significance of plant communities

№	Quantitative indicator	Calculation formula
1	Shannon Index (H)	$H = -\sum_{i=0}^q pi \cdot \log pi$
2	Relative abundance of species (pi)	$pi = \frac{Ai}{A}$
3	Pielou Index (J)	$J = \frac{H}{\log q}$
4	Berger-Parker Index (d)	$d = \frac{N \max}{N}$
5	Jaccard Index (K_j)	$K_j = \frac{N_{A+B}}{N_A + N_B - N_{A+B}}$

Note: q – number of species at the site, pi – relative abundance of species i , A_i – abundance of species i , A – total abundance of all species, N – total number of individuals, N_{\max} – number of individuals of the most abundant species, N_{A+B} – number of shared species or life forms in geobotanical descriptions A and B , N_A and N_B – number of species or life forms in geobotanical descriptions A and B , respectively.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

В ходе проведенных исследований в национальном парке «Лосиный остров» был оставлен комплексный список сосудистых растений, включающий в себя 51 вид сосудистых растений, принадлежащих 44 родам из 28 семейств (табл. 2). Количество видов варьирует от 13 видов (ППП-35) до 25 (ППП-55), что свидетельствует о различиях в структуре растительных сообществ. Виды *Carex pilosa* Huds., *Convallaria majalis* L. и *Fragaria vesca* L. обладают наибольшей встречаемостью на большинстве ППП (90%). Наибольшим проективным покрытием обладает *Oxalis acetosella* L. 70% на ППП 35 и 38, значительная распространённость вида свидетельствуют о стабильности и устойчивости данного растительного сообщества, а также о благоприятных условиях для его развития – таких, как умеренная влажность, достаточное освещение и плодородие почв.

ОПП растительного покрова варьирует от 60 до 90% и в среднем составляет $76 \pm 4\%$ (стандартная ошибка), что свидетельствует о высокой степени покрытой территории растительным покровом на всех исследуемых объектах. Для комплексной оценки структурного и эколого-ценотического разнообразия использовался показатель проективного покрытия каждого вида по соответствующим группам, что позволило получить более точное представление о доминирующих компонентах растительности (рис. 2).

По данным распределения по ЭЦГ можно сделать вывод о том, что на всех ППП присутствуют

виды неморальной, луговой и нитрофильной групп. На ППП-3, 11, 14, 35 и 38 большую часть проективного покрытия занимают виды бореальной группы, наибольшим проективным покрытием обладают *O. acetosella* (1-70%) и *Lamium album* L. (1-20%); на ППП-5, 45, 53, 54 и 55 неморальной группы наибольшим проективным покрытием обладают *Rubus idaeus* L. (1-20%), *Aegopodium podagraria* L. (1-32%), *Alliaria petiolata* (M. Bieb.) Cavara & Grande (1-20%) и *Glechoma hederacea* L. (1-30%). Значительное отличие в преобладании ЭЦГ связано с различными ландшафтными условиями. ППП с преобладанием бореальной группы располагаются близ территории Верхнеузских болот, а пробы с преобладанием неморальной группы находятся на Моренной равнине.

Анализ показателей индекса Жаккара (рис. 3) выявил, что ППП с номерами 3 и 38 (0,58), 11 и 14 (0,52), 45 и 53 (0,64), 53 и 54 (0,57), 53 и 55 (0,52), а также 54 и 55 (0,50) демонстрируют высокую степень сходства. Это свидетельствует о схожести экологических условий и факторов среды, способствующих формированию аналогичных растительных сообществ [37]. В большинстве случаев высокая степень сходства наблюдается у объектов, расположенных в непосредственной близости друг к другу. В то же время для остальных объектов индекс Жаккара ниже 0,50 указывает на низкую степень их сходства.

Проведено исследование растительных сообществ с использованием индекса разнообразия Шеннона, индекса равномерности Пielу, индекса значимости Бергера-Паркера (рис. 4).

**Проективное покрытие видов живого напочвенного покрова на ППП
 в национальном парке «Лосиный остров»**

Вид	ППП-3	ППП-5	ППП-11	ППП-14	ППП-35	ППП-38	ППП-45	ППП-53	ППП-54	ППП-55
Воронец колосистый <i>Actaea spicata</i> L.	5				1					
Сныть обыкновенная <i>Aegopodium podagraria</i> L.	1					1	32	15	20	20
Живучка ползучая <i>Ajuga reptans</i> L.	1				1	1	2	5	3	1
Чесночница черешковая <i>Alliaria petiolata</i> (M. Vieb.) Cavara & Grande	1						4	20		15
Купырь лесной <i>Anthriscus sylvestris</i> L.							<1	<1		<1
Лопух большой <i>Arctium lappa</i> L.										1
Копытень европейский <i>Asarum europaeum</i> L.	1	1	<1	2	5	1	5	3		
Кочедыжник женский <i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	1	1	<1		10	1			<1	
Вейник наземный <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth				1						
Осока волосистая <i>Carex pilosa</i> Huds.	1	1	<1	1	1	1	<1	0,5		<1
Осока лесная <i>Carex sylvatica</i> Huds.									4	
Чистотел большой <i>Chelidonium majus</i> L.	1					1	1			
Бодяк болотный <i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.			<1	1						
Ландыш майский <i>Convallaria majalis</i> L.	1	1		1	5	1	15	1	<1	5
Сабельник болотный <i>Comarum palustre</i> L.		1		1						
Щитовник картузианский <i>Dryopteris carthusiana</i> Vill.							<1			
Щитовник мужской <i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott		1	<1				3	2	1	<1

Продолжение табл. 2

Вид	ППП-3	ППП-5	ППП-11	ППП-14	ППП-35	ППП-38	ППП-45	ППП-53	ППП-54	ППП-55
Ежа сборная <i>Dactylis glomerata</i> L.				5						
Дремлик широколистный <i>Eripactis helleborine</i> L.										<1
Хвощ лесной <i>Equisetum sylvaticum</i> L.						10	<1			
Мелколепестник щетиный <i>Erigeron strigosus</i> H.L. Muhl. ex Willd.	1									
Овсяница луговая <i>Festuca pratensis</i> Huds.			2	3						
Земляника лесная <i>Fragaria vesca</i> L.	5	5	5	3	1	1	<1		<1	<1
Зеленчук желтый <i>Galeobdolon luteum</i> Huds.	1	10	2				3	1	3	
Гравилат лесной <i>Geum sylvaticum</i> Pourret		30								
Гравилат городской <i>Geum urbanum</i> L.	5				1		2	5	5	2
Будра плющевидная <i>Glechoma hederacea</i> L.		30	5	10		1	3	3	8	2
Зверобой большой <i>Hypericum ascyron</i> L.				3						
Недотрога обыкновенная <i>Impatiens noli-tangere</i> L.	1				1	1		35	22	35
Недотрога железконосная <i>Impatiens glandulifera</i> Royle				1						<1
Недотрога мелкоцветковая <i>Impatiens parviflora</i> DC.		1	<1	1			10	5	7	5
Латук стенной <i>Lactuca muralis</i> L.							<1	<1		
Яснотка белая <i>Lamium album</i> L.			20	20			<1			
Мицелис стенной <i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort.	1					1				
Незабудка лесная <i>Myosotis sylvatica</i> Ehrh.										<1

Вид	ППП-3	ППП-5	ППП-11	ППП-14	ППП-35	ППП-38	ППП-45	ППП-53	ППП-54	ППП-55
Кислица обыкновенная <i>Oxalis acetosella</i> L.	40	5	25		70	70	3		7	1
Вороний глаз четырёхлистный <i>Paris quadrifolia</i> L.	5				5	1	<1	<1		
Ястребиночка волосистая <i>Pilosella officinarum</i> F.W. Schultz & Sch. Bip.		1								
Подорожник большой <i>Plantago major</i> L.	5									
Лютик кашубский <i>Ranunculus cassubicus</i> L.								<1	<1	<1
Лютик ползучий <i>Ranunculus repens</i> L.										<1
Малина обыкновенная <i>Rubus idaeus</i> L.	5		20	20		5				<1
Костяника обыкновенная <i>Rubus saxatilis</i> L.	20				1	5				
Щавель туполистный <i>Rumex obtusifolius</i> L.										1
Норичник узловатый <i>Scrophularia nodosa</i> L.										<1
Золотарник обыкновенный <i>Solidago virgaurea</i> L.				25						
Звездчатка ланцетовидная <i>Stellaria holostea</i> L.	1	15	2	2			5	0,5	15	<1
Василисник водосборolistный <i>Thalictrum aquilegifolium</i> L.						1				
Седмичник европейский <i>Trientalis europaea</i> L.						5				
Крапива двудомная <i>Urtica dioica</i> L.	5		15			1	10	2	<1	5
Фиалка удивительная <i>Viola mirabilis</i> L.								<1	1	4

Table 2

Projective cover of living ground cover species on permanent observation plots within the Losiny Ostrov National Park

Species	POP-3	POP-5	POP-11	POP-14	POP-35	POP-38	POP-45	POP-53	POP-54	POP-55
Baneberry <i>Actaea spicata</i> L.	5				1					
Ground Elder <i>Aegopodium podagraria</i> L.	1					1	32	15	20	20
Bugle <i>Ajuga reptans</i> L.	1				1	1	2	5	3	1
Garlic Mustard <i>Alliaria petiolata</i> (M. Bieb.) Cavara & Grande	1						4	20		15
Wild Chervil <i>Anthriscus sylvestris</i> L.							<1	<1		<1
Greater Burdock <i>Arctium lappa</i> L.										1
European Wild Ginger <i>Asarum europaeum</i> L.	1	1	<1	2	5	1	5	3		
Lady Fern <i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	1	1	<1		10	1			<1	
Wood Small-Reed <i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth				1						
Hairy Sedge <i>Carex pilosa</i> Huds.	1	1	<1	1	1	1	<1	0.5		<1
Wood Sedge <i>Carex sylvatica</i> Huds.									4	
Greater Celandine <i>Chelidonium majus</i> L.	1					1	1			
Marsh Thistle <i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.			<1	1						
Lily of the Valley <i>Convallaria majalis</i> L.	1	1		1	5	1	15	1	<1	5
Marsh Cinquefoil <i>Comarum palustre</i> L.		1		1						
Carthusian Male Fern <i>Dryopteris carthusiana</i> Vill.							<1			
Male Fern <i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott		1	<1				3	2	1	<1
Cat Grass <i>Dactylis glomerata</i> L.				5						
Broad-leaved Helleborine <i>Epipactis helleborine</i> L.										<1

Table 2 continued

Species	POP-3	POP-5	POP-11	POP-14	POP-35	POP-38	POP-45	POP-53	POP-54	POP-55
Wood Horsetail <i>Equisetum sylvaticum</i> L.						10	<1			
Prairie Fleabane <i>Erigeron strigosus</i> H.L. Muhl. ex Willd.	1									
Meadow Fescue <i>Festuca pratensis</i> Huds.			2	3						
Wild Strawberry <i>Fragaria vesca</i> L.	5	5	5	3	1	1	<1		<1	<1
Yellow Archangel <i>Galeobdolon luteum</i> Huds.	1	10	2				3	1	3	
Wood Avens <i>Geum sylvaticum</i> Pourret		30								
Herb Bennet <i>Geum urbanum</i> L.	5				1		2	5	5	2
Ground Ivy <i>Glechoma hederacea</i> L.		30	5	10		1	3	3	8	2
Great St John's Wort <i>Hypericum ascyron</i> L.				3						
Touch-me-not Balsam <i>Impatiens noli-tangere</i> L.	1				1	1		35	22	35
Himalayan Balsam <i>Impatiens glandulifera</i> Royle				1						<1
Small-flowered Touch-me-not <i>Impatiens parviflora</i> DC.		1	<1	1			10	5	7	5
Wall Lettuce <i>Lactuca muralis</i> L.							<1	<1		
White Dead-nettle <i>Lamium album</i> L.			20	20			<1			
Wall Lettuce <i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort.	1					1				
Wood Forget-me-not <i>Myosotis sylvatica</i> Ehrh.										<1
Wood Sorrel <i>Oxalis acetosella</i> L.	40	5	25		70	70	3		7	1
Herb Paris <i>Paris quadrifolia</i> L.	5				5	1	<1	<1		
Hieracium pilosella <i>Pilosella officinarum</i> F.W. Schultz & Sch. Bip.		1								
Broadleaf Plantain <i>Plantago major</i> L.	5									

Table 2 finished

Species	POP-3	POP-5	POP-11	POP-14	POP-35	POP-38	POP-45	POP-53	POP-54	POP-55
Kashubian Buttercup <i>Ranunculus cassubicus</i> L.								<1	<1	<1
Creeping Buttercup <i>Ranunculus repens</i> L.										<1
Red Raspberry <i>Rubus idaeus</i> L.	5		20	20		5				<1
Stone Bramble <i>Rubus saxatilis</i> L.	20				1	5				
Bitter dock <i>Rumex obtusifolius</i> L.										1
Nodding Figwort <i>Scrophularia nodosa</i> L.										<1
European Goldenrod <i>Solidago virgaurea</i> L.				25						
Greater Stitchwort <i>Stellaria holostea</i> L.	1	15	2	2			5	0.5	15	<1
Columbine Meadow-rue <i>Thalictrum aquilegifolium</i> L.						1				
European Starflower <i>Trientalis europaea</i> L.						5				
Common Nettle <i>Urtica dioica</i> L.	5		15			1	10	2	<1	5
Mirabilis Violet <i>Viola mirabilis</i> L.								<1	1	4

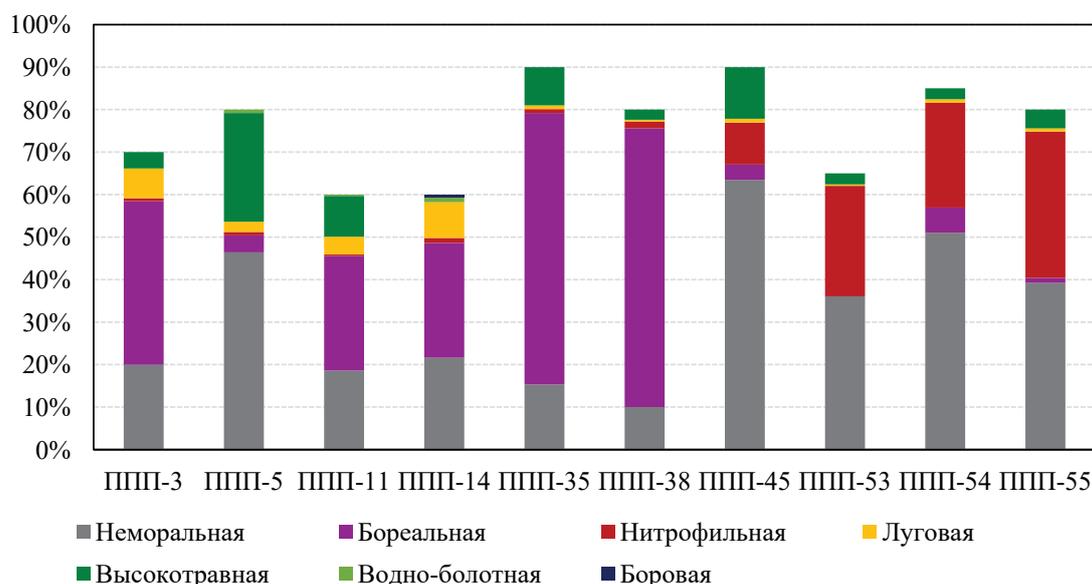


Рис. 2. Проективное покрытие видов живого напочвенного покрова по эколого-ценотическим группам

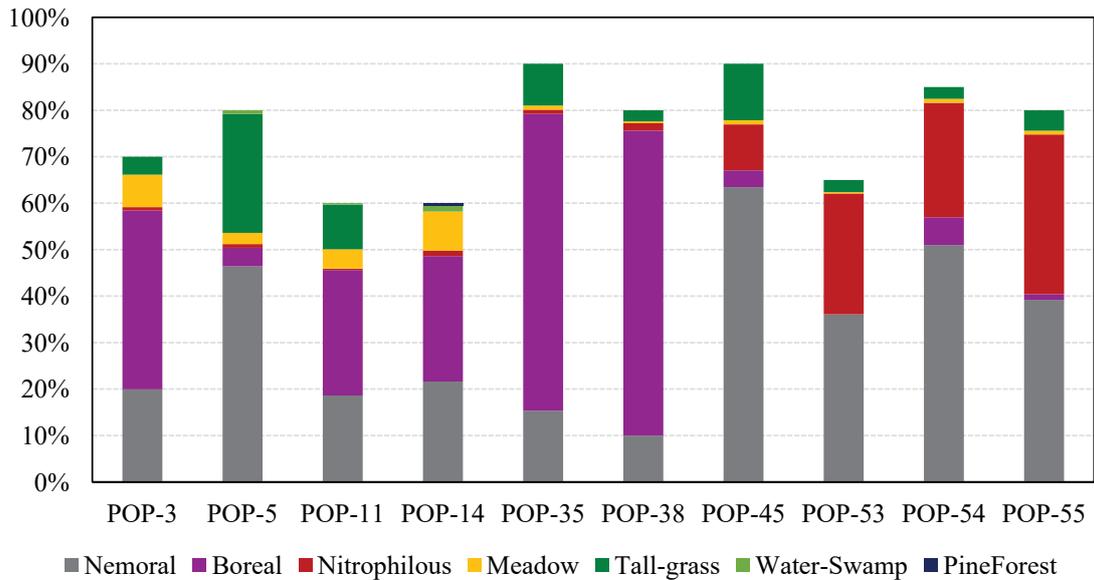


Fig. 2. Projective cover of living ground cover species by eco-cenotic groups

№ ППП	3	5	11	14	35	38	45	53	54	55
3	-	0,24	0,32	0,15	0,46	0,58	0,42	0,37	0,39	0,31
5	0,24	-	0,45	0,29	0,23	0,22	0,39	0,32	0,41	0,26
11	0,32	0,45	-	0,52	0,22	0,31	0,42	0,26	0,39	0,25
14	0,15	0,29	0,52	-	0,11	0,16	0,22	0,16	0,21	0,20
35	0,46	0,23	0,22	0,11	-	0,46	0,25	0,23	0,30	0,19
38	0,58	0,22	0,31	0,16	0,46	-	0,37	0,27	0,33	0,26
45	0,42	0,39	0,42	0,22	0,25	0,37	-	0,64	0,44	0,42
53	0,37	0,32	0,26	0,16	0,23	0,27	0,64	-	0,57	0,52
54	0,39	0,41	0,39	0,21	0,30	0,33	0,44	0,57	-	0,50
55	0,31	0,26	0,25	0,20	0,19	0,26	0,42	0,52	0,50	-

Рис. 3. Показатели индекса Жаккара на постоянных пробных площадях в сосновых насаждениях

POP No.	3	5	11	14	35	38	45	53	54	55
3	-	0.24	0.32	0.15	0.46	0.58	0.42	0.37	0.39	0.31
5	0.24	-	0.45	0.29	0.23	0.22	0.39	0.32	0.41	0.26
11	0.32	0.45	-	0.52	0.22	0.31	0.42	0.26	0.39	0.25
14	0.15	0.29	0.52	-	0.11	0.16	0.22	0.16	0.21	0.20
35	0.46	0.23	0.22	0.11	-	0.46	0.25	0.23	0.30	0.19
38	0.58	0.22	0.31	0.16	0.46	-	0.37	0.27	0.33	0.26
45	0.42	0.39	0.42	0.22	0.25	0.37	-	0.64	0.44	0.42
53	0.37	0.32	0.26	0.16	0.23	0.27	0.64	-	0.57	0.52
54	0.39	0.41	0.39	0.21	0.30	0.33	0.44	0.57	-	0.50
55	0.31	0.26	0.25	0.20	0.19	0.26	0.42	0.52	0.50	-

Fig. 3. Indicators of Jaccard index on permanent observation plots in pine stands

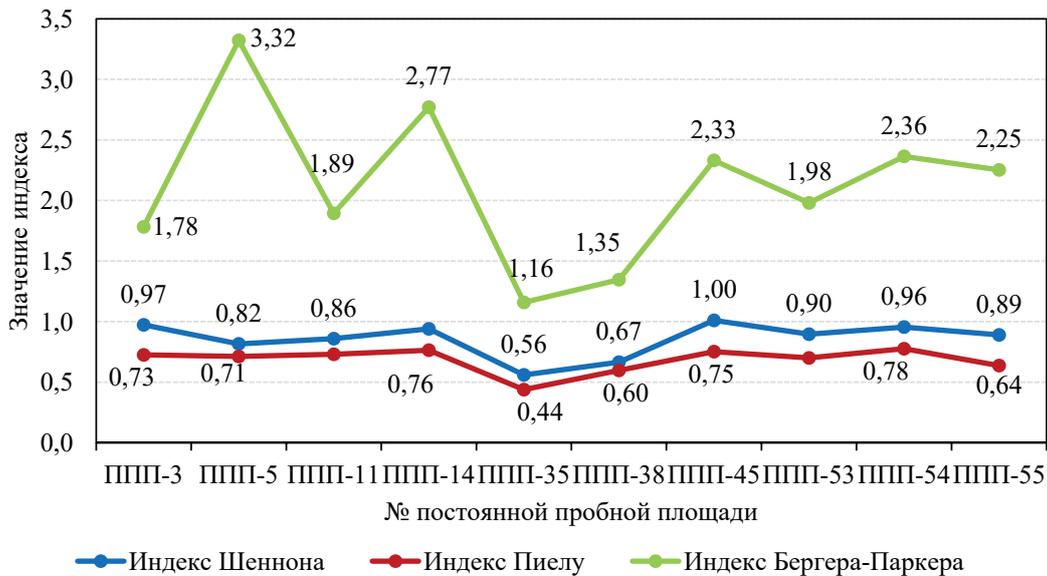


Рис. 4. Показатели видового разнообразия, выравненности и значимости растительных сообществ

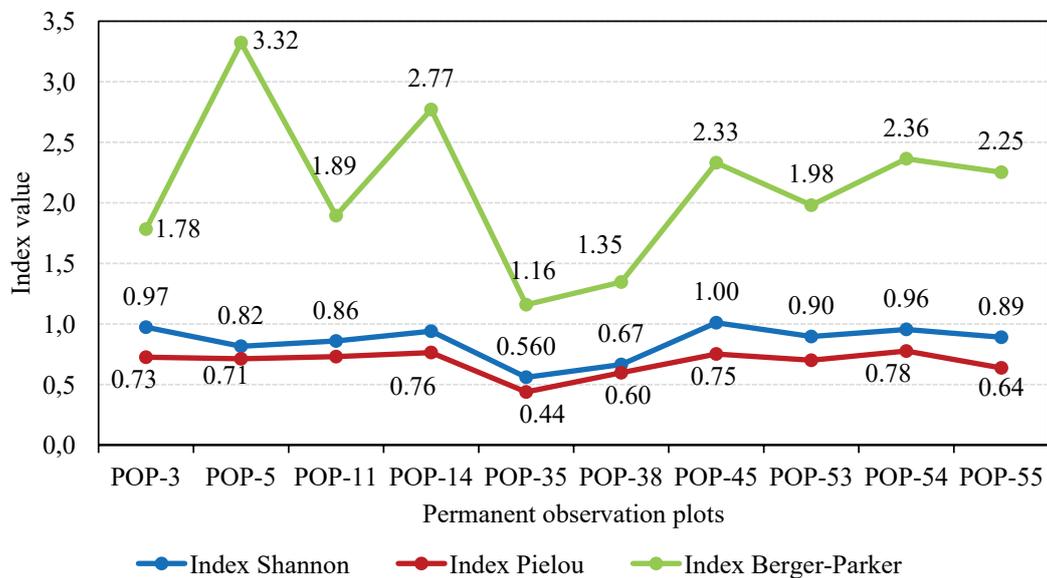


Fig. 4. Indicators of species diversity, evenness and significance of plant communities

Индекс Шеннона в среднем составляет $0,86 \pm 0,04$, что указывает на высокий уровень биоразнообразия в целом, однако низкие значения на ППП-35 и 38 обусловлены преобладанием *O. acetosella*, что свидетельствует о снижении равномерности распределения видов и доминировании одного из них. Такой показатель связан с особенностями условий среды обитания, доступностью ресурсов и конкуренцией с другими видами [38]. Различия в данных между объектами, расположенными вблизи друг от друга, указывают на локальные вариации экологических условий [39].

Средний индекс Пиелу составляет $0,68 \pm 0,03$, что свидетельствует о наличии одного или нескольких видов с высоким уровнем распространенности; при этом показатели выравненности на ППП-35 (0,44) и 38 (0,60) подтверждают доминирование определенного вида в этих сообществах.

Анализ относительной значимости видов по индексу Бергера-Паркера показывает среднее значение $2,1 \pm 0,2$. Это указывает на умеренную гетерогенность сообществ. Наиболее богатая по виду и почвенным характеристикам среда наблюдается на ППП-5, что свидетельствует о более сложной структуре и разнообразии растительных сообществ в данной территории.

В исследуемых растительных сообществах, по данным распределения по эколого-ценотическим стратегиям, наблюдается разнообразие стратегий (рис. 5), что свидетельствует о высокой экологической гибкости и адаптивности видов к различным условиям среды. Наибольшее число видов зафиксировано в группах R/CR, C/CR и CR (≥ 7 видов), что указывает на преобладание стратегий, сочетающих черты конкуренции и рудеральности.

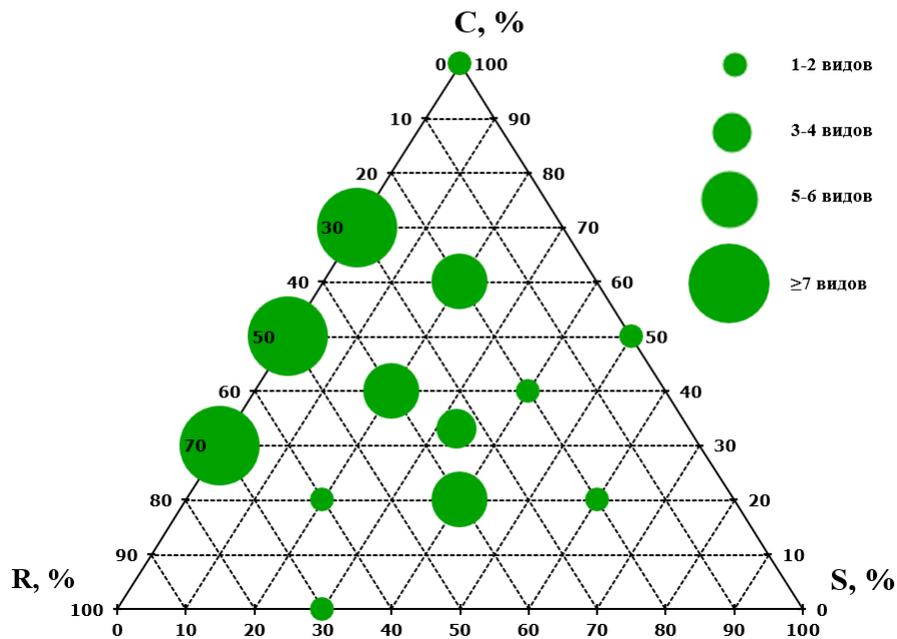


Рис. 5. Спектр функциональных типов растений для национального парка «Лосиный остров»

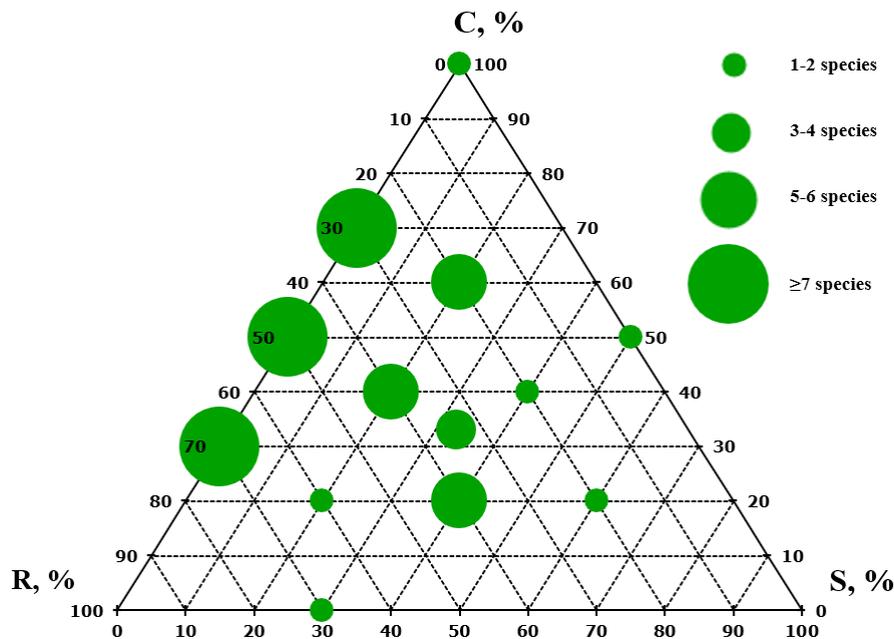


Fig. 5. Spectrum of functional plant types for the Losiny Ostrov National Park

Значительное количество видов в группах с сочетаниями стратегий – таких, как CR/CSR, C/CSR и SR/CSR (по 5-6 видов), указывает на наличие видов с комбинированными стратегиями, которые могут приспосабливаться к различным условиям среды. В целом преобладание видов со стратегией CR говорит о том, что в исследуемых сообществах доминируют растения, способные эффективно конкурировать за ресурсы и выдерживать стрессовые факторы окружающей среды. Такой состав эколого-ценотических стратегий, сочетающих конкурентную и рудеральную стратегию, указывает на благоприятные почвенные условия, характерные для широколиственных лесов [40].

Выводы Conclusions

В ходе проведенных исследований в национальном парке «Лосиный остров» был составлен комплексный список сосудистых растений, включающий в себя 51 вид, принадлежащих 44 родам и 28 семействам. Это свидетельствует о значительном видовом разнообразии на территории парка. Количество видов варьировало от 13 на ППП-35 до 25 на ППП-55, что отражает различия в структурных характеристиках растительности и степени экологической насыщенности различных участков. Общий уровень проективного

покрытия достигал в среднем 76%, что указывает на плотность растительного покрова.

Анализ эколого-ценотических групп показал, что виды неморальной, луговой и нитрофильной групп присутствуют на всех исследуемых участках. На ППП-3, 11, 14, 35 и 38 большую часть проективного покрытия занимают виды бореальной группы, на ППП-5, 45, 53, 54 и 55 – виды неморальной группы, что связано с различными ландшафтными условиями.

Индекс Жаккара для некоторых пар объектов показывает высокую схожесть (до 0,64), что свидетельствует о высокой устойчивости экосистем и сходстве экологических условий. В то же время низкие значения индекса у других пар указывают на локальные вариации условий.

Средний индекс Шеннона составляет около 0,86, что говорит о высоком биоразнообразии в целом. Однако снижение этого показателя на отдельных участках связано с доминированием отдельных видов (например, *O. acetosella*), что снижает равномерность распределения видов. Индекс Пиелу показывает наличие видов с высокой распространенностью (среднее значение – около 0,68), а показатели

выравненности подтверждают доминирование некоторых видов в отдельных сообществах.

В исследуемых сообществах наблюдается разнообразие эколого-ценотических стратегий. Наиболее распространены виды с сочетанием черт конкуренции и рудеральности (группы R/CR, C/CR и CR), каждая из которых включает в себя более 7 видов. Значительное число видов с комбинированными стратегиями (CR/CSR, C/CSR) свидетельствует о высокой адаптивности растений к различным условиям среды. Преобладание стратегий CR говорит о том, что растения в этих сообществах способны эффективно конкурировать за ресурсы и выдерживать стрессовые факторы окружающей среды. Такой состав стратегий характерен для широколиственных лесов с благоприятными почвенными условиями.

В целом полученные данные демонстрируют богатство растительных сообществ сосны обыкновенной парка «Лосиный остров», их структурное разнообразие и адаптивные стратегии растений. Высокое биоразнообразие и разнообразие стратегий свидетельствуют о стабильности экосистемы и ее способности противостоять изменениям окружающей среды при сохранении экологического баланса.

Список источников

1. Коротков С.А. *Смена состава древостоев и устойчивость защитных лесов центральной части Русской равнины*: Монография. Москва: АНО «ДОБЛЕСТЬ ЭПОХ», 2023. 168 с. EDN: ТТНППА
2. Теодоронский В.С., Ерзин И.В. О некоторых показателях для оценки состояния сосны обыкновенной в городских парках Москвы // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2013. № 6 (98). С. 154-159. EDN: RLUUYH
3. Бондарев В.П. Инвайронментальные проблемы Московской агломерации // *Вестник Московского университета. Серия 18 «Социология и политология»*. 2014. № 4. С. 138-165. EDN: TEDGZR
4. Лежнев Д.В., Лебедев А.В. Трансформация структуры сосновых формаций в урбанизированных экосистемах Москвы // *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета: Электронный научный журнал*. 2023. № 2 (46). С. 74-88. <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2023.46.5>
5. Центральное УГМС Федеральное государственное бюджетное учреждение. URL: <https://cugms.ru/pogoda-i-klimat/klimat-moskvy/> (дата обращения: 20.02.2025)
6. Korotkov S., Stonozenko L., Lezhnev D., Ereghina S. Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region. *II International Conference «Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology» (VMAEE-II-2023), AIP Conference Proceedings, Karshi, April 21-22, 2023.*

References

1. Korotkov S.A. *Change in the composition of tree stands and the stability of protective forests in the central part of the Russian Plain: a monograph*. Moscow, Russia: ANO “DOBLEST EPOCH”, 2023:168. (In Russ.)
2. Teodoronskiy V.S., Erzin I.V. On some indicators for assessing the condition of Scots pine in Moscow city parks. *Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin*. 2013;(6(98)):154-159. (In Russ.)
3. Bondarev V.P. Environmental problems of the Moscow agglomeration. *Moscow State University Bulletin. Series 18. Sociology and Political Science*. 2014;(4):138-165. (In Russ.)
4. Lezhnev D.V., Lebedev A.V. Structural transformation of pine formations in urbanized ecosystems of Moscow. *Vestnik of Orenburg State Pedagogical University. Electronic Scientific Journal*. 2023;(2(46)):74-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2023.46.5>
5. Central UGMS Federal State Budgetary Institution. (In Russ.) URL: <https://cugms.ru/pogoda-i-klimat/klimat-moskvy/> (accessed: May 29, 2025)
6. Korotkov S., Stonozenko L., Lezhnev D., Ereghina S. Pine Plants Formation in the North-Eastern Moscow Region. *II International Conference «Sustainable Development: Agriculture, Veterinary Medicine and Ecology» (VMAEE-II-2023), AIP Conference Proceedings, Karshi, April 21-22, 2023.*

- New York: AIP PUBLISHING, 2023;3011:20031.
<https://doi.org/10.1063/5.0161107>
7. Дубенок Н.Н., Лебедев А.В., Миронова Г.М., Гостев В.В. Таксономический анализ флоры сосудистых растений Лесной опытной дачи Тимирязевской академии // *Природообустройство*. 2023. № 1. С. 108-114. <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-1-108-114>
 8. Коротков С.А., Лежнев Д.В., Фейзрахманов А.Р. Индикационная роль живого напочвенного покрова сосновых лесов в урбанизированной среде // *Труды НОЦ – Ботанический сад МГУ: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Москва, 12-13 февраля 2024 г.* Москва: Издательство Московского университета, 2024. С. 150-158. <https://doi.org/10.55959/MSU012129-2-2024-8-150-158>
 9. Кузнецов В.А., Стома Г.В. Влияние рекреации на лесные городские ландшафты (на примере национального парка «Лосиный остров» г. Москвы) // *Вестник Московского университета. Серия 17 «Почвоведение»*. 2013. № 3. С. 27-33. EDN: RGQSWP
 10. Лебедев А.В., Криницын И.Г., Гостев В.В. *Флора заповедника «Кологривский лес»*: Монография. Кологрив: Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Синицына, 2025. 224 с. EDN: ZNOHQM
 11. Lezhnev D., Korotkov S., Stonozenko L., Popova A. The Growing Dynamic of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in the Moscow Region // *III International Conference «Sustainable Development: Agriculture, Energy and Ecology» (VMAEE-III-2024): AIP Conference Proceedings, Karshi, February 26-28, 2024*. Melville: AIP PUBLISHING. 2024;3184:20045. <https://doi.org/10.1063/5.0211896>
 12. Сырова В.И. Развитие особо охраняемых природных территорий федерального значения национального парка «Лосиный остров» на примере Богородского парка // *Геодезия и аэрофотосъемка. Приложение к журналу «Известия вузов»: Сборник статей по итогам научно-технической конференции*. 2020. № 11. С. 96-100. EDN: GUOKZZ
 13. Тархов С.А. *Атлас «Московская область. История. Культура. Экономика»*. Москва: Дизайн-Информация-Картографирование, 2005. 840 с.
 14. Коротков С.А., Глазунов Ю.Б., Барсуков Л.Е. Историческая динамика и тенденции формирования лесов национального парка «Лосиный остров» // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. 2021. Т. 25, № 3. С. 5-13. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-3-5-13>
 15. Лежнев Д.В., Меняева В.А. Видовой состав и структура живого напочвенного покрова в сосновых фитоценозах национального парка «Лосиный остров» // *Безопасность природопользования в условиях устойчивого развития: Материалы III Международной научно-практической конференции, приуроченной к 75-летию географического факультета, Иркутск, 21-23 июня 2023 г.* Иркутск: Иркутский государственный университет, 2023. С. 156-161. EDN: DDTSGI
- New York: AIP PUBLISHING, 2023;3011:20031.
<https://doi.org/10.1063/5.0161107>
7. Dubenok N.N., Lebedev A.V., Mironova G.M., Gostev V.V. Taxonomical analysis of the flora of vascular plants in the Forest experimental station of the Timiryazev academy. *Prirodoobustrojstvo*. 2023;(1):108-114. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-1-108-114>
 8. Korotkov S.A., Lezhnev D.V., Feyzrakhmanov A.R. Indicatory role of soil vegetation cover of pine forests in an urbanized environment. *In: Transactions of SEC – Botanical garden of MSU. Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem. February 12-13, 2024*. Moscow, Russia: Lomonosov Moscow State University, 2024:150-158. (In Russ.) <https://doi.org/10.55959/MSU012129-2-2024-8-150-158>
 9. Kuznetsov V.A., Stoma G.V. The influence of recreation on the city forest landscape (based on the example of National Park “Losinuy Ostrov”). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2013;(3):27-33 (In Russ.)
 10. Lebedev A.V., Krinitsyn I.G., Gostev V.V. *Flora of the Kologrivsky Forest Reserve: a monograph*. Kologriv, Russia: State Nature Reserve “Kologrivsky forest” named after M.G. Sinitsy, 2025:224. (In Russ.)
 11. Lezhnev D., Korotkov S., Stonozenko L., Popova A. The Growing Dynamic of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Stands in the Moscow Region. *III International Conference «Sustainable Development: Agriculture, Energy and Ecology» (VMAEE-III-2024): AIP Conference Proceedings, Karshi, February 26-28, 2024*. Melville: AIP PUBLISHING. 2024;3184:20045. <https://doi.org/10.1063/5.0211896>
 12. Syrova V.I. Development of specially protected natural areas of federal significance of the Losiny Ostrov National Park on the example of Bogorodsky Park. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2020;(11):96-100. (In Russ.)
 13. Tarkhov S A. *Atlas “Moscow Region. History. Culture. Economy”*. Moscow, Russia: Dizayn-Informatsiya-Kartografirovanie, 2005:840. (In Russ.)
 14. Korotkov S.A., Glazunov Yu.B., Barsukov L.E. Historical dynamics and trends in formation of “Losiny Ostrov” National Park forests. *Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin*. 2021;25(3):5-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-3-5-13>
 15. Lezhnev D.V., Menyayeva V.A. Species composition and structure of the living ground cover in pine phytocenoses of the Losiny Ostrov National Park. *III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, priurochennaya k 75-letiyu geograficheskogo fakulteta ‘Bezopasnost prirodnopolzovaniya v usloviyakh ustoychivogo razvitiya’*. June 21-23, 2023. Irkutsk, Russia: Irkutsk State University, 2023:156-161. (In Russ.)

16. Лежнев Д.В., Меняева В.А. Эколого-фитоценотический анализ травяно-кустарничкового яруса в сосновых лесах национального парка «Лосиный остров» // *Природоподобные растительные сообщества в городе: от теории к практике: Сборник статей Научно-практического симпозиума, Москва, 29 августа 2024 г.* Москва: ООО «Эксперт-Печать», 2024. С. 52-56. EDN: VSGNNU
17. Лежнев Д.В., Коротков С.А. Естественное возобновление под пологом сосновых фитоценозов в Московском регионе // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.* 2024. № 248. С. 6-26. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.248.6-26>
18. Национальный парк «Лосиный остров»: Электронный каталог. URL: <https://sergei2904.narod.ru/los/priroda/pochva.htm#> (дата обращения: 20.02.2025)
19. Данчева А.В. Структура нижних ярусов растительности в рекреационных сосняках // *Аграрный вестник Урала.* 2011. № 12-1 (91). С. 27-30. EDN: PAQSLJ
20. Фейзрахманов А.Р., Купченко К.М., Меняева В.А. Нижние ярусы в сосновых насаждениях Лесной опытной дачи Тимирязевской академии // *Интенсификация использования и воспроизводства лесов Сибири и Дальнего Востока: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Хабаровск, 5-6 октября 2023 г.* Хабаровск: Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, 2023. С. 139-146. EDN: SWYTTK
21. Юровских Е.В., Магасумова А.Г., Петрова И.В. Живой напочвенный покров на бывших сельскохозяйственных угодьях // *Аграрный вестник Урала.* 2017. № 9 (163). С. 12. EDN: ZNDS DH
22. Лежнев Д.В., Меняева В.А. Живой напочвенный покров сосновых фитоценозов Яузского лесопарка «Лосино острова» // *Проблемы озеленения крупных городов: Сборник статей XXII научно-практического форума, Москва, 29-30 августа 2023 г.* Москва: ООО «МК-ИНТЕРТРЕЙД», ООО «ИНТЕК», 2023. С. 113-118. EDN: LWNNSC
23. Лежнев Д.В., Меняева В.А., Кривошапов Н.Ф. Структура сосняков сложных национального парка «Лосиный остров» // *Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы XX Международной научно-технической конференции, Вологда, 6 декабря 2022 г. / Отв. ред. Е.А. Иванищева.* Вологда: Вологодский государственный университет, 2022. С. 152-158
24. Marcus T., Boch S., Durka W., Fisher M. Living in Heterogeneous Woodlands – Are Habitat Continuity or Quality Drivers of Genetic Variability in a Flightless Ground Beetle? *PLoS ONE.* 2015;10(12):0144217. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0144217>
16. Lezhnev D.V., Menyayeva V.A. Ecological and phytocenotic analysis of the grass-shrub layer in the pine forests of the Losiny Ostrov National Park. *Nauchno-prakticheskiy simpozium 'Prirodopodobnye rastitelnye soobshchestva v gorode: ot teorii k praktike'. August 29, 2024.* Moscow, Russia: ООО "Expert-Pechat", 2024:52-56. (In Russ.)
17. Lezhnev D.V., Korotkov S.A. Natural regeneration under the canopy of pine phytocenoses in the Moscow region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii.* 2024;(248):6-26. (In Russ.) <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.248.6-26>
18. *Losiny Ostrov National Park:* an electronic catalog. (In Russ.) URL: <https://sergei2904.narod.ru/los/priroda/pochva.htm#> (accessed: May 29, 2025)
19. Dancheva A.V. Composition of vegetation lawtree layers in recreative pine forest. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2011:(12-1(91)):27-30. (In Russ.)
20. Feyzrakhmanov A.R., Kupchenko K.M., Menyayeva V.A. Lower tiers in pine plantations of the Forest Experimental Dacha of the Timiryazev Academy. *Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem 'Intensifikatsiya ispolzovaniya i vosproizvodstva lesov Sibiri i Dalnego Vostoka'. October 5-6, 2023.* Khabarovsk, Russia: Far East Forestry Research Institute, 2023:139-146. (In Russ.)
21. Yurovskikh E.V., Magasumova A.G., Petrova I.V. Live ground cover on former agricultural lands. *Agrarian Bulletin of the Urals.* 2017;(9(163)):12. (In Russ.)
22. Lezhnev D.V., Menyayeva V.A. Soil vegetation cover in the pine phytocenoses of the Yauza forest park of the "Losiny ostrov". *XXII Nauchno-prakticheskiy forum 'Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov'. August 29-30, 2023.* Moscow, Russia: ООО "МК-INTERTRADE", ООО "ИНТЕК", 2023:113-118. (In Russ.)
23. Lezhnev D.V., Menyayeva V.A., Krivoshapov N.F. Structure of complex pine forests of the Losiny Ostrov National Park. *XX Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya 'Aktualnye problemy razvitiya lesnogo kompleksa'. December 06, 2022. Editor-in-chief E.A. Ivanishchev.* Vologda, Russia: Vologda State University, 2022:152-158. (In Russ.)
24. Marcus T., Boch S., Durka W., Fisher M. Living in Heterogeneous Woodlands – Are Habitat Continuity or Quality Drivers of Genetic Variability in a Flightless Ground Beetle? *PLoS ONE.* 2015;10(12):0144217. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0144217>

25. Yilma Z.A., Yitay B.A. Assessing vegetation cover and valuing ecosystem services in southwestern Ethiopia: Implications for conservation. *PLoS One*. 2024;19(6): e0304456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304456>
26. Маевский П.Ф. *Флора средней полосы Европейской части России: Учебное пособие для биологических факультетов университетов, педагогических и сельскохозяйственных вузов // Департамент природопользования и охраны окружающей среды г. Москвы. 10-е изд., испр. и доп. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Товарищество научных изданий КМК», 2006. 600 с. EDN: QKOUXB*
27. Смирнов В.Э., Ханина Л.Г., Бобровский М.В. Обоснование системы эколого-ценотических групп видов растений лесной зоны Европейской России на основе экологических шкал, геоботанических описаний и статистического анализа // *Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологической.* 2006. Т. 111, № 2. С. 36-47. EDN: НТЕМЈХ
28. База данных «Флора сосудистых растений Центральной России». URL: <https://www.impb.ru/eco/index.php> (дата обращения: 05.03.2025)
29. Евсева А.А. Эколого-фитоценотический анализ травянистого яруса городских рекреационных лесов (на примере Калуги и Обнинска) // *Вестник Нижневартковского государственного университета.* 2020. № 2. С. 68-75. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/09>
30. Cao W., Wu X., Zhu N., Meng Z. et al. Most suitable plant communities for the slope reclamation of the Zhengzhou-Xinxiang section of the Beijing-Hong Kong-Macao expressway. *PLoS One*. 2024;19(2): e0297004. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297004>
31. Калинина А.В. Диагностика фитоценозов породного отвала шахты «Калиновская-Восточная» на основе системных индексов разнообразия // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона.* 2020. № 3-4. С. 6-10. EDN: ZLEQFR
32. Tagwireyi P., Sullivan S.M. Riverine Landscape Patch Heterogeneity Drives Riparian Ant Assemblages in the Scioto River Basin. *PLoS One*. 2015;10(4): e0124807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124807>
33. Самсонова И.Д., До В., Нгуен Т., Сидаренко П.В. Динамика биоразнообразия медоносных ресурсов в структуре березняков // *Лесотехнический журнал.* 2019. Т. 9, № 4 (36). С. 73-81. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2019.4/8>
34. Grime J.P. Plant strategies and vegetative processes. *Journal of Ecology*. 1980;68(2):704-706. <https://doi.org/10.2307/2259438>
35. Онипченко В.Г., Дудова К.В., Ахметжанова А.А., Хомутовский М.И. и др. Какие стратегии растений способствуют их доминированию в альпийских сообществах? // *Журнал*
25. Yilma Z.A., Yitay B.A. Assessing vegetation cover and valuing ecosystem services in southwestern Ethiopia: Implications for conservation. *PLoS One*. 2024;19(6): e0304456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304456>
26. Maevskiy P.F. *Flora of the middle zone of the European part of Russia: a study guide for biological departments of universities, pedagogical and agricultural higher education institutions.* 10th ed, rev. and ad. Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd., 2006:600. (In Russ.)
27. Smirnov V.E., Khanina L.G., Bobrovsky M.V. Validation of the ecological-coenotical groups of vascular plant species for European Russian forests on the basis of ecological indicator values, vegetation releves and statistical analysis. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series.* 2006;111(2):36-47. (In Russ.)
28. Database “Flora of vascular plants of Central Russia”. URL: <https://www.impb.ru/eco/index.php> (accessed: May 05, 2025) (In Russ.)
29. Evseeva A.A. Ecological-phytocenotic analysis of the field layer of urban recreational forests (on the example of Kaluga and Obninsk). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University.* 2020;(2):68-75. (In Russ.) <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/09>
30. Cao W., Wu X., Zhu N., Meng Z. et al. Most suitable plant communities for the slope reclamation of the Zhengzhou-Xinxiang section of the Beijing-Hong Kong-Macao expressway. *PLoS One*. 2024;19(2): e0297004. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297004>
31. Kalinina A.V. Diagnostics of phytocenoses of the rock dump of the “Kalinovskaya-Vostochnaya” mine on the basis of system diversity indices. *Problems of Ecology and Nature Protection of Technogenic Region.* 2020;(3-4):6-10. (In Russ.)
32. Tagwireyi P., Sullivan S.M. Riverine Landscape Patch Heterogeneity Drives Riparian Ant Assemblages in the Scioto River Basin. *PLoS One*. 2015;10(4): e0124807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124807>
33. Samsonova I.D., Do V., Nguen T., Sidarenko P.V. Dynamics of biodiversity of nectar-bearing resources in the structure of birch forests. *Forestry Engineering Journal.* 2019;9(4(36)):73-81. (In Russ.) <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2019.4/8>
34. Grime J.P. Plant strategies and vegetative processes. *Journal of Ecology*. 1980;68(2):704-706. <https://doi.org/10.2307/2259438>
35. Onipchenko V.G., Dudova K.V., Akhmetzhanova A.A., Khomutovskiy M.I. et al. Which plant strategies are related to dominance in alpine communities? *Journal of General*

- общей биологии*. 2020. Т. 81, № 1. С. 37-46.
<https://doi.org/10.31857/S0044459620010054>
36. Сибгатуллина М.Ш., Валеева Г.Р. Металлы в травянистых растениях с разными типами адаптивных стратегий // *Юг России: экология, развитие*. 2013. Т. 8, № 1. С. 72-81.
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2013-1-72-81>
37. Бачурина А.В. Влияние промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь» на видовой состав и надземную фитомассу живого напочвенного покрова // *Леса России и хозяйство в них*. 2009. № 2 (32). С. 24-29. EDN: RTWSTJ
38. Полянская Т.А. Состояние ценопопуляций *Oxalis acetosella* L. в национальном парке «Марий Чодра» // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2009. № 3. С. 38-42. EDN: DWCCWB
39. Тимошок Е.Е., Белова М.Н., Тимошок Е.Н., Скороходов С.Н. Биоразнообразие сосудистых растений в высокогорных лиственничниках северо-чуйского хребта (Горный Алтай) // *Проблемы региональной экологии*. 2019. № 3. С. 23-27.
<https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-13023>
40. Уланова Н.Г., Жмылев П.Ю., Елумеева Т.Г., Федосов В.Э. *Методы анализа флористического состава и функционального разнообразия растительных сообществ*: Учебное пособие. Москва: ООО «МАКС Пресс», 2023. 137 с.
<https://doi.org/10.29003/m3459.978-5-317-07016-8>
- Biology*. 2020;81(1):37-46. (In Russ.)
<https://doi.org/10.31857/S0044459620010054>
36. Sibgatullina M.Sh., Valeeva G.R. Metals in herbaceous plants with different types of adaptive strategies. *South of Russia: Ecology, Development*. 2013;8(1):72-81. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18470/1992-1098-2013-1-72-81>
37. Bachurina A.V., Zalesov S.V. Influence of industrial pollution of joint-stock company “Karabashmed” on specific structure and elevated phytomass herbaceous vegetation. *Forests of Russia and Economy in Them*. 2009;(2(32)):24-29. (In Russ.)
38. Polyanskaya T.A. State of *Oxalis acetosella* L. cenopopulations in the Mariy Chodra National Park. *Lesnoy vestnik. Forestry Bulletin*. 2009;(3):38-42. (In Russ.)
39. Timoshok E.E., Belova M.N., Timoshok E.N., Skorokhodov S.N. Biodiversity of vascular plants in high altitude larch forests of the Severo-Chuisky Range (the Altai Mountains). *Problemy regionalnoy ekologii*. 2019;(3):23-27. (In Russ.)
<https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-13023>
40. Ulanova N.G., Zhmylev P.Yu., Elumeeva T.G., Fedosov V.E. *Methods for analyzing the floristic composition and functional diversity of plant communities: a study guide*. Moscow, Russia: ООО “MAKS Press”, 2023;137. (In Russ.)
<https://doi.org/10.29003/m3459.978-5-317-07016-8>

Сведения об авторах

Даниил Викторович Лезнев, начальник отдела научно-исследовательской работы студентов и молодых ученых, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; младший научный сотрудник лаборатории лесоводства и биологической продуктивности Института лесоведения РАН; 143030, Московская область, Одинцовский г.о., с. Успенское, ул. Советская, 21; e-mail: lezhnev.daniil@yandex.ru;
<http://orcid.org/0000-0003-2706-7320>

Вера Александровна Меньяева, студент кафедры лесоводства, экологии и защиты леса Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана; 141005, Россия, г. Мытищи, улица 1-я Институтская, 1; e-mail: vmenyayeva@bk.ru;
<http://orcid.org/0009-0001-2901-5260>

Статья поступила в редакцию 22.02.2025
Одобрена после рецензирования 15.03.2025
Принята к публикации 22.03.2025

Information about the authors

Daniil V. Lezhnev, Head of the Department of Research Work of Students and Young Scientists, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St, Moscow, 127434, Russian Federation; Junior Research Associate, Laboratory of Forestry and Biological Productivity, Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences; 21 Sovetskaya St., Uspenskoe village, Odintsovo, Moscow Region, 143030, Russian Federation; e-mail: lezhnev.daniil@yandex.ru;
<http://orcid.org/0000-0003-2706-7320>

Vera A. Menyayeva, student of the Department of Forestry, Ecology and Forest Protection, Bauman Moscow State Technical University; 1 1-ya Institutskaya St., Mytishchi, 141005, Russian Federation; e-mail: vmenyayeva@bk.ru;
<http://orcid.org/0009-0001-2901-5260>

The article was submitted to the editorial office February 22, 2025
Approved after reviewing March 15, 2025
Accepted for publication March 22, 2025

Оригинальная научная статья
УДК 633.878.32: 581.9 (470.311)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-2-01>



**Флора культивируемых и спонтанно растущих тополей (*Populus*, Salicaceae)
малых городов европейской части России (на примере города Шатуры
Московской области)**

**Юрий Андреевич Насимович¹, Виктор Александрович Мухин²,
Рамиль Айдарович Муратаев^{3,4}**

¹ ГПБУ «Государственный природоохранный центр», Москва, Россия

² на пенсии, Москва, Россия

³ Московский государственный университет, Москва, Россия

⁴ Институт молекулярной биологии РАН, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Юрий Андреевич Насимович; nasimovich@mail.ru

Аннотация

Изучение видового состава тополей (*Populus* L.), культивируемых и произрастающих спонтанно в малых городах европейской части России, осуществлено на примере подмосковного города Шатуры, поскольку в настоящее время их состав изучен только в крупных городах РФ – Москве и Санкт-Петербурге. Исследование проведено в 2024 г. путем полного пересчета деревьев в двух городских кварталах (площадью 37 га и 29 га) и маршрутным методом вне этих кварталов. В уличном и дворовом озеленении учтены 204 взрослых тополя, в том числе 1 местный «чистый» вид (*P. tremula*, 15 экз.), 1 более южный «чистый» вид (*P. nigra* var. *nigra*, 1 экз.), 1 «чистый» североамериканский вид (*P. deltoides*, 2 экз.), 2 культивара на основе «чистых» видов (*P. nigra* var. *nigra* × *P. nigra* var. *italica*, 1 экз.; *P. simonii* var. *pendula*, 1 экз.), 2 простых гибрида (*P. × canescens*, 15 экз.; *P. × canadensis*, 1 экз.) и 2 сложных гибрида (*P. × sibirica*, 97 экз.; *P. × petrovskoe*, 71 экз.). В озеленении преобладают эти 2 сложных гибрида (47,5 и 34,8% всех тополей соответственно), которые являются спонтанно возникшими культиварами, распространенными почти по всей России. Редкие или специфические шатурские культивары не обнаружены. Посадочный материал для озеленения Шатуры поступал преимущественно из питомника в г. Ивантеевка близ Москвы, с чем связано сходство с московской культивируемой флорой тополей, но отдельные деревья могли быть посажены местными жителями по их инициативе. Состав культурной флоры тополей Шатуры нуждается в оптимизации: желательно увеличить долю устойчивых к городской среде и декоративных *P. × canadensis* и *P. simonii*, уменьшить долю производящего «пух» и менее декоративного *P. × sibirica*.

Ключевые слова

тополь, *Populus*, тополь сибирский, тополь петровский, культивары тополей, озеленение, культивируемые тополя, спонтанно растущие тополя

Финансирование

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 24-24-20122, <https://rscf.ru/project/24-24-20122/>

Для цитирования

Насимович Ю.А., Мухин В.А., Муратаев Р.А. Флора культивируемых и спонтанно растущих тополей (*Populus*, Salicaceae) малых городов европейской части России (на примере города Шатуры Московской области) // Тимирязевский биологический журнал. 2025. Т. 3, № 1. С. 202531201. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-2-01>



Flora of cultivated and wild poplars (*Populus*, Salicaceae) in small towns of European Russia: a case study of Shatura, Moscow Region

Yuri A. Nasimovich¹, Viktor A. Mukhin², Ramil A. Murataev^{3,4}

¹ State Nature Conservation Centre, Moscow, Russia

² retired, Moscow, Russia

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

⁴ Engelhardt Institute of Molecular Biology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Corresponding author: Yuri A. Nasimovich; nasimovich@mail.ru

Abstract

The species composition of cultivated and wild poplars (*Populus* L.) in small towns of European Russia was studied, using the Moscow Region town of Shatura as a case study. This approach was chosen because, currently, poplar composition has only been studied extensively in major Russian cities like Moscow and St. Petersburg. In 2024, a complete census of trees was conducted within two city blocks (37 and 29 hectares, respectively), supplemented by a route-based survey outside these areas. A total of 204 adult poplars were identified in street and courtyard landscaping, including: one local “pure” species (*P. tremula*, 15 specimens), one more southern “pure” species (*P. nigra* var. *nigra*, 1 specimen), one “pure” North American species (*P. deltoides*, 2 specimens), two cultivars derived from “pure” species (*P. nigra* var. *nigra* × *P. nigra* var. *italica*, 1 specimen; *P. simonii* var. *pendula*, 1 specimen), two simple hybrids (*P. × canescens*, 15 specimens; *P. × canadensis*, 1 specimen), and two complex hybrids (*P. × sibirica*, 97 specimens; *P. × petrovskoe*, 71 specimens). The latter two complex hybrids, common spontaneously emerged cultivars throughout Russia, dominate the landscaping (47.5% and 34.8% of all poplars, respectively). No rare or Shatura-specific cultivars were found. Planting material for Shatura landscaping likely originated from the Ivanteevka nursery near Moscow, explaining the similarity to Moscow’s poplar flora. However, some trees may have been planted independently by local residents. Optimization of Shatura’s cultivated poplar flora is recommended, with an increase in urban-resistant and ornamental species like *P. × canadensis* and *P. simonii*, and a decrease in the fluff-producing and less ornamental *P. × sibirica*.

Keywords

poplar, *Populus*, Siberian poplar, Petrovsky poplar, poplar cultivars, landscaping, cultivated poplars, wild poplars

Funding

The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-24-20122, <https://rscf.ru/project/24-24-20122/>

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

For citation

Nasimovich Yu.A., Mukhin V.A., Murataev R.A. Flora of cultivated and wild poplars (*Populus*, Salicaceae) in small towns of European Russia: a case study of Shatura, Moscow Region. *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531201. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-2-01>

Введение

Introduction

Флора культивируемых и спонтанно произрастающих тополей относительно хорошо известна в крупных городах России: в Москве [1, 2], Санкт-Петербурге [3], хотя и в этом случае некоторые культивары не удается определить, так как они изначально были плохо описаны (слишком кратко, без типовых образцов, без указания важнейших диагностических признаков),

а практические знания, передававшиеся от человека к человеку, были утеряны в периоды войн и революций. Имеются аналогичные флористические работы по таким относительно крупным городам и городам среднего размера, как Хабаровск [4], Саратов [5], Пермь [6, 7], Череповец [8] и др., хотя в отдельных случаях не приведены диагностические признаки упоминаемых таксонов, ввиду чего нет уверенности в правильности их определения. В ряде недавно опубликованных работ [9, 10] рассматриваются общие вопросы озеленения городов

тополями, но не культурная флора тополей. Есть аналогичные зарубежные работы [11-13], но тоже посвященные общим вопросам, причем на примере видов и культиваров, не используемых в нашей стране. Если говорить о России, то сведения по городской флоре тополей в разных городах обобщены в нашей предыдущей работе [14]. Хуже всего в этом отношении обстоят дела в небольших городах, где посадка тех или иных культиваров никак не задокументирована, не отражена в источниках литературы или в гербарных коллекциях. В настоящее время предпринимаются попытки предварительного описания многообразия городских тополей в разных городах России, и эта работа проводится на фоне постепенного восстановления знаний о культиварах, которые использовались при озеленении крупнейших городов страны. В связи с этим **целью** работы является изучение видового состава тополей (*Populus L.*), культивируемых и произрастающих спонтанно в малых городах европейской части России, на примере подмосковного города Шатуры. Наша работа находится «в русле» этих исследований и проведена на примере сравнительно не крупного города Шатуры с немногочисленными парками и композиционными центрами. Рассмотрено также уличное и дворовое озеленение. Приведены краткие сведения о тополях в других населенных пунктах в границах Шатурского района (город областного подчинения Рошаль, поселки городского типа Мишеронский и Бакшеево).

Методика исследований Research method

Исследования проводили 15-30 июня 2024 г. на заранее выбранных площадных объектах (городских кварталах Шатуры) маршрутным методом.

Полный учет тополей произведен в квартале с преимущественно 5-этажной жилой застройкой, который ограничен улицами Спортивная, Школьная, проспектами Ильича и Маршала Борзова (37 га), а также в квартале с преимущественно 9-этажной (до 14 этажей) жилой застройкой, который ограничен улицами Спортивная, проспектами Маршала Борзова и Ильича, улицей Строителей (29 га). Маршрутным методом изучались некоторые аналогичные кварталы Шатуры вдоль улиц Клары Цеткин, Интернациональная (городской центр), Ударников, Советская, Больничный проезд (в основном это 5-этажная застройка), а также 1-2-этажная (сельского типа) жилая застройка Шатуры южнее железной дороги (вдоль улиц Большевик, Малькина Грива, Чехова и др.). Из композиционных центров мы рассмотрели привокзальную территорию, а также территорию у автовокзала, площадь с памятником

Ленину у здания Администрации Шатурского городского округа. Отдельные наблюдения маршрутным методом произведены в городе Рошаль, а также в поселках городского типа Мишеронский и Бакшеево.

Идентификация видов и гибридов проводилась по морфологическим признакам с использованием опубликованных источников по тополям Санкт-Петербурга [3] и Москвы [1, 2], применялись также соответствующие неопубликованные «наработки» авторов данной статьи. Кроме того, авторы обращались к известным публикациям российских селекционеров и озеленителей середины – второй половины XX в.^{1,2,3}, но эти источники не вполне применимы к Московскому региону, так как здесь велика доля самых ранних культиваров («шредеровских видов»), которые возникли в конце XIX в. Петровско-Разумовском (сейчас – Москва). В ходе трех войн и трех революций первой половины XX в. связь поколений прервалась, в результате чего к середине XX в. соответствующие культивары оказались забыты, не вошли в эти руководства, и сведения о них удалось восстановить только в XXI в. Поскольку названия многих культиваров «не устоялись» (см. ниже описание межсекционных гибридов), приведены основные диагностические признаки каждого культивара. Родительские виды гибридных тополей указаны согласно нашим морфологическим [1, 2] и молекулярно-генетическим данным [15, 16].

Время застройки, а значит, и время посадки тополей определено с использованием данных сайта «Год постройки, серия и тип дома по адресу в Шатуре (minghh.ru)».

В общей сложности учтено 204 экземпляра взрослых тополей в городе Шатуре (89 – на площади, 115 – маршрутным методом), а также 16 экз. в городе Рошаль, 15 экз. в пос. Мишеронский и 5 экз. в пос. Бакшеево (данные Ю.А. Насимовича). Кроме того, собраны сведения об истории озеленения Шатуры (данные В.А. Мухина).

Гербаризация не производилась по причине перегруженности московских гербариев, но образцы из Москвы с тем же определением ранее переданы одним из авторов (Ю.А. Насимовичем) в Гербарий Главного ботанического сада РАН (МНА), оцифрованы и в настоящее время доступны для просмотра в электронном виде.

¹ Альбенский А.В. *Методы улучшения древесных пород*. М.-Л.: Гослесбумиздат, 1954. 272 с.

² Котелова Н.В., Стельмахович М.Л. *Тополя и их использование в зеленых насаждениях*. М.: Сельхозиздат, 1963. 127 с.

³ Царёв А.П. *Сортоведение тополя*. Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 1985. 152 с.

Аналогичные исследования проведены нами также в Москве и в ряде подмосковных городов (Коломна, Можайск, Дмитров, Пушкино, Ивантеевка, Раменское). Эти данные частично опубликованы [17], и можно привести соответствующие сравнения.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Тополя не являются основой озеленения г. Шатуры. Здесь много вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.), ивы ломкой (*Salix × fragilis* L.), липы сердцелистной (*Tilia cordata* Mill.), а тополя представлены единичными деревьями или небольшими группами, не вполне равномерно разбросанными по городу. Лишь в отдельных местах имеются более или менее длинные ряды деревьев, посаженных вдоль проезжей части улицы: например, ряд из 23 деревьев тополя петровского (*P. × petrovskoe*) вдоль проспекта Ильича близ Станционной улицы. Совсем не оказалось тополей в новых кварталах с преимущественно 9-этажной (до 14 этажей) застройкой (самый конец XX в. и начало XXI в.) и в ПККиО им. Ю.А. Гагарина. Очень мало их в пределах 1-2-этажной частной застройки сельского типа южнее железной дороги (преимущественно 1950-е гг.); здесь видели их только вдоль ул. Большевик – главной улицы этой части города, то есть хозяева частных владений неохотно высаживали эти деревья. Но в районах с преимущественно 5-этажной застройкой (2-5 этажей, редко – 9, застройка 1970-х – первой половины 1980-х гг.) тополя обычны, хотя не являются основной озеленения.

В первом полностью осмотренном квартале (Спортивная, Школьная, проспекты Ильича

и Маршала Борзова) оказалось 88 тополей на площади в 37 га, то есть в среднем 2,4 тополя на 1 га. Этот результат, по интуитивной оценке, можно распространить на кварталы восточнее (до ул. Клары Цеткин, далее до ул. Интернациональная и чуть дальше), а также на кварталы чуть южнее (до Советской улицы и Конного проезда), то есть на всю центральную часть города с 5-9-этажными домами. Здесь имеем в среднем и округленно по 2-3 взрослых тополя на 1 га жилой застройки.

Во втором, полностью осмотренном квартале (Спортивная, проспекты Маршала Борзова и Ильича, ул. Строителей), оказался только 1 тополь (осина) на площади в 29 га, то есть в среднем 0,03 тополя на 1 га. Можно утверждать, что в западной части города, где имеется относительно недавняя 9-14-этажная застройка, тополя практически не высаживались.

В городском озеленении г. Шатуры выявлены 9 видов и приравненных к ним гибридов тополей. В Шатурском районе (городском округе и Рошале) вне Шатуры имеются только 3 вида, причем все они – из числа предыдущих.

В ходе бесед со старыми озеленителями Шатуры (Антонина Филатовна Шагова и др.) выяснилось, что материал тополей поступал в Шатуру из питомников в городах Ивантеевке и Пушкино, а также, но уже по недостоверным сведениям, – из Коломны. В настоящее время культурная флора тополей Шатуры не похожа на то, что мы видим в Коломне (в Шатуре почти нет, в частности, *P. simonii f pendula*, который в Коломне является массовым видом).

В озеленении Шатуры заведомо господствуют два культивара: *P. × sibirica* (47,5% всех учтенных тополей) и *P. × petrovskoe* (34,8%) (рис.).

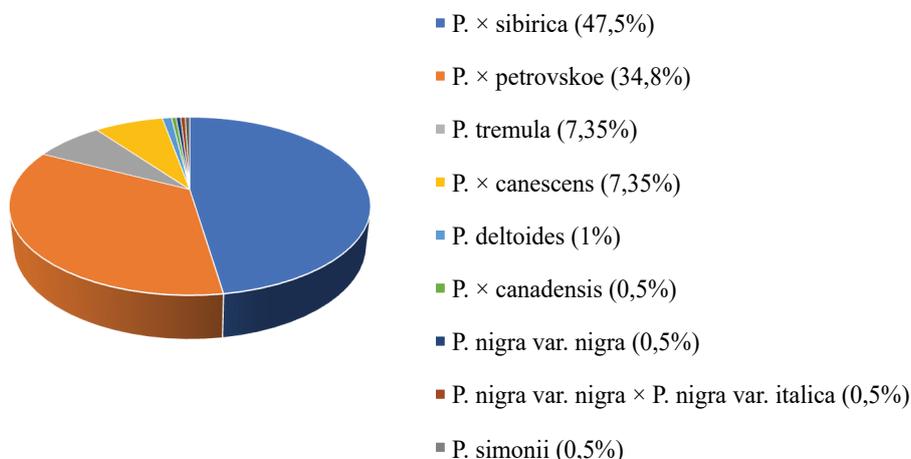


Рис. Соотношение разных таксонов тополей в Шатуре, % вида, гибрида или культивара от общего числа тополей

Fig. Taxonomic composition of poplars in Shatura, % of species, hybrid or cultivar from the total poplars

Populus × sibirica G.V. Krylov et G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov – Тополь сибирский. В течение почти полутора последних столетий известен в российском озеленении под ошибочным названием «Тополь бальзамический», то есть как *P. balsamifera* L. из Северной Америки⁴ [3, 15], а настоящий *P. balsamifera* в российском озеленении отсутствует [1, 2]. *P. × sibirica* является гибридом *P. nigra* и *P. balsamifera* [18] либо, что вероятнее, сложным гибридом трех российских тополей: *P. nigra* × (*P. laurifolia* Ledeb. × *P. suaveolens* Fisch.) [1, 2, 16]. Это основной тополь в озеленении Шатуры (почти половина всех тополей) и вообще в российском озеленении [18]. В пределах Шатуры особенно много этого тополя на улицах и во дворах 5-9-этажной жилой застройки. Еще этот тополь заметно преобладает над тополем петровским в пос. Мишеронский. На придорожном газоне в Бакшееве наблюдался подрост тополя сибирского на большом удалении от взрослых деревьев, и мы предполагаем его семенное возникновение, но в естественных насаждениях района какие-либо тополя, кроме осины, не были встречены ни разу. У дерева раскидистая крона; листья с укороченных побегов в кроне взрослого дерева – яйцевидные со слабо намеченной ромбовидностью, в 1,5-2 раза длиннее своей ширины; корневых отпрысков и побегов из «спящих» почек обычно нет или мало. Преобладают женские особи, которые интенсивно «пылят» (производят семена с пухом) и этим дискредитируют идею использования тополей в озеленении. В сравнении с другими тополями тополь сибирский раньше раскрывает листву весной и раньше сбрасывает ее осенью. Приводился для Шатуры (как «*P. balsamifera*») еще 46 лет назад, причем высотой до 18 м и диаметром ствола до 65 см⁵ то есть имеет в Шатуре примерно вековую историю.

Populus × petrovskoe R.I. Schroed. ex Wolkenst. – Тополь петровский. Один из спонтанных гибридов, обнаруженных чуть ранее 1882 г. садовником Р.И. Шредером на территории Московской (ранее Петровской) сельскохозяйственной академии в Москве (ранее в Петровско-Разумовском близ Москвы) [19]. Более известен в России как *P. × petrowskiana* R.I. Schroed. ex Dippel, но лишь потому, что в нашей стране не знали англоязычную статью Волкенштейна, появившуюся на 10 лет раньше книги Диппела⁶. В середине XX в. на *P. × petrovskoe* по ошибке

перешло название более известного и похожего гибрида – тополя берлинского (*P. × berolinensis* Koch.), и под этим «именем» он до сих пор фигурирует в отечественном озеленении. Однако *P. × petrovskoe* в отличие от *P. × berolinensis*⁷ имеет на укороченных побегах в кроне взрослого дерева широкояйцевидные листья (листовые пластинки только в 1,2-1,3 раза длиннее своей ширины), а также обильный корнеотпрысковый подрост (по данным авторов). Крона раскидистая, но с элементами полупирамидальности: устремленные почти вверх длинные прямые ветви в верхней половине кроны, обильные вертикальные побеги из «спящих» почек по всему стволу от самого низа. Листья весной имеют оранжевый оттенок и раскрываются позднее, чем у тополя сибирского (особенно на вершине дерева). Родительскими видами, по нашему предположению [2], являются *P. laurifolia* и *P. × canadensis* (гибрид черного и дельтовидного тополей). Культивар обычен на улицах и во дворах 5-9-этажной жилой застройки Шатуры; особенно крупные экземпляры имеются по ул. Школьная (диаметр ствола – до 90 см). Кроме того, тополь петровский присутствует в озеленении Рошалья, Бакшеева и Мишеронского, причем в первых двух населенных пунктах его больше, чем тополя сибирского.

Значительно меньше в уличном и дворовом озеленении Шатуры осины (*P. tremula*) и тополя сереющего (*P. × canescens*) – по 15% всех тополей в городе. Эти деревья произрастают по одному или несколько экземпляров и бывают окружены «рощичками» корнеотпрыскового подростка, но такие молодые деревца нами не учитывались. На газонах корнеотпрысковый подрост иногда плохо виден из-за стрижки.

Populus tremula L. – Осина, или Тополь дрожащий. Наш обычный местный вид тополя с почти округлыми подвижными листьями (край с крупными городками, то есть волнистый) на длинных уплощенных черешках. Обилен в естественных перелесках на периферии Шатуры, но в уличном и дворовом озеленении используется не очень часто, а какие-то деревья могли вырасти в качестве самосева. Очевидно, что при рассмотрении периферийных перелесков доля этого вида существенно возросла бы, но эти насаждения не представляют интереса в рамках нашей работы. Осина также отмечена в озеленении Рошалья.

Populus × canescens (Aiton) Sm. – Тополь сереющий. Считается естественным гибридом

⁴ Сырейщиков Д.П. *Иллюстрированная флора Московской губернии*. М., 1907. Ч. 2. 445 с.

⁵ Александров М.С., Лапин П.И., Петрова И.П., Плотникова Л.С. и др. *Древесные растения парков Подмосковья*. М.: Наука, 1979. 236 с.

⁶ Dippel L. *Handbuch der Laubholzkunde*. Berlin: Paul Parey. 1892;2:190-211.

⁷ Koltzenburg M. Bestimmungsschlüssel für in Mitteleuropa heimische und kultivierte Pappelarten und -sorten (*Populus spec.*). *Floristische Rundbriefe*. 1999;6:1-53.

P. alba L. и *P. Tremula*^{68,9}, но молекулярного подтверждения эта гипотеза пока не имеет. Изначально был описан в качестве «чистого» вида. Ясно, что по своим морфологическим признакам *P. × canescens* ближе к *P. alba*, особенно в молодости (темно-зеленые сверху и белые снизу лопастные листья). По мере взросления и старения дерева листья округляются, частично теряют белый налет и становятся похожими на листья осины. Более половины экземпляров тополя сереющего найдено у домов 22 и 24 по ул. Энергетиков. Кроме того, по 1-2 дерева имеются во дворах по ул. Жарова, Клары Цеткин, Школьная и Радченко. Некоторые деревья, особенно в глубине дворов, окружены густым разновозрастным корнеотпрысковым подростом, но он нами не учитывался. *P. × canescens*, причем высотой до 15 м и диаметром ствола до 48 см, приводился для Шатуры еще 46 лет назад¹⁰.

Остальные виды и культивары представлены в озеленении Шатуры единичными экземплярами.

Populus deltoides W. Bartram ex Marshall – Тополь дельтовидный (в широком смысле). Естественный североамериканский вид. Листья почти треугольные, большие, иногда с чуть сердцевидным основанием. Найдено по одному крупному экземпляру в двух точках города: 1) близ северо-западного угла дома 53 по проспекту Ильича имеется корнеотпрысковый подрост; 2) севернее дома 18 по ул. Школьная листья чуть меньше, чем у предыдущего дерева. Во втором случае не исключена примесь тополя канадского.

Populus × canadensis Moench – Тополь канадский, гибрид дельтовидного и черного тополей. Листья почти треугольные, но меньше, чем у предыдущего вида, с меньшим числом железок на стыке черешка и листовой пластинки, более мелкими городками и меньшим числом ресничек по краю листа. Угнетенное деревце южнее дома 3а по Спортивной улице.

? *Populus nigra* L. var. *nigra* – Тополь черный, осокорь, точнее «почти черный тополь», так как черешок близ основания листовой пластинки чуть опушен, а на черешке одного из листьев (из 10 просмотренных) имелась еле заметная бороздка. Эти признаки означают гибридизацию с представителями секции бальзамических тополей (*Tacamahaca* Sprach), но их участие крайне мало. Признаков дельтовидного или канадского

тополей не было совсем. Дерево особенное: концы основных ветвей загущены почти в виде «ведьминых метел», то есть ветвление здесь более густое, чем обычно то, что характерно для тополя черного. Одно мощное, но не очень высокое дерево, на углу ул. Большевик и Малькина Грива (у дома 65/2).

Populus nigra L. var. *nigra* L. × *P. nigra* var. *italica* Du Roi [*P. nigra* × *P. nigra* var. *pyramidalis* Salisb.; *P. nigra* × *P. pyramidalis* Rozier] – искусственный гибрид типичной раскидистой формы тополя черного и его пирамидальной формы, известной как тополь итальянский, тополь пирамидальный, раина. По сути это «полураина», но в озеленении данный культивар известен как тополь итальянский, или раина. «Полураина» лучше приспособлена к нашему северному климату, чем настоящая южная раина. Одно эффектное дерево высотой 22 м возвышается над окрестными домами чуть юго-юго-западнее пересечения ул. Строителей и проспекта Маршала Борзова. Раина имеет чуть опушенные черешки, что является признаком давней гибридизации с бальзамическими тополями.

Populus simonii Cartiere var. *pendula* Schneid. – Тополь Симона, китайский, Пржевальского; форма – с овальной или чуть плакучей кроной и эллиптическими листьями. Одно невысокое молодое деревце южнее дома 6 по ул. Маршала Борзова. Наверное, по причине молодости дерева провисание ветвей пока не наметилось, но листья имеют максимальное расширение в середине листовой пластинки и расположены исключительно на укороченных побегах, ввиду чего мы отнесли этот экземпляр к данной форме. Вероятно, в прошлом этого культивара в Шатуре было больше, так как он ранее приводился для города¹¹.

Таким образом, состав культивируемой и спонтанной флоры тополей в г. Шатуре Московской области в общих чертах сходен с аналогичным составом во всей Средней полосе России [14]:

1) преобладают гибридные культивары (в Шатуре – 91%), а «чистые» виды редки, в данном случае – 9%, то есть осина, а также тополя черный, итальянский и китайский, представленные единичными экземплярами; но осина – местный вид, а без нее «чистых» видов оказывается всего 1%, причем «чистота» тополей черного и пирамидального тоже по той или иной причине оказывается под вопросом (см. выше);

2) преобладают сложные гибриды, в данном случае – тополя сибирский и петровский, 82% всех

⁸ Регель Э. *Русская дендрология*. СПб., 1889. Вып. 2. 194 с.

⁹ Rehder A. *Manual of cultivated trees and shrubs*. New York: MacMillan, 1949:996.

¹⁰ Александров М.С., Лапин П.И., Петрова И.П., Плотникова Л.С. и др. *Древесные растения парков Подмосковья*. М.: Наука, 1979. 236 с.

¹¹ Александров М.С., Лапин П.И., Петрова И.П., Плотникова Л.С. и др. *Древесные растения парков Подмосковья*. М.: Наука, 1979. 236 с.

тополей; похоже, что только эти культивары высаживались в ходе реализации государственной программы озеленения, а остальные посажены жителями по их инициативе;

3) преобладают спонтанные гибриды, в данном случае – тополя сибирский, петровский и сереющий, 90% всех тополей, а культивары, созданные селекционерами, используются мало, в данном случае – тополя канадский, пирамидальный в северном варианте и китайский, 1%;

4) велика доля гибридов с участием исключительно российских тополей; в данном случае это тополя сибирский, сереющий и пирамидальный, 55%, но в образовании остальных гибридов хотя бы частично тоже принимали участие российские тополя;

5) местные виды (в данном случае – только осина) используются редко (7% всех тополей);

6) среди конкретных культиваров больше всего тополя сибирского, в данном случае – 47,5%, и это является отрицательным обстоятельством для озеленения Шатуры, так как тополь сибирский не очень декоративен, больше всего поражается вредителями и болезнями, раньше других тополей сбрасывает осенью листву, недолговечен, высок и недостаточно ветроустойчив (может представлять угрозу для пешеходов и автомобилей); кроме того, он представлен в основном женскими экземплярами и потому производит много пожароопасного и вредного для здоровья «пуха», чем дискредитирует саму идею использования тополей в озеленении;

Тем не менее культурная флора тополей почти каждого города обладает некоторыми специфическими особенностями (тоже общее правило!), и для Шатуры это следующее:

1) тополя, в отличие от положения дел в этом отношении, например, в Москве, не являются основой озеленения и по суммарной численности выходят лишь на 4-5-е места; в значительной части города, где имеется 5-9-этажная жилая застройка, плотность тополей составляет всего 2-3 дерева на 1 га, а в пределах более «молодой» 9-14-этажной застройки и в пределах сельской одноэтажной застройки тополя практически не высаживались;

2) отсутствуют или очень редки и потому не найдены некоторые популярные в Москве культивары: тополь Разумовского (*P. × rasumovskoe* R.I. Schrod. ex Wolkenst.), тополь советский пирамидальный (*P. × sowietica pyramidalis* Jabl., descr. ross., nom. inval.), тополь Яблокова (*P. × jablocowii* Jabl., descr. ross., nom. inval.), а также тополь длиннолистный (*P. longifolia* Fisch.); отсутствие первых трех культиваров можно объяснить случайностями, связанными с развитием тех или иных питомников, удаленностью от питомников, ориентированных на Москву, и т.п., а тополь длиннолистный, вероятно, нуждается в относительно

богатых почвах (например, в сильной минерализации воды в реках, вдоль которых он растет), но это не является свойственным для Мещерской низменности;

3) в озеленении слишком мало представлены тополя китайский, канадский и пирамидальный (всего по 0,5% всех тополей), и это тоже можно объяснить случайностями, связанными с ассортиментом конкретных питомников; но отсутствие тополя канадского можно объяснить также тем, что озеленение в Шатуре началось позднее, чем в Москве, где этот гигантский и долго живущий тополь присутствует лишь в старых посадках; а тополь китайский, возможно, еще «не успел дойти» до Шатуры, так как массово стал высаживаться в Москве лишь в последние десятилетия;

4) в Шатуре не оказалось парков и композиционных центров, в которых использованы редкие или вообще какие-либо культивары тополей, и это, возможно, объясняется общей организацией городской жизни, когда усилия ориентированы на производственные успехи и удобный быт, а остальные сферы интересуют людей меньше (не является туристическим центром и т.д.);

5) гибридных культиваров в Шатуре не просто много, а существенно больше, чем во многих городах Московского региона; то же самое можно сказать о сложных и спонтанных гибридах, а также конкретно о *P. × sibirica*, который объединяет в себе перечисленные качества.

Выводы

Conclusions

Структура культурной флоры тополей Шатуры сходна с соответствующей структурой в Москве и других городах России: преобладают гибридные культивары, и прежде всего – сложные, спонтанно возникшие гибриды (*P. × sibirica*, 47,5% всех тополей в городе; *P. × petrovskoe*, 34,8% всех тополей). В основном это гибриды с участием только российских тополей, среди которых особенно много *P. × sibirica*. Что же касается местных видов, «чистых» видов, в том числе российских, а также простых гибридов, гибридов с участием американских тополей, гибридов и прочих культиваров, целенаправленно созданных селекционерами, то их очень мало. Сходство с ними в Москве отчасти может быть обусловлено тем, что посадочный материал привозился из питомников в городах Ивантеевке и Пушкино близ Москвы.

Вместе с тем культурная флора Шатуры, как и любого города, обладает некоторой спецификой: тополя не являются основой озеленения, отсутствуют или редки некоторые виды, гибриды и культивары, которые обычны во многих других городах,

в том числе в Москве. Специфические шатурские и вообще редкие виды, гибриды и культивары тополей не выявлены, и это оказалось общим правилом для городов Дальнего Подмосковья (ситуация в Москве и близких к ней городах: в Пушкино, Ивanteeвке и Дмитрове – в этом отношении другая).

Озеленение Шатуры желательнее обогатить посадкой на улицах и во дворах *P. simonii*, в парках и тому подобных местах – *P. × canadensis*, а в композиционных центрах – разнообразных культиваров, созданных селекционерами, в том числе белых и черных пирамидальных тополей; зато доля в озеленении *P. × sibirica* должна быть резко снижена.

Список источников

1. Майоров С.Р., Алексеев Ю.Е., Бочкин В.Д., Насимович Ю.А. и др. *Чужеродная флора Московского региона: состав, происхождение и пути формирования*. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2020. 576 с. EDN: CEJLRL
2. Майоров С.Р., Бочкин В.Д., Насимович Ю.А., Щербаков А.В. *Адвентивная флора Москвы и Московской области*. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 412 с. EDN: LOSNRN
3. Цвелев Н.Н. О тополях (*Populus*, *Salicaceae*) Санкт-Петербурга и Ленинградской области // *Ботанический журнал*. 2001. Т. 86, № 2. С. 70-78
4. Борзенкова Т.Г., Костина М.В., Насимович Ю.А. Культивируемые тополя (*Populus*, *Salicaceae*) Хабаровска // *Социально-экологические технологии*. 2022. Т. 12, № 1. С. 9-21. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2022-12-1-9-21>
5. Костина М.В., Насимович Ю.А. Культивируемые тополя (*Populus*, *Salicaceae*) Саратова и Энгельса (Саратовская область) // *Социально-экологические технологии*. 2018. № 3. С. 33-42. <https://doi.org/10.31862/2500-2963-2018-3-33-42>
6. Молганова Н.А., Необердина А.А., Конюков А.Г. Виды рода Тополь (*Populus* L., *Salicaceae*) г. Перми // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2015. № 1. С. 129-135. EDN: UNJJAN
7. Молганова Н.А., Овеснов С.А. Виды рода Тополь (*Populus* L., *Salicaceae*) в г. Перми // *Вестник Пермского университета. Серия «Биология»*. 2016. № 1. С. 12-21. EDN: VVMYND
8. Гарин Э.В., Насимович Ю.А. Флора культивируемых тополей (*Populus*, *Salicaceae*) города Череповец (Вологодская область) // *Социально-экологические технологии*. 2018. № 3. С. 22-33. <https://doi.org/10.31862/2500-2962-2018-3-22-32>
9. Латыпова Р.В. Использование тополей в городском озеленении на примере тополя белого (*Populus alba*) и тополя пирамидального (*Populus pyramidalis*) // Роль

References

1. Mayorov S.R., Alekseev Yu.E., Bochkin V.D., Nasimovich Yu.A. et al. *Alien flora of the Moscow Region: composition, origin and ways of formation*. Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd., 2020:576. (In Russ.)
2. Mayorov S.R., Bochkin V.D., Nasimovich Yu.A., Shcherbakov A.V. *Adventive flora of Moscow and the Moscow Region*. Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd., 2012:412. (In Russ.)
3. Tsvelev N.N. About poplars (*Populus*, *Salicaceae*) of St. Petersburg and Leningrad Region. *Botanicheskii Zhurnal*. 2001;86(2):70-78. (In Russ.)
4. Borzenkova T.G., Kostina M.V., Nasimovich Y.A. Cultivated poplars (*Populus*, *Salicaceae*) of Khabarovsk. *Sotsialno-ekologicheskie tekhnologii*. 2022;12(1):9-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2022-12-1-9-21>
5. Kostina M.V., Nasimovich Y.A. Cultivated poplars (*Populus*, *Salicaceae*) of Saratov and Engels (Saratov province). *Sotsialno-ekologicheskie tekhnologii*. 2018;(3):33-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.31862/2500-2963-2018-3-33-42>
6. Molganova N.A., Neoberdina A.A., Konjukov A.G. Species of the genus Poplar (*Populus* L., *Salicaceae*) the city of Perm. *Anthropogenic transformation of the natural environment*. 2015;(1):129-135. (In Russ.)
7. Molganova N.A., Ovesnov S.A. Species of the genus *Populus* L. (*Salicaceae*) in Perm. *Bulletin of Perm University. Biology*. 2016;(1):12-21. (In Russ.)
8. Garin E.V., Nasimovich Y.A. Cultivated poplars (*Populus*, *Salicaceae*) of Cherepovets (Vologda province). *Sotsialno-ekologicheskie tekhnologii*. 2018;(3):22-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.31862/2500-2962-2018-3-22-32>
9. Latypova R.V. Use of poplars in urban landscaping on the example of white poplar (*Populus alba*) and pyramidal poplar (*Populus pyramidalis*). *III Vserossiyskaya (natsionalnaya) nauchnaya*

- аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: Сборник III Всероссийской (национальной) научной конференции, г. Новосибирск, 20 декабря 2018 г. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2018. С. 266-268. EDN: SLNUOT
10. Медведева Е.Ю., Кайзер Н.В., Сродных Т.Б. Роль представителей рода *Populus* в озеленении Екатеринбурга // Ландшафтная архитектура: традиции и перспективы-2022: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции, г. Екатеринбург, 15-16 декабря 2022 г. Екатеринбург: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный лесотехнический университет», 2022. С. 109-114. EDN: DPCJDC
11. Xiaoyi X., Dong L., Konijnendijk C., Peiyao Hao P. et.al. The Impact of Microclimate on the Reproductive Phenology of Female *Populus tomentosa* in a Micro-Scale Urban Green Space in Beijing. *Sustainability*. 2021;13(6):3518. <https://doi.org/10.3390/su13063518>
12. Li X., Tian J., Li X., Wang L. et al. Developing a sub-meter phenological spectral feature for mapping poplars and willows in urban environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2022;193:77-89. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.09.002>
13. Łukaszkiwicz J., Długoński A., Fortuna-Antoszkiewicz B., Fialová J. The Ecological Potential of Poplars (*Populus L.*) for City Tree Planting and Management: A Preliminary Study of Central Poland (Warsaw) and Silesia (Chorzów). *Land*. 2024;13(5):593. <https://doi.org/10.3390/land13050593>
14. Насимович Ю.А., Костина М.В., Васильева Н.В. Концепция вида у тополей (genus *Populus L.*, Salicaceae) на примере представителей подрода *Tacamahaca* (Spach) Penjkovsky произрастающих в России и сопредельных странах // Социально-экологические технологии. 2019. Т. 9. № 4. С. 426-466. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2019-9-4-426-466>
15. Borkhert E.V., Pushkova E.N., Nasimovich Y.A., Kostina M.V. et al. Sex-Determining Region Complements Traditionally Used in Phylogenetic Studies Nuclear and Chloroplast Sequences in Investigation of *Aigeiros* Dubi and *Tacamahaca* Spach Poplars (genus *Populus L.*, Salicaceae). *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1204899. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1204899>
16. Насимович Ю.А, Костина М.В., Борхерт Е.В., Пушкова Е.Н. и др. Черные и бальзамические тополя России, их природные и культурные гибриды: *konferentsiya 'Rol agrarnoy nauki v ustoychivom razvitii selskikh territoriy'*. December 20, 2018. Novosibirsk, Russia: Novosibirsk State Agrarian university, 2018:266-268. (In Russ.)
10. Medvedeva E.Yu., Kaiser N.V., Srodnykh T.B. The role of representatives of the genus *Populus* in the greening of Yekaterinburg. *I Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Landshaftnaya arkhitektura: traditsii i perspektivy-2022'*. December 15-16, 2022. Ekaterinburg, Russia: Ural State Forest Engineering University, 2022:109-114. (In Russ.)
11. Xiaoyi X., Dong L., Konijnendijk C., Peiyao Hao P. et.al. The Impact of Microclimate on the Reproductive Phenology of Female *Populus tomentosa* in a Micro-Scale Urban Green Space in Beijing. *Sustainability*. 2021;13(6):3518. <https://doi.org/10.3390/su13063518>
12. Li X., Tian J., Li X., Wang L. et al. Developing a sub-meter phenological spectral feature for mapping poplars and willows in urban environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2022;193:77-89. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.09.002>
13. Łukaszkiwicz J., Długoński A., Fortuna-Antoszkiewicz B., Fialová J. The Ecological Potential of Poplars (*Populus L.*) for City Tree Planting and Management: A Preliminary Study of Central Poland (Warsaw) and Silesia (Chorzów). *Land*. 2024;13(5):593. <https://doi.org/10.3390/land13050593>
14. Nasimovich Yu.A., Kostina M.V., Vasilieva N.V. The concept of species in poplars (genus *Populus L.*, Salicaceae) based on the example of the subgenus *Tacamahaca* (Spach) Penjkovsky representatives growing in Russia and neighboring countries. *Sotsialno-ekologicheskie tekhnologii*. 2019;9(4):426-466. (In Russ.) <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2019-9-4-426-466>
15. Borkhert E.V., Pushkova E.N., Nasimovich Y.A., Kostina M.V. et al. Sex-Determining Region Complements Traditionally Used in Phylogenetic Studies Nuclear and Chloroplast Sequences in Investigation of *Aigeiros* Dubi and *Tacamahaca* Spach Poplars (genus *Populus L.*, Salicaceae). *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1204899. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1204899>
16. Nasimovich Yu.A., Kostina M.V., Borkhert E.V., Pushkova E.N. et al. Black and balsam poplars of Russia, their natural and cultural hybrids: Molecular data, relationships,

- молекулярно-генетические данные, родственные связи, статус // *Социально-экологические технологии*. 2024. Т. 14, № 1. С. 9-69.
<https://doi.org/10.31862/2500-2961-2024-14-1-9-69>
17. Муратаев Р.А. Предварительные итоги инвентаризации видов, гибридов и культиваров тополей (*Populus L.*) в Москве и Московской области // Экологическая морфология растений: *Материалы XI Всероссийской конференции с международным участием, посвященной памяти И.Г. и Т.И. Серебряковых, Москва, 24-26 октября 2024 г.* Москва: Московский педагогический государственный университет, 2024. С. 278-281.
<https://doi.org/10.31862/9785426314665>
18. Скворцов А.К. О сибирском «бальзамическом» тополе // *Бюллетень Главного ботанического сада РАН*. 2007. № 193. С. 41-45.
19. *The gardeners' Chronicle. A weekly Illustrated Journal or Horticulture and Allied Subjects*. Vol. XVIII. New series. July to December, 1882. London: 41, Wellington Street, Covent Garden W.C. 1882. P. 108. URL: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/84274#page/7/mode/1up>
- and status. *Sotsialno-ekologicheskie tekhnologii*. 2024;14(1):9-69. (In Russ.)
<https://doi.org/10.31862/2500-2961-2024-14-1-9-69>
17. Murataev R.A. Preliminary results of the inventory of poplar (*Populus L.*) species, hybrids and cultivars in Moscow and Moscow Region.: *XI Vserossiyskaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy pamyati I.G. i T.I. Serebryakovykh 'Ekologicheskaya morfologiya rasteniy'*. October 24-26, 2024. Moscow, Russia: Moscow Pedagogical State University, 2024:278-281.
<https://doi.org/10.31862/9785426314665>
18. Skvortsov A.K. About Siberian 'balsamic' poplar. *Bulletin of the Central Botanical Garden*. 2007;(193):41-45. (In Russ.)
19. *The gardeners' Chronicle. A weekly Illustrated Journal or Horticulture and Allied Subjects*. Vol. XVIII. New series. July to December, 1882. London: 41, Wellington Street, Covent Garden W.C. 1882. P. 108. URL: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/84274#page/7/mode/1up>

Сведения об авторах

Юрий Андреевич Насимович, ведущий специалист отдела мониторинга биоразнообразия, Государственное природоохранное бюджетное учреждение г. Москвы «Государственный природоохранный центр»; 119019, Россия, г. Москва, ул. Новый Арбат, 11, стр. 1; e-mail: nasimovich@mail.ru;
<https://orcid.org/0009-0003-0644-0314>

Виктор Александрович Мухин, краевед, в прошлом – теплоэнергетик, инженер; теперь на пенсии; e-mail: muxin.vik@yandex.ru

Рамиль Айдарович Муратаев, старший лаборант лаборатории постгеномных исследований, Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН; 119991, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 32; аспирант Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова; 119991, Россия, г. Москва, ул. Колмогорова, 1; e-mail: ramil.murataev@mail.ru;
<http://orcid.org/0000-0002-3632-3835>

Information about the authors

Yuri A. Nasimovich, Leading Specialist at the Biodiversity Monitoring Department, State Nature Conservation Centre; 11 Bldg. 1, Novy Arbat St., Moscow, 119019, Russian Federation; e-mail: nasimovich@mail.ru;
<https://orcid.org/0009-0003-0644-0314>

Viktor A. Mukhin, a local history expert, formerly a heat power engineer; now retired; e-mail: muxin.vik@yandex.ru

Ramil A. Murataev, Research Assistant at the Laboratory of Postgenomic Research, Engelhardt Institute of Molecular Biology of the Russian Academy of Sciences; 32 Vavilova St., Moscow, 119991, Russian Federation; postgraduate student at the Lomonosov Moscow State University; 1 Kolmogorova St., Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: ramil.murataev@mail.ru;
<http://orcid.org/0000-0002-3632-3835>

Статья поступила в редакцию 27.02.2025
Одобрена после рецензирования 18.03.2025
Принята к публикации 26.03.2025

The article was submitted to the editorial office
February 27, 2025
Approved after reviewing March 18, 2025
Accepted for publication March 26, 2025

Оригинальная научная статья
УДК 634.74: 582.724.1 (479.25)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-2-02>



**Биоэкологическая характеристика растений
облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.)
в различных местообитаниях Лорийского марза Армении**

**Заруи Самвеловна Варданян¹, Лилия Егоровна Байрамян¹,
Гаяне Робертовна Саакян¹, Асмик Кареновна Мхитарян¹,
Александр Вячеславович Лебедев²**

¹ Ванадзорский государственный университет имени Ованеса Туманяна,
г. Ванадзор, Армения

² Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Заруи Самвеловна Варданян; zaruhi.vartanyan@mail.ru

Аннотация

Облепиха крушиновидная относится к важным кустарниковым видам на территории Армении. Это засухоустойчивый кустарник, приспособленный к произрастанию в сухих условиях, укрепляющий крутые эродированные склоны, что связано с активным ростом корневых отпрысков растений. Целью исследований стало выявление биоэкологических особенностей растений облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) в различных местообитаниях Лорийского марза Армении. Исследования мест произрастания растений облепихи крушиновидной проводились в разных экологических условиях Спитакского и Гугаркского районов Лорийского марза. В районе Гугарка исследования проводились в окрестностях села Маргаовит. Изучены некоторые физиологические процессы в растениях облепихи. В частности, определены: водный режим (содержание общей, свободной и связанной воды); водный дефицит; газообмен (интенсивность поглощения O₂ и выделения CO₂); биометрические показатели плодов и содержание сахарозы. Эколого-физиологические особенности растений определены по общепринятым методам полевых и лабораторных исследований. Проведенные исследования позволили сделать ряд выводов. Сырой вес образцов, взятых из двух исследуемых участков, был одинаковым, но общее содержание воды на 16% выше в листьях растений из более влажного участка окрестностей Спитака. Сравнивая образцы растений двух районов, можно подчеркнуть, что количество O₂ в образцах растений, взятых с первого участка, меньше на 0,2%, а в образцах растений, взятых со второго участка, меньше на 0,04%. Из этих данных следует, что интенсивность использования O₂ является высокой в растениях Маргаовита (первый участок). Количество CO₂, выделенного растениями Маргаовита, увеличилось на 3 промилле, а в образцах Спитака – на 12,5 промилле. Другими словами, растения в районе Маргаовита в процессе фотосинтеза используют больше выделенный ими при дыхании CO₂, чем растения окрестностей Спитака.

Ключевые слова

Hippophae rhamnoides L., среда обитания, свободная вода, связанная вода, почвенно-климатические условия, эрозия, показатель преломления, биометрические показатели

Для цитирования

Варданян З.С., Байрамян Л.Е., Саакян Г.Р., Мхитарян А.К., Лебедев А.В. Биоэкологическая характеристика растений облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) в различных местообитаниях Лорийского марза Армении // *Тимирязевский биологический журнал*. 2025. Т. 3, № 1. С. 202531202. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-2-02>



Bioecological characteristics of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) in different habitats of Lori Province, Armenia

Zaruhi S. Vardanyan¹, Liliya E. Bairamyan¹, Gayane R. Sahakyan¹,
Hasmik K. Mkhitarian¹, Aleksandr V. Lebedev²

¹ Vanadzor State University named after Hovhannes Tumanyan,
Vanadzor, Armenia

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
Moscow, Russia

Corresponding author: Zaruhi S. Vardanyan; zaruhi.vartanyan@mail.ru

Abstract

Sea buckthorn is an important shrub species in Armenia. It is a drought-resistant shrub adapted to dry conditions. It strengthens steep, eroded slopes due to the active growth of its root suckers. The aim of the study was to identify bioecological features of sea buckthorn plants (*Hippophae rhamnoides* L.) in different habitats of the Lori Province of Armenia. Sea buckthorn habitats were studied in the Spitak and Gugark districts of Lori Province under varying environmental conditions. In the Gugark district, studies were conducted near the village of Margahovit. The study examined several physiological processes in sea buckthorn plants, including: water regime (content of total, free and bound water); water deficit; gas exchange (O₂ absorption and CO₂ emission rates); biometric indicators of fruits; and sucrose content. The ecological and physiological characteristics of plants were determined using generally accepted methods of field and laboratory research. The conducted research allowed us to draw a number of conclusions. The raw weight of the samples taken from the two study areas was the same, but the total water content was 16% higher in the leaves of plants from the more humid area near Spitak. Comparing the plant samples from the two areas, it can be emphasized that the amount of O₂ in plant samples from Margahovit was 0.2% less, while in samples from Spitak it was 0.04% less. These data show that the intensity of O₂ use is high in Margahovit plants. The amount of CO₂ released by Margahovit plants increased by 3 ppm, and by 12.5 ppm in Spitak samples. Therefore, Margahovit plants exhibit a lower net release of CO₂ during respiration during photosynthesis compared to Spitak plants.

Keywords

Hippophae rhamnoides L., habitat, free water, bound water, soil and climatic conditions, erosion, refractive index, biometric indicators

Conflict of interest

The authors declare no relevant conflict of interests.

For citation

Vardanyan Z.S., Bairamyan L.E., Sahakyan G.R., Mkhitarian H.K., Lebedev A.V. Bioecological characteristics of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) in different habitats of Lori Province, Armenia. *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531202. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-2-02

Введение

Introduction

Территория Республики Армения богата дикорастущими ягодными древесными и кустарниковыми растениями, среди которых важное место занимает облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) [1]. Это засухоустойчивый кустарник, приспособленный к произрастанию в сухих условиях, укрепляющий крутые эродированные склоны, что связано с активным ростом

корневых отпрысков растений^{1,2}. Вид является одним из «пионеров» растительности, что весьма важно для формирования уникальных биоценозов в условиях эродированного горного рельефа

¹ Буглова Т.Л., Шишкина Е.Е. Взаимосвязь между некоторыми показателями химического состава и массой плодов // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 1978. № 1. С. 102-105.

² Скуридин Г.М. Биологические особенности облепихи // *Облепиха в лесостепи Приобья: Сборник научных трудов*. Новосибирск, 1999. С. 6-28.

региона³. Также облепиха имеет важное значение при биологической рекультивации техногенно нарушенных ландшафтов, на что обращается внимание в исследованиях, проведенных в различных природно-климатических зонах [2-4].

Значительное количество исследований в последние десятилетия посвящено изучению выращивания облепихи [5, 6], селекции [7, 8], выявлению физических и химических свойств растительных компонентов [9, 10], использованию в озеленении [11, 12]. Например, в монографии Е.И. Пантелеевой⁴ рассмотрены технология размножения облепихи крушиновидной, проблемы селекции и особенности искусственного выращивания. В юго-восточной части Казахстана на высоте 1450 м н.у.м. изучались особенности размножения облепихи крушиновидной (вегетативно и семенами) в зависимости от высоты местообитания над уровнем моря [13]. По мнению исследователей, при семенном размножении многие ценные признаки не передаются потомству ввиду гетерозиготности материнской формы. Разновидностью вегетативного размножения является размножение черенками.

Изучение литературы показывает, что есть работы, посвященные исследованию содержания и сохранения биологически активных веществ в плодах растения. В работах О.В. Тринеевой [14, 15] рассмотрены биологически активные вещества в плодах растений в условиях хранения и замораживания в жидком азоте при температуре $-40...80^{\circ}\text{C}$. Исследования показали, что при сушке плодов в условиях вакуума сохраняется около 90% их биологически активных веществ. Н.А. Ковалева с соавт. [16] занималась изучением экстракта листовой вытяжки, которое показало, что наибольшее его количество содержится в период массового созревания плодов. А.Б. Хасенова [17] и другие авторы⁵, исследуя наземные части облепихи крушиновидной, пришли к выводу о том, что стебли и листья растения являются перспективным источником полиненасыщенных жирных кислот, витаминов, аминокислот. Аналогичные исследования по получению партеногенетического потомства проводились и другими исследователями на примере цитрусовых растений⁶.

Цель исследований: выявление биоэкологических особенностей растений облепихи

³ Букштынов А.Д., Трофимов Т.Т., Ермаков Б.С. *Облепиха*. Москва: Лесная промышленность, 1978. 192 с.

⁴ Пантелеева Е.И. *Облепиха крушиновидная (Hippophae rhamnoides L.)*. Барнаул: РАСХН. Сибирское отделение. НИИСС, 2006. 249 с.

⁵ *Թորոյան Ա. Հայաստանի դեղաբույսեր*. Երևան, 1983. 291 էջ. (на арм.).

⁶ Апомиксис и селекция / АН СССР, Научный совет по проблемам генетики и селекции; Отв. ред. Н.А. Малышева. Москва: Наука, 1970. 330 с.

крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) в различных местообитаниях Лорийского марза Армении.

Методика исследований

Research method

В качестве объекта исследований был выбран относящийся к семейству *Elaeagnaceae* вид *Hippophae rhamnoides*. Это крупный колючий кустарник, иногда невысокое дерево. Молодые побеги серебристые из-за наличия чешуек и волосков, затем приобретают ржаво-серую окраску^{7,8} (рис. 1).

Исследования мест произрастания растений облепихи крушиновидной проводились в разных экологических условиях Спитакского и Гугаркского районов Лорийского марза. В районе Гугарка исследования проводились в окрестностях села Маргаовит.

Спитакский район расположен на юго-западе марза, в Памбакской долине, в верховьях реки Памбак, на высоте 1650 м н.у.м. На севере исследуемой территории тянутся Базумские, на юге – Памбакские хребты. Средняя высота гор не превышает 2800 м. Среднегодовая температура составляет $7-8^{\circ}\text{C}$, в высокогорьях – $2-3^{\circ}\text{C}$. Годовое количество осадков – 500-550 мм (максимум весной). Число дней со снежным покровом – 75...80. В долине реки Чичхан (р. Облепиха) значительное место занимают монопопуляции облепихи крушиновидной⁹.

Село Маргаовит находится в Гугарском районе между горными хребтами Памбак и Халаб. Село расположено в бассейне реки Агстев на высоте 1760 м над уровнем моря⁹. Склоны покрыты лесами. Выше распространена субальпийская и альпийская растительность. Для некоторых местообитаний характерны ксерофиты¹⁰.

Замечено, что древовидная форма растения *Hippophae rhamnoides* произрастает на сухих каменистых солнечных склонах, а кустарниковая – во влажных оврагах [18]. В окрестностях села Маргаовит растения произрастают на крутых склонах и имеют кустарниковую жизненную форму, а в Спитаке, в зависимости от местообитания, – древесную и кустарниковую.

⁷ *Հարությունյան Լ.Վ., Հարությունյան Ս.Լ. Հայաստանի Դեղորոգիության*. Երևան, 1987. 427 էջ. (на арм.).

⁸ *Վարդանյան Տ.Հ. Ծառագիտություն*. Երևան, 2005. 359 էջ. (на арм.).

⁹ *Մանասյան Ս.Գ., Գրիգորյան Ա.Թ., Եղյան Գ.Բ. Լոռու Մարզ*. Երևան, 2003. 203 էջ. (на арм.).

¹⁰ «Կլիմայի արևելյան հարթակ II» Կլիմայական փոփոխությունների հարմարվողականության գործողությունների պլան Մարզահովիտ համայնքի համար. Երևան: Ազգային ջրային համագործակցություն Գիտական էկոլոգիական ՀԿ, 2016 (на арм.).



а

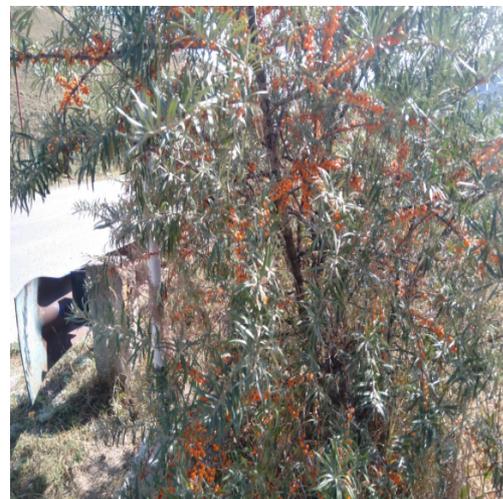


б

Рис. 1. *Hippophae rhamnoides*, 2023 г., Лорийский марз:
а – село Маргаовит; б – окрестности Спитака



а



б

Fig. 1. *Hippophae rhamnoides*, 2023, Lori Province:
a – Margahovit village, b – surroundings of Spitak

Нами изучены некоторые физиологические процессы в растениях облепихи крушиновидной. В частности, определены: водный режим (содержание общей, свободной и связанной воды); водный дефицит; газообмен (интенсивность поглощения O_2 и выделения CO_2); биометрические показатели плодов и содержание сахарозы.

Эколого-физиологические особенности растений определены по общепринятым методам полевых и лабораторных исследований. Изучены произрастающие в разных частях ареала заросли облепихи крушиновидной. Отобрано от 12 до 15 растений в 3-4 повторностях, после чего определен средний показатель вариантов¹¹. Исследования проводились в комплексных естественнонаучных лабораториях кафедры химии и биологии Ванадзорского государственного университета (ВГУ).

¹¹ Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта*. Москва: Агропромиздат, 1985. 336 с.

Количество O_2 и CO_2 в листьях растений облепихи определено с помощью устройства Lab Quest2. Получены графики, выражающие зависимость от времени изменения количества O_2 и CO_2 .

Содержание связанной воды рассчитано по разнице между количеством общей и свободной воды. Содержание форм воды выражено в процентах по отношению к сырой массе листьев¹². Общее содержание воды определено методами, принятыми в физиологии растений. Показатель преломления экстракта, полученного из плодов, и процент сахарозы определены с помощью лабораторного рефрактометра TAGLER ИРФ-Компакт¹³.

¹² Թանգանյան Տ.Վ. Բույսերի ֆիզիոլոգիայի գործնական աշխատանքներ. Երևան: «Մանկավարժ» հրատարակչություն, 2000. 295 էջ. (на арм.).

¹³ Եղոյան Ռ.Հ., Վարդանյան Չ.Մ. Բույսերի ֆիզիոլոգիայի լաբորատոր աշխատանքների ձեռնարկ. Երևան, 2006. էջ 37-49 (на арм.).

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Результаты исследований приводятся по двум участкам:

- участок 1 – окрестности села Маргаовит;
- участок 2 – окрестности города Спитак.

Для определения показателей водного режима растений, во избежание дефицита водного баланса в тканях растений, отбор листьев проводился через сутки после дождя (рис. 2). Сырой вес образцов, взятых с двух исследуемых участков, был одинаковым, но содержание общей воды в листьях растений со второго участка на 16% выше по сравнению с образцами с первого участка. Вероятно, это связано с экологическими условиями среды обитания.

Растение поглощает необходимую для роста и развития воду из почвы через разветвленную корневую систему. Доступность воды в почве для растений определяется состоянием и формой воды. Способность удерживать воду зависит от состава и свойств почвы. Глинистые и гумусные частицы различных типов почв могут образовывать вокруг

себя гидратную пленку, что является препятствием для усвоения воды растениями^{14,15}.

Результаты определения различных форм воды в образцах растений, а также соотношение свободной/связанной воды представлены в таблице 1.

В образцах растений, отобранных в окрестностях села Маргаовит и города Спитак, содержание свободной воды практически одинаково, тогда как содержание связанной воды на 0,3% выше в листьях растений, произрастающих в окрестностях города Спитак. Соотношение двух форм свободной/связанной воды на 0,003 выше в листьях растений, произрастающих в окрестностях Маргаовита. Также определен водный дефицит в тканях растений (табл. 2).

На участке 1 водный дефицит листьев по сравнению с образцами растений со второго участка на 10% выше. Это объясняется менее влажной почвой первого участка. Определена интенсивность поглощения O₂ и выделения CO₂. Интенсивность поглощения O₂ и выделения CO₂ листьями растений, собранных с первого участка, определена прибором Lab Quest 2 (рис. 3).

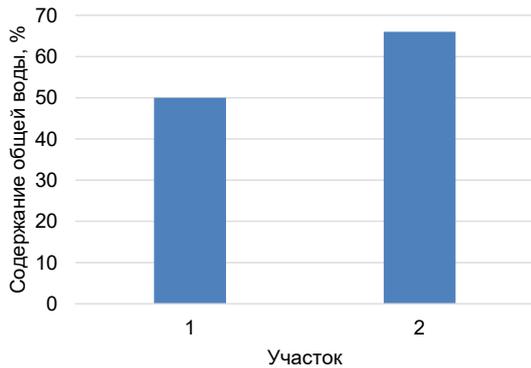


Рис. 2. Содержание общей воды в листьях растений *Hippophae rhamnoides*, произрастающих в окрестностях, % от сырого вещества: 1 – с. Маргаовит; 2 – г. Спитак

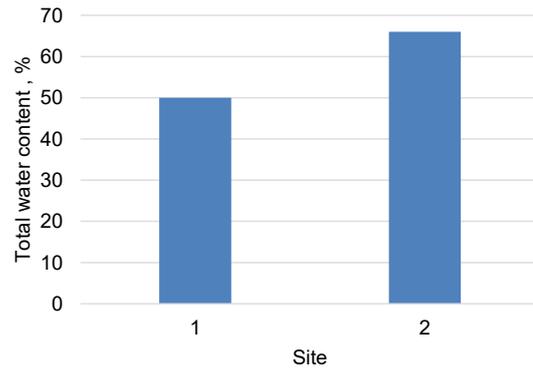


Fig. 2. Total water content (% of raw matter) in *Hippophae rhamnoides* leaves from: 1 – Margahovit village, 2 – Spitak city

Таблица 1

Содержание различных форм воды в листьях растений *Hippophae rhamnoides*, произрастающих в окрестностях села Маргаовит и города Спитак, % от сырого вещества

Форма воды	Участок 1	Участок 2
свободная вода	1.41	1.40
связанная вода	13.5	13.8
свободная/связанная	0.104	0.101

¹⁴ Թանգանյան Տ.Վ., Աղաջանյան Մ.Ա. Բույսերի ֆիզիոլոգիա. Երևան, 2006. էջ 111-114 (на арм.).

¹⁵ Ռուբին Բ.Ա. Բույսերի ֆիզիոլոգիայի դասընթաց. Երևան, 1985. 682 էջ. (на арм.).

Table 1

Different water content (% of raw matter) in *Hippophae rhamnoides* leaves from Margaovit Village and Spitak City

Water form	Site 1	Site 2
Free water	1.41	1.40
Bound water	13.5	13.8
Free/Bound Ratio	0.104	0.101

Таблица 2

Показатели водного дефицита в листьях растений *Hippophae rhamnoides*

Участок	Количество воды (г)	Количество насыщающей ткани воды, г	Водная недостаточность листьев, %
1	0.1	0.3	30 ± 0.11
2	0.1	0.2	20 ± 0.21

Table 2

Water deficit indicators in *Hippophae rhamnoides* leaves

Site	Water content (g)	Saturating tissue water content (g)	Leaf water deficit (%)
1	0.1	0.3	30 ± 0.11
2	0.1	0.2	20 ± 0.21

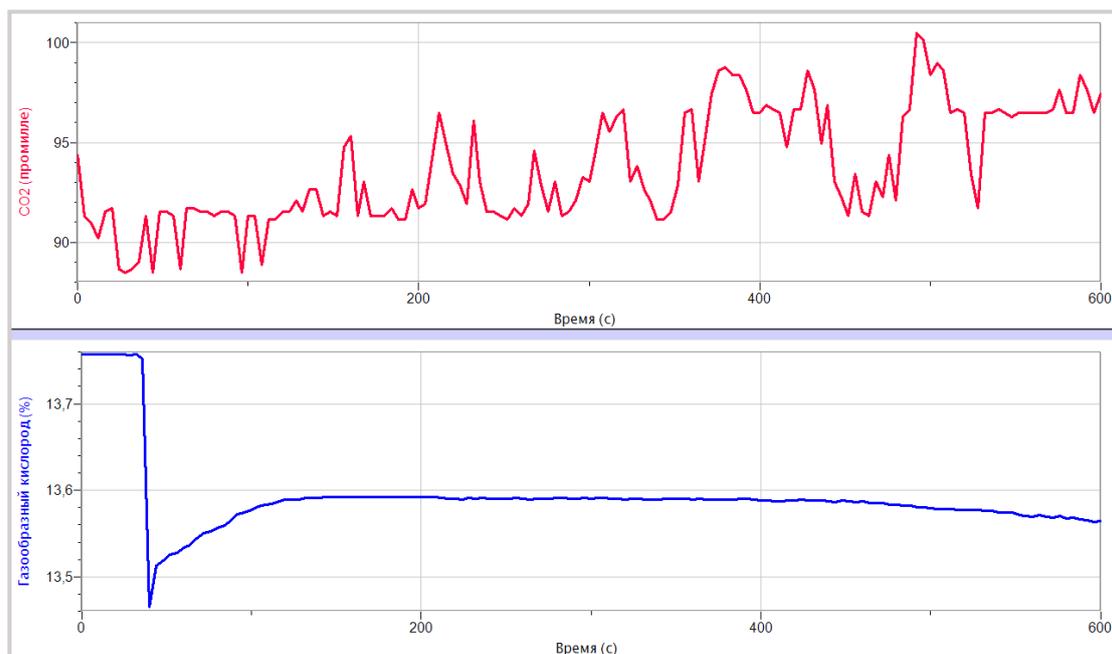


Рис. 3. Интенсивность поглощения O₂ и выделения CO₂ листьями растений *Hippophae rhamnoides*, собранных с участка 1

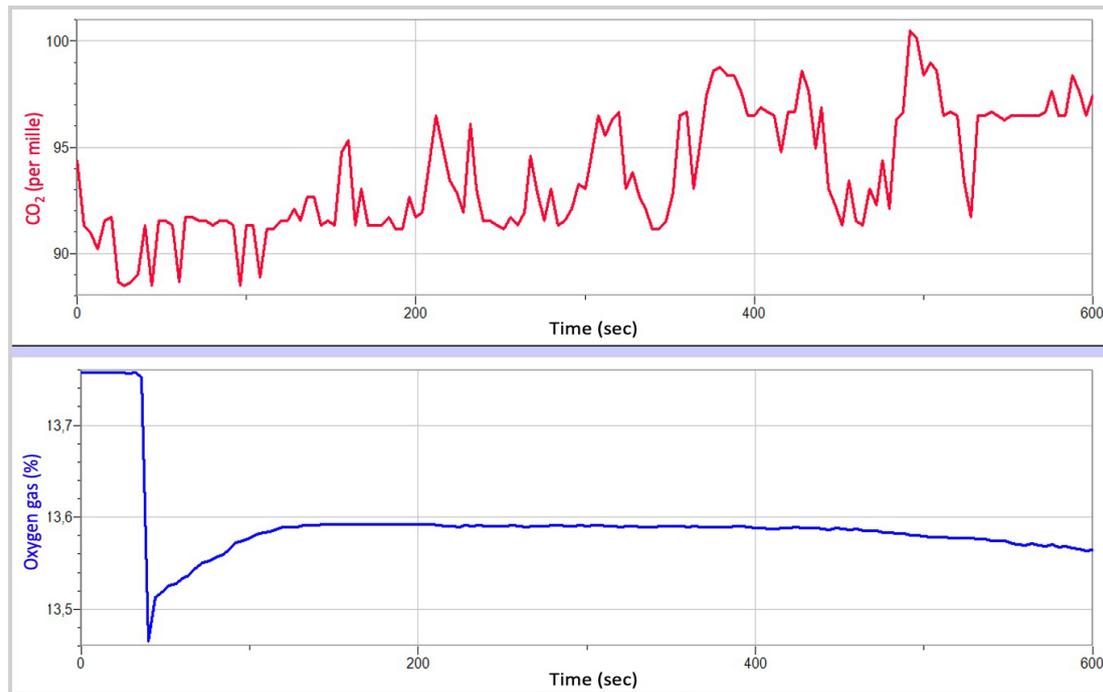


Fig. 3. Average rates of O₂ absorption and CO₂ emission by *Hippophae rhamnoides* leaves collected from site 1

Получается, что за 200 секунд количество выделенного CO₂ составляет 92, за 400 секунд – 96, а за 600 секунд – 97 промилле. Таким образом, между 200 и 400 секундами количество CO₂ увеличивается на 4 промилле, между 400 и 600 секундами – на 1 промилле. На 500-й секунде количество CO₂ достигло 107, а на 600-й секунде снизилось на 4 промилле. Можно предположить, что сниженное количество CO₂ (4 промилле) было использовано листьями в процессе фотосинтеза.

В начале эксперимента количество O₂ составляло 13,76%, затем, на 40-й секунде, снизилось до 13,46%, после чего, на 200-й секунде, количество O₂ составило 13,59%; до 460-й секунды это количество было постоянным. Можно предположить, что в ходе эксперимента за этот период количество CO₂ и O₂ уравновесилось и кислород израсходовался на дыхание. В конце эксперимента, на 600 секунде, количество кислорода упало до 13,56%, то есть снизилось на 0,2%.

Интенсивность поглощения O₂ и выделения CO₂ листьями растений облепихи крушиновидной, собранных со второго участка, определена также с помощью прибора Lab Quest 2 (рис. 4).

Из данных рисунка 3 следует, что количество выделенного CO₂ со второго участка в начале эксперимента составило 173 промилле. На 200-й секунде это количество увеличилось до 187,5 промилле, на 400-й секунде – до 192 промилле, а на 600-й секунде составило 185,5 промилле.

В начале эксперимента количество O₂ составило 13,40%, а на 200-й секунде это количество достигло 13,335%, то есть уменьшилось на 0,065%. Такое количество O₂ было потрачено на дыхание

растений. Наименьшее количество O₂ было на 250-й секунде, достигнув 13,33%. На 400-й секунде количество O₂ достигло 13,35%, то есть интенсивность поглощения O₂ увеличилась, а на 600-й секунде количество O₂ достигло 13,37%. Этот показатель оказался на 0,04% ниже исходных показателей. Результаты эксперимента доказывают, что днем в растениях происходят два противоположных процесса газообмена: фотосинтез и дыхание^{16,17}.

Проведены измерения некоторых биометрических показателей вегетативных и генеративных органов. Плоды деревьев – продолговатые, мелкие, сухие, с крупными семенами, весом около 0,25-0,7 г, диаметром 0,5-1,0 см, сохраняют свои качества даже при отрицательных температурах. Плоды кустарников – сочные бочкообразные, с мелкими семенами.

Листья кустарников длиннее, чем листья деревьев. Это связано с более влажными условиями произрастания и положением корневой системы. Поверхностные корни деревьев неспособны доставить воду к верхушечным листьям кроны. По этой причине листья верхней части кроны деревьев являются мелкими, ксероморфными¹⁸.

Биометрические показатели древесных и кустарниковых жизненных форм растений представлены в таблице 3.

¹⁶ Թանգանյան Տ.Վ., Աղաջանյան Մ.Ա. Բույսերի ֆիզիոլոգիա. Երևան, 2006. էջ 111-114 (на арм.).

¹⁷ Ռուբին Բ.Ա. Բույսերի ֆիզիոլոգիայի դասընթաց. Երևան, 1985. 682 էջ. (на арм.).

¹⁸ Лебедев С.И. Физиология растений. Москва: Издательство Колос, 1982. 462 с.

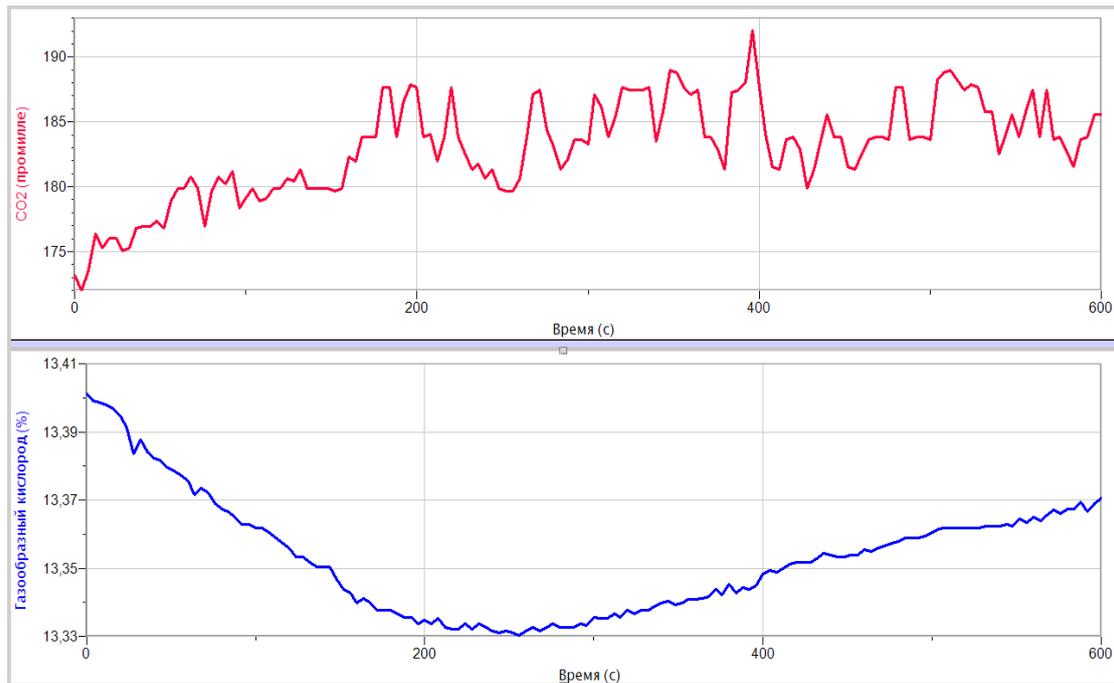


Рис. 4. Интенсивность поглощения O₂ и выделения CO₂ листьями растений *Hippophae rhamnoides*, собранных со второго участка

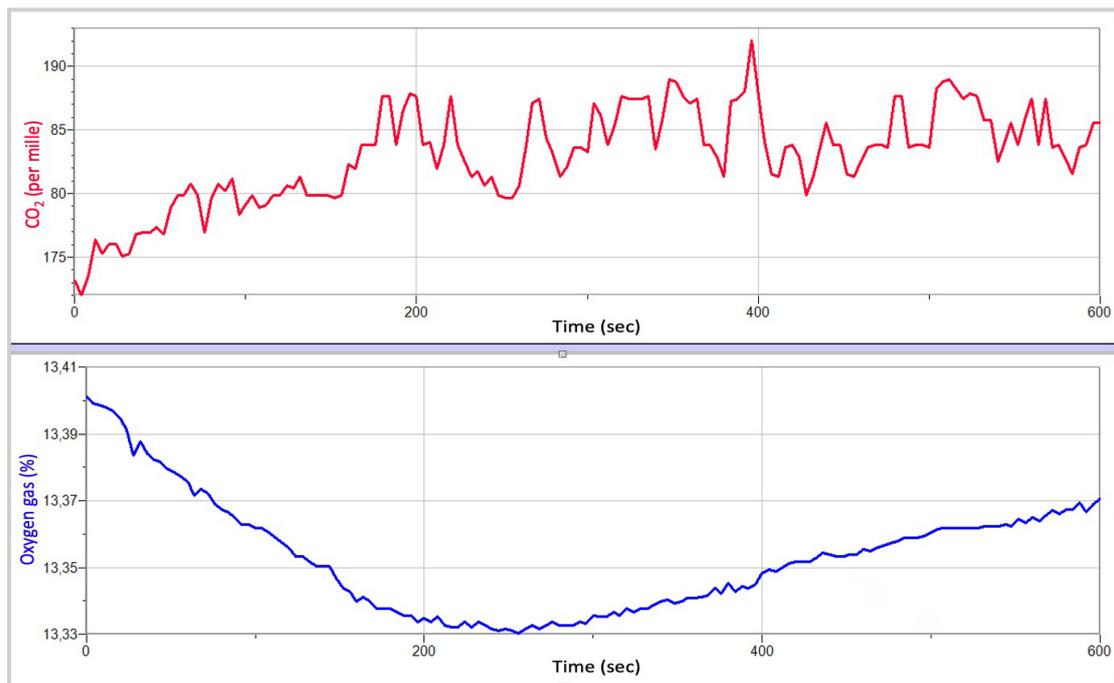


Fig. 4. Average rates of O₂ absorption and CO₂ emission by *Hippophae rhamnoides* leaves collected from site 2

Исследования показывают, что в двух участках данные биометрических показателей кустарников превышают аналогичные показатели у деревьев. Кроме того, ранее проведенные исследования и новые результаты для Лорийского марза показывают, что наблюдается значительная изменчивость биометрических показателей между популяциями различных природно-климатических зон. Например, длина листьев облепихи крушиновидной на золотоотвалах Рефтинской ГРЭС (Урал) составляет

$4,7 \pm 1,45 \dots 9,4 \pm 2,75$ см [19], в естественных популяциях Кыргызстана – около 5,85 см [20], у несортных растений из местных популяций южного Дагестана – от 4,8 до 6,2 см [21]. Также изменчивостью в границах ареала характеризуются и другие признаки: ширина и площадь листьев, длина плодов и др. Как правило, результаты испытаний облепихи показывают, что сортовые растения по анатомо-морфологическим характеристикам превосходят несортные.

Показатели биометрических измерений различных жизненных форм растений *Hippophae rhamnoides*

Биометрические измерения	Деревья	Кустарники
Участок 1		
длина плодов, мм	3.7 ± 0.12	5.6 ± 0.11
длина листьев, см	5.8 ± 0.23	11.7 ± 0.31
ширина листьев, см	0.8 ± 0.01	11.0 ± 0.25
Участок 2		
длина плодов, мм	4.2 ± 0.08	6.2 ± 0.19
длина листьев, см	6.3 ± 0.02	11.9 ± 0.21
ширина листьев, см	1.12 ± 0.1	11.2 ± 0.26

Table 3

Biometric measurements in different life forms of *Hippophae rhamnoides*

Biometric measurements	Trees	Shrubs
Site 1		
Fruit length (mm)	3.7 ± 0.12	5.6 ± 0.11
Leaf length (cm)	5.8 ± 0.23	11.7 ± 0.31
Leaf width (cm)	0.8 ± 0.01	11.0 ± 0.25
Site 2		
Fruit length (mm)	4.2 ± 0.08	6.2 ± 0.19
Leaf length (cm)	6.3 ± 0.02	11.9 ± 0.21
Leaf width (cm)	1.12 ± 0.1	11.2 ± 0.26

Определена масса свежих и сухих плодов различных жизненных форм растений. В конце вегетационного периода (в начале сентября) с кустов и деревьев собраны и взвешены по 100 ягод. Определен вес свежих и сухих плодов. Ягоды деревьев – светло-желтые, мелкие, сухие, с крупными семенами, имеют шероховатую кожицу. Ягоды

кустарников сочнее, крупнее, оранжевого цвета. Определен также вес 100 свежих семян и 100 сухих семян. Данные представлены в таблице 4.

Из данных таблицы 4 следует, что масса плодов и семян у разных жизненных форм также варьирует: семена ягод, собранных с кустов, мельче и легче, чем собранных с деревьев.

Таблица 4

Вес свежих и сухих ягод и их семян древесных и кустарниковых форм *Hippophae rhamnoides*, z

Жизненная форма	Средняя масса свежих ягод	Средняя масса сухих ягод	Средняя масса семян свежих ягод	Средняя масса семян сухих ягод
Участок 1				
Кустарник	40.2 ± 1.35	16.5 ± 1.01	1.2 ± 0.02	1.1 ± 0.03
Дерево	23.1 ± 1.23	11.5 ± 0.98	1.7 ± 0.04	1.3 ± 0.05
Участок 2				
Кустарник	42.4 ± 1.33	17.3 ± 1.02	1.3 ± 0.01	1.2 ± 0.04
Дерево	24.2 ± 1.3	12.1 ± 0.96	1.8 ± 0.06	1.5 ± 0.05

Table 4

Fresh and dry berry and seed weight (grams) in tree and shrub forms of *Hippophae rhamnoides*

Life Form	Average mass of fresh berries	Average mass of dry berries	Average mass of fresh berry seeds	Average mass of dry berry seeds
Site 1				
Shrub	40.2 ± 1.35	16.5 ± 1.01	1.2 ± 0.02	1.1 ± 0.03
Tree	23.1 ± 1.23	11.5 ± 0.98	1.7 ± 0.04	1.3 ± 0.05
Site 2				
Shrub	42.4 ± 1.33	17.3 ± 1.02	1.3 ± 0.01	1.2 ± 0.04
Tree	24.2 ± 1.3	12.1 ± 0.96	1.8 ± 0.06	1.5 ± 0.05

О.В. Тринеева и Н.А. Ковалева [15] отметили, что максимальное количество различных групп углеводов, стеридов, алифатических и алициклических спиртов в листьях растения облепихи обнаруживается в фазе созревания плодов. В работе Л.В. Терещук и С.С. Павловой [22] представлены результаты изучения биологически активных веществ в плодах растения облепихи. Влияние условий произрастания на биохимический состав плодов облепихи сорта Чуйская показано в исследовании Г.Г. Чепелевой и Г.С. Гуленковой [23]. Сравнение содержания сахаров, которые составляют основную долю растворимых веществ, показало, что регионы выращивания ранжируются следующим образом: Республика Тыва (3,6±0,04%), Красноярский край (4,1±0,03%), Алтайский край (4,5±0,06%) и Республика Хакасия (4,5±0,02%).

Нами изучено влияние условий произрастания растений на содержание сахарозы в плодах. Данные представлены в таблице 5.

Таким образом, сухим солнечным летом в плодах растений накапливается больше сахара, чем в дождливое лето. При произрастании растений вдали от ручьев и рек, на эродированных почвах содержание углеводов в плодах является высоким. Ягоды растений, произрастающих на крутых, размытых и сухих склонах, относительно слаще, и наоборот, в крупных и сочных ягодах меньше углеводов. Это объясняется большим количеством воды в зрелых плодах. Несмотря на то, что плоды деревьев являются мелкими и невзрачными, количество сахара в спелых плодах несколько превышает количество сахара в ягодах кустарников, произрастающих в сырых оврагах.

**Содержание сахарозы, %, в зрелых плодах разных жизненных форм растений
 вида *Hippophae rhamnoides***

Жизненная форма	Индекс преломления	Содержание сахарозы, %
Участок 1		
Кустарник	133.6	4.0 ± 0.01
Дерево	133.7	4.3 ± 0.85
Участок 2		
Кустарник	133.8	4.15 ± 0.95
Дерево	134.0	4.6 ± 0.11

Table 5

Sucrose content (%) in mature fruits of different life forms of *Hippophae rhamnoides*

Life form	Refractive index	Sucrose content (%)
Site 1		
Shrub	133.6	4.0 ± 0.01
Tree	133.7	4.3 ± 0.85
Site 2		
Shrub	133.8	4.15 ± 0.95
Tree	134.0	4.6 ± 0.11

**Выводы
 Conclusions**

На основании проведенных исследований пришли к выводу о том, что:

1. Сырой вес образцов, взятых из двух исследуемых участков, был одинаковым, но общее содержание воды на 16% выше в листьях растений из более влажного участка окрестностей Спитака.

2. Водный дефицит листьев у растений окрестностей Маргаовита на 10% выше, чем у образцов Спитака, поскольку почва Маргаовита менее влажная, чем в Спитакомском районе.

3. Сравнивая образцы растений двух районов, можно подчеркнуть, что количество O_2 в образцах растений, взятых с первого участка, уменьшилось на 0,2%, а в образцах растений, взятых со второго участка, – на 0,04%. Из этих данных следует, что интенсивность использования O_2 высокая в растениях Маргаовита (первый участок). Предполагаем, что причиной этого могут быть частые сильные ветры.

4. Количество CO_2 , выделенного растениями Маргаовита, увеличилось на 3 промилле, а в образцах Спитака – на 12,5. Другими словами, растения в районе Маргаовита в процессе фотосинтеза используют больше выделенного ими при дыхании CO_2 , чем растения окрестностей Спитака.

Список источников

References

1. Vardanyan Zh., Bayramyan L., Lebedev A., Sahakyan G. et. al. Monitoring the species composition of the undergrowth in some regions of Armenia and central Russia. *BIO Web Conferences*. 2024;113:04009. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411304009>
2. Корчагин И.Е., Котова В.С., Марковская А.Н., Мартюшов П.А. и др. Использование облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) при рекультивации нарушенных земель // *Леса России и хозяйство в них*. 2022. № 4 (83). С. 30-37. <https://doi.org/10.51318/FRET.2022.73.80.004>
3. Сатибалов А.В., Алиев И.Н., Хамарова З.Х., Бакуев Ж.Х. Дикоплодовые породы на нарушенных землях Северного Кавказа // *Плодоводство и виноградарство Юга России*. 2024. № 87 (3). С. 48-72. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2024-3-87-48-72>
4. Мурзакматов Р.Т., Шишикин А.С., Борисов А.Н. Особенности формирования насаждений на отвалах угольных разрезов в лесостепной зоне // *Сибирский лесной журнал*. 2018. № 1. С. 37-49. <https://doi.org/10.15372/SJFS20180104>
5. Гущина Е.Н. Результаты изучения комплексного минерального удобрения Акварин при выращивании саженцев облепихи // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2009. Т. 22, № 1. С. 286-291. EDN: KXWOFF
6. Кулиев А.С. Выращивание дикорастущих форм облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) из различных регионов Кыргызстана // *Universum: химия и биология*. 2016. № 9 (27). С. 4-6. EDN: WJASKP
7. Васильев А.А., Гасымов Ф.М., Ильин В.С. Результаты селекции облепихи на Южном Урале // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022. Т. 183, № 2. С. 24-31. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-2-24-31>
8. Зубарев Ю.А., Гунин А.В., Пантелеева Е.И., Воробьева А.В. Новые крупноплодные сорта облепихи алтайской селекции // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2020. № 6 (188). С. 42-49. EDN: VBXLIV
9. Наумова Н.Л. Химический состав плодов облепихи (*Hippophae rhamnoides* L.), выращиваемой в Челябинской области // *Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета*. 2021. Т. 24, № 3. С. 306-312. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-3-306-312>
10. Касенов А.Л., Амирханов К.Ж., Какимов М.М., Тохтаров Ж.Х. и др. Определение химического состава плодов облепихи на жидкостном хроматографе // *Вестник Алматинского технологического университета*. 2016. № 2. С. 14-18. EDN: WEZFPX
11. Ларина Г.Е., Серая Л.Г. Микробные ассоциации географических рас *Hippophae*
1. Vardanyan Zh., Bayramyan L., Lebedev A., Sahakyan G. et. al. Monitoring the species composition of the undergrowth in some regions of Armenia and central Russia. *BIO Web Conferences*. 2024;113:04009. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411304009>
2. Korchagin I.E., Kotova V.S., Markovskaya A.N., Martyushov P.A. et al. Use of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) in the reclamation of disturbed lands. *Forests of Russia and Economy in Them*. 2022;(4(83)):30-37. (In Russ.) <https://doi.org/10.51318/FRET.2022.73.80.004>
3. Satibalov A.V., Aliev I.N., Khamarova Z.Kh., Bakuev Zh.Kh. Wild fruit species on disturbed lands of the North Caucasus. *Plodovodstvo i vinogradarstvo Yuga Rossii*. 2024;(87(3)):48-72. (In Russ.) <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2024-3-87-48-72>
4. Murzakmatov R.T., Shishikin A.S., Borisov A.N. Specifics of stand formation at coalmine dumps in forest-steppe zone. *Sibirskiy lesnoy zhurnal*. 2018;(1):37-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/SJFS20180104>
5. Gushchina E.N. Results of the study of complex mineral fertilizer Aquirin in growing sea buckthorn seedlings. *Pomiculture and Small Fruits Culture In Russia*. 2009;22(1):286-291. (In Russ.)
6. Kuliyeu A. Growth of agrarian sea buckthorn forms (*Hippophae rhamnoides* L.) from different regions of Kyrgyzstan. *Universum: chemistry and biology*. 2016;(9(27)):4-6. (In Russ.)
7. Vasiliev A.A., Gasimov F.M., Ilyin V.S. Results of sea buckthorn breeding in the Southern Urals. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2022;183(2):24-31. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-2-24-31>
8. Zubarev Yu.A., Gunin A.V., Panteleyeva Ye.I., Vorobyeva A.V. New large-berried sea-buckthorn varieties developed in the Altai region. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;(6(188)):42-49. (In Russ.)
9. Naumova N.L. Chemical composition of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berry grown in the Chelyabinsk Region. *Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2021;24(3):306-312. (In Russ.) <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-3-306-312>
10. Kassenov A.L., Amirkhanov K.Zh., Kakimov M.M., Tokhtarov Zh.Kh. et al. Chemical analysis of sea buckthorn by using liquid chromatography. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2016;(2):14-18. (In Russ.)
11. Larina G.E., Seraya L.G. Microbial associations of geographical races *Hippophae rhamnoides* L.

- rhamnoides* L. в условиях разных почвенно-климатических зон // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2023. № 244. С. 150-163. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.244.150-163>
12. Зубик И.Н., Аниськина Т.С., Симахин М.В., Крючкова В.А. и др. Коэффициенты оригинальности *Hippophae rhamnoides* L. по фенологическим датам // *АгроЭкоИнфо*. 2021. № 5 (47). С. 20. <https://doi.org/10.51419/20215515>
 13. Бессчетнов В.П., Кентбаев Е.Ж. Опыт зеленого черенкования облепихи крушиновидной в условиях Юго-Востока Казахстана // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2018. № 4 (364). С. 56-62. <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.4.56>
 14. Тринеева О.В. Биологически активные вещества плодов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) при хранении с применением различных способов консервации: обзор предметного поля // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2022. № 1. С. 32-54. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.269>
 15. Тринеева О.В., Ковалева Н.А. Исследование состава биологически активных веществ облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) листьев методом ГХ-МС // *Химия растительного сырья*. 2023. № 4. С. 219-229. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230412467>
 16. Ковалева Н.А., Тринеева О.В., Носова Д.К., Колотнева А.И. Определение экстрактивных веществ в листьях облепихи крушиновидной // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия «Химия. Биология. Фармация»*. 2022. № 1. С. 105-109. EDN: VKYZMS
 17. Хасенова А.Б., Аралбаева А.Н., Утегалиева Р.С., Маматеева А.Т. и др. Облепиха крушиновидная (*Hippophae rhamnoides* L.) – источник биоактивных веществ // *Вестник Алматинского технологического университета*. 2020. № 1. С. 82-88. EDN: ITGNOG
 18. Кольтюгина О.В. Исследование химического состава плодов облепихи и возможности использования ее в продуктах питания // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2012. № 1 (87). С. 82-84. EDN: OPEXXP
 19. Кожевников А.П., Исаков С.Ю. Особенности натурализации облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) на Урале // *Леса России и хозяйство в них*. 2020. № 3 (74). С. 36-43. EDN: ESDUFG
 20. Кулиев А.С. Значение листовых пластинок и таксационные показатели облепихи в естественных популяциях Кыргызстана // *Universum: химия и биология*. 2017. № 2 (32). С. 14-19. EDN: XSTIИJ.
 21. Таймазова Н.С., Черятова Ю.С., Арнаутова Г.И. Морфологические особенности интродуцированных сортов *Hippophae rhamnoides* L. в условиях under conditions of different soil-climate zones. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*. 2023;(244):150-163. (In Russ.) <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2023.244.150-163>
 12. Zubik I.N., Aniskina T.S., Simakhin M.V., Kryuchkova V.A. et al. Coefficients of originality of *Hippophae rhamnoides* L. by phenological dates. *AgroEcoInfo*. 2021;(5(47)):20. (In Russ.) <https://doi.org/10.51419/20215515>
 13. Besschetnov V.P., Kentbaev E.Zh. Propagation of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) by herbaceous cuttings in a climate of South-East Kazakhstan. *Russian Forestry Journal*. 2018;(4(364)):56-62. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.4.56>
 14. Trineeva O.V. Biologically active substances of sea buckthorn fruits (*Hippophae rhamnoides* L.) during storage using various methods of conservation. *Storage and Processing of Farm Products*. 2022;(1):32-54. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.269>
 15. Trineeva O.V., Kovaleva N.A. Study of the composition of biologically active forms of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaves by GC-MS // *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2023;(4):219-229. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230412467>
 16. Kovaleva N.A., Trineeva O.V., Nosova D.K., Kolotneva A.I. Determination of extractives in the leaves of sea buckthorn. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2022;(1):105-109. (In Russ.)
 17. Khassenova A.B., Aralbaeva A.N., Utegalyieva R.S., Mamatayeva A.T. et al. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) – a source of bioactive compounds. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2020;(1):82-88. (In Russ.)
 18. Kolytugina O.V. Study of the chemical composition of sea buckthorn fruits and the possibility of using it in food products. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012;(1(87)):82-84. (In Russ.)
 19. Kozhevnikov A.P., Isakov S.Yu. Peculiarities of sea buckthorn naturalization (*Hippophae rhamnoides* L.) in the Urals. *Forests of Russia and Economy in Them*. 2020;(3(74)):36-43. (In Russ.)
 20. Kuliev A. The value of the leaf blades and valuation parameters of sea-buckthorn in natural populations of Kyrgyzstan. *Universum: chemistry and biology*. 2017;(2(32)):14-19. (In Russ.)
 21. Taymazova N.S., Cheryatova Yu.S., Arnautova G.I. Morphological features of the growth of introduced *Hippophae rhamnoides* L. varieties in Dagestan. *Raznoobrazie*

- Дагестана // *Разнообразие растительного мира*. 2024. № 2 (21). С. 16-23.
<https://doi.org/10.22281/2686-9713-2024-2-16-23>
22. Терещук Л.В., Павлова С.С. Получение биологически ценных продуктов из плодов облепихи // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2000. № 1 (254). С. 46-48.
EDN: QBWDAH
23. Чепелева Г.Г., Гуленкова Г.С. Функциональные продукты на основе плодов облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) // *Вестник КрасГАУ*. 2012. № 9 (72). С. 206-210. EDN: PDBSQV

rastitel'nogo mira. 2024;(2(21)):16-23. (In Russ.)
<https://doi.org/10.22281/2686-9713-2024-2-16-23>

22. Tereshchuk L.V., Pavlova S.S. Obtaining biologically valuable products from sea buckthorn fruits. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*. 2000;(1(254)):46-48. (In Russ.)
23. Chepeleva G.G., Gulenkova G.S. Functional products on the basis of sea-buckthorn berries (*Hippophae rhamnoides* L.). *Bulletin of KSAU*. 2012;(9(72)):206-210. (In Russ.)

Информация об авторах

- Заруи Самвеловна Варданын**, доктор биологических наук, профессор кафедры химии и биологии, Ванадзорский государственный университет имени Ованеса Туманяна; Армения, г. Ванадзор, проспект Тиграна Меци, 36; e-mail: zaruhy.vartanyan@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-4566-5837>
- Лилия Егоровна Байрамян**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии и биологии, Ванадзорский государственный университет имени Ованеса Туманяна; Армения, г. Ванадзор, проспект Тиграна Меци, 36; e-mail: bayramyanlilia@gmail.com;
<https://orcid.org/0000-0001-6991-7544>
- Гаяне Робертовна Саакян**, кандидат биологических наук, доцент кафедры химии и биологии, Ванадзорский государственный университет имени Ованеса Туманяна; Армения, г. Ванадзор, проспект Тиграна Меци, 36; e-mail: gaytig999@yandex.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-5439-4322>
- Асмик Кареновна Мхитарян**, кандидат биологических наук, доцент кафедры химии и биологии, Ванадзорский государственный университет имени Ованеса Туманяна; Армения, г. Ванадзор, проспект Тиграна Меци, 36; e-mail: hasmik-mkhitaryan88@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-0792-2193>
- Александр Вячеславович Лебедев**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры землеустройства и лесоводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: alebedev@rgau-msha.ru;
<http://orcid.org/0000-0002-8939-942X>

Information about the authors

- Zaruhi S. Vardanyan**, DSc (Bio), Professor at the Department of Chemistry and Biology, Vanadzor State University named after Hovhannes Tumanyan; 36 Tigran Mets Ave., Vanadzor, Lori Province, Armenia; e-mail: zaruhy.vartanyan@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-4566-5837>
- Liliya E. Bairamyanyan**, CSc (Ag), Associate Professor at the Department of Chemistry and Biology, Vanadzor State University named after Hovhannes Tumanyan; 36 Tigran Mets Ave., Vanadzor, Lori Province, Armenia; e-mail: bayramyanlilia@gmail.com;
<https://orcid.org/0000-0001-6991-7544>
- Gayane R. Sahakyan**, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Chemistry and Biology, Vanadzor State University named after Hovhannes Tumanyan; 36 Tigran Mets Ave., Vanadzor, Lori Province, Armenia; e-mail: gaytig999@yandex.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-5439-4322>
- Hasmik K. Mkhitarayan**, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Chemistry and Biology, Vanadzor State University named after Hovhannes Tumanyan; 36 Tigran Mets Ave., Vanadzor, Lori Province, Armenia; e-mail: hasmik-mkhitaryan88@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-0792-2193>
- Aleksandr V. Lebedev**, DSc (Ag), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Land Organization and Forestry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: alebedev@rgau-msha.ru;
<http://orcid.org/0000-0002-8939-942X>

Статья поступила в редакцию 01.03.2025
Одобрена после рецензирования 20.03.2025
Принята к публикации 27.03.2025

The article was submitted to the editorial office
March 01, 2025
Approved after reviewing March 20, 2025
Accepted for publication March 27, 2025

Оригинальная научная статья
УДК 639.3: 597.4/.5: 612.32 (470.317)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-01>



**Морфологическая и функциональная характеристика
лимфоидной ткани среднего отдела кишечника осетровых видов рыб
на примере стерляди (*Acipenser ruthenus*)**

**Никита Ильич Кочетков¹, Дмитрий Львович Никифоров-Никишин¹,
Кирилл Владимирович Гаврилин², Антон Андреевич Белинский³**

¹Московский государственный университет технологий
и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), Москва, Россия

²Национальный фонд экологической защиты и развития Крайнего Севера
и приравненных к ним местностей «Якутия», Республика Якутия, Якутск, Россия

³Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Никита Ильич Кочетков; samatrixs@gmail.com

Аннотация

В работе приведены результаты изучения гистологического строения и качественного состава клеточных элементов гемопоэтической ткани, ассоциированной со средним отделом кишечника стерляди (*Acipenser ruthenus*). Показано, что лимфоидная ткань кишечника стерляди включает в себя островки лимфоидной ткани, ограниченные ретикулярной тканью/слизистой оболочкой, а также лимфоциты, ассоциированные со слизистой оболочкой (интраэпителиальные) и с собственной пластиной слизистой кишечника (лимфоциты lamina propria). Дополнительно в ткани обнаружены эозинофильные клетки. В слизистой оболочке кишечника наиболее встречаемым типом клеток являлись интраэпителиальные лимфоциты (8,9 кл/100 мкм) и лимфоциты lamina propria (7,1 кл/100 мкм). На мазках лимфоидной ткани кишечника стерляди были обнаружены следующие типы клеток лимфоидного ряда (в порядке убывания): лимфоциты (64,4%), пролимфоциты (6,5%), плазмоциты (3,9%), лимфобласты (2,9%) и проплазмоциты (1,5%). Морфометрические изменения в ряду лимфатических клеток на мазках лимфоидной ткани выражались в уменьшении размеров ядра и цитоплазмы. Морфология, качественный состав клеток, а также функциональных характеристик позволили отнести лимфоидную ткань кишечника стерляди к кишечечно-ассоциированной лимфоидной ткани. Полученные результаты могут быть использованы для оценки иммунного статуса культивируемых рыб, определения эффективности иммуномодулирующих кормов и кормовых добавок, для мониторинга и диагностики диких популяций рыб, а также могут способствовать пониманию эволюции лучеперых рыб.

Ключевые слова

гистология, морфология, цитология, желудочно-кишечный тракт, средний отдел кишечника, осетровые, лимфоциты, морфологическая характеристика лимфоидной ткани, функциональная характеристика лимфоидной ткани, стерлядь, *Acipenser ruthenus*

Для цитирования

Кочетков Н.И., Никифоров-Никишин Д.Л., Гаврилин К.В., Белинский А.А. Морфологическая и функциональная характеристика лимфоидной ткани среднего отдела кишечника осетровых видов рыб на примере стерляди (*Acipenser ruthenus*). *Тимирязевский биологический журнал*. 2025. Т. 3, № 1. С. 202531401. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-01>

Research article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-01>



Morphological and functional characteristics of lymphoid tissue in the midgut of sturgeon fish species: a case study of the sterlet (*Acipenser ruthenus*)

Nikita I. Kochetkov¹, Dmitry L. Nikiforov-Nikishin¹, Kirill V. Gavrilin², Anton A. Belinsky³

¹ K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University), Moscow, Russia

² National Fund for Environmental Protection and Development of the Far North and Equated Localities “Yakutia”, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia

³ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Nikita I. Kochetkov; samatrixs@gmail.com

Abstract

The paper presents the results of the study of the histological structure and qualitative composition of cellular elements of the haematopoietic tissue associated with the midgut of the sterlet (*Acipenser ruthenus*). It was shown that the lymphoid tissue of the sterlet intestine contains islands of lymphoid tissue bounded by reticular tissue/mucosa, as well as lymphocytes associated with the mucosa (intraepithelial) and with the intestinal mucosal plate (lamina propria lymphocytes). Eosinophilic cells were also found in the tissue. The most common cell types in the intestinal mucosa were intraepithelial lymphocytes (8.9 cell/100 μm) and lamina propria lymphocytes (7.1 cell/100 μm). Smears of sterlet intestinal lymphoid tissue showed the following lymphoid cell types (in descending order): lymphocytes (64.4%), prolymphocytes (6.5%), plasmacytes (3.9%), lymphoblasts (2.9%) and proplasmacytes (1.5%). Morphometric changes in a number of lymphoid cells in lymphoid tissue smears were expressed as a decrease in the size of the nucleus and cytoplasm. The morphology, qualitative cell composition and functional characteristics allowed the classification of the lymphoid tissue of the sterlet intestine as intestine-associated lymphoid tissue. The results obtained can be used to assess the immune status of cultured fish, to determine the effectiveness of immunomodulatory feeds and feed additives, to monitor and diagnose wild fish populations, and to contribute to the understanding of the evolution of ray-finned fish.

Key words

histology, morphology, cytology, gastrointestinal tract, midgut, sturgeon, lymphocytes, morphological characteristics of lymphoid tissue, functional characteristics of lymphoid tissue, sterlet, *Acipenser ruthenus*

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

Для цитирования

Kochetkov N.I., Nikiforov-Nikishin D.L., Gavrilin K.V., Belinsky A.A. Morphological and functional characteristics of lymphoid tissue in the midgut of sturgeon fish species: a case study of the sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531401. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-01>

Введение

Introduction

Рыбы представляют собой большую группу организмов, населяющих практически все известные водные экосистемы. Отряд осетрообразных (*Acipenseriformes*) является одним из наиболее древних представителей лучеперых рыб, сохранивших множество архаичных черт [1]. Среди них можно отметить наличие хрящевого эндоскелета, отсутствие полноценных тел позвонков, наличие спирального клапана в заднем отделе кишечника, а также присутствие диффузных очагов кроветворной ткани в различных органах (очаги гемопоэтической ткани вблизи сосудов печени, гемопоэтическая перикардальная ткань в сердце и гемопоэтическая менингеальная

ткань в хрящевых капсулах черепа) [2, 3]. Помимо этого, для осетровых характерно наличие очагов лимфоидной ткани, ассоциированной со слизистыми оболочками кишечника, кожи и жабр [4].

Гематологические показатели являются важным критерием при оценке состояния организма, так как объективно отражают его физиологический статус [5, 6]. Изменения в качественном и количественном составе клеточных элементов крови напрямую связаны с состоянием иммунитета рыбы. В свою очередь, активность гемопоэза также зависит от состояния рыбы и внешних факторов, однако состав клеток предшественников не всегда имеет линейную зависимость от действующего фактора [7]. В данное время существует большое количество работ, посвященных изучению клеточного

состава центральных периферических органов кровотока, а именно селезенки, переднего и туловищного отделов почки [8-10]. Однако, насколько нам известно, до сих пор было опубликовано очень мало исследований, в которых рассматривается качественный и количественный состав периферических органов гемопоэза [2, 11, 12].

Кишечник осетровых имеет некоторые отличия в сравнении с костистыми рыбами. В частности, у костистых видов рыб лимфоидная ткань кишечника имеет более диффузное строение и преимущественно располагается в собственной пластинке слизистой [15]. Морфологически и функционально его можно подразделить на передний, средний и задний отделы, при этом в заднем отделе располагается спиральный клапан. Дополнительно многими авторами уже отмечалось, что по всей протяженности кишечника у осетровых встречаются большие очаги лимфоидной ткани, которые предположительно являются участками лимфопоэза [2, 13, 14].

Цель исследований: изучить морфологию и оценить количественный состав лимфоидной ткани среднего отдела кишечника стерляди (*Acipenser ruthenus*).

Методика исследований

Research method

Для исследований отбирали 20 годовиков стерляди (*Acipenser ruthenus*) без видимых патологий массой от 80 до 120 г, которые были получены из Волгореченского рыбноводного хозяйства (Костромская область). Рыбы содержались в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), включавших в себя бассейны объемом 4000 л, оснащенных системами биологической (биофильтры 1000 л и 500 л) и механической фильтрации (Ейскполимер 402М), а также ультрафиолетовые установки (Jebao STU-400w). Работы производили на инфраструктурных ресурсах уникальной научной установки (УНУ) НТИ РФ Рег. № 3662433 «Научно-исследовательский комплекс передовых технологий аквакультуры и гидроэкологии» факультета биотехнологий и рыбного хозяйства ФГБОУ ВО «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)». Температура ($20,3 \pm 1,1^\circ\text{C}$), содержание кислорода ($8,2 \pm 0,3$ мг/л), водородный показатель ($7,9 \pm 0,4$) находились в пределах нормы для данного вида рыб.

Перед проведением исследований рыбу усыпляли в растворе MS-222 (10 мг/л), после чего производили вскрытие. Пробы среднего отдела кишечника в объеме 1-5 г фиксировали в растворе Дэвидсона в течение 24 ч. Полученные образцы тканей обезжировали в серии градуированных спиртов и заливали в парафин. Из образцов тканей кишечника и печени изготавливали серийные срезы по 3 среза на один образец ($n = 4 \times 3$). Окрашивание производилось гематоксилином

и эозином (H&E), периодической кислотой Шиффа (PAS). Подготовка и окрашивание гистологических срезов проводились в соответствии с методикой Suvarna [16]. Полученные препараты просматривали под световым микроскопом Olympus BX53 (Olympus Corporation, Япония, Токио) с окулярными насадками CarlZeiss ERc 5s (Zeiss, Германия, Оберкохен) и ToupCam 16.0 MP (ToupTek Photonics, Китай) с использованием программного обеспечения ZEN lite (Zeiss, Германия) и ToupCam view 16.0 (ToupTek Photonics, Китай).

Измерение гистоморфометрических показателей ткани производили с использованием программы Fiji ImageJ2 v2.15.0 (Wayne Rasband (NIH) [17]. В кишечнике стерляди измеряли следующие показатели: ширина собственной пластики слизистой (*lamina propria*), ширина подслизистой, количество эозинофилов, лимфоцитов *lamina propria* и интраэпителиальных лимфоцитов (подсчитывалось на 100 мкм слизистой оболочки кишечника). Подробное описание измеряемых морфометрических показателей приведено в более ранних исследованиях [18].

У особой стерляди отбирали участок среднего отдела кишечника протяженностью около 1 см. Далее его разрезали вдоль, чтобы обнажить слизистую оболочку, и тщательно промывали в физиологическом растворе (0,9% NaCl) для удаления остатков пищи. Полученную ткань кишечника разрезали на небольшие части и равномерно размазывали по предметному стеклу. От каждой из особей изготавливали по три мазка. Препарат высушивался в течение 2-3 мин, далее фиксировался в смеси Никифорова (1:1, метиловый спирт: диэтиловый эфир) при экспозиции в течение 2 мин, затем проводили окрашивание эозином метиленовым синим по Майн-Грюнвальду в течение 4 мин. Далее препараты промывали и высушивали, после чего проводили доокрашивание азур-эозином по Романовскому-Гимза в течение 10 мин (MGG).

На препаратах подсчитывали следующие клеточные элементы: лимфобласты, пролимфоциты, лимфоциты, проплазмоциты и плазмоциты. Эритроциты, моноциты, нейтрофилы подсчитывались вместе и относились к другим клеточным элементам. Определение клеток производили в соответствии с морфологическими характеристиками (отношение площади ядра/цитоплазмы, окраска цитоплазмы, структура хроматина ядра), описанными в работах Ивановой [19], Fijan [20] и Kondera [21]. Для каждого препарата просматривали не менее 50 полей зрения и подсчитывали не менее 400 клеток. После подсчета клеток их количество суммировали и высчитывали относительную долю каждого типа, выраженную в процентах. У определяемых клеток ($n = 30$) измеряли длину и ширину ядра и цитоплазмы (клетки) с использованием программы Fiji ImageJ2.

Обработка статистических данных производилась с использованием R v 4.4.1 и RStudio. Распределение данных и однородность вариаций оценивали с использованием тестов Шапиро-Уилка и Левена.

Для морфометрических параметров значения ранжировали, а высокие и низкие – 2,5% (перцентили) – отбрасывали. Диапазон оставшихся значений использовали в качестве контрольного интервала согласно рекомендациям [22] для морфометрических измерений.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Гистологическое строение кишечника стерляди было сравнимо с представителями костистых рыб. На препаратах четко просматривались ворсинки кишечника, покрытые слизистой оболочкой,

которая состояла из призматических эпителиоцитов (энтероцитов) и бокаловидных клеток. Помимо слоя слизистой, кишечник имел подслизистую, мышечную и серозную оболочки (рис. 1а). Мышечная оболочка включала в себя два слоя мышц, а именно циркулярную и продольную.

В центре ворсинок располагалась собственная пластинка слизистой (lamina propria), состоящая из ретикулярных клеток, коллагенового (ретикулярного) матрикса, в котором встречались различные иммунокомпетентные клетки (рис. 2б). Строма собственной пластинки слизистой образуется в результате деятельности ретикулярных клеток и окрашивается PAS-положительно (рис. 2г).

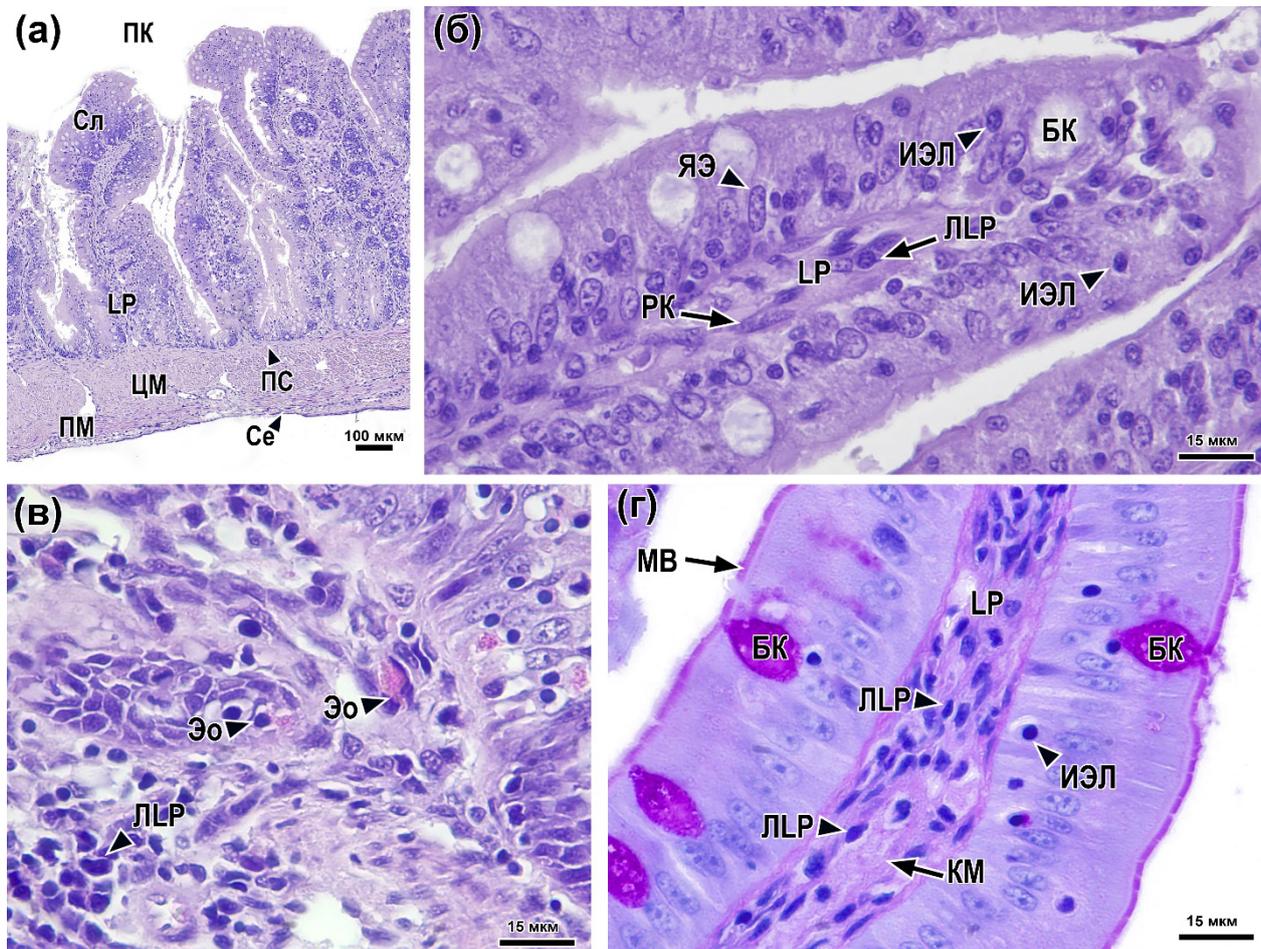


Рис. 1. Гистологические срезы среднего отдела кишечника стерляди:
ПК – просвет кишечника; Сл – слизистая оболочка; LP – lamina propria;
ЦМ – циркулярные мышечные волокна; ПМ – продольные мышечные волокна;
ПС – подслизистая оболочка; Се – серозная оболочка; ЯЭ – ядро эпителиоцита;
БК – бокаловидная клетка; КМ – клеточный матрикс; ИЭЛ – интраэпителиальные лимфоциты;
ЛЛР – лимфоцит lamina propria; РК – ретикулярная клетка; Эо – эозинофил.
Окраска Н&Е (а-в) и PAS (г).
Шкала масштаба 100 мкм (а) и 15 мкм (б-г)

Fig. 1. Histologic cross-sections of the midgut of the sterlet:
ПК – intestinal lumen; Сл – mucosa; LP – lamina propria; ЦМ – circular muscle fibers;
ПМ – longitudinal muscle fibers; ПС – submucosa; Се – serosa; ЯЭ – epitheliocyte nucleus;
БК – goblet cell; КМ – cell matrix; ИЭЛ – intraepithelial lymphocytes;
ЛЛР – lamina propria lymphocyte; РК – reticular cell; Эо – eosinophil.
H&E (a-v) and PAS (г) staining.
Scale bar of 100 μm (a) and 15 μm (б-г)

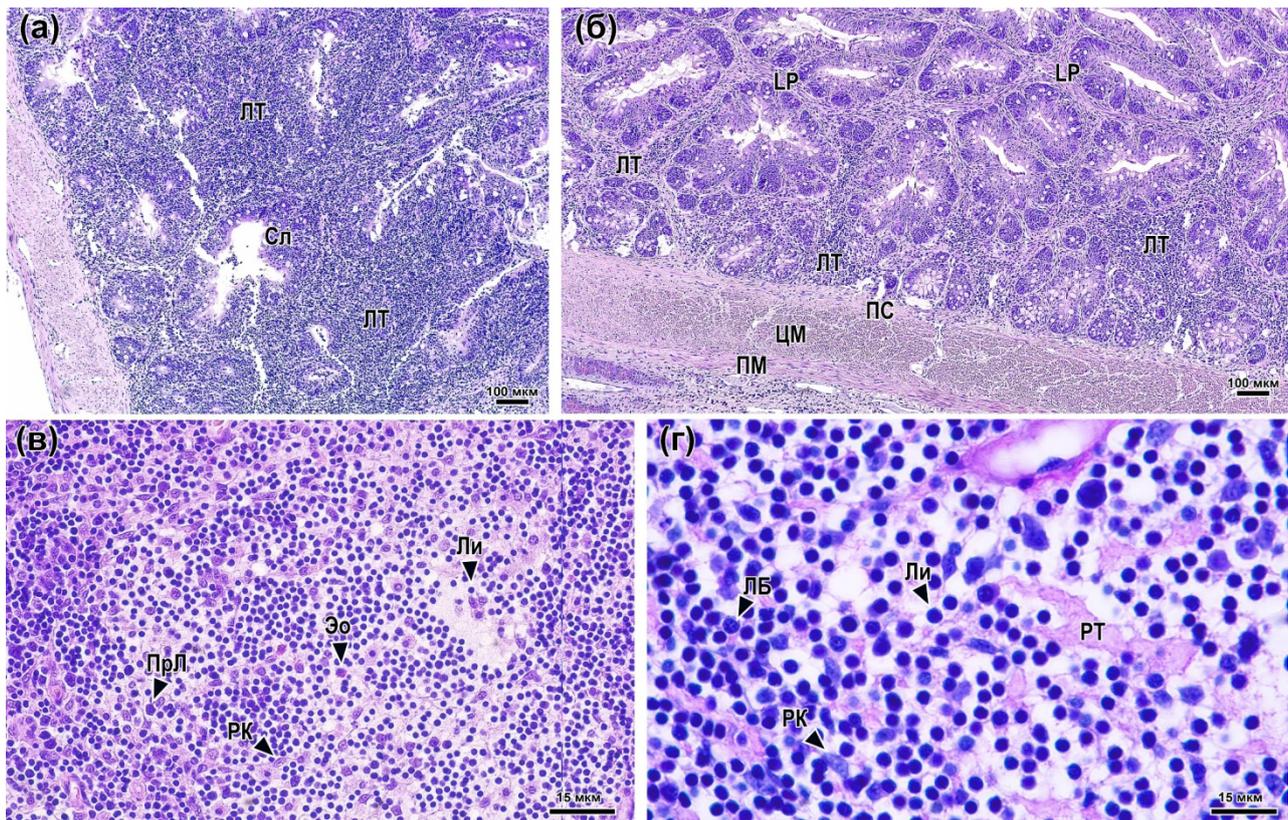


Рис. 2. Гистологические срезы среднего отдела кишечника стерляди:
ЛТ – островки лимфоидной ткани; Сл – слизистая оболочка; LP – lamina propria;
ЦМ – циркулярные мышечные волокна; ПМ – продольные мышечные волокна; ПС – подслизистая оболочка;
РК – ретикулярная клетка; РТ – ретикулярная ткань; Эо – эозинофил; Ли – лимфоцит;
ПрЛ – пролимфоцит. Окраска Н&Е (а-в) и PAS (г).
Шкала масштаба 100 мкм (а, б) и 15 мкм (в, г)

Fig. 2. Histologic cross sections of the midgut of the sterlet:
ЛТ – islets of lymphoid tissue; Сл – mucosa; LP – lamina propria;
ЦМ – circular muscle fibers; ПМ – longitudinal muscle fibers; ПС – submucosa; РК – reticular cell;
РТ – reticular tissue; Эо – eosinophil; Ли – lymphocyte; ПрЛ – prolymphocyte.
H&E (а-в) and PAS (г) staining.
Scale bar of 100 μm (а, б) and 15 μm (в, г)

Слизистая оболочка кишечника, по всей видимости, также участвует в формировании иммунного ответа, так как в ней обнаруживаются следующие иммунокомпетентные клетки. По всей площади слизистой наблюдались интраэпителиальные лимфоциты, которые могли располагаться как вблизи апикальной части энтероцитов, так и ближе к их основанию. Их количество варьировалось от 4 до 15 шт. на 100 мкм слизистой (табл. 1). В собственной оболочке слизистой, помимо ретикулярных клеток, также просматривались лимфоциты – лимфоциты lamina propria, встречаемость которых составляла 8,9 кл./100 мкм (рис. 2б, г). Лимфоциты кишечника имели базофильную окраску, а граница между ядром и цитоплазмой не просматривалась. Дополнительно в lamina propria отмечались эозинофильные клетки, имеющие ацидофильную гранулярную цитоплазму и округлое либо палочкообразное ядро (рис. 2в). Данные клетки могли располагаться небольшими группами до 3 клеток. В среднем встречалась одна клетка на 100 мкм слизистой.

Очаги лимфоидной ткани кишечника имели различные размеры. Так, из данных рисунка 2 (а) следует, что лимфоидная ткань заполняет большую часть ворсинок, при этом в ней имеются включения части слизистой оболочки. На других участках среза лимфоидная ткань занимала меньшую площадь, представляя собой расширение собственной пластинки слизистой и располагаясь в основании подслизистой оболочки (рис. 2б). Данные участки могли быть отделены от другой ткани соединительнотканым слоем, являющимся частью стромы, или быть разделены базальной мембраной слоя энтероцитов.

При детальном рассмотрении участков лимфоидной ткани видны: тяжи ретикулярной ткани, а также ретикулярные клетки, которые имеют амфифильную окраску и овальное или бобовидное ядро; клетки лимфопоэтического ряда (лимфобласты, пролимфоциты, лимфоциты), а также гранулярные клетки (эозинофилы, нейтрофилы) (рис. 2в, г). У лимфоцитов в зависимости от стадии зрелости могла просматриваться базофильная цитоплазма.

Таблица 1

Гистоморфометрические параметры среднего отдела кишечника стерляди, связанные с лимфоидной тканью

Параметр	$\bar{x}\pm s$	Медиана	CV	Min	Max	Референсный диапазон
Ширина lamina propria, мкм	20.99±2.05	21.63	9.77	9.0	47.2	16.97-25.01
Ширина подслизистой, мкм	25.50±3.71	23.90	14.55	12.7	59.3	18.23-32.77
Эозинофильные клетки, кл/100 мкм	1.01±0.11	1.00	10.81	0	3	0.8-1.23
Лимфоциты LP, кл/100 мкм	7.15±1.55	6.86	21.66	3	15	4.12-10.19
Интраэпителиальные лимфоциты, кл/ 100 мкм	8.97±0.64	9.15	7.13	4	15	7.72-10.23

Примечание. Min – минимальное значение; Max – максимальное значение; CV – коэффициент вариации; LP – lamina propria.

Table 1

Histomorphometric parameters of the sterlet midgut, associated with lymphoid tissue

Parameter	$\bar{x}\pm s$	Median	CV	Min	Max	Reference range
Width of lamina propria, μm	20.99±2.05	21.63	9.77	9.0	47.2	16.97-25.01
Width of submucosa, μm	25.50±3.71	23.90	14.55	12.7	59.3	18.23-32.77
Eosinophilic cells, cells /100 μm	1.01±0.11	1.00	10.81	0	3	0.8-1.23
Lymphocytes LP, cells /100 μm	7.15±1.55	6.86	21.66	3	15	4.12-10.19
Intraepithelial lymphocytes, cells / 100 μm	8.97±0.64	9.15	7.13	4	15	7.72-10.23

Note. Min – minimum value, Max – maximum value, CV – coefficient of variation, LP – lamina propria

Для оценки активности гемопоэза были изготовлены мазки кишечника стерляди (рис. 3а), на которых обнаружены следующие клетки: лимфобласты, имеющие крупное круглое ядро с рыхлым хроматином и окружающую клетку базофильную цитоплазму (рис. 3б); пролимфоциты, ядро которых имело крупные агрегаты хроматина и прерывистую цитоплазму (рис. 3в); лимфоциты, имеющие округлое ядро с единичными глыбками

хроматина и участками базофильной цитоплазмы (рис. 3г, д); проплазмоциты, имеющие овальное ядро с рыхлым хроматином и единичными включениями и базофильной цитоплазмой, занимающей >30% площади клетки (рис. 3е); плазмоциты, также имевшие овальное ядро с плотно упакованным хроматином, расположенное эксцентрично с более светлой цитоплазмой, отчетливо слабо окрашенной, парануклеарной зоной (рис. 3и).

Дополнительно на мазках обнаруживались плазмоцито-подобные клетки, которые обладали схожей морфологией ядра и цитоплазмы, однако имели меньшую площадь цитоплазмы (рис. 3ж) или нейтрофильную окраску (рис. 3з). Данные клетки относились к неопределенным.

На препаратах просматривались и единичные эритроциты, нейтрофилы, а также моноциты, встречаемость которых варьировала от 4,7 до 6,3%.

Наиболее часто обнаруживаемым типом клеток на мазках кишечника были лимфоциты, встречаемость которых составила 64,4% (табл. 2). Количество лимфобластов и пролимфоцитов было существенно меньше – 2,7 и 6,5% соответственно. В сумме лимфатические клетки составляли от 62 до 68% от общего числа клеток.

Относительная встречаемость плазмоцитов на препаратах находилась в пределах от 3,5 до 4,4%. При этом проплазмоциты являлись наименее часто обнаруживаемым типом клеток, а их относительное количество значительно варьировало (коэффициент вариации – 18,9%). Сумма проплазмо-

цитов и плазмоцитов составляла 5,4% от общего числа клеток.

Другие клеточные элементы (эритроциты, моноциты, нейтрофилы) встречались на препаратах в количестве 16,1%. Важно отметить, что наибольшую часть из этих клеток составляли эритроциты, а моноциты и нейтрофилы занимали <1% (данные не приведены). Количество плазмоцито-подобных клеток, а также других клеточных элементов, не подлежащих дифференцировке, не превышало 5,1%.

Измерение морфометрических характеристик лимфоидных клеток позволило установить, что в ряду лимфобласт-пролимфоцит-лимфоцит происходит постепенное уменьшение размеров ядра и цитоплазмы (табл. 3). В частности, длина и ширина клетки лимфобласта составляли 8,0 и 7,9 мкм, а у лимфоцита – уже 5,16 и 4,78 мкм. У плазмоцитов наблюдалась схожая закономерность, которая, однако, была менее выражена. Длина ядра проплазмоцита составляла 6,08 мкм, а у плазмоцита – 5,4 мкм. Показатель ширины клетки проплазмоцита и плазмоцита находился на одном уровне.

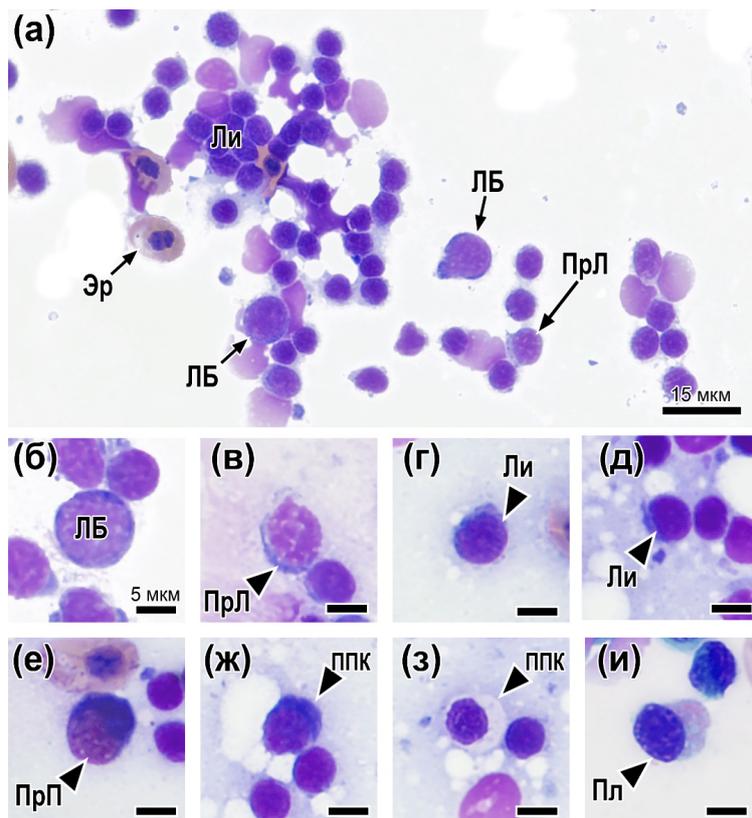


Рис. 3. Клетки лимфоидного ряда, обнаруживаемые на мазках кишечника стерляди:

ЛБ – лимфобласт; ПрЛ – пролимфоцит; Ли – лимфоцит;

ПрП – проплазмоцит; Пл – плазмоцит; ППК – плазмоцито-подобная клетка.

Шкала масштаба 15 мкм (а) и 5 мкм (б-и)

Fig. 3. Lymphoid cells found on smears of sterlet intestine:

ЛБ – lymphoblast; ПрЛ – prolymphocyte; Ли – lymphocyte;

ПрП – proplasmocyte; Пл – plasmocyte; ППК – plasmocyte-like cell.

Scale bars of 15 μm (a) and 5 μm (б-и)

Таблица 2

Относительная встречаемость клеток, обнаруживаемых на мазках кишечника стерляди

Тип клеток	$\bar{x}\pm s$	Медиана	CV	Min	Max
Лимфобласт (ЛБ)	2.79±0.21	2.85	7.53	2.26	3.01
Пролимфоцит (ПрЛ)	6.58±0.5	6.61	7.60	5.28	7.32
Лимфоцит (Ли)	64.45±1.52	63.78	2.36	62.97	67.92
Лимфатические клетки	73.82±1.25	73.19	1.69	72.47	76.10
Проплазмоцит (ПрП)	1.53±0.29	1.51	18.95	1.02	1.90
Плазмоцит (Пл)	3.96±0.27	3.91	6.82	3.53	4.43
Плазматические клетки	5.49±0.5	5.42	9.11	4.71	6.33
Другие клетки*	16.13±0.88	16.33	5.46	14.34	17.29
Неопределенные**	4.55±0.5	4.62	10.99	3.57	5.11

*Другие клетки включали в себя эритроциты, моноциты, нейтрофилы, встречаемость которых была ниже 1%.

**К неопределенным клеткам относятся плазмоцито-подобные клетки, а также другие клеточные элементы, не подлежащие дифференцировке.

Table 2

Relative occurrence of cells detected on sterlet intestinal smears

Cell type	$\bar{x}\pm s$	Median	CV	Min	Max
Lymphoblast (ЛБ)	2.79±0.21	2.85	7.53	2.26	3.01
Prolymphocyte (ПрЛ)	6.58±0.5	6.61	7.60	5.28	7.32
Lymphocyte (Ли)	64.45±1.52	63.78	2.36	62.97	67.92
Lymphatic cells	73.82±1.25	73.19	1.69	72.47	76.10
Proplasmocyte (ПрП)	1.53±0.29	1.51	18.95	1.02	1.90
Plasmocyte (Пл)	3.96±0.27	3.91	6.82	3.53	4.43
Plasma cells	5.49±0.5	5.42	9.11	4.71	6.33
Other cells*	16.13±0.88	16.33	5.46	14.34	17.29
Unclassified**	4.55±0.5	4.62	10.99	3.57	5.11

* Other cells included erythrocytes, monocytes, and neutrophils, the occurrence of which was less than 1%; ** Unclassified cells included plasmacyte-like cells, as well as other cellular elements not subject to differentiation.

Таблица 3

Размеры ядра и цитоплазмы клеток, обнаруживаемые на мазках кишечника стерляди

Тип клетки	Ядро		Клетка	
	Длина, мкм	Ширина, мкм	Длина, мкм	Ширина, мкм
Лимфобласт (ЛБ)	7.1±0.84	6.7±0.8	8.06±1.27	7.98±0.68
Пролимфоцит (ПрЛ)	5.4±0.69	5.76±1.15	6.41±0.78	5.66±1.03
Лимфоцит (Ли)	4.84±1.06	4.45±0.95	5.16±0.61	4.78±0.59
Проплазмоцит (ПрП)	6.08±1.82	4.71±0.58	6.25±1.23	6.46±0.89
Плазмоцит (Пл)	5.45±1.01	4.64±1.36	5.68±1.06	6.74±0.85

Table 3

Nucleus and cytoplasm size of cells detected on sterlet intestinal smears

Cell type	Nuclei		Cell	
	Length, μm	Width, μm	Length, μm	Width, μm
Lymphoblast (ЛБ)	7.1±0.84	6.7±0.8	8.06±1.27	7.98±0.68
Prolymphocyte (ПрЛ)	5.4±0.69	5.76±1.15	6.41±0.78	5.66±1.03
Lymphocyte (Ли)	4.84±1.06	4.45±0.95	5.16±0.61	4.78±0.59
Proplasmocyte (ПрП)	6.08±1.82	4.71±0.58	6.25±1.23	6.46±0.89
Plasmocyte (Пл)	5.45±1.01	4.64±1.36	5.68±1.06	6.74±0.85

Изучение морфологических и физиологических аспектов иммунитета у осетровых рыб имеет большое фундаментальное значение, в частности, для понимания эволюции лучеперых рыб, а также прикладное применение в аквакультуре и при реализации природоохранных мероприятий [4]. Полученные результаты могут быть использованы для оценки иммунного статуса культивируемых рыб, определения эффективности иммуномодулирующих кормов и кормовых добавок,

а также для мониторинга и диагностики диких популяций рыб. Результаты исследований расширяют существующие представления о морфологической организации лимфоидной ткани кишечника и детализируют данные о ее клеточном составе. Результаты подсчета клеточных элементов и описание строения лимфоидной ткани стерляди сходится с ранее приведенными данными для амурского осетра (*Acipenser schrenckii*) [12], севрюги (*A. stellatus*) и белуги (*Huso huso*) [2].

Различие размеров и локализации лимфоидной ткани кишечника у осетровых видов в сравнении с костистыми рыбами может быть архаичной чертой организации ткани. Известно, что лимфоидная ткань кишечника или кишечно-ассоциированные лимфоидные ткани (КАЛТ) являются местом дифференциации лимфоцитов и концентрации антигенов, которые в совокупности обеспечивают гомеостаз между организмом и микробиомом кишечника [23]. Лимфоциты в слизистой оболочке кишечника преимущественно представлены В-клетками и Т-клетками, которые играют важную роль в презентации антигенов и реализации гуморального иммунитета [24]. Установлено наличие локусов рецепторов В и Т-клеток (TCRs) у костистых рыб и хрящевых ганоидов [4]. Таким образом, вероятный путь созревания и миграции лимфоцитов включает в себя: (1) развитие первичных клеток предшественников в тимусе или головной почке; (2) миграцию зрелых лимфоцитов или бластных форм клеток в лимфоидную ткань слизистых; (3) депонирование и/или дальнейшую трансформацию лимфоцитов в ходе иммунного ответа [3]. Обнаружение у стерляди развитой кишечно-ассоциированной лимфоидной ткани (КАЛТ) со структурой и клеточным составом, сходными с таковыми у других позвоночных животных, а также с характерными морфометрическими изменениями в ряду лимфатических клеток, указывает на древнее происхождение и консервативность основных принципов организации КАЛТ в эволюции лучеперых, предоставляя основу для дальнейшего изучения эволюционных преобразований иммунной системы этой группы.

Полученные данные по морфометрическим показателям лимфоидных клеток частично сходятся с ранее приведенными данными для корейского осетра (*Acipenser dabryanus*) [9], данио рерио [25], карпа (*Cyprinus carpio*) [20] и канального сома (*Ictalurus punctatus*) [21]. Некоторые различия, в частности, по размерам лимфобластов, вероятнее всего, связаны с используемыми методами фиксации и окрашивания препаратов. Изменение размеров лимфоцитов в лимфоидной ткани кишечника отражают современные представления о гистогенезе клеток крови, которые сводятся к постепенному уменьшению площади цитоплазмы и ядра, а также метаболической и митотической активности клеток. В случае же с плазмоидами, которые трансформируются в результате иммунопоэза из В-лимфоцитов, наоборот, происходит метаболическая активация и появляется способность к пролиферации. По этим причинам на цитологических препаратах проплазмциты и плазмциты имеют несколько большие размеры цитоплазмы и ядра в сравнении с лимфоцитами.

Приведенные в работе значения относительной встречаемости плазмцитов не являются полноценным отражением встречаемости популяции плазматических клеток в лимфоидной ткани кишечника. Существующие на данный момент морфологические критерии для определения плазмцитов не позволяют однозначно их определить, так как ранее было показано, что у плазмцитов может наблюдаться большое разнообразие морфологии ядра и цитоплазмы [26]. Вероятнее всего, крайне трудоемкая процедура подсчета и неоднозначность морфологических критериев существенно ограничили исследование данного типа клеток у рыб с использованием классических цитологических и гистологических методов. Наиболее достоверными способами их определения и подсчета являются иммуногистохимическая окраска по IgM, что продемонстрировано в работе Fournier-Betz [27], или электронная сканирующая микроскопия [28], которая позволяет выявить рибосомы и везикулы, содержащие синтезируемые клеткой антитела. Для установления более четких морфологических показателей плазмцитов необходимо проведение серии работ на разных видах рыб, посвященных изучению кроветворных органов, с использованием нескольких методов окраски (периодическая кислота Шиффа, активность кислой фосфатазы, PCNA и др.).

Выводы

Conclusions

1. На гистологических препаратах лимфоидная ткань кишечника стерляди включает в себя лимфоциты, ассоциированные со слизистой оболочкой (интраэпителиальные) и с собственной пластинкой слизистой кишечника (лимфоциты lamina propria), эозинофильные клетки, а также островки лимфоидной ткани, окруженные ретикулярной тканью/слизистой оболочкой.

2. Установлено, что интраэпителиальные лимфоциты (8,9 кл/100 мкм) являются наиболее представленным типом клеток в слизистой кишечника стерляди в сравнении с лимфоцитами lamina propria (7,1 кл/100 мкм) и эозинофильными клетками (1,0 кл/100 мкм).

3. На мазках лимфоидной ткани кишечника стерляди были обнаружены следующие типы клеток лимфоидного ряда (в порядке убывания): лимфоциты (64,4%), пролимфоциты (6,5%), плазмциты (3,9%), лимфобласты (2,9%) и проплазмциты (1,5%).

4. Анализ морфологии, клеточного состава, а также функциональных характеристик позволил отнести лимфоидную ткань кишечника стерляди к кишечно-ассоциированной лимфоидной ткани.

Список источников

1. Birstein V.J., Waldman J.R., Bemis W.E. Sturgeon biodiversity and conservation. *Springer Science & Business Media*. 1997;17:443. https://doi.org/10.1007/0-306-46854-9_2
2. Грушко М.П., Светашева Д.Р. Сравнительная морфофизиологическая характеристика органов кроветворения осетровых рыб и земноводных на ранних стадиях развития // *Труды ВНИРО*. 2017. Т. 167. С. 12-23. EDN: ZRQSZX
3. Gradil A.M., Wright G.M., Wadowska D.W., Fast M.D. Ontogeny of the immune system in Acipenserid juveniles. *Developmental & Comparative Immunology*. 2014;44(2):303-314. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2014.01.006>
4. Höhne C., Prokopov D., Kuhl H., Du K. et al. The immune system of sturgeons and paddlefish (Acipenseriformes): a review with new data from a chromosome scale sturgeon genome. *Reviews in Aquaculture*. 2021;13(3):1709-1729. <https://doi.org/10.1111/raq.12542>
5. Минеев А.К. Гематопатологии у рыб Куйбышевского водохранилища // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016. Т. 18, № 5-1. С. 51-59. EDN: YJKQIR
6. Флёрова Е.А., Богданова А.А., Паюга А.А., Евдокимов Е.Г. и др. Гематологические показатели рыб малых рек государственного природного заказника «Ярославский» // *Труды ВНИРО*. 2020. Т. 179. С. 78-89. <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2020-179-78-89>
7. 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>
8. Alijagic A., Suljevic D. Hemopoiesis in the pronephros of tench, *Tinca tinca*, Linnaeus 1758 (Teleostei, Cyprinidae): cytochemical identification and cell morphology. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 2016;40(5):548-553. <https://doi.org/10.3906/vet-1512-34>
9. Liu Y., Xiao Q., Yang S., Zhao L. et al. Characterization of hematopoiesis in Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*). *Aquaculture and fisheries*. 2017;2(6):262-268. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.10.007>
10. Грушко М.П. Морфофизиологические особенности кроветворения у костистых рыб (на примере воблы (*Rutilus rutilus caspicus*)) // *Вопросы рыболовства*. 2010. Т. 11, № 2. С. 327-340. EDN: MSNXTJ
11. Грушко М.П., Федорова Н.Н. Структурная и функциональная организация органов гемопоэза костистых рыб (на примере воблы) // *Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность*. 2008. № 3. С. 61-64. EDN: ISCRBN
12. Валова В.Н. Реакция периферической крови и пищеварительной системы сеголеток амурского осетра на условия зимовки в садках тепловодного хозяйства // *Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра)*. 2013. Т. 173. С. 259-268. EDN: RMTXIF

References

1. Birstein V.J., Waldman J.R., Bemis W.E. Sturgeon biodiversity and conservation. *Springer Science & Business Media*. 1997;17:443. https://doi.org/10.1007/0-306-46854-9_2
2. Grushko M.P., Svetasheva D.R. Comparative morphological and physiological characteristics of the organs hematopoiesis sturgeons and amphibians in the early stages of development. *Trudy VNIRO*. 2017;167:12-23. (In Russ.)
3. Gradil A.M., Wright G.M., Wadowska D.W., Fast M.D. Ontogeny of the immune system in Acipenserid juveniles. *Developmental & Comparative Immunology*. 2014;44(2):303-314. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2014.01.006>
4. Höhne C., Prokopov D., Kuhl H., Du K. et al. The immune system of sturgeons and paddlefish (Acipenseriformes): a review with new data from a chromosome scale sturgeon genome. *Reviews in Aquaculture*. 2021;13(3):1709-1729. <https://doi.org/10.1111/raq.12542>
5. Mineev A.K. hematopathology in fishes of the Kuibyshev reservoir. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2016;18(5-1):51-59. (In Russ.)
6. Flerova E.A., Bogdanova A.A., Payuta A.A., Evdokimov E.G., Andreyeva M.I. Hematological indicators of fish of small rivers of the State Nature Reserve “Yaroslavsky”. *Trudy VNIRO*. 2020;179:78-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.36038/2307-3497-2020-179-78-89>
7. 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>
8. Alijagic A., Suljevic D. Hemopoiesis in the pronephros of tench, *Tinca tinca*, Linnaeus 1758 (Teleostei, Cyprinidae): cytochemical identification and cell morphology. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*. 2016;40(5):548-553. <https://doi.org/10.3906/vet-1512-34>
9. Liu Y., Xiao Q., Yang S., Zhao L. et al. Characterization of hematopoiesis in Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus*). *Aquaculture and fisheries*. 2017;2(6):262-268. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.10.007>
10. Grushko M.P. Morpho-physiological of feature hemopoietic at bony of fishes (on an example vobla (*Rutilus rutilus caspicus*)). *Fisheries Issues*. 2010;11(2):327-340. (In Russ.)
11. Grushko M.P., Fedorova N.N. Structural and functional organization of some organs of hemopoiesis of bony fishes (by the example of vobla). *Oil and Gas Technologies and Environmental Safety*. 2008;(3):61-64. (In Russ.)
12. Valova V.N. Reaction of peripheral blood and digestive system of the Amur sturgeon fingerlings on conditions of their wintering in warm-water farm cages. *Izvestiya TINRO*. 2013;173:259-268. (In Russ.)

13. Wilson J.M., Castro L.F.C. Morphological diversity of the gastrointestinal tract in fishes. *Fish physiology. Academic Press.* 2010;30:1-55. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(10\)03001-3](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(10)03001-3)
14. Ложниченко О.В., Загрийчук В.П., Грицишина В.В. Оценка воздействия гормональных добавок на органы пищеварительной системы русского осетра // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Рыбное хозяйство»*. 2009. № 2. С. 54-59. EDN: MWIDJZ
15. Гаврилин К.В. *Гистопатология костистых рыб*: Монография. Курск: ИП Бескровный А.А, 2023. 200 с. EDN: JICTCN
16. Suvarna S.K., Layton C., Bancroft J.D. *Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques E-Book*. Elsevier Health Sciences: Amsterdam, The Netherlands, 2018:672. URL: <https://shop.elsevier.com/books/bancrofts-theory-and-practice-of-histological-techniques/suvarna/978-0-7020-6864-5> (дата обращения: 01.12. 2024).
17. Schindelin J., Arganda-Carreras I., Frise E., Kaynig V. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods.* 2012;9(7):676-682. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>
18. Кочетков Н.И., Никифоров-Никишин Д.Л., Смородинская С.В., Климчук А.А. и др. Положительный опыт применения штамма *Lactobacillus brevis* 47f на рыбоводно-биологические, гематологические и гистологические показатели молоди стерляди (*Acipenser ruthenus*) // *Рыбное хозяйство*. 2024. № 4. С. 96-107. <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-4-96-107>
19. Иванова Н.Т. *Атлас клеток крови рыб: сравнительная морфология и классификация форменных элементов крови рыб*. М.: Изд-во «Легкая и пищевая промышленность», 1983. 283 с.
20. Kondera E. Haematopoiesis in the head kidney of common carp (*Cyprinus carpio* L.): a morphological study. *Fish Physiology and Biochemistry.* 2011;37:355-362. <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9432-5>
21. Fijan N. Morphogenesis of blood cell lineages in channel catfish. *Journal of Fish Biology.* 2002;60(4):999-1014. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb02424.x>
22. Collan Y., Torkkeli T., Pesonen E., Jantunen E. et al. Application of morphometry in tumor pathology. *Analytical and Quantitative Cytology and Histology.* 1987;9(2):79-88. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74823-3_6
23. Mitchell C.D., Criscitiello M.F. Comparative study of cartilaginous fish divulges insights into the early evolution of primary, secondary and mucosal lymphoid tissue architecture. *Fish & Shellfish Immunology.* 2020;107:435-443. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.11.006>
24. Yu Y., Wang Q., Huang Z., Ding L. et al. Immunoglobulins, mucosal immunity and vaccination in teleost fish. *Frontiers in Immunology.* 2020;11:567941. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.567941>
13. Wilson J.M., Castro L.F.C. Morphological diversity of the gastrointestinal tract in fishes. *Fish physiology. Academic Press.* 2010;30:1-55. [https://doi.org/10.1016/S1546-5098\(10\)03001-3](https://doi.org/10.1016/S1546-5098(10)03001-3)
14. Lozhnichenko O.V., Zagriyuchuk V.P., Gritsishina V.V. Assessment of hormone additives influence on organs of digestive system of Russian sturgeon. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry.* 2009;(2):54-59. (In Russ.)
15. Gavrilin K.V., Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I., Smorodinskaya S.V. *Histopathology of bony fishes: a monograph*. Kursk, Russia: IP Beskrovnyy A.A, 2023:200. (In Russ.)
16. Suvarna S.K., Layton C., Bancroft J.D. *Bancroft's Theory and Practice of Histological Techniques E-Book*. Elsevier Health Sciences: Amsterdam, The Netherlands, 2018:672. URL: <https://shop.elsevier.com/books/bancrofts-theory-and-practice-of-histological-techniques/suvarna/978-0-7020-6864-5> (accessed: December 01, 2024).
17. Schindelin J., Arganda-Carreras I., Frise E., Kaynig V. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis. *Nature Methods.* 2012;9(7):676-682. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2019>
18. Kochetkov N.I., Nikiforov-Nikishin D.L., Smorodinskaya S.V., Klimuk A.A., Golovacheva N.A. Effects of dietary *Lactobacillus brevis* 47f on growth performance, hematological and histological parameters of juvenile sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Fisheries.* 2024;(4):96-107. (In Russ.) <https://doi.org/10.36038/0131-6184-2024-4-96-107>
19. Ivanova N.T. *Atlas of fish blood cells: comparative morphology and classification of blood corpuscles in fish*. Moscow, Russia: Legkaya i pishcheyaya promyshlennost, 1983:283. (In Russ.)
20. Kondera E. Haematopoiesis in the head kidney of common carp (*Cyprinus carpio* L.): a morphological study. *Fish Physiology and Biochemistry.* 2011;37:355-362. <https://doi.org/10.1007/s10695-010-9432-5>
21. Fijan N. Morphogenesis of blood cell lineages in channel catfish. *Journal of Fish Biology.* 2002;60(4):999-1014. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb02424.x>
22. Collan Y., Torkkeli T., Pesonen E., Jantunen E. et al. Application of morphometry in tumor pathology. *Analytical and Quantitative Cytology and Histology.* 1987;9(2):79-88. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74823-3_6
23. Mitchell C.D., Criscitiello M.F. Comparative study of cartilaginous fish divulges insights into the early evolution of primary, secondary and mucosal lymphoid tissue architecture. *Fish & Shellfish Immunology.* 2020;107:435-443. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2020.11.006>
24. Yu Y., Wang Q., Huang Z., Ding L. et al. Immunoglobulins, mucosal immunity and vaccination in teleost fish. *Frontiers in immunology.* 2020;11:567941. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.567941>

25. Smorodinskaya S., Kochetkov N., Gavrilin K., Nikiforov-Nikishin D. et al. The Effects of Acute Bisphenol A Toxicity on the Hematological Parameters, Hematopoiesis, and Kidney Histology of Zebrafish (*Danio rerio*). *Animals*. 2023;13(23):3685. <https://doi.org/10.3390/ani13233685>
26. Фомина А.С. Клеточный состав головного отдела почки байкальского омуля (*Coregonus migratorius*) в период нагула и нерестовой миграции // *Вестник АПК Верхневолжья*. 2016. № 3. С. 71-74. EDN: WWJNBR
27. Fournier-Betz V., Quentel C., Lamour F., LeVen A. (Immunocytochemical detection of Ig-positive cells in blood, lymphoid organs and the gut associated lymphoid tissue of the turbot (*Scophthalmus maximus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2000;10(2):187-202. <https://doi.org/10.1006/fsim.1999.0235>
28. Cui Z.W., Zhang X.Y., Wu C.S., Zhang Y.A. et al. Membrane IgM+ plasma cells in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*): Insights into the conserved evolution of IgM+ plasma cells in vertebrates. *Developmental & Comparative Immunology*. 2020;106:103613. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2020.103613>
25. Smorodinskaya S., Kochetkov N., Gavrilin K., Nikiforov-Nikishin D. et al. The Effects of Acute Bisphenol A Toxicity on the Hematological Parameters, Hematopoiesis, and Kidney Histology of Zebrafish (*Danio rerio*). *Animals*. 2023;13(23):3685. <https://doi.org/10.3390/ani13233685>
26. Fomina A.S. Cellular structure of head department of a nephros of the Baikal omul (*Coregonus migratorius*) in a period of feeding and spawning migration. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya*. 2016;(3):71-74. (In Russ.)
27. Fournier-Betz V., Quentel C., Lamour F., LeVen A. (Immunocytochemical detection of Ig-positive cells in blood, lymphoid organs and the gut associated lymphoid tissue of the turbot (*Scophthalmus maximus*). *Fish & Shellfish Immunology*. 2000;10(2):187-202. <https://doi.org/10.1006/fsim.1999.0235>
28. Cui Z.W., Zhang X.Y., Wu C.S., Zhang Y.A. et al. Membrane IgM+ plasma cells in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*): Insights into the conserved evolution of IgM+ plasma cells in vertebrates. *Developmental & Comparative Immunology*. 2020;106:103613. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2020.103613>

Сведения об авторах

Никита Ильич Кочетков, младший научный сотрудник центра «Аквакультуры», Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского (ПКУ); 109004, Россия, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73; e-mail: samatrixs@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2196-5421>

Дмитрий Львович Никифоров-Никишин, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник центра «Аквакультуры», Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского (ПКУ); 109004, Россия, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73; e-mail: nikipdl@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1715-057X>

Кирилл Владимирович Гаврилин, доктор биологических наук, директор по развитию проектов в области биотехнологии и аквакультуры, Национальный фонд экологической защиты и развития Крайнего Севера и приравненных к ним местностей «Якутия»; 677027, Россия, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Октябрьская, 18; e-mail: k.gavrilin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0004-1856-1047>

Белинский Антон Андреевич, аспирант кафедры зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: belinsky@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0004-6392-3168>

Information about the authors

Nikita I. Kochetkov, Junior Research Associate at the Aquaculture Center, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University) (73 Zemlyanoy Val St., Moscow, 109004, Russian Federation); e-mail: samatrixs@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2196-5421>

Dmitry L. Nikiforov-Nikishin, CSc (Bio), Leading Research Associate at the Aquaculture Center, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University) (73 Zemlyanoy Val St., Moscow, 109004, Russian Federation); e-mail: nikipdl@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1715-057X>

Kirill V. Gavrilin, DSc (Bio), Director for Biotechnology and Aquaculture Project Development, National Fund for Environmental Protection and Development of the Far North and Equated Localities “Yakutia” (18 Oktyabrskaya St., Yakutsk, 677027, Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation); e-mail: k.gavrilin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0004-1856-1047>

Anton A. Belinsky, postgraduate student of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: info@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0004-6392-3168>

Статья поступила в редакцию 14.02.2025
Одобрена после рецензирования 13.03.2025
Принята к публикации 20.03.2025

The article was submitted to the editorial office
February 14, 2025
Approved after reviewing March 13, 2025
Accepted for publication March 20, 2025

Оригинальная научная статья

УДК 378: 796: 612.2

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-02>



Изучение функциональных показателей дыхательной системы в разных видах спорта у студентов за время обучения

Ольга Николаевна Никифорова, Эдуард Васильевич Маркин

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

Автор, ответственный за переписку: Ольга Николаевна Никифорова;
olganikiforova2014@yandex.ru

Аннотация

Известно, что показатели легочной вентиляции имеют широкие колебания, весьма изменчивые и относительные. Они могут изменяться при утомлении дыхательных мышц, при смене положения тела, при повышенной возбудимости нервной системы, заметно влияют на них занятия физической культурой и спортом. Впервые получены данные функционального состояния дыхательной системы у студентов 1, 2 и 4 курсов (на базе РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева), то есть в динамике обучения. Впервые установлены особенности изменения показателей системы внешнего дыхания студентов 17-25-летнего возраста в зависимости от занятий разными видами спорта, а также выявлены наиболее информативные показатели оценки уровня тренированности студентов при занятиях спортом во время обучения в вузе. В исследованиях приняли участие студенты-юноши, занимающиеся разными видами спорта и регулярно выступающие на соревнованиях: беговыми видами на средние и длинные дистанции – 57 чел., армрестлингом – 32 чел., волейболом – 22 чел. Для оценки функционального состояния дыхательной системы использовался метод спирографии. При исследовании функции дыхательного аппарата студентов в процессе обучения в вузе были подвергнуты анализу и статистической обработке более 20 спирографических показателей, из которых в данной статье представлены наиболее информативные из них. Регистрация показателей осуществлялась в три этапа на первом, втором и четвертом курсах, а на каждом этапе исследований – трижды: в состоянии покоя, после дозированной физической нагрузки (степ-теста в течение 3 мин) и на третьей минуте восстановления. Спирографические данные, полученные в результате обследования студентов, показали улучшение дыхательной функции и совершенствование физиологических механизмов регуляции внешнего дыхания на фоне повышения тренированности. Это проявилось в увеличении дыхательного объема на 26,1% при незначительных колебаниях частоты дыхания, особенно при занятии беговыми видами спорта и армрестлингом, повышении количества поглощенного кислорода за 1 мин с расчетом коэффициента использования (% к должному на 10,4%) и удлинением продолжительности выдоха, что свидетельствует об улучшении газообмена в легких. Во всех исследуемых группах наблюдалось достоверное ($P < 0,001$) улучшение уровней жизненной емкости легких на 18,9% и максимальной вентиляции легких за 15 с на 43,2%.

Ключевые слова

студенты, виды спорта, внешнее дыхание, спирография, легочная вентиляция, легочные объемы, газообмен, особенности дыхательной системы в видах спорта

Для цитирования

Никифорова О.Н., Маркин Э.В. Изучение функциональных показателей дыхательной системы в разных видах спорта у студентов за время обучения. *Тимирязевский биологический журнал*. 2025. Т. 3, № 1. С. 202531402. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-02>



Investigation of the functional parameters of the respiratory system in various sports among students during their studies

Olga N. Nikiforova, Eduard V. Markin

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

Corresponding author: Olga N. Nikiforova; olganikiforova2014@yandex.ru

Abstract

It is well-known that pulmonary ventilation parameters can fluctuate widely. They are highly variable and relative. They can change due to respiratory muscle fatigue, changes in body position, or increased nervous system excitability. Physical training and sports notably affect these parameters. For the first time, data was obtained on the functional state of the respiratory systems of first-, second-, and fourth-year students (based on the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy) in the context of training dynamics. The features of changes in the parameters of the external respiratory system of 17-25-year-old students depending on different sports were established for the first time. The most informative parameters for assessing students' fitness levels while participating in sports during their university studies were identified. The study involved male students who regularly competed in different sports: 57 middle- and long-distance runners, 32 arm wrestlers, and 22 volleyball players. Spirography was used to assess the functional state of the respiratory system. More than 20 spirographic parameters were analyzed and statistically processed when studying the respiratory function of students during their university studies, and the most informative ones are presented in this article. Registration of the parameters was carried out in three stages in the first, second, and fourth years. At each stage, it was carried out three times: at rest, after a metered physical activity (a three-minute step test), and at the third minute of recovery. The spirometry data obtained from the students' examinations showed improvements in respiratory function and the physiological mechanisms that regulate external respiration, especially with increased training. This manifested as a 26.1% increase in respiratory volume, with minimal fluctuations in respiratory rate, particularly during running and arm wrestling. There was also an increase in the oxygen absorption rate, calculated as the oxygen utilization quotient (10.4% of reference values), and an extension of exhalation duration, indicating improved gas exchange in the lungs. There was a significant improvement in vital lung capacity ($P < 0.001$) by 18.9% and in maximum ventilation in 15 seconds ($P < 0.001$) by 43.2% in all the studied groups.

Keywords

students, sports, external respiration, spirometry, pulmonary ventilation, lung volumes, gas exchange, peculiarities of the respiratory system in sports

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

For citation

Nikiforova O.N., Markin E.V. Investigation of the functional parameters of the respiratory system in various sports among students during their studies. *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531402. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-02

Введение Introduction

Адаптация современных студентов к усложнившимся учебным программам, увеличение потока информации и ее разнообразные направления, усиление воздействия информационного обучения в результате внедрения цифровых технологий требуют рационального сочетания режима двигательной активности на протяжении всего периода

обучения в вузе и при сохранении высокого уровня функциональных систем организма – в частности, дыхательной системы [1, 2].

Известно, что функциональное состояние органов дыхания зависит от пола, возраста и массы тела, спортивной квалификации и других факторов [3]. С ростом тренированности наблюдается увеличение всех легочных объемов, особенно жизненной емкости легких и их максимальной вентиляции, отмечается урежение частоты дыхания [4, 5].

Влияние физических упражнений на показатели газообмена и вентиляции легких отражены в ряде исследований, где показано, что систематическая и интенсивная мышечная деятельность повышает экономичность и эффективность аппарата вентиляции, нормализует и улучшает газообмен, совершенствует адаптацию системы внешнего дыхания к физическим нагрузкам [6]. Систематические занятия физическими упражнениями или спортом на любом этапе обучения вызывают различные функциональные изменения показателей дыхательной системы, что способствует развитию механизмов, обеспечивающих повышение резервных возможностей и работоспособности учащихся [7].

Известно, что показатели легочной вентиляции имеют широкие колебания, весьма изменчивые и относительные. Они могут изменяться при утомлении дыхательных мышц, при смене положения тела, при повышенной возбудимости нервной системы, заметно влияют на них занятия физической культурой и спортом и др. [8].

Довольно малочисленными и разноречивыми являются сведения о состоянии функции внешнего дыхания у современных студентов. Кроме того, выявлению влияния характера физической нагрузки и уровня тренированности на показатели внешнего дыхания студентов за время обучения в вузе должного внимания в последние десятилетия не уделялось. В связи с этим **целью исследований** стало выявление особенностей динамики функции внешнего дыхания студентов аграрного вуза в зависимости от физической нагрузки и уровня тренированности.

Новым в работе является то, что впервые получены данные, характеризующие уровень функционального состояния дыхательной системы у студентов аграрного вуза: от поступления в вуз и в динамике обучения. Впервые установлены особенности изменения показателей системы внешнего дыхания студентов 17-25-летнего возраста в зависимости от различной направленности занятий физическими упражнениями и видами спорта, а также выявлены наиболее информативные показатели оценки уровня тренированности студентов при занятиях спортом во время обучения в вузе.

Методика исследований

Research methods

Исследования проводились на базе РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева у студентов 1, 2 и 4 курсов. В исследованиях приняли участие студенты, занимающиеся разными видами спорта и регулярно выступающие на соревнованиях. В первую группу вошли юноши, занимающиеся беговыми видами на средние и длинные дистанции (57 чел.), во вторую группу – юноши, занимающиеся армрестлингом (32 чел.), в 3 группу – юноши, занимающиеся волейболом (22 чел.).

В группе видов спорта беговых дисциплин учебно-тренировочные занятия содержали большой объем упражнений циклического характера, направленных на развитие выносливости. В группе студентов, занимающихся армрестлингом, учебно-тренировочные занятия содержали упражнения ациклического характера, способствующие развитию быстроты реакции, силовых и скоростно-силовых качеств. В группе студентов-волейболистов содержание учебно-тренировочных занятий включало в себя большой объем скоростно-силовых и технических упражнений.

Для оценки функционального состояния дыхательной системы использовался метод спирографии (СГ) на спирографе МЕТА закрытого типа при использовании для дыхания кислорода в условиях отделения функциональной диагностики клиники № 1 ФМБЦ им А.И. Бурназяна во время ежегодного углубленного медицинского осмотра. Расшифровка спирограмм осуществлялась по общепринятой методике, включающей в себя следующие показатели: частота дыхательных движений в 1 мин (ЧД); минутный объем дыхания (МОД); глубина дыхания или дыхательный объем (ДО); количество поглощенного кислорода за 1 мин с расчетом коэффициента использования (K_{IO_2}); соотношение продолжительности вдоха к продолжительности выдоха – дыхательный коэффициент (ДК); жизненная емкость легких (ЖЕЛ); максимальная вентиляция легких за 15 с (МВЛ); резерв дыхания (РД). Помимо этих показателей, при анализе спирографических данных автоматически рассчитывались должные величины с учетом пола, возраста, массы тела и роста исследуемых (по таблицам основного обмена Гарриса-Бенедикта) и процентное отношение фактических величин к должным [9, 10]. Легочные объемы и емкости соответствовали системе ВTPS, то есть были приведены к условиям, при которых газ находится в легких человека: температура тела человека ($37^{\circ}C$), барометрическое (атмосферное) давление и полное насыщение водяным паром (Body condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated). Количество поглощенного кислорода было приведено к системе STPD, то есть к температуре $0^{\circ}C$, нормальному атмосферному давлению 760 мм рт. ст. и сухому состоянию воздуха.

Регистрация показателей осуществлялась в три этапа (на 1, 2 и 4 курсах), выполнявшаяся на каждом этапе исследований трижды: в состоянии покоя; после дозированной физической нагрузки (степ-теста в течение 3 мин); на третьей минуте восстановления.

Данные функций внешнего дыхания обрабатывались по методу вариационной статистики с вычислением средней арифметической, ошибки средней арифметической. Определялся уровень достоверности ($P < 0,001$).

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

При исследовании функции дыхательного аппарата студентов в процессе обучения в вузе были подвергнуты анализу и статистической обработке более 20 спирографических показателей. С учетом того, что не все они достаточно наглядно отражали

динамические сдвиги показателей внешнего дыхания, в настоящем описании представлены наиболее информативные из них (табл. 1-3). С целью количественной и качественной характеристики некоторых показателей внешнего дыхания в таблицах представлены не фактические данные, а их процентное соотношение к должным величинам, соответствующее индивидуальным особенностям исследуемых лиц, то есть «уровни» [9-12].

Таблица 1

Спирографические показатели студентов, занимающихся беговыми видами на средние и длинные дистанции (n = 57), M±m

Показатели	Этапы обследования	1 курс I этап	2 курс II этап	4 курс III этап	P<0,001 этапов I-II	P<0,001 этапов II-III
ЧД, мин	Покой	17,6±0,52	17,4±0,62	17,2±0,52	0,03	0,009
	Физическая нагрузка	21,3±0,72	22,3±0,80	20,1±0,70	0,005	0,003
	Восстановительный период	18,1±0,55	18,3±0,72	17,2±0,72	0,016	0,06
ДО, мл	Покой	575,4±32,4	737,8±34,8	744,3±31,8	≤0,001	0,48
	Физическая нагрузка	1053,5±36,1	1242,0±43,9	1368,6±36,0	0,001	0,06
	Восстановительный период	861,6±40,9	880,3±41,3	889,6±40,5	0,76	0,92
КИО ₂ , % к должн.	Покой	80,3±1,61	85,5±1,83	82,3±2,09	0,04	0,27
	Физическая нагрузка	63,6±1,53	57,0±1,96	56,5±1,78	0,007	0,48
	Восстановительный период	60,9±1,58	68,3±1,70	72,9±2,12	0,001	≤0,001
ДК	Покой	1:1,2	1:1,3	1:1,3	–	–
	Физическая нагрузка	1:1,3	1:1,2	1:1,3	–	–
	Восстановительный период	1:1,3	1:1,3	1:1,3	–	–
ЖЕЛ, % к должн.	Покой	91,5±1,59	106,1±1,85	111,3±2,25	≤0,001	0,016
	Физическая нагрузка	90,8±1,94	105,0±2,08	116,2±2,27	≤0,001	≤0,001
	Восстановительный период	90,0±2,04	105,7±1,90	115,9±2,39	≤0,001	≤0,001
МВЛ, % к должн.	Покой	71,0±2,15	101,0±2,20	108,7±2,34	≤0,001	≤0,001
	Физическая нагрузка	74,6±2,44	103,6±2,53	110,4±3,05	≤0,001	≤0,001
	Восстановительный период	71,9±3,01	102,4±2,83	107,3±2,57	≤0,001	≤0,001
РД, % к должн.	Покой	90,5±1,42	91,5±1,62	93,4±2,49	0,62	0,49
	Физическая нагрузка	72,8±1,57	74,9±1,85	80,3±2,78	0,37	0,24
	Восстановительный период	81,9±1,48	86,7±1,74	86,2±3,07	0,04	0,17

Table 1

Spirographic indicators of students engaged in middle and long distance running (n=57), M±m

Indicators	Stages of examination	1st year Stage I	2nd year Stage II	4th year Stage III	P<0.001 of stages I-II	P<0.001 of stages II-III
RR, in min	Rest	17.6±0.52	17.4±0.62	17.2±0.52	0.03	0.009
	Physical activity	21.3±0.72	22.3±0.80	20.1±0.70	0.005	0.003
	Recovery period	18.1±0.55	18.3±0.72	17.2±0.72	0.016	0.06
TV, ml	Rest	575.4±32.4	737.8±34.8	744.3±31.8	≤0.001	0.48
	Physical activity	1053.5±36.1	1242.0±43.9	1368.6±36.0	0.001	0.06
	Recovery period	861.6±40.9	880.3±41.3	889.6±40.5	0.76	0.92
OAR, % of reference values	Rest	80.3±1.61	85.5±1.83	82.3±2.09	0.04	0.27
	Physical activity	63.6±1.53	57.0±1.96	56.5±1.78	0.007	0.48
	Recovery period	60.9±1.58	68.3±1.70	72.9±2.12	0.001	≤0.001
RQ	Rest	1:1.2	1:1.3	1:1.3	–	–
	Physical activity	1:1.3	1:1.2	1:1.3	–	–
	Recovery period	1:1.3	1:1.3	1:1.3	–	–
VC, % of reference values	Rest	91.5±1.59	106.1±1.85	111.3±2.25	≤0.001	0.016
	Physical activity	90.8±1.94	105.0±2.08	116.2±2.27	≤0.001	≤0.001
	Recovery period	90.0±2.04	105.7±1.90	115.9±2.39	≤0.001	≤0.001
MVV, % of reference values	Rest	71.0±2.15	101.0±2.20	108.7±2.34	≤0.001	≤0.001
	Physical activity	74.6±2.44	103.6±2.53	110.4±3.05	≤0.001	≤0.001
	Recovery period	71.9±3.01	102.4±2.83	107.3±2.57	≤0.001	≤0.001
BR, % of reference values	Rest	90.5±1.42	91.5±1.62	93.4±2.49	0.62	0.49
	Physical activity	72.8±1.57	74.9±1.85	80.3±2.78	0.37	0.24
	Recovery period	81.9±1.48	86.7±1.74	86.2±3.07	0.04	0.17

Note: RR – respiratory rate, TV – tidal volume, OAR – oxygen absorption rate, RQ – respiratory quotient, VC – vital capacity, MVV – maximum voluntary ventilation, BR – breathing reserve.

Данные частоты дыхания в 1 мин (ЧД) в состоянии относительного мышечного покоя соответствовали известным средним величинам [8]. В процессе исследований нами установлена тенденция увеличения ЧД от I к III этапу исследований в группах юношей, занимающихся армрестлингом и волейболом. В группе юношей, занимающихся беговыми видами на средние и длинные дистанции, наблюдались более низкие значения показателей ЧД ($P = 0,009$).

Исследование дыхательного объема (ДО), то есть объема воздуха, способствующего поддержанию парциального давления газов в альвеолярном воздухе, в состоянии покоя показало значительное

его увеличение за 4 года обучения, особенно в группах по беговым дисциплинам и армрестлинга ($P \leq 0,001$) (см. табл. 1, 2). В группе по волейболу эти показатели были незначительными. Такое достоверное увеличение ДО на фоне несущественных колебаний ЧД в группах беговых видов спорта и армрестлинга свидетельствовало о совершенствовании механизмов дыхания на фоне повышения тренированности. При сравнении показателей ДО, полученных при третьем обследовании, не были установлены достоверные различия по группам специализаций и этапам обследования, а также полученные данные не выходили за рамки нормальных величин ДО (300-900 мл).

Таблица 2

Спирографические показатели студентов, занимающихся армрестлингом (n = 32), M±m

Показатели	Этапы обследования	1 курс I этап	2 курс II этап	4 курс III этап	P<0,001 этапов I-II	P<0,001 этапов II-III
ЧД, мин	Покой	17,5±0,61	18,6±0,59	17,6±0,52	0,19	0,009
	Физическая нагрузка	21,0±0,72	24,1±0,77	22,1±0,70	0,003	0,003
	Восстановительный период	17,9±0,72	20,4±0,74	19,2±0,72	0,016	0,05
ДО, мл	Покой	491,1±34,7	702,8±42,1	714,6±41,9	≤0,001	0,62
	Физическая нагрузка	1036,2±40,5	1206,5±44,2	1266,8±46,0	0,005	0,42
	Восстановительный период	690,4±45,1	873,5±50,1	886,5±46,4	0,007	0,76
КИО ₂ , % к должн.	Покой	80,4±1,53	78,7±1,76	77,0±2,24	0,48	0,32
	Физическая нагрузка	58,3±1,70	59,4±1,87	56,6±2,05	0,69	≤0,001
	Восстановительный период	73,8±1,73	69,7±1,96	69,9±2,15	0,11	0,003
ДК	Покой	1:1,2	1:1,2	1:1,3	–	–
	Физическая нагрузка	1:1,2	1:1,3	1:1,2	–	–
	Восстановительный период	1:1,2	1:1,2	1:1,2	–	–
ЖЕЛ, % к должн.	Покой	92,3±1,62	107,0±1,87	92,1±2,46	≤0,001	≤0,001
	Физическая нагрузка	95,0±1,85	106,8±2,10	104,3±3,01	≤0,001	≤0,001
	Восстановительный период	93,1±1,90	106,6±2,02	106,6±3,13	≤0,001	≤0,001
МВЛ, % к должн.	Покой	72,8±1,96	99,0±2,18	101,1±2,04	≤0,001	≤0,001
	Физическая нагрузка	76,7±1,98	104,1±2,14	106,2±2,26	≤0,001	0,007
	Восстановительный период	76,0±2,11	104,4±2,03	104,7±2,08	≤0,001	0,016
РД, % к должн.	Покой	93,7±1,78	91,9±1,90	92,2±2,69	0,48	0,55
	Физическая нагрузка	74,8±1,71	75,3±2,12	77,7±2,18	0,84	0,04
	Восстановительный период	88,4±1,88	87,3±1,99	88,6±2,07	0,69	0,92

Table 2

Spirographic indicators of students engaged in arm wrestling (n=32), M±m

Indicators	Stages of examination	1st year Stage I	2nd year Stage II	4th year Stage III	P<0.001 of stages I-II	P<0.001 of stages II-III
RR, in min	Rest	17.5±0.61	18.6±0.59	17.6±0.52	0.19	0.009
	Physical activity	21.0±0.72	24.1±0.77	22.1±0.70	0.003	0.003
	Recovery period	17.9±0.72	20.4±0.74	19.2±0.72	0.016	0.05
TV, ml	Rest	491.1±34.7	702.8±42.1	714.6±41.9	≤0.001	0.62
	Physical activity	1036.2±40.5	1206.5±44.2	1266.8±46.0	0.005	0.42
	Recovery period	690.4±45.1	873.5±50.1	886.5±46.4	0.007	0.76
OAR, % of reference values	Rest	80.4±1.53	78.7±1.76	77.0±2.24	0.48	0.32
	Physical activity	58.3±1.70	59.4±1.87	56.6±2.05	0.69	≤0.001
	Recovery period	73.8±1.73	69.7±1.96	69.9±2.15	0.11	0.003
RQ	Rest	1:1.2	1:1.2	1:1.3	–	–
	Physical activity	1:1.2	1:1.3	1:1.2	–	–
	Recovery period	1:1.2	1:1.2	1:1.2	–	–
VC, % of reference values	Rest	92.3±1.62	107.0±1.87	92.1±2.46	≤0.001	≤0.001
	Physical activity	95.0±1.85	106.8±2.10	104.3±3.01	≤0.001	≤0.001
	Recovery period	93.1±1.90	106.6±2.02	106.6±3.13	≤0.001	≤0.001
MVV, % of reference values	Rest	72.8±1.96	99.0±2.18	101.1±2.04	≤0.001	≤0.001
	Physical activity	76.7±1.98	104.1±2.14	106.2±2.26	≤0.001	0.007
	Recovery period	76.0±2.11	104.4±2.03	104.7±2.08	≤0.001	0.016
BR, % of reference values	Rest	93.7±1.78	91.9±1.90	92.2±2.69	0.48	0.55
	Physical activity	74.8±1.71	75.3±2.12	77.7±2.18	0.84	0.04
	Recovery period	88.4±1.88	87.3±1.99	88.6±2.07	0.69	0.92

Note: See Table 1.

Таблица 3

Спирографические показатели студентов, занимающихся волейболом (n = 22), M±m

Показатели	Этапы обследования	1 курс I этап	2 курс II этап	4 курс III этап	P<0,001 этапов I-II	P<0,001 этапов II-III
ЧД, мин	Покой	18,1±0,67	19,2±0,79	19,8±0,44	0,27	0,09
	Физическая нагрузка	22,6±0,80	23,9±0,73	25,0±0,51	0,23	0,23
	Восстановительный период	19,7±0,89	21,8±0,69	21,7±0,49	0,06	0,05
ДО, мл	Покой	582,2±47,5	670,4±40,8	674,3±60,6	0,16	0,62
	Физическая нагрузка	1100,7±56,1	1305,5±61,2	1311,7±59,0	0,012	0,42
	Восстановительный период	987,8±68,6	928,7±65,1	938,2±55,7	0,55	0,76
КИО ₂ , % к должн.	Покой	79,2±2,03	75,4±2,20	79,6±2,14	0,20	0,32
	Физическая нагрузка	55,1±2,14	48,8±2,31	64,1±2,12	0,05	≤0,001
	Восстановительный период	49,9±2,00	53,4±2,16	72,9±2,12	0,24	0,003
ДК	Покой	1:1,3	1:1,3	1:1,3	–	–
	Физическая нагрузка	1:1,3	1:1,3	1:1,3	–	–
	Восстановительный период	1:1,3	1:1,3	1:1,3	–	–
ЖЕЛ, % к должн.	Покой	91,4±2,24	104,1±3,00	105,6±1,62	≤0,001	≤0,001
	Физическая нагрузка	92,6±2,20	105,7±2,92	106,0±2,08	≤0,001	≤0,001
	Восстановительный период	92,0±2,51	105,0±3,06	105,9±1,96	≤0,001	≤0,001
МВЛ, % к должн.	Покой	70,4±2,62	99,4±3,12	101,4±2,34	≤0,001	≤0,001
	Физическая нагрузка	74,2±3,10	103,0±3,07	103,1±3,05	≤0,001	≤0,001
	Восстановительный период	74,0±2,93	99,6±3,82	101,7±2,68	≤0,001	≤0,001
РД, % к должн.	Покой	90,1±2,31	92,3±2,73	96,4±2,69	0,55	0,76
	Физическая нагрузка	69,0±2,44	73,0±3,01	79,3±3,02	0,32	0,76
	Восстановительный период	77,0±2,47	83,5±3,23	86,6±3,26	0,12	0,07

Важным показателем газообмена являлся коэффициент использования кислорода (КИО₂), который показывал количество кислорода, поглощаемого организмом из 1 л вентилируемого воздуха. Известно, что средние величины КИО₂ колеблются от 35 до 45 мл. Фактические данные, полученные у студентов на протяжении трех

этапов обследования, соответствовали нижней границе нормы КИО₂. Величины КИО₂ (% к должному КИО₂) в состоянии покоя к концу второго курса достоверно возросли только в группе студентов, специализирующихся в беговых видах спорта (P = 0,04), в других группах отмечалась тенденция некоторого снижения этих показателей.

Table 3

Spirographic indices of students engaged in volleyball (n=22), M±m

Indicators	Stages of examination	1st year Stage I	2nd year Stage II	4th year Stage III	P<0.001 of stages I-II	P<0.001 of stages II-III
RR, in min	Rest	18.1±0.67	19.2±0.79	19.8±0.44	0.27	0.09
	Physical activity	22.6±0.80	23.9±0.73	25.0±0.51	0.23	0.23
	Recovery period	19.7±0.89	21.8±0.69	21.7±0.49	0.06	0.05
TV, ml	Rest	582.2±47.5	670.4±40.8	674.3±60.6	0.16	0.62
	Physical activity	1100.7±56.1	1305.5±61.2	1311.7±59.0	0.012	0.42
	Recovery period	987.8±68.6	928.7±65.1	938.2±55.7	0.55	0.76
OAR, % of reference values	Rest	79.2±2.03	75.4±2.20	79.6±2.14	0.20	0.32
	Physical activity	55.1±2.14	48.8±2.31	64.1±2.12	0.05	≤0.001
	Recovery period	49.9±2.00	53.4±2.16	72.9±2.12	0.24	0.003
RQ	Rest	1:1.3	1:1.3	1:1.3	–	–
	Physical activity	1:1.3	1:1.3	1:1.3	–	–
	Recovery period	1:1.3	1:1.3	1:1.3	–	–
VC, % of reference values	Rest	91.4±2.24	104.1±3.00	105.6±1.62	≤0.001	≤0.001
	Physical activity	92.6±2.20	105.7±2.92	106.0±2.08	≤0.001	≤0.001
	Recovery period	92.0±2.51	105.0±3.06	105.9±1.96	≤0.001	≤0.001
MVV, % of reference values	Rest	70.4±2.62	99.4±3.12	101.4±2.34	≤0.001	≤0.001
	Physical activity	74.2±3.10	103.0±3.07	103.1±3.05	≤0.001	≤0.001
	Recovery period	74.0±2.93	99.6±3.82	101.7±2.68	≤0.001	≤0.001
BR, % of reference values	Rest	90.1±2.31	92.3±2.73	96.4±2.69	0.55	0.76
	Physical activity	69.0±2.44	73.0±3.01	79.3±3.02	0.32	0.76
	Recovery period	77.0±2.47	83.5±3.23	86.6±3.26	0.12	0.07

Note: See Table 1.

При изучении дыхательного цикла выяснилось, что у исследуемых студентов соотношение продолжительности вдоха к продолжительности выдоха, то есть дыхательный коэффициент (ДК), на всех этапах обследования соответствовал средним величинам здоровых людей (1:1,1-1,4). Особые различия характера дыхательного цикла

по группам специализаций не отмечались. Динамические наблюдения в течение четырех лет обучения выявили некоторые улучшения условий газообмена в легких у студентов группы беговых видов спорта, на что указывало удлинение продолжительности выдоха у студентов этой группы к концу обучения в вузе.

Показатель жизненной емкости легких (ЖЕЛ) в известной степени характеризует силу (мощность) аппарата внешнего дыхания, он имеет большую вариабельность и зависит от многих факторов: силы дыхательных мышц, возраста, пола, роста и др. Этот показатель отражает функциональные возможности аппарата внешнего дыхания по обеспечению организма необходимым количеством O_2 в кровь [11, 12].

ЖЕЛ (% к должной ЖЕЛ), или уровень ЖЕЛ, в процессе всех лет обучения у студентов достоверно увеличивался независимо от группы спортивной специализации ($P \leq 0,001$). На четвертом курсе уровень ЖЕЛ у юношей группы, специализирующейся в беговых видах спорта, намного превышал данные, полученные в группах, занимающихся армрестлингом и волейболом ($P \leq 0,001$).

Максимальная вентиляция легких (МВЛ), позволяющая судить о функциональных способностях аппарата внешнего дыхания, зависит от состояния бронхиальной проходимости, эластичности легочной ткани, ЖЕЛ, сократительной способности и силы дыхательных мышц, от функционального состояния дыхательного центра и центральной нервной системы в целом [13]. Исследования, проведенные в течение первого и второго курсов, показали достоверное увеличение МВЛ (% к должной МВЛ) во всех исследуемых группах ($P \leq 0,001$). К четвертому курсу отмечалось значительное возрастание уровня МВЛ в группе студентов беговых видов спорта. Эти результаты свидетельствовали о более высокой выносливости аппарата внешнего дыхания у студентов, регулярно занимающихся циклическими видами спорта, развивающими выносливость на протяжении всего периода обучения, а следовательно, имеющих более высокий уровень физической подготовленности.

Для более полной и объективной оценки функционального состояния дыхательной системы был изучен показатель резерва дыхания (РД), представляющий собой отношение разности фактических величин МВЛ и МОД (% к МВЛ), что показывает степень резервных возможностей увеличения минутной вентиляции. Полученные нами данные РД в состоянии покоя соответствовали средним величинам здоровых людей (85-90%), то есть в покое использовалось 10-15% возможной вентиляции. Колебания величин РД во всех обследованных группах были достоверными, что указывало на экономизацию деятельности аппарата внешнего дыхания у студентов, занимающихся спортом.

Рассмотрим динамику некоторых показателей внешнего дыхания после физической нагрузки и в период восстановления.

Проведенные спирографические исследования после дозированной физической нагрузки (степ-тест) позволили дать объективную оценку

уровня функционального состояния системы внешнего дыхания у обследованных студентов, а также определить имеющиеся резервы аппарата дыхания и установить степень адаптации его к физической работе. При проведении анализа изменения ЧД под влиянием физической нагрузки было выявлено учащение ее во всех обследуемых группах, но более выраженным оно оказалось к концу второго курса. Восстановление ЧД после физической нагрузки протекало несколько медленнее к концу второго курса. Такие сдвиги наряду с учащением ЧД в состоянии покоя указывали на то, что к концу второго курса у студентов, на фоне умственного утомления в начальном периоде адаптации к вузу, развивались процессы утомления некоторых физиологических систем организма, в том числе наступало рефлекторное снижение регуляции дыхательной системы несмотря на некоторое повышение общей тренированности организма. На четвертом курсе реакция ЧД после физической нагрузки была более умеренной.

Во всех группах специализаций после проведения степ-теста наблюдалось снижение КИО₂, однако индивидуальный анализ показал, что уровень снижения был в группе студентов беговых видов спорта (% к должному КИО₂), тогда как восстановление этого показателя наблюдалось в группе армрестлинга. На втором курсе эти соотношения несколько менялись. Так, в группе беговых видов спорта и волейбола снижение уровня КИО₂ после физической нагрузки увеличивалось, а в группе армрестлинга оно осталось на прежнем уровне. В группе студентов беговых видов спорта к концу второго и четвертого учебного года отмечалось улучшение показателя КИО₂ после физической нагрузки ($P = 0,001$), в других группах характер восстановления был идентичным результатам предыдущего обследования.

Данные уровня ЖЕЛ после физической нагрузки и в период восстановления к концу первого курса в группе беговых видов спорта и волейбола фактически не менялись. В группе армрестлинга к концу первого курса физическая нагрузка вызывала некоторое увеличение уровня ЖЕЛ, хотя в периоде восстановления вновь отмечалось возвращение ЖЕЛ к первоначальным значениям. К четвертому курсу после физической нагрузки и в восстановительном периоде во всех группах студентов отмечалась стабилизация на высоком уровне показателей ЖЕЛ (% к должным величинам).

При анализе РД под влиянием физической нагрузки наблюдалось снижение данного показателя как при первом, так и при третьем обследовании. Однако более качественное восстановление РД при последнем обследовании наблюдалось в группах беговых видов спорта и волейбола по сравнению с первым обследованием, а в группе армрестлинга изменения были недостоверными.

Выводы Conclusions

Спирографические данные, полученные в результате обследования студентов РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева в период обучения в вузе, показали улучшение дыхательной функции и совершенствование физиологических механизмов регуляции внешнего дыхания на фоне повышения тренированности. Это проявилось в увеличении ДО на 26,1% при незначительных колебаниях ЧД, особенно при занятии беговыми видами спорта и армрестлингом, повышением КИО₂ (% к должному КИО₂) на 10,4% и удлинением продолжительности выдоха, что свидетельствовало об улучшении газообмена в легких. Во всех исследуемых группах наблюдалось достоверное ($P \leq 0,001$) улучшение уровней ЖЕЛ (на 18,9%) и МВЛ (на 43,2%).

Список источников

1. Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. *Тестирование в спортивной медицине*. Москва: Физкультура и спорт, 1988. 208 с.
2. Никифорова О.Н., Журбина А.Д., Бакулина Е.Д., Хотеева М.В. Адаптация и особенности функциональных возможностей девушек-футболисток с нарушениями слуха в зависимости от квалификации и возраста // *Теория и практика физической культуры*. 2021. № 9. С. 40-42. EDN: DATJPI
3. Алексанин С.С., Леонтьев О.В., Парцерняк С.А., Дударенко С.А. и др. *Функциональная диагностика в пульмонологии: Учебно-методический комплекс / Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России*. Санкт-Петербург: Научное издание, 2023. 53 с.
4. Салухова В.В., Харитонов М.А. *Практическая пульмонология: Руководство для врачей*. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2020. 416 с.
5. Никифорова О.Н., Маркин Э.В., Фёдоров И.Г., Никитченко С.Ю. Изменение показателей физической работоспособности студентов аграрного вуза при различной двигательной активности // *Теория и практика физической культуры*. 2024. № 1. С. 51-53. EDN: HSCCWS
6. Ванюшин Ю.С., Хайруллин Р.Р., Ишмухаметова Н.Ф., Ильин С.Н. Процесс адаптации на примере реакций кардиореспираторной системы при тестирующих нагрузках // *Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта*. 2024. Т. 19, № 1. С. 313-317. EDN: USJVVS
7. Варламова Н.Г., Пуршукова О.И., Кудинова А.К., Бойко Е.Р. Динамические характеристики функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков Республики Коми в годовом цикле // *Журнал медико-биологических исследований*. 2023. Т. 11, № 1. С. 5-13. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z124>
8. Стручков П.В., Кирюхина Л.Д., Дроздов Д.В., Шелыкалина С.П. и др.

Результаты спирографических исследований студентов показали, что реакция ЧД после физической нагрузки к концу второго курса была более выраженной и восстановление протекало медленнее, чем к концу первого курса. Это, по-видимому, обусловлено развитием процессов утомления некоторых физиологических систем организма, в том числе рефлекторным снижением регуляции дыхательной системы, происходящим на фоне умственного утомления в начальном периоде адаптации к вузу. В то же время динамика КИО₂ в группе беговых видов спорта, уровень ЖЕЛ и МВЛ во всех исследуемых группах после физической нагрузки и в период восстановления указывали на улучшение функционирования системы внешнего дыхания у студентов, занимающихся спортом в течение всего периода обучения.

References

1. Karpman V.L., Belotserkovskiy Z.B., Gudkov I.A. *Testing in sports medicine*. Moscow, USSR: Fizkultura i sport, 1988:208. (In Russ.)
2. Nikiforova O.N., Zhurbina A.D., Bakulina E.D., Khoteeva M.V. Adaptation and functional capabilities of female footballers with hearing impairments based on their sports qualification and age. *Teoriya i Praxtika Fizicheskoy Kultury*. 2021;(9):40-42. (In Russ.)
3. Aleksanin S.S., Leont'ev O.V., Partsernyak S.A., Dudarenko S.A. et al. *Functional diagnostics in pulmonology: a learning and teaching support kit*. St. Petersburg, Russia: Naukoemkie tekhnologii, 2023:53. (In Russ.) URL: <https://publishing.intelgr.com/archive/funktionalnayadiagnostika-v-pulmonologii.pdf> (accessed: January 07, 2025)
4. Salukhov V.V., Kharitonov M.A. *Practical pulmonology: a physician's guide*. Moscow, Russia: GEOTAR-Media, 2020:416. (In Russ.)
5. Nikiforova O.N., Markin E.V., Fedorov I.G., Nikitchenko S.Yu. Changes in indicators of physical performance of students of an agricultural university with various physical activities. *Teoriya i Praxtika Fizicheskoy Kultury*. 2024;(1):51-53. (In Russ.)
6. Vanyushin Yu.S., Khairullin R.R., Ishmukhametova N.F., Piyin S.N. Adaptation process using the example of the cardiorespiratory system reactions under testing loads. *Russian Journal of Physical Education and Sport*. 2024;19(1):313-317. (In Russ.)
7. Varlamova N.G., Parshukova O.I., Kudinova A.K., Boyko E.R. Dynamic characteristics of external respiration function in cross-country skiers in the annual cycle. *Journal of Medical and Biological Research*. 2023;11(1):5-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z124>
8. Struchkov P.V., Kiryukhina L.D., Drozdov D.V., Shchelykalina S.P. et al. Predicted values

- Должные величины при исследовании функции внешнего дыхания. Разные должны – разные заключения? // *Медицинский алфавит*. 2021. № 15. С. 22-26.
<https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-15-22-26>
9. Каменева М.Ю., Кирюхина Л.Д., Стручков П.В. Обновленные отечественные рекомендации по спирометрии. Ч. 2. Оценка результатов спирометрии. Комментарии и предложения по использованию // *Медицинский алфавит*. 2024. № 6. С. 7-15.
<https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-6-7-15>
10. Каменева М.Ю., Черняк А.В., Айсанов З.Р., Авдеев С.Н. и др. Спирометрия: Методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов // *Пульмонология*. 2023. Т. 33, № 3. С. 307-340.
<https://doi.org/10.18093/0869-0189-2023-33-3-307-340>
11. Дьякова С.Э., Каменева М.Ю., Кирюхина Л.Д., Ключина Ю.Б. и др. Временные рекомендации Российской ассоциации специалистов функциональной диагностики по оформлению заключения по результатам спирометрии // *Медицинский алфавит*. 2024. № 22 (587). С. 7-13.
<https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-22-7-12>
12. Stanojevic S., Kaminsky D.A., Miller M., Thompson B. et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *European Respiratory Journal*. 2021:2101499.
<https://doi.org/10.1183/13993003.01499-2021>
13. Allisse M., Bui H.T., Desjardins P., Léger L. et al. Assessment of On-Ice Oxygen Cost of Skating Performance in Elite Youth Ice Hockey Players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2021;35(12):3466-3473.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003324>
- in the lung function testing. Different predicted values – different conclusions? *Medical Alphabet*. 2021;(15):22-26. (In Russ.)
<https://doi.org/10.33667/2078-5631-2021-15-22-26>
9. Kameneva M.Yu., Kiryukhina L.D., Struchkov P.V. Updated national guidelines for spirometry. Part 2. An Approach to Interpreting Spirometry. *Medical alphabet*. 2024;(6):7-15. (In Russ.)
<https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-6-7-15>
10. Kameneva M.Yu., Cherniak A.V., Aisanov Z.R., Avdeev S.N. et al. Spirometry: national guidelines for the testing and interpretation of results. *Pulmonologiya*. 2023;33(3):307-340. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18093/0869-0189-2023-33-3-307-340>
11. Dyakova S.E., Kameneva M.Yu., Kiryukhina L.D., Klyukhina Yu.B. et al. Temporary recommendations of the russian association of functional diagnostics specialists on the registration of a conclusion based on the results of spirometry. *Medical alphabet*. 2024;22(587):7-12. (In Russ.)
<https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-22-7-12>
12. Stanojevic S., Kaminsky D.A., Miller M., Thompson B. et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. *European Respiratory Journal*. 2021:2101499.
<https://doi.org/10.1183/13993003.01499-2021>
13. Allisse M., Bui H.T., Desjardins P., Léger L. et al. Assessment of On-Ice Oxygen Cost of Skating Performance in Elite Youth Ice Hockey Players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2021;35(12):3466-3473.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003324>

Сведения об авторах

Ольга Николаевна Никифорова, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: olganikiforova2014@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-1079-2983>

Эдуард Васильевич Маркин, кандидат педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: markin.ev@rgau-msha.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7143-7531>

Information about the authors

Olga N. Nikiforova, CSc (Ed), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Physical Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: olganikiforova2014@yandex.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-1079-2983>

Eduard V. Markin, CSc (Ed), Associate Professor, Head of the Department of Physical Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: markin.ev@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-7143-7531>

Статья поступила в редакцию 23.01.2025
Одобрена после рецензирования 23.02.2025
Принята к публикации 01.03.2025

The article was submitted to the editorial office
January 23, 2025
Approved after reviewing February 23, 2025
Accepted for publication March 01, 2025

Библиографический обзор

УДК 636.4: 636.084.5

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-03>



Применение сахарозаменителей в кормлении свиней: библиографический обзор

Владимир Ильич Максимов, Маргарита Алексеевна Волкова,
Ксения Алексеевна Ерхова

Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии
имени К.И. Скрябина, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Маргарита Алексеевна Волкова;
koruzova@mail.ru

Аннотация

Применение сахарозаменителей в качестве кормовых добавок для повышения привлекательности кормов является безопасным, физиологичным, актуальным и экономически выгодным методом по улучшению потребительских свойств кормов и повышению продуктивности животных. Однако несмотря на их широкое распространение, в работах отечественных авторов встречаются лишь единичные исследования применения сахарозаменителей у животных. Таким образом, целью данной работы явился библиографический обзор научных данных о применении сахарозаменителей в кормлении свиней, понимании их эффектов на физиологические процессы и функции в организме животных, определении негативных и положительных их влияний. Для выявления исследований сахарозаменителей у свиней использовалась комбинация поисковых запросов по ключевым словам: сахарозаменители, свиньи, физиология, кормовые добавки, интенсивные подсластители в базах данных PubMed Advanced Search Builder, Scopus, Web of Science Core Collection и ELibrary. В результате получен перечень релевантных источников, состоящий из 38 научных работ. Значительное количество проанализированных источников, посвященных изучению эффективности и безопасности различных сахарозаменителей в кормлении различных видов животных и человека, показывает существующие пробелы в знаниях и предполагает, что для понимания роли сахарозаменителей в физиологии и питании свиней необходимы дополнительные исследования. В статье рассматривается влияние различных сахарозаменителей на организм свиней и их целесообразность использования на свиноводческих хозяйствах, а также перспективы повышения их эффективности: использование смесей сахарозаменителей с различным их соотношением; использование различных сахарозаменителей в комбинации с различными кормами; разработка смесей индивидуально для потребностей свиней в зависимости от пола, возраста, породы, целевого назначения, а также разработка комплексных кормовых добавок с содержанием вкусоароматического компонента.

Ключевые слова

сахарозаменители, свиньи, физиология, кормовые добавки, интенсивные подсластители

Благодарности

Статья подготовлена по результатам доклада на Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы физиологии животных», посвященной 155-летию со дня образования кафедры физиологии животных в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (28-29 марта 2024 г., Москва)

Для цитирования

Максимов В.И., Волкова М.А., Ерхова К.А. Применение сахарозаменителей в кормлении свиней: библиографический обзор // *Тимирязевский биологический журнал*. 2025. Т. 3, № 1. С. 202531403. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-03>



Application of sweeteners in pig feeding: a bibliographic review

Vladimir I. Maksimov, Margarita A. Volkova, Ksenia A. Erkhova

Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology
named after K.I. Skryabin, Moscow, Russia

Corresponding author: Margarita A. Volkova; koruzova@mail.ru

Abstract

Application of sweeteners as feed additives to increase the attractiveness of feed is a safe, physiological, relevant and cost-effective method to improve feed quality of feed and increase animal productivity. Despite their widespread use, however, only a few studies on the use of sweeteners in animals have been published by domestic authors. Thus, this study aimed to provide a bibliographic review of scientific data on the use of sweeteners in pig feeding, to understand their effects on physiological processes and functions in animals, and to determine their pros and cons. To identify relevant studies, a combination of search queries using the keywords “sweeteners,” “pigs,” “physiology,” “feed additives,” and “intensive sweeteners” was used in the PubMed Advanced Search Builder, Scopus, Web of Science Core Collection, and ELibrary databases. As a result, a list of 38 relevant scientific papers was obtained. The significant number of analyzed sources devoted to studying the effectiveness and safety of various sweeteners for feeding different animal species and humans shows existing knowledge gaps and suggests the need for further research to better understand the role of sweeteners in the physiology and nutrition of pigs. This paper discusses the effects of various sweeteners on pigs’ bodies and the feasibility of using them on pig farms. It also explores ways to increase their effectiveness, such as using mixtures of sweeteners with different ratios, using various sweeteners with different feeds, and developing mixtures for pigs’ specific needs based on sex, age, breed, and purpose. Additionally, it discusses developing complex feed additives containing flavoring compounds.

Keywords

sweeteners, pigs, physiology, feed additives, intense sweeteners

Acknowledgements

The paper was prepared on the basis of the results of the report at the International Scientific and Practical Conference “Current Problems of Animal Physiology” dedicated to the 155th anniversary of the Department of Animal Physiology of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (March 28-29, 2024, Moscow, Russia).

Для цитирования

Maksimov V.I., Volkova M.A., Erkhova K.A. Application of sweeteners in pig feeding: a bibliographic review. *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531401. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-03>

Введение

Introduction

Продуктивность животных (в частности, свиней) зависит от многих факторов, в том числе от физиологического статуса, сбалансированности и качества кормления, технологии выращивания, генетики, выраженности факторов, снижающих выход продукции (эпизоотическое состояние хозяйства, уровень стресса и др.). Современное свиноводство и объемы производимой продукции диктуют особые требования к обеспечению здоровья животных. Кроме того, перед государством стоит важная задача по сохранению продовольственной безопасности с целью обеспечения населения страны качественной, конкурентоспособной сельскохозяйственной продукцией. Для решения поставленных задач ведется разработка новых эффективных и безопасных кормовых добавок, применение которых будет способствовать повышению продуктивности животных физиологически

обусловленными методами и тем самым увеличивать экономическую эффективность производства [1]. В частности, стресс у свиней сопровождается нарушением многих физиологических процессов, что влечет за собой ослабление естественной резистентности, возникновение различных заболеваний, аборт, резкое снижение темпов роста, и как следствие – снижение продуктивности [2, 3]. По этой причине в условиях масштабной промышленности необходимо снижать уровень воздействия, что возможно при помощи различных кормовых добавок.

Применение сахарозаменителей в качестве кормовых добавок для повышения привлекательности кормов является безопасным, физиологичным, актуальным и экономически выгодным методом по улучшению потребительских свойств кормов и повышению продуктивности животных. Разработка новых отечественных кормовых добавок является важным направлением в работе ученых, для чего необходимо изучение и проведение системного анализа имеющихся научных

данных [4]. Несмотря на широкое распространение сахарозаменителей, в работах отечественных авторов встречаются лишь единичные исследования применения сахарозаменителей у животных.

Цель исследований: библиографический обзор научных данных о применении сахарозаменителей в кормлении свиней, понимании их эффекта на физиологические процессы и функции в организме животных, определении их негативных и положительных влияний. В работе отражается стремление определить существующие пробелы в данных литературы о физиологических эффектах эффективности сахарозаменителей, выявить наиболее распространенные в применении сахарозаменители, определить направления будущих разработок для повышения эффективности их применения для определения основных перспектив в исследованиях в этой области.

Методика исследований

Research method

Работа выполнена на основе библиографического обзора научных источников. Опубликованные исследования, включенные в этот обзор, были найдены с помощью поиска в научных базах данных, выполненного с использованием PubMed Advanced Search Builder, Scopus, Web of Science Core Collection и ELibrary. Для выявления исследований сахарозаменителей у свиней использовалась комбинация поисковых запросов по ключевым словам (сахарозаменители, свиньи, физиология, кормовые добавки, интенсивные подсластители). Были включены статьи, материалы конференций и другие источники, доступные в полном тексте и написанные на английском и русском языках. В результате получен перечень релевантных источников, состоящий из 38 научных работ, приведенных в списке литературы.

Безопасность и физиологические эффекты применения сахарозаменителей

Safety and physiologic effects of sweeteners

Знание особенностей вкусового восприятия животными (в частности, свиньями) позволяет физиологично повышать поедаемость и привлекательность кормов¹ [2, 5, 6]. Введение в рацион животных кормовых добавок на основе сахарозаменителей и других вкусовых добавок позволяет повышать поедаемость корма, повышать физиологический уровень окситоцина, дофамина, тем самым снижая негативный эффект от переносимого стресса (кормового, транспортно-технологического и др.), с которым сталкиваются все животные [7, 8]. Так, взаимодействие компонентов корма и сахарозаменителя может оказывать влияние на его поедаемость [9]. Установлено, что введение свиньям в возрасте 28 суток ацесульфата калия или

¹Nelson C.E. Flavors for swine feeds: total feed palatability program. *Feed Manage.* 1992;10:14-20.

сукралозы в питьевую воду увеличивает экспрессию и активность кишечного натрий-глюкозного котранспортера 1 (SGLT1) и активирует вкусовые рецепторы T1R2 и T1R3. Однако добавление аспартама или цикламата натрия не оказывает влияния на эти показатели [10]. Снижение влияния стресса на организм животных и соответствующих гормонов физиологически обусловленным методом позволяет получать больший выход продукции без применения медикаментозной терапии, что оказывает положительный экономический эффект² [11]. Помимо физиологических эффектов на эндокринную систему, установлено, что интенсивные подсластители оказывают положительное влияние на желудочно-кишечный тракт, и это является важным фактором при содержании свиней: развитие диареи в различных возрастных группах ведет к значительным экономическим потерям. Например, применение кормовых добавок на основе сахарината натрия позволяет повышать содержание *Lactobacillus* spp. в кишечнике, снижать частоту встречаемости диареи у поросят и в целом оказывать влияние на микробиом кишечника [11-16]. Также определена эффективность применения ребаудиозида А и стевииогликозида при диарее поросят [17]. При этом авторами D.D. Maenz et al. указывается, что применение кормовой добавки на основе сахарина не оказало существенного влияния на характер диареи у поросят в возрасте 28 суток на протяжении 10 суток исследований [18]. Ряд автором указывает, что введение 50 и 500 мг/кг неотама [19] и 150 и 1500 мг/кг сукралозы [20] не оказывает значительного влияния на гематологические показатели. В то же время сообщается, что введение в рацион смеси сахарина и неотама способно изменять уровни триглицеридов в крови [12]. Существует множество различных видов подсластителей, каждый из которых имеет свои качественные характеристики, которые и влияют на конечный результат. Безопасность применения различных интенсивных подсластителей также доказана для других видов животных и человека^{3,4} [21-24].

Эффективность применения и дозировки отдельных видов сахарозаменителей

Effectiveness and dosage of different types of sweeteners

Было установлено, что поросята-отъемыши предпочитают сладкий вкус, особенно сахарозу⁵ [25].

²Schlegel P., Hall R. Effects of diet type and an artificial high intensity sweetener (SUCRAM (R)) on weaned piglet performances. *Journal of Animal Science.* 2006;84:45-46.

³Alsoufi M.A., Aziz R.A., Hussein Z.G. Effect of some artificial sweeteners consumption in biochemical parameters of rats. *Current Research in Microbiology and Biotechnology.* 2017;5:1095-1099.

⁴Amin K.A., Al-Muzafar H.M., Elsttar, A.H.A. Effect of sweetener and flavoring agent on oxidative indices, liver and kidney function levels in rats. *Indian Journal of Experimental Biology.* 2016;54:56-63.

⁵Лысов В.Ф., Костина Т.Е., Максимов В.И. Этология животных. Москва: КолосС, 2010. 312 с.

Сахароза широко используется в качестве подсластителя в кормах, однако данные о применении ее в кормах противоречивы. Так, авторами S.A. Guzmán-Pino et al. отмечено, что чрезмерное потребление калорий из раствора сахарозы может привести к снижению потребления корма и дальнейшему снижению набора веса поросятами-отъемышами [26]. Сукралоза – некалорийный подсластитель в отличие от сахарозы, который синтезируется путем селективного хлорирования сахарозы по трем основным гидроксильным группам. Между тем сладость сукралозы примерно в 600 раз выше, чем у сахарозы. Таким образом, добавляя небольшое количество сукралозы в корм, можно добиться эффекта, аналогичного сладости сахарозы. В исследовании Z. Wenwei et al. было установлено, что сукралоза является безопасным сахарозаменителем и что оптимальная скорость роста и потребление корма поддерживались на рационах, содержащих 149,6 и 141,8 мг/кг сукралозы соответственно⁶ [27]. Поросята, получавшие рацион с добавлением 150 мг/кг сукралозы, имели более высокие показатели среднесуточного прироста живой массы и среднесуточного потребления корма. При этом за счет интенсивного вкуса введение сукралозы в дозировке более 150 мг/кг имеет обратно пропорциональный эффект и снижает поедаемость корма [27].

Применение различных сахарозаменителей направлено на повышение потребительских свойств кормов, в связи с чем свиньи могут демонстрировать различные поведенческие реакции и различный уровень интереса к тем или иным сахарозаменителям. Так, установлено, что свиньи способны выполнять оперантные реакции для получения растворов подсластителей – более привлекательными явились сахароза и сахаринат натрия в отличие от цикламата натрия [5]. Применение сахарината натрия (сахарина) также оказалось эффективным в группе порослят-отъемышей [28]. Эти выводы подтверждаются исследованиями D. Glaser et al.: была изучена привлекательность 12 интенсивных подсластителей и установлено, что из 12 протестированных интенсивных подсластителей 7 являются неэффективными (аспартам, цикламат натрия и др.), а 5 – привлекательными (ацесульфам калия, сахаринат натрия, алитам, дульцин, сукралоза) [29].

Также установлено, что добавление в корм искусственного подсластителя неотама [12, 19] и мальтодекстрина [30] может улучшить вкусовые качества и потребление корма поросятами.

Одним из способов повышения поедаемости кормов наряду с введением сахарозаменителей является использование комплексных кормовых добавок, содержащих в своем составе ароматический компонент. В частности, D. Torrallardona et al. отмечено, что использование ароматизаторов корма улучшило прибавку в весе и потребление корма в первые три

недели перехода от лактации к сухим кормам. Когда предстартовый рацион был заменен на стартовый (через 21 день после отъема), включение ароматизаторов привело к очевидному увеличению потребления корма, а также к значительному улучшению прибавки в весе и соотношения корма к приросту⁷ [31].

Выводы Conclusions

Таким образом, применение сахарозаменителей в рационе свиней является безопасным, физиологичным и высокоэффективным методом повышения привлекательности кормов, что повышает потребление корма, прирост живой массы и обеспечивает положительный экономический эффект. В исследованиях многочисленных авторов наглядно продемонстрирована эффективность применения сахарозаменителей для свиней различных возрастов: от поросят до свиноматок и свиней на откорме. Несмотря на значительное количество исследований об эффективности и безопасности различных сахарозаменителей в кормлении различных видов животных и человека, до сих пор есть противоречивые данные об эффективности их отдельных видов, что демонстрирует необходимость проведения более объемных исследований в этой области. Во многих исследованиях отмечается повышение привлекательности кормов, что свидетельствует о целесообразности применения сахарозаменителей, особенно в критические периоды развития. Также по некоторым данным, сахарозаменители оказывают положительное влияние на микрофлору кишечника, демонстрируют положительные эффекты при терапии диареи поросят. Однако исследования физиологических процессов пищеварения, иммунитета и гомеостаза крови при применении сахарозаменителей выявили некоторые ограничения. Несмотря на полученные авторами результаты, перспективы применения сахарозаменителей находятся в долгосрочной перспективе, дозировки и сочетания различных сахарозаменителей требуют проведения дальнейших исследований. На сегодняшний день наиболее эффективными и широко распространенными представляются кормовые добавки на основе сахарината натрия, сукралозы и неотама, чья безопасность и эффективность подтверждаются множеством исследований. Дополнительными способами, позволяющими повышать эффективность применяемых добавок, являются: использование смесей сахарозаменителей с различным их соотношением; использование различных сахарозаменителей в комбинации с различными кормами; разработка смесей индивидуально для потребностей свиней в зависимости от пола, возраста, породы, целевого назначения, а также разработка комплексных кормовых добавок с содержанием вкусоароматического компонента.

⁶Grinstead L.E., Hays V., Speer V. Baby pigs preference for diets containing varying levels of sucrose. *Journal of Animal Science*. 1961;20:934.

⁷Torrallardona D., Llauro L., Matas J., Fort F. et al. The use of flavours in feed improves performance of piglets weaned at 21 days of age. *Cahiers Options Méditerranéennes*. 2001;54:213-215.

Список источников

1. Дельцов А.А., Белова К.О. Аналитический обзор рынка йодсодержащих кормовых добавок для животных // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2024. № 3. С. 12-22. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202403002>
2. Hellekant G., Danilova V. Taste in domestic pig, *Sus scrofa*. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 1999;82:8-24. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0396.1999.00206.x>
3. Kai-Jing Y. Effects of different sweeteners on behavior and neurotransmitters release in mice. *Journal of Food Science and Technology*. 2020;57(1):113-121. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04036-6>
4. Jansen M.R., Kim K. Evaluating the Effects of Non-Nutritive Sweeteners on Pigs: A Systematic Review. *Animals*. 2024;14:3032. <https://doi.org/10.3390/ani14203032>
5. Kennedy J.M., Baldwin B.A. Taste preferences in pigs for nutritive and non-nutritive sweet solutions. *Animal Behaviour*. 1972;20:706-718. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(72\)80142-8](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(72)80142-8)
6. McLaughlin C.L., Baile C.A., Buckholtz L.L., Freeman S.K. Preferred flavors and performance of weanling pigs. *Journal of Animal Science*. 1983;56:1287-1293. <https://doi.org/10.2527/jas1983.5661287x.PMID:6874611>
7. Avena N.M., Rada P., Moise N., Hoebel B.G. Sucrose sham feeding on a binge schedule releases accumbens dopamine repeatedly and eliminates the acetylcholine satiety response. *Neuroscience*. 2006;139(3):813-820. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.12.037>
8. Kellie A.K., Dane W.F., Ryan P.M., Samer W.E. et al. Supplementation with artificial sweetener and capsaicin alters metabolic flexibility and performance in heat-stressed and feed-restricted pigs. *Journal of Animal Science*. 2022;100(8):195. <https://doi.org/10.1093/jas/skac195>
9. Roura E., Fu M. Taste, Nutrient Sensing and Feed Intake in Pigs (130 Years of Research: Then, Now and Future). *Animal Feed Science and Technology*. 2017;233:3-12. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.08.002>
10. Daly K., Moran A.W., Al-Rammahi M., Weatherburn D. et al. Non-Nutritive Sweetener Activation of the Pig Sweet Taste Receptor T1R2-T1R3 In Vitro Mirrors Sweetener Stimulation of the Gut-Expressed Receptor In Vivo. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2021;542:54-58. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2021.01.032>
11. Lei Y., Kim J.K., Tran H.N., Kim I.H. Effect of feed flavor and sweetener on growth performance, nutrient digestibility, blood profile, and diarrhea score in weaning pigs. *Korean Journal of Agricultural Science*. 2017;44:77-85. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20170009>
12. Chang L., Won Y., Jihwan L., Woo K. et al. Effects of artificial sweeteners on feed palatability and performance in weaned pigs. *Canadian Journal of Animal Science*. 2018;99:307-314. <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0143>
13. Daly K., Darby A.C., Hall N., Nau A. et al. Dietary supplementation with lactose or artificial sweetener enhances swine gut *Lactobacillus* population abundance. *British Journal of Nutrition*. 2014;111:30-35. <https://doi.org/10.1017/S0007114513002274>

References

1. Deltsov A.A., Belova K.O. Analytical review of the market for iodinecontaining feed additives for animals. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya*. 2024(3):12-22. (In Russ.) <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202403002>
2. Hellekant G., Danilova V. Taste in domestic pig, *Sus scrofa*. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 1999;82:8-24. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0396.1999.00206.x>
3. Kai-Jing Y. Effects of different sweeteners on behavior and neurotransmitters release in mice. *Journal of Food Science and Technology*. 2020;57(1):113-121. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04036-6>
4. Jansen M.R., Kim K. Evaluating the Effects of Non-Nutritive Sweeteners on Pigs: A Systematic Review. *Animals*. 2024;14:3032. <https://doi.org/10.3390/ani14203032>
5. Kennedy J.M., Baldwin B.A. Taste preferences in pigs for nutritive and non-nutritive sweet solutions. *Animal Behaviour*. 1972;20:706-718. [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(72\)80142-8](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(72)80142-8)
6. McLaughlin C.L., Baile C.A., Buckholtz L.L., Freeman S.K. Preferred flavors and performance of weanling pigs. *Journal of Animal Science*. 1983;56:1287-1293. <https://doi.org/10.2527/jas1983.5661287x.PMID:6874611>
7. Avena N.M., Rada P., Moise N., Hoebel B.G. Sucrose sham feeding on a binge schedule releases accumbens dopamine repeatedly and eliminates the acetylcholine satiety response. *Neuroscience*. 2006;139(3):813-820. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.12.037>
8. Kellie A.K., Dane W.F., Ryan P.M., Samer W.E. et al. Supplementation with artificial sweetener and capsaicin alters metabolic flexibility and performance in heat-stressed and feed-restricted pigs. *Journal of Animal Science*. 2022;100(8):195. <https://doi.org/10.1093/jas/skac195>
9. Roura E., Fu M. Taste, Nutrient Sensing and Feed Intake in Pigs (130 Years of Research: Then, Now and Future). *Animal Feed Science and Technology*. 2017;233:3-12. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.08.002>
10. Daly K., Moran A.W., Al-Rammahi M., Weatherburn D. et al. Non-Nutritive Sweetener Activation of the Pig Sweet Taste Receptor T1R2-T1R3 In Vitro Mirrors Sweetener Stimulation of the Gut-Expressed Receptor In Vivo. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2021;542:54-58. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2021.01.032>
11. Lei Y., Kim J.K., Tran H.N., Kim I.H. Effect of feed flavor and sweetener on growth performance, nutrient digestibility, blood profile, and diarrhea score in weaning pigs. *Korean Journal of Agricultural Science*. 2017;44:77-85. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20170009>
12. Chang L., Won Y., Jihwan L., Woo K. et al. Effects of artificial sweeteners on feed palatability and performance in weaned pigs. *Canadian Journal of Animal Science*. 2018;99:307-314. <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0143>
13. Daly K., Darby A.C., Hall N., Nau A. et al. Dietary supplementation with lactose or artificial sweetener enhances swine gut *Lactobacillus* population abundance. *British Journal of Nutrition*. 2014;111:30-35. <https://doi.org/10.1017/S0007114513002274>

14. Daly K., Darby A.C., Hall N., Wilkinson M.C. et al. Bacterial Sensing Underlies Artificial Sweetener-induced Growth of Gut Lactobacillus. *Environmental Microbiology*. 2016;18:2159-2171. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12942>
15. Sterk A., Schlegel P., Mul A.J., Ubbink-Blanksma M. et al. Effects of sweeteners on individual feed intake characteristics and performance in group-housed weanling pigs. *Journal of Animal Science*. 2008;86:2990-7. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0591>
16. Suez J., Korem T., Zilberman-Schapira G., Segal E. et al. Non-caloric artificial sweeteners and the microbiome: findings and challenges. *Gut Microbes*. 2015;6:149-155. <https://doi.org/10.1080/19490976.2015.1017700>
17. Wang L.S., Shi Z., Shi B.M., Shan A.S. Effects of Dietary Stevioside/Rebaudioside A on the Growth Performance and Diarrhea Incidence of Weaned Piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 2014;187:104-109. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.10.014>
18. Maenz D.D., Patience J.F., Wolynetz M.S. Effect of Water Sweetener on the Performance of Newly Weaned Pigs Offered Medicated and Unmedicated Feed. *Canadian Journal of Animal Science*. 1993;73:669-672. <https://doi.org/10.4141/cjas93-073>
19. Zhu L., Wang G., Dong B., Peng C.C. et al. Effects of sweetener neotame on diet preference, performance and hematological and biochemical parameters of weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 2016;214:86-94. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.013>
20. Zhang W., Heng J., Kim S.W., Chen F. et al. Dietary Enzymatically-Treated *Artemisia annua* L. Supplementation Could Alleviate Oxidative Injury and Improve Reproductive Performance of Sows Reared under High Ambient Temperature. *Journal of Thermal Biology*. 2020;94:102751. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102751>
21. Bian X., Chi L., Gao B., Tu P. et al. Artificial sweetener acesulfame potassium affects the gutmicrobiome and body weight gain in CD-1 mice. *PLoS ONE*. 2017;12(6):e0178426. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178426>
22. Chi L., Bian X., Gao B., Tu P. et al. Effects of the artificial sweetener neotame on the gut micro-biome and fecal metabolites in mice. *Molecules*. 2018;23(2):367. <https://doi.org/10.3390/molecules23020367>
23. Elnaga N.A., Massoud M.I., Yousef M.I., Mohamed H.H. Effect of stevia sweetener consumption as non-caloric sweetening on body weight gain and biochemical parameters in overweight female rats. *Annals of Agricultural Sciences*. 2016;61:155-163. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2015.11.008>
24. Juncai C., Yan L., Yang Z., Shiqian H., Lingbin L. et al. Beyond sweetness: The high-intensity sweeteners and farm animals. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;267:114571. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114571>
25. Aldinger S.M., Speer V.C., Hays V.W., Catron D.V. Effect of saccharin and sucrose on the performance of young pigs. *Journal of Animal Science*. 1961;20:249-254. <https://doi.org/10.1139/CJAS-2018-0143>
26. Guzmán-Pino S.A., Solà-Oriol D., Figueroa J., Dwyer D.M. et al. Effect of a long-term exposure to concentrated sucrose and maltodextrin solutions on the preference, appetite, feed intake and
14. Daly K., Darby A.C., Hall N., Wilkinson M.C. et al. Bacterial Sensing Underlies Artificial Sweetener-induced Growth of Gut Lactobacillus. *Environmental Microbiology*. 2016;18:2159-2171. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12942>
15. Sterk A., Schlegel P., Mul A.J., Ubbink-Blanksma M. et al. Effects of sweeteners on individual feed intake characteristics and performance in group-housed weanling pigs. *Journal of Animal Science*. 2008;86:2990-7. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0591>
16. Suez J., Korem T., Zilberman-Schapira G., Segal E. et al. Non-caloric artificial sweeteners and the microbiome: findings and challenges. *Gut Microbes*. 2015;6:149-155. <https://doi.org/10.1080/19490976.2015.1017700>
17. Wang L.S., Shi Z., Shi B.M., Shan A.S. Effects of Dietary Stevioside/Rebaudioside A on the Growth Performance and Diarrhea Incidence of Weaned Piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 2014;187:104-109. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.10.014>
18. Maenz D.D., Patience J.F., Wolynetz M.S. Effect of Water Sweetener on the Performance of Newly Weaned Pigs Offered Medicated and Unmedicated Feed. *Canadian Journal of Animal Science*. 1993;73:669-672. <https://doi.org/10.4141/cjas93-073>
19. Zhu L., Wang G., Dong B., Peng C.C. et al. Effects of sweetener neotame on diet preference, performance and hematological and biochemical parameters of weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology*. 2016;214:86-94. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.013>
20. Zhang W., Heng J., Kim S.W., Chen F. et al. Dietary Enzymatically-Treated *Artemisia annua* L. Supplementation Could Alleviate Oxidative Injury and Improve Reproductive Performance of Sows Reared under High Ambient Temperature. *Journal of Thermal Biology*. 2020;94:102751. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102751>
21. Bian X., Chi L., Gao B., Tu P. et al. Artificial sweetener acesulfame potassium affects the gutmicrobiome and body weight gain in CD-1 mice. *PLoS ONE*. 2017;12(6):e0178426. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178426>
22. Chi L., Bian X., Gao B., Tu P. et al. Effects of the artificial sweetener neotame on the gut micro-biome and fecal metabolites in mice. *Molecules*. 2018;23(2):367. <https://doi.org/10.3390/molecules23020367>
23. Elnaga N.A., Massoud M.I., Yousef M.I., Mohamed H.H. Effect of stevia sweetener consumption as non-caloric sweetening on body weight gain and biochemical parameters in overweight female rats. *Annals of Agricultural Sciences*. 2016;61:155-163. <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2015.11.008>
24. Juncai C., Yan L., Yang Z., Shiqian H., Lingbin L. et al. Beyond sweetness: The high-intensity sweeteners and farm animals. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;267:114571. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114571>
25. Aldinger S.M., Speer V.C., Hays V.W., Catron D.V. Effect of saccharin and sucrose on the performance of young pigs. *Journal of Animal Science*. 1961;20:249-254. <https://doi.org/10.1139/CJAS-2018-0143>
26. Guzmán-Pino S.A., Solà-Oriol D., Figueroa J., Dwyer D.M. et al. Effect of a long-term exposure to concentrated sucrose and maltodextrin solutions on the preference, appetite, feed intake and

- growth performance of post-weaned piglets. *Physiology and Behavior*. 2015;141:85-91. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.01.009>
27. Wenwei Z., Holden H., Limin G., Wenqing L. et al. Effects of sweetener sucralose on diet preference, growth performance and hematological and biochemical parameters of weaned piglets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2020;5(33):802-811. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0863>
28. Ochetim S., Odur I.D. The effect of varying the level of saccharin on the performance of young pigs. *East African Agricultural and Forestry Journal*. 1979;44:202-205. <https://doi.org/10.1080/00128325.1979.11663009>
29. Glaser D., Wanner M., Tinti J.M., Nofre C. Gustatory responses of pigs to various natural and artificial compounds known to be sweet in man. *Food Chemistry*. 2000;68:375-385. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00212-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00212-5)
30. Clouard C., Chataignier M., Meunier-Salaün M.-C., Val-Laillet D. Flavour Preference Acquired via a Beverage-Induced Conditioning and Its Transposition to Solid Food: Sucrose but Not Maltodextrin or Saccharin Induced Significant Flavour Preferences in Pigs. *Applied Animal Behaviour Science*. 2012;136(1):26-36. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.11.007>
31. Yan L., Jang H.D., Kim I.H. Creep Feed: Effects of Feed Flavor Supplementation on Pre- and Post-weaning Performance and Behavior of Piglet and Sow. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2011;24(6):851-856. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11011>
- growth performance of post-weaned piglets. *Physiology and Behavior*. 2015;141:85-91. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.01.009>
27. Wenwei Z., Holden H., Limin G., Wenqing L. et al. Effects of sweetener sucralose on diet preference, growth performance and hematological and biochemical parameters of weaned piglets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2020;5(33):802-811. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0863>
28. Ochetim S., Odur I.D. The effect of varying the level of saccharin on the performance of young pigs. *East African Agricultural and Forestry Journal*. 1979;44:202-205. <https://doi.org/10.1080/00128325.1979.11663009>
29. Glaser D., Wanner M., Tinti J.M., Nofre C. Gustatory responses of pigs to various natural and artificial compounds known to be sweet in man. *Food Chemistry*. 2000;68:375-385. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00212-5](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00212-5)
30. Clouard C., Chataignier M., Meunier-Salaün M.-C., Val-Laillet D. Flavour Preference Acquired via a Beverage-Induced Conditioning and Its Transposition to Solid Food: Sucrose but Not Maltodextrin or Saccharin Induced Significant Flavour Preferences in Pigs. *Applied Animal Behaviour Science*. 2012;136(1):26-36. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.11.007>
31. Yan L., Jang H.D., Kim I.H. Creep Feed: Effects of Feed Flavor Supplementation on Pre- and Post-weaning Performance and Behavior of Piglet and Sow. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2011;24(6):851-856. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11011>

Сведения об авторах

Владимир Ильич Максимов, профессор, доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии, фармакологии и токсикологии им. А.Н. Голикова и И.Е. Мозгова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени им. К.И. Скрябина; 109472, Российская Федерация, г. Москва, Орликов переулок, д. 1/11; <https://orcid.org/0000-0002-2425-5732>

Маргарита Алексеевна Волкова, аспирант 4 курса факультета ветеринарной медицины, кафедры физиологии, фармакологии и токсикологии им. А.Н. Голикова и И.Е. Мозгова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени им. К.И. Скрябина; 109472, Российская Федерация, г. Москва, Орликов переулок, д. 1/11; email: koruzova@mail.ru

Ксения Алексеевна Ерхова, обучающийся 4 курса факультета экологии и биотехнологии, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени им. К.И. Скрябина; 109472, Российская Федерация, г. Москва, Орликов переулок, д. 1/11; email: kseniyaerhova@bk.ru

Information about the authors

Vladimir I. Maksimov Professor, Doctor of Biological Sciences, Professor of department of Physiology, Pharmacology and Toxicology A.N. Golikov and I.E. Mozgov, FSBEI HE MGAVMiB – MBA named after K.I. Scriabin, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-2425-5732>

Margarita A. Volkova, 4th year graduate student of the Faculty of Veterinary Medicine, Department of Physiology, Pharmacology and Toxicology named after A.N. Golikov and I.E. Mozgov FSBEI HE MGAVMiB – MBA named after K.I. Scriabin, Moscow, Russia

Ksenia A. Erkhova, 4th year 1st group student of the Faculty of Ecology and Biotechnology, FSBEI HE MGAVMiB – MBA named after K.I. Scriabin, Moscow, Russia

Статья поступила в редакцию 10.07.2024
Одобрена после рецензирования 19.03.2025
Принята к публикации 29.03.2025

The article was submitted to the editorial office
July 10, 2024
Approved after reviewing March 19, 2025
Accepted for publication March 29, 2025

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья

УДК 796.012

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-04>



Физиология движений с использованием биомеханических принципов в физической культуре студентов

Денис Викторович Сорокин, Марина Михайловна Акиндинова,
Александр Иванович Раковецкий, Андрей Александрович Сопарев

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

Автор, ответственный за переписку: Сорокин Денис Викторович; sorokin_denis_08@list.ru

Аннотация

В статье представлены результаты изучения методов оптимизации физиологии движений на занятиях физической культуры студентов высшего учебного заведения через внедрение биомеханических принципов. Актуальность исследований обусловлена тем, что многие студенты встречаются с трудностями в овладении техникой выполнения новых двигательных действий, которые влияют на снижение эффективности воздействия физической нагрузки на функциональные системы организма. Физиология двигательных функций тесно связана с усложнением и непредвиденностью возникающих перед организмом двигательных задач, решение которых зависит от «пластичности нервной системы», с одной стороны, и развития двигательных координаций – с другой. Цель исследований – изучение методов оптимизации физиологии движений у студентов путем внедрения биомеханических принципов в физическую культуру. Биомеханический анализ был основан на выявленных ошибочных движениях студентов при выполнении специальных физических упражнений (спринтерский бег на 60 м, прыжки в длину с места, сгибание и разгибание рук в упоре лежа). В исследованиях принимали участие 96 студентов первокурсников: 38 юношей и 58 девушек. В исследованиях была применена программа «Dumas» для анализа техники движений по видео. Для выделения ключевых параметров движения студента на видеорегистраторе был выбран метод определения кинематических параметров – таких, как скорость и ускорение движения. Нарушение физиологии движений было зафиксировано у 50% студентов при недостаточном выносе ноги в беге 60 м, у 31% студентов – при неполном разгибании в тазобедренных суставах в прыжках в длину, у 48% студентов – при неправильной постановке рук во время отжиманий. Коррекция техники с использованием мобильных приложений с системой видеоанализа позволяла студентам выполнять упражнения более эффективно и безопасно.

Ключевые слова

движение, биомеханика, физические упражнения, оптимизация, двигательные действия

Для цитирования

Сорокин Д.В., Акиндинова М.М., Раковецкий А.И., Сопарев А.А. Физиология движений с использованием биомеханических принципов в физической культуре студентов // *Тимирязевский биологический журнал*. 2025. Т. 3, № 1. С. 202531404. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-04>

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Research article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-04>



Physiology of movements using biomechanical principles in students' physical education

Denis V. Sorokin, Marina M. Akindinova, Aleksandr I. Rakovetsky, Andrey A. Soparev

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

Corresponding author: Denis V. Sorokin; sorokin_denis_08@list.ru

Abstract

This article presents findings from a study on optimizing movement physiology in higher education physical education classes through the implementation of biomechanical principles. The research addresses the challenge that many students

struggle to master new motor skills, thereby reducing the effectiveness of physical activity on their bodies' functional systems. The physiology of motor function is intricately linked to the complexity and unpredictability of motor tasks, the resolution of which relies on both neural plasticity and the development of motor coordination. The study aimed to investigate methods for optimizing movement physiology in students by integrating biomechanical principles into physical education. Biomechanical analysis focused on identifying and correcting common movement errors observed in students performing specific physical exercises (60-meter sprint, standing long jump, and push-ups). The study involved 96 first-year students (38 male and 58 female). The Dumac program was used to analyze movement technique from video recordings. Key kinematic parameters, such as speed and acceleration, were assessed to characterize student movement. Movement physiology deviations were observed in 50% of students (insufficient leg extension during the 60-meter sprint), 31% (incomplete hip extension during long jumps), and 48% (improper hand positioning during push-ups). Technique correction using mobile applications with a video analysis system enabled students to perform exercises more effectively and safely.

Keywords

movement, biomechanics, physical exercises, optimization, motor actions

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

For citation

Sorokin D.V., Akindinova M.M., Rakovetsky A.I., Soparev A.A. Physiology of movements using biomechanical principles in students' physical education. *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(1):202531404. <http://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-04>

Введение Introduction

Современное общество все больше осознает значимость физической активности и здорового образа жизни, что делает физическую культуру неотделимой частью научно-образовательного процесса. В современных условиях интенсивного развития науки и технологий, а также возросшего интереса к занятиям спортом и физическими упражнениями возникает потребность в более глубоком осмыслении механизмов, лежащих в основе физиологии движений человека [1]. В этом контексте физиология движений и возникшая в процессе эволюции такая наука, как биомеханика, рассматривающая механические аспекты движений живых организмов, становится эффективным инструментом для оптимизации техники физических упражнений. Актуальность исследований обусловлена тем, что многие студенты встречаются с трудностями в овладении техникой выполнения новых двигательных действий, которые влияют на снижение эффективности воздействия физической нагрузки на функциональные системы организма. Физиология двигательных функций тесно связана с усложнением и непредвиденностью возникающих перед организмом двигательных задач, решение которых зависит от «пластичности нервной системы», с одной стороны, и развития двигательных координат – с другой (теория Бернштейна¹).

Двигательная функция организма представляет собой морфологически связанные костно-суставно-мышечные звенья, осуществляющие

динамические взаимодействия в определенном алгоритме относительно друг друга и внешней среды. Именно биомеханика позволяет изучить закономерности движений человека в ходе выполнения специализированных физических упражнений, особенно в процессе обучения и совершенствования двигательных навыков. Понимание законов биомеханики позволяет оптимизировать движения, улучшить эффективность и снизить риск травм [2]. Поэтому внедрение биомеханических принципов в занятия физической культурой – таких, как структурность построения систем движений, целостность действия, сознательная целенаправленность систем движений, позволяет легче освоить технику движений и повысить общую физическую подготовленность и физическую работоспособность студентов.

Рациональная и перспективная с биомеханических позиций техника на этапе обучения является залогом успеха, что реализуется только с помощью биомеханического анализа движения на базе изучения новых тенденций развития стиля и техники вида спорта [3]. Для данной работы были подобраны разнообразные подходы и методики, которые могут быть использованы для эффективного освоения техники выполнения двигательных действий в определенных физических упражнениях. Например, использование методики временных значений отрезков дистанции стартового разбега на основе смартфона и их компьютерный анализ позволяют в короткое время построить индивидуальный профиль «Мощность-сила-скорость», который может применяться в тренировочном процессе для оценки техники бега и эффективности использования тренировочных программ [4].

Значимым аспектом работы является анализ статистических данных о технике движений студентов и то, как собранные данные позволят дать

¹ Лукьяненко В.П. Физическая культура: основы знаний: Учебное пособие. 2-е изд., стер. М.: Советский спорт, 2005. 224 с.

рекомендации по оптимизации движений в специальных физических упражнениях, характеризующих уровень физической подготовленности.

Цель исследований: оптимизация физиологии движений у студентов путем внедрения биомеханических принципов в физическую культуру. Координация головы, рук, ног, частей тела во времени относительно друг друга и пространства кратко обеспечивает активность скелетных мышц для перемещения тела без падений [5]. Важно не только обучить технике движений, но и сформировать у студентов осознанный подход к собственному телесному и двигательному развитию, что будет способствовать формированию неврологического мышечного здоровья, которое подразумевает сбалансированное функционирование всех мышц организма [6, 7]. Распознавание движений с помощью технических устройств и программных приложений – активно развивающаяся область исследований в области компьютерного зрения, поскольку находит огромное применение в современном мире, в том числе в биомеханике [8-10].

Методика исследований

Research method

Исследования проводились на базе РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева на кафедре физической культуры. В исследованиях принимали участие 96 студентов первокурсников: 38 юношей и 58 девушек. Студенты систематически посещали учебные пары и не имели противопоказаний для занятий физической культурой и спортом.

В исследованиях применялся метод опроса с целью выбора двигательных действий, вызывающих трудности при выполнении.

Педагогический эксперимент заключался в тестировании техники движений в спринтерском беге на 60 м, прыжке в длину с места, в сгибании и разгибании рук в упоре лежа. В рамках эксперимента в образовательный процесс группы испытуемых были включены упражнения, направленные на развитие скоростно-силовых способностей спортсменов. Тестирование проводилось в течение нескольких месяцев.

Для мониторинга двигательных параметров в каждом контрольном упражнении было использовано мобильное приложение с системой видеонализа «Dumas» для анализа техники движений по видео [8, 9]. Для выделения ключевых параметров движения студента на видеорегистраторе был выбран метод определения кинематических параметров – таких, как скорость и ускорение движения. Эта программа позволила детально оценивать технику выполнения контрольных упражнений, выявлять технические ошибки и вносить корректировки по ходу выполнения упражнений. Также использовались метод распознавания образов

и методы математической статистики для анализа данных, полученных в результате эксперимента.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Различные сократительные режимы работы скелетных мышц определяют характер сенсорной информации, поступающей в центральную нервную систему, и инициируют функциональные и морфологические перестройки в головном и спинном мозге. Подобные трансформации лежат в основе пластических изменений в ЦНС, предоставляющих возможность человеку овладевать новыми навыками, обучаться новым движениям, делать их выполнение безупречным [8]. Современные системы – такие, как Dumas, Dartfish, ForceDecks, HumanTrak и др., основаны на высокотехнологичных решениях, позволяющих осуществлять глубокий анализ биомеханики движений и улучшать результаты спортивных тренировок [8, 9].

Для определения оптимальной техники движений в спринтерском беге на 60 м, прыжке в длину с места, в сгибании и разгибании рук в упоре лежа и коррекции движений с целью достижения более эффективного выполнения с меньшим сопротивлением нами был использован видеорегистратор. При проведении анализа техники выполнения выбранных двигательных действий были выявлены типичные ошибки у большинства студентов, а также техника, характеризующаяся индивидуальными особенностями исследуемых.

При выполнении спринтерского бега на 60 м у студентов были выявлены следующие ошибки: 1 – малый угол выноса бедра относительно туловища (в норме – 90° и меньше); 2 – недостаточный вынос бедра маховой ноги вверх (в норме угол между бедром и голенью составляет меньше 60°); 3 – неправильная постановка стопы на опору (правильным является положение, когда приземление происходит на переднюю ее часть с низким положением пятки над дорожкой).

Выявленные нарушения физиологии движений у студентов при выполнении разных специальных упражнений представлены в таблице.

Ошибки, допущенные при выполнении спринтерского бега на 60 м, представлены на рисунке 1.

Малый угол выноса бедра у 10,9% мужчин и 19,8% женщин делает шаг меньше, тем самым происходит неэкономичный расход энергии и сил, выполнение движений в единицу времени увеличивается.

У 41,4% студентов и 49,2% студенток отмечается такая ошибка, как недостаточный вынос ноги, которая также способствует высоким энергозатратам при выполнении действий, что приводит к быстрой утомляемости и снижению скорости.

Таблица

Показатели нарушений физиологии движений у студентов при выполнении специальных упражнений (n = 96)

Специальное упражнение	Пол	Выраженность ошибки, %				Без ошибки, %
		1	2	3	4	
спринтерском беге на 60 м	мужчины (n = 38)	10,9	41,4	22,9	–	24,8
	женщины (n = 58)	19,8	49,2	30,6	–	0,4
прыжок в длину с места	мужчины (n = 38)	26,4	22,7	16,8	17,6	16,5
	женщины (n = 58)	30,1	29,3	19,6	20,8	0,2
сгибание и разгибание рук в упоре лежа	мужчины (n = 38)	37,4	33,1	9,6	–	19,9
	женщины (n = 58)	50,6	35,5	12,7	–	1,2

Table

Indicators of movement physiology disorders in students during special exercises (n = 96)

Special exercise	Sex	Severity of the error, %				With no errors, %
		1	2	3	4	
60-meter sprint	male (n = 38)	10.9	41.4	22.9	–	24.8
	female (n = 58)	19.8	49.2	30.6	–	0.4
standing long jump	male (n = 38)	26.4	22.7	16.8	17.6	16.5
	female (n = 58)	30.1	29.3	19.6	20.8	0.2
push-ups	male (n = 38)	37.4	33.1	9.6	–	19.9
	female (n = 58)	50.6	35.5	12.7	–	1.2

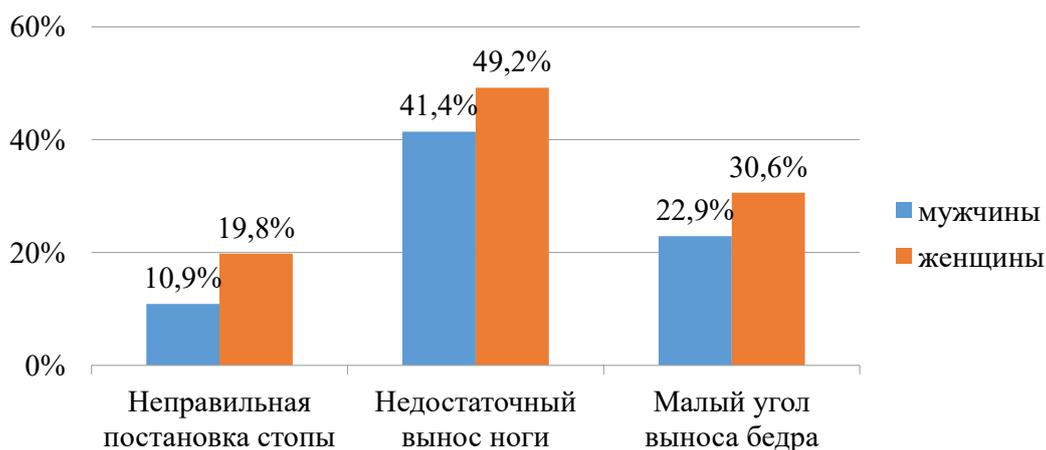


Рис. 1. Ошибки при выполнении бега на 60 м (% от общего числа испытуемых)

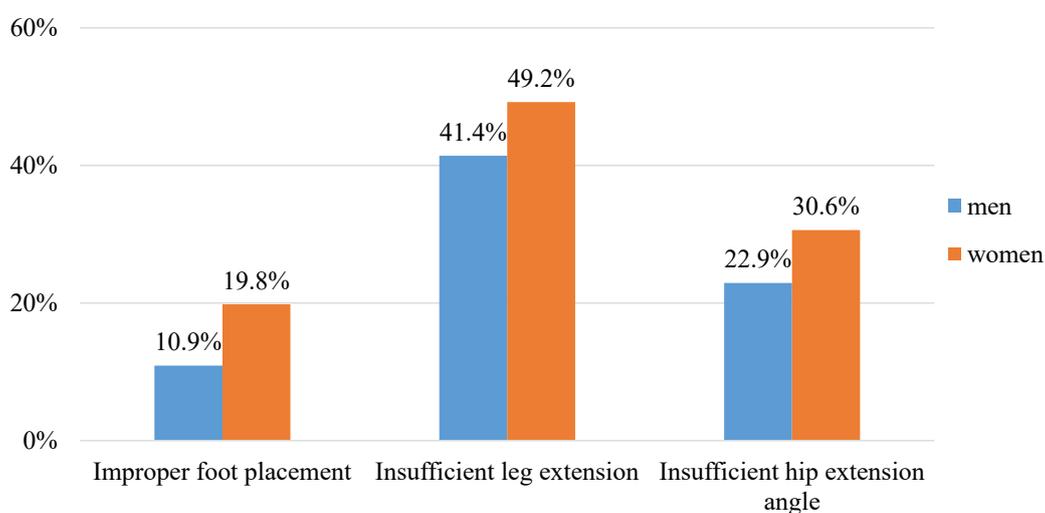


Fig. 1. Performance errors in the 60-meter sprint (% of the total number of experiment participants)

Неправильная постановка стопы была отмечена у 22,9% мужчин и 30,6% женщин, что в большинстве случаев характеризовало низкий уровень физической подготовленности студентов.

При выполнении спринтерского бега на 60 м не отмечалось ошибок в технике движений у 24,8% мужчин и 0,4% женщин.

При выполнении прыжка в длину с места у студентов были выявлены следующие ошибки: 1 – неполное разгибание в тазобедренных суставах (в норме – выпрямление ног до 180°); 2 – чрезмерный наклон вперед при выполнении приседа (в норме – не менее 90° туловища к бедру); 3 – неправильная работа рук (в норме руки должны активно выноситься вперед и вверх синхронно с выпрямлением ног); 4 – неправильная постановка ног при отталкивании (при правильном положении ног они должны быть на ширине плеч или чуть шире, параллельны или слегка развернуты носками наружу для устойчивости и эффективного толчка) и при приземлении (в норме необходимо приземляться на слегка согнутые ноги, амортизируя удар) (табл.).

Ошибки, допущенные при выполнении прыжка в длину с места, представлены на рисунке 2.

У 26,4% мужчин и 30,1% женщин отмечается такая ошибка, как неполное разгибание в тазобедренных суставах (чаще всего отмечается излишняя торопливость, что приводит к неэффективному отталкиванию).

Чрезмерный наклон вперед при выполнении приседа у 22,7% мужчин и 29,3% женщин, принимавших участие в исследовании, приводит к потере равновесия и более длительному времени отталкивания.

Неправильная работа рук у 16,8% мужчин и 19,6% женщин является тормозящим фактором при выполнении первой фазы прыжка, что приводит к несогласованности движений рук и ног.

Неправильная постановка ног как при отталкивании (слишком широкая или слишком узкая), так и при приземлении отмечается у 17,6% мужчин и 20,8% женщин.

При выполнении прыжка в длину с места ошибок не отмечается у 16,5% мужчин и 0,2% женщин.

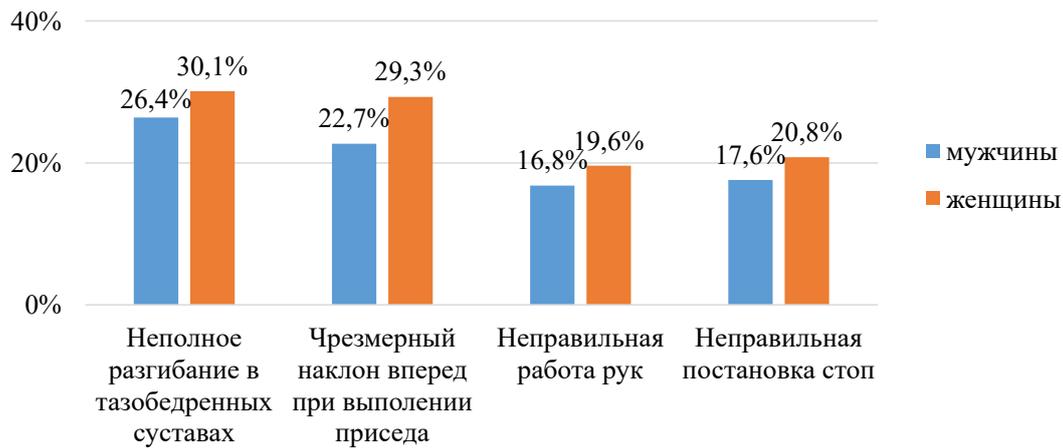


Рис. 2. Ошибки при выполнении прыжка в длину с места (% от общего числа испытуемых)

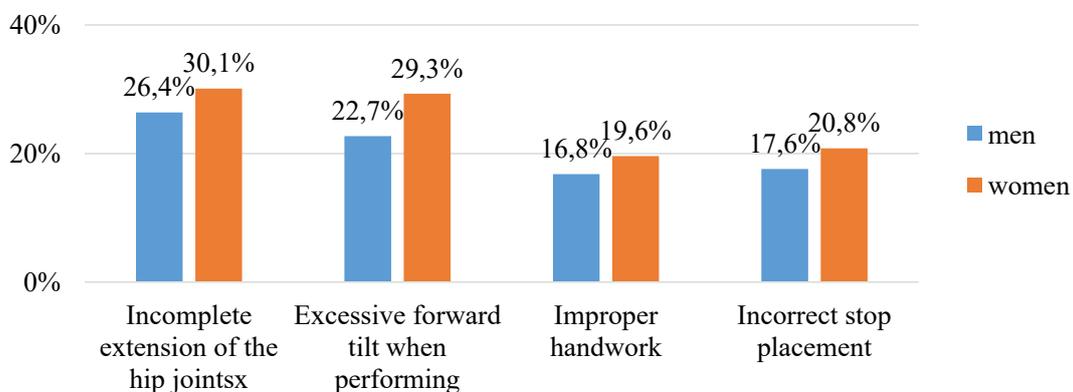


Fig. 2. Performance errors in the standing long jump (% of the total number of experiment participants)

При выполнении упражнения на сгибание и разгибание рук в упоре лежа у студентов были выявлены следующие ошибки: 1 – неправильная постановка рук на опору (в норме локти должны быть повернуты назад на 45°, ладони – строго под линией плеч); 2 – неправильное положение туловища (в норме во время сгибания и разгибания рук тело должно образовывать одну прямую линию); 3 – малая амплитуда сгибания рук (в норме необходимо сгибать руки до прямого угла в локте) (табл.).

Ошибки, допущенные при выполнении сгибания и разгибания рук в упоре лежа, представлены на рисунке 3.

Неправильная постановка рук отмечена у 37,4% мужчин и 50,6% женщин. При этом учитывались и неправильная постановка ладоней, что ведет к быстрой утомляемости и неприятным болевым ощущениям в лучезапястных суставах, и неправильное положение лопаток (правильное положение обеспечивает надежную опору и стабильность при выполнении).

У 33,1% мужчин и 35,5% женщин выявлена ошибка, заключающаяся в неправильном положении туловища, то есть такие ошибки, как раскачивание корпусом, подъем таза вверх, прогиб

в пояснице. Все это приводит к быстрой утомляемости, может стать причиной болевых ощущений и даже травм.

Малая амплитуда сгибания рук у 9,6% мужчин и 12,7% женщин обусловлена прежде всего слабой физической подготовленностью студентов, что приводит к неэффективности упражнения.

При выполнении упражнения на сгибание и разгибание рук в упоре лежа не отмечалось ошибок в выполнении техники движений у 19,9% мужчин и 1,2% женщин.

Результаты педагогического эксперимента у студентов первого курса показали, что технические ошибки в движениях приводят к неправильному выполнению двигательного действия и влияют на результат. Более выражено это отмечалось у студентов, не занимающихся ранее спортом. В выполняемых ими движениях наблюдается серьезная проблема в кинематике, проявляющаяся в неправильном формировании фазы выноса ноги, что приводит к снижению скорости бега.

Проведенный анализ данных, полученный в ходе исследований, показал, что у многих студентов отмечаются недостатки в технике определенных двигательных действий, которые можно

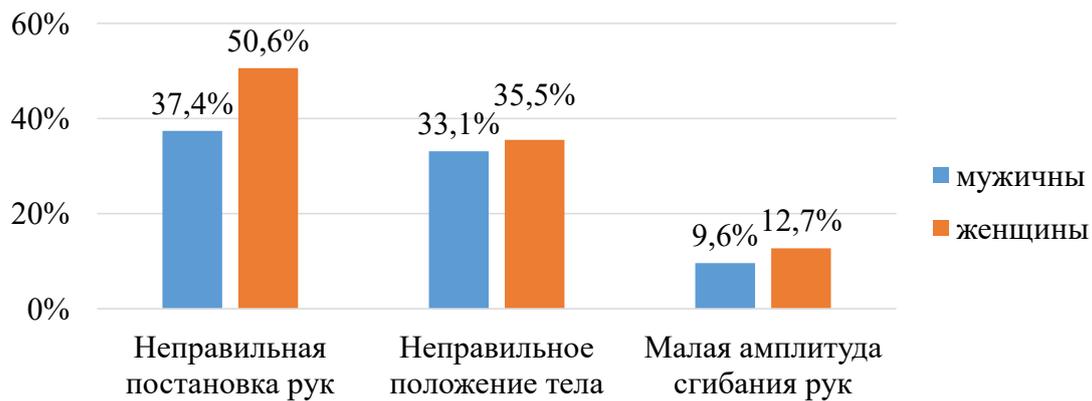


Рис. 3. Ошибки при выполнении упражнения сгибание и разгибание рук в упоре лежа (% от общего числа испытуемых)

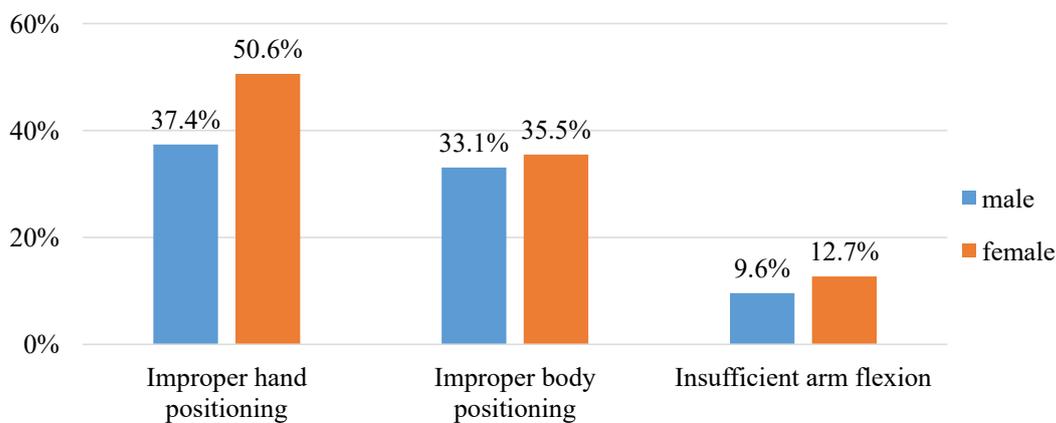


Fig. 3. Performance errors in push-ups (% of the total number of experiment participants)

скорректировать и даже устранить посредством применения физических упражнений направленного действия. Недостаточная тренировочная база и малое количество регулярных занятий физической культурой являются одной из причин неправильного выполнения сложных двигательных действий, что вызывает затруднения у студентов в формировании правильного двигательного навыка. Включение в образовательные программы оптимизированной техники движений становится актуальной задачей в современной системе физического воспитания студентов, что необходимо для спортивной и повседневной деятельности молодежи. Студенты, занимающиеся дополнительно в спортивных секциях, как правило, проявляют более высокий уровень активности по сравнению с учащимися, у которых образ жизни менее активен, что также подтверждает разницу в подходах к физической подготовке.

Таким образом, внедрение информационных технологий контроля за техникой выполнения специальных упражнений в образовательный процесс физической культуры студентов создает условия для формирования неврологического мышечного здоровья, которое

подразумевает сбалансированное функционирование всех мышц организма. Применение специализированного мобильного приложения «Dumas» доказало свою эффективность в достижении поставленных целей и не противоречит существующим концепциям [8-10].

На основании полученных данных об ошибках в технике выполнения двигательного действия преподаватель может применять различные методики для коррекции движений. К самым часто используемым относится метод расчлененно-конструктивного упражнения, позволяющий разучить движение по частям и акцентировать внимание именно на потенциальных ошибках в технике двигательного действия. После коррекции двигательного действия применяются подводящие упражнения и метод многократных повторений. Для совершенствования техники двигательного действия применяется метод создания внешних условий, в которых выполнение неправильного движения невозможно.

Учет биомеханических принципов, грамотно интегрированных в систему физического воспитания, позволит работающим педагогам глубже понять и оптимизировать адаптацию нервной системы к нагрузкам.

Выводы Conclusions

Внедрение передовых технологий, в частности, датчиков движения, системы видеонаблюдения и программного обеспечения для анализа данных, способствует точной оценке техники выполнения двигательных действий и позволяет вносить своевременные корректировки. Это делает занятия в значительной степени более интересными и увлекательными для студентов, повышая качество тренировочного процесса.

Современные исследования в области биомеханики определяют перспективы применения биомеханических принципов в области физической

культуры и спорта, особенно в отношении оптимизации техники движений студентов. Внедрение системы фиксации данных о движении и компьютерных моделирований позволяет в значительной степени повысить эффективность проведения занятий и улучшить качество выполнения упражнений, позволив обеспечить персонализированный подход к каждому студенту. Анализ движений на различных уровнях, от этапа изучения до совершенствования двигательного действия, с помощью биомеханических методов позволит оптимизировать стратегии занятий и тренировок, а также исключить риски травматизма. Это особенно актуально для студентов с недостатком знаний о правильной технике выполнения физических упражнений.

Список источников

1. Копейкина Е.Н., Кондаков В.Л., Волошина Л.Н., Бочарова В.И. Двигательная активность студентов в современных условиях // *Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация*. 2023. Т. 8, № 3. С. 106-112. EDN: MXGZOV
2. Дегтярева К.В., Волкова Е.А. Понимание законов движения: как биомеханика улучшает ваш бег // *Теория и практика современной науки*. 2024. № 6 (108). С. 60-63. EDN: RZKPXR
3. Иванова Г.П. Развитие биомеханики как основа успеха в олимпийском спорте // *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. 2010. № 11 (69). С. 43-46. EDN: MWOLNR
4. Кряжев В.Д., Марьяна Н.В., Кашенков Ю.Б., Разживин О.А. Методика исследования кинематики и кинетики стартового разбега студентов-спринтеров // *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. 2021. № 9 (199). С. 152-158. EDN: GX AACG
5. Маскаева Т.Ю., Урываев Ю.В., Греков Ю.А., Руцкий Д.А. Координация движений всего тела у студентов младших курсов университета // *Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта*. 2019. № 8 (174). С. 140-146. EDN: DXFIYK
6. Белова А.Н., Рукина Н.Н., Кузнецов А.Н., Воробьева О.В. Возможности современных технологий биомеханического анализа движений в изучении механизмов спортивных травм (обзор) // *Российский журнал биомеханики*. 2022. Т. 26, № 2. С. 74-86. EDN: XMNIOK
7. Андриянова Е.Ю., Ланская О.В., Механизмы двигательной пластичности спинномозговых нервных цепей на фоне долговременной адаптации к спортивной деятельности // *Физиология человека*. 2014. Т. 40, № 3. С. 73-85. <https://doi.org/10.7868/S0131164614030023>

References

1. Kopeikina E.N., Kondakov V.L., Voloshina L.N., Bocharova V.I. Assessment of the volume of students' motor activity in modern conditions. *Physical Culture. Sport. Tourism. Motor Recreation*. 2023;8(3):106-112. (In Russ.)
2. Degtyareva K.V., Volkova E.A. Understanding the laws of motion: how biomechanics improves your running. *Teoriya i praktika sovremennoy nauki*. 2024;6(108):60-63. (In Russ.)
3. Ivanova G.P. Biomechanics development as a basis of success in the Olympic sports. *Uchenye Zapiski Universiteta imeni P.F. Lesgafta*. 2010;11(69):43-46. (In Russ.)
4. Kryazhev V.D., Maryina N.V., Kashenkov Yu.B., Razzhivin O.A. Method of research of kinematics and kinetics of the start-up run of students. *Uchenye Zapiski Universiteta imeni P.F. Lesgafta*. 2021;9(199):152-158. (In Russ.)
5. Maskaeva T.Yu., Uryvaev Yu.V., Grekov Yu.A., Rutsky D.A. Coordination of whole-body motions among the junior courses students of the university. *Uchenye Zapiski Universiteta imeni P.F. Lesgafta*. 2019;8(174):140-146. (In Russ.)
6. Belova A.N., Rukina N.N., Kuznetsov A.N., Vorobyeva O.V. State-of-the-art possibilities of motion capture technologies in sport injuries researches (review). *Russian Journal of Biomechanics*. 2022;26(2):74-86. (In Russ.)
7. Andriyanova E.Y., Lanskaia O.V. Functional plasticity of spinal circuits in long-term sports activity adaptation. *Fiziologiya cheloveka*. 2014;40(3):73-85. <https://doi.org/10.7868/S0131164614030023>

8. Нопин С.В., Копанев А.Н., Абуталимова С.М. Современные системы тестирования и анализа движений человека // *Современные вопросы биомедицины*. 2020. Т. 4, № 4 (13). С. 63-71. EDN: OYYAZN
9. Истратова Е.Е., Бухамер Е.А., Томилов И.Н. Разработка комбинированного метода детекции движений для системы интеллектуального видеонаблюдения // *International Journal of Open Information Technologies*. 2022. Т. 10, № 1. С. 54-60. EDN: ZKTOLL
10. Febin I.P., Jayasree K., Joy P.T. Violence detection in videos for an intelligent surveillance system using MoBSIFT and movement filtering algorithm *Pattern Analysis and Applications*. 2020;23:611-623. <https://doi.org/10.1007/s10044-019-00821-3>
8. Nopin S.V., Kopanев A.N., Abutalimova S.M. Modern systems for testing and analysis of human movement. *Sovremennye voprosy biomeditsiny*. 2020;4(4(13)):63-71. (In Russ.)
9. Istratova E.E., Bukhamer E.A., Tomilov I.N. Development of a combined motion detection method for an intelligent video surveillance system. *International Journal of Open Information Technologies*. 2022;10(1):54-60. (In Russ.)
10. Febin I.P., Jayasree K., Joy P.T. Violence detection in videos for an intelligent surveillance system using MoBSIFT and movement filtering algorithm *Pattern Analysis and Applications*. 2020;23:611-623. <https://doi.org/10.1007/s10044-019-00821-3>

Сведения об авторах

Денис Викторович Сорокин, кандидат педагогических наук, доцент кафедры физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; email: sorokin_denis_08@list.ru; <https://orcid.org/0009-0004-6281-7267>

Марина Михайловна Акиндинова, преподаватель кафедры физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; email: akindinova.m@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0003-6668-7896>

Александр Иванович Раковецкий, кандидат педагогических наук, доцент кафедры физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; email: kupec2007@mail.ru; <http://orcid.org/0009-0000-3894-2966>

Андрей Александрович Сопарев, старший преподаватель кафедры физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; email: soparev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0001-0639-6152>

Статья поступила в редакцию 04.02.2025
Одобрена после рецензирования 10.03.2025
Принята к публикации 25.03.2025

Information about the authors

Denis V. Sorokin, CSc (Ed), Associate Professor at the Department of Physical Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: sorokin_denis_08@list.ru; <https://orcid.org/0009-0004-6281-7267>

Marina M. Akindinova, Lecturer at the Department of Physical Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: akindinova.m@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0003-6668-7896>

Aleksandr I. Rakovetsky, CSc (Ed), Associate Professor at the Department of Physical Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: kupec2007@mail.ru; <http://orcid.org/0009-0000-3894-2966>

Andrey A. Soparev, Senior Lecturer at the Department of Physical Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: soparev@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0009-0001-0639-6152>

The article was submitted to the editorial office February 04, 2025
Approved after reviewing March 10, 2025
Accepted for publication March 25, 2025

Оригинальная научная статья
УДК 597.8 (470.26)
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-05>



**Возрастная структура и особенности роста
краснобрюхой жерлянки (*Bombina bombina*, Amphibia, Anura, Bombinatoridae)
в Калининградской области (восток Балтийского региона, Россия)**

**Роман Александрович Иволга, Даниил Андреевич Мальнов,
Татьяна Эдуардовна Кондратова, Артем Александрович Кидов**

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

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

Аннотация

В статье представлены результаты изучения возраста и роста краснобрюхой жерлянки (*Bombina bombina*) методом скелетохронологии. 30 взрослых животных были отловлены в нерестовом водоеме в I декаде мая 2024 г. в окрестностях пос. Большаковское Багратионовского района Калининградской области (Россия). Возраст изученных животных составил 2 года – 6 лет, в среднем 3,90 года. Модальный возраст жерлянок составлял 3,5 года (66%). Ожидаемая продолжительность жизни (ESP) после достижения половой зрелости составляла 3,5 года при годовой выживаемости особей (S) 0,663. Авторы отмечают, что в работах после 1990-х гг. отмечено снижение максимального возраста в популяциях краснобрюхих жерлянок. По всей видимости, данные изменения вызваны не столько ухудшением состояния популяций, сколько сменой методики исследований. Средняя и предельная длина у жерлянок из Калининградской области была больше, чем у животных из Франции, Дании, Польши, Закарпатья и Прикарпатья, Румынии, Болгарии, Турции, Республики Мордовии, Республики Татарстан, Самарской области, Западного Предкавказья, Центрального Предкавказья. Предполагается, что увеличенные показатели роста могут являться адаптивным ответом на существование в условиях пессимума ареала.

Ключевые слова

бесхвостые земноводные, продолжительность жизни, демография, скелетохронология, Калининградская область, краснобрюхая жерлянка, возрастная структура популяции краснобрюхой жерлянки

Благодарности

Работа выполнена за счет средств Программы развития РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Для цитирования

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. Т. 3, № 1. С. 202531405. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-05>

ZOOLOGY

Research article

https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-05



**Age structure and growth features
of the fire-bellied toad (*Bombina bombina*, Amphibia, Anura, Bombinatoridae)
in Kaliningrad Oblast (East Baltic Region, Russia)**

**Roman A. Ivolga, Daniil A. Malnov, Tatyana E. Kondratova,
Artem A. Kidov**

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

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

Abstract

This article presents the results of a study on the age and growth of the fire-bellied toad (*Bombina bombina*) using skeletochronology. Thirty adult toads were captured from a spawning pond during the first decade of May 2024 near Bolshakovskoe settlement in the Bagratiyevsky District of Kaliningrad Oblast, Russia. The age of the sampled toads ranged from 2 to 6 years, with a mean age of 3.90 years. The modal age was 3.5 years (66%). Post-maturity life expectancy (ESP) was 3.5 years, with an annual survival rate (S) of 0.663. The authors noted that studies conducted since the 1990s indicate a decrease in the maximum age observed in fire-bellied toad populations. This apparent change is likely attributable to methodological differences rather than a decline in population health. The mean body length and the asymptotic size of the fire-bellied toads from Kaliningrad Oblast were greater than those reported for populations in France, Denmark, Poland, Subcarpathia and Transcarpathia, Romania, Bulgaria, Turkey, the Republic of Mordovia, the Republic of Tatarstan, the Samara Oblast, Western Ciscaucasia, and Central Ciscaucasia. It is hypothesized that accelerated growth rates may represent an adaptive response to suboptimal habitat conditions.

Keywords

tailless amphibians, lifespan, demography, skeletochronology, Kaliningrad Oblast, fire-bellied toad, age structure of fire-bellied toad population

Acknowledgments

This research was financially supported by the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy through its Program of Strategic Academic Leadership “Priority-2030”.

Conflict of interest

The authors declare no relevant conflict of interests.

For citation

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. <http://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-4-05>

Введение

Introduction

Земноводные являются одной из наиболее уязвимых групп животных в условиях изменяющегося климата и антропогенной трансформации экосистем [1]. Сильнее всего деградируют популяции узкоареальных амфибий, населяющих горные тропические леса, однако неуклонно сокращаются в численности и прежде обычные, даже многочисленные виды умеренного пояса. Так, в Центральной и Восточной Европе с 1970-х гг. отмечается депрессия численности краснобрюхой жерлянки,

Bombina bombina (Linnaeus, 1761)¹. Особенно эти тенденции характерны для периферийных популяций в Дании, Германии, Чехии, Словении, Польше, Болгарии и Турции¹ [2]. Снижаются численность и количество современных местообитаний жерлянки и в России [3].

Помимо числа населяемых локалитетов и плотности населения, другим важным демографическим индикатором состояния вида является возрастная структура, включающая в себя возраст

¹Fog K. Amphibian conservation in Denmark. *FrogLog*. 1995;13:1-2.

достижения половой зрелости, средний и максимальный возраст животных² [4–8]. Многократно отмечалось [9, 10], что в условиях пессимума происходит омоложение популяций: средний и максимальный возраст снижается, а репродуктивное ядро составляют впервые размножающиеся особи. Несмотря на широкое распространение и в недавнем прошлом высокую численность *B. bombina*, демографические характеристики вида трудно назвать хорошо изученными [11]. Возраст краснобрюхой жерлянки в России был установлен для территории Татарстана в 1958–1973 гг.^{3,4} и для Рязанской области в 1971–1989 гг.⁵ [12]. Немного лучше изучена демография *B. bombina* и за рубежом: такие исследования проводили в 1970–1990 гг. в Дании⁶, в 1995 г. в Румынии [13], в 2015 г. в Турции [14], а в 2016 г. – в возникшей в результате интродукции популяции во Франции [15] (рис. 1).

Накопленный к настоящему времени массив опубликованных данных о возрастной структуре краснобрюхой жерлянки в целом по ареалу позволяет выполнять оценку состояния

вновь исследуемых популяций. **Цель исследований:** характеристика возрастной структуры и особенностей роста краснобрюхой жерлянки на востоке Балтийского региона на примере одной из популяций Калининградской области.

Методика исследований

Research method

Половозрелых жерлянок (30 особей) отлавливали в нерестовом водоеме в I декаде мая 2024 г. окрестностях пос. Большаковское (54.4383° с.ш., 20.6544° в.д., 46 м н.у. м) в Багратионовском районе Калининградской области (Россия) (рис. 1). Поскольку достоверное определение пола по внешним признакам для всех животных было затруднительным, а умерщвление и вскрытие животных для идентификации гендерной принадлежности недопустимы при изучении малочисленной периферийной популяции, самок и самцов в анализе объединяли в одну группу.



Рис. 1. Ареал краснобрюхой жерлянки (●) [2] и места, где был изучен возраст особей:

- – данные, собранные другими авторами,
 - – данные собранные авторами представленной статьи в пос. Большаковское, Багратионовский район, Калининградская область, Россия)
- Fig. 1. Distribution of the fire-bellied toad area (●) [2] and study localities.
- – data collected by other authors,
 - – authors' sample (Bolshakovskoe, Bagrationovsky District, Kaliningrad Oblast, Russia)

² Боркин Л.Я., Тихенко Н.Д. Некоторые аспекты морфологической изменчивости, полиморфизма окраски, роста, структуры популяции и суточной активности *Rana lessonae* на северной границе ареала // *Экология и систематика амфибий и рептилий: Труды Зоологического института АН СССР. Т. 89*. Ленинград: Зоологический институт АН СССР, 1979. С. 18–54.

³ Гаранин В.И. К экологии краснобрюхой жерлянки // *Природные ресурсы Волжско-Камского края: Животный мир*. Казань: Издательство Казанского университета, 1971. № 3. С. 94–104.

⁴ Шалдыбин С.Л. Возрастная и половая структура популяций бесхвостых амфибий // *Природные ресурсы Волжско-Камского края: Животный мир*. Казань: Издательство Казанского университета, 1976. № 6. С. 112–117.

⁵ Панченко И.М. К характеристике краснобрюхой жерлянки Окской поймы // *Вопросы герпетологии*. Киев: Наукова думка, 1989. С. 187–188.

⁶ Fog K. *Bombina bombina* in Dänemark – verbreitung, bestandssituation und lebensweise. *Rana*. 1993;1:123–131.

У жерлянок электронным штангенциркулем (погрешность – 0,01 мм) измеряли длину тела (*SVL*) и отсекали третью фалангу четвертого пальца правой задней конечности. После проведения данных процедур животных выпускали в месте поимки. Возраст определяли стандартным методом скелетохронологии⁷. Считали, что индивидуальный возраст соответствовал числу образовавшихся во время зимовок на окрашенном поперечном срезе фаланги пальца темных линий остановки роста с прибавкой одного года, так как последняя линия зимовки весной еще должна была оставаться на краю кости и незаметна для исследователя.

Статистический анализ и визуализацию данных осуществляли в программах Past v. 5.2.1, Statistica 14.0 и OriginPro 2024. Рассчитывали среднее арифметическое (*M*), стандартное отклонение (*SD*) и размах (*min-max*) исследуемых признаков. Нормальность и гомогенность распределения выборок проверяли критериями Лиллиефорса и Левена. Предельную длину тела (*SVL_{max}*) и коэффициент роста (*k*) жерлянок рассчитывали с помощью нелинейного оценивания, используя уравнение фон Бергаланфи⁸:

$$SVL_t = SVL_{max} - (SVL_{max} - SVL_{met}) \cdot e^{-k \cdot (t-0.1)}.$$

За размер молодых особей при выходе на сушу (*SVL_{met}*) принимали среднюю длину тела сеголетков сразу же после метаморфоза (*n* = 152; *SVL_{met}* = 12.8 мм) согласно собственным неопубликованным данным.

Оценку выживаемости (*S*) половозрелых жерлянок на основании распределения

возрастов определяли по формуле Робсона и Чепмена [16]:

$$S = T / (T + n - 1),$$

где *S* – годовая оценка выживаемости; $T = n_{i+1} + 2n_{i+2} + 3n_{i+3} + \dots$; $n = \sum n_i$, где n_i – число особей в возрастной группе *i* (начиная с 2+).

Ожидаемую продолжительность жизни (*ESP*) жерлянок оценивали по формуле Себера [17]:

$$ESP = 0.5 + 1 / (1 - S),$$

где *ESP* – ожидаемая продолжительность жизни; *S* – показатель выживаемости.

ESP может отличаться от максимального зарегистрированного возраста изученных особей.

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

На окрашенных препаратах все линии остановки роста были хорошо читаемы, что позволило с высокой надежностью определить индивидуальный возраст жерлянок (рис. 2). При размахе возраста половозрелых особей от 2 до 6 лет средний возраст в изученной выборке составил $3,90 \pm 1,09$ года. Модальный возраст жерлянок составлял 3,5 года (66%) (рис. 3А). Ожидаемая продолжительность жизни (*ESP*) после достижения половой зрелости составила также 3,5 года при годовой выживаемости особей (*S*) 0,663.

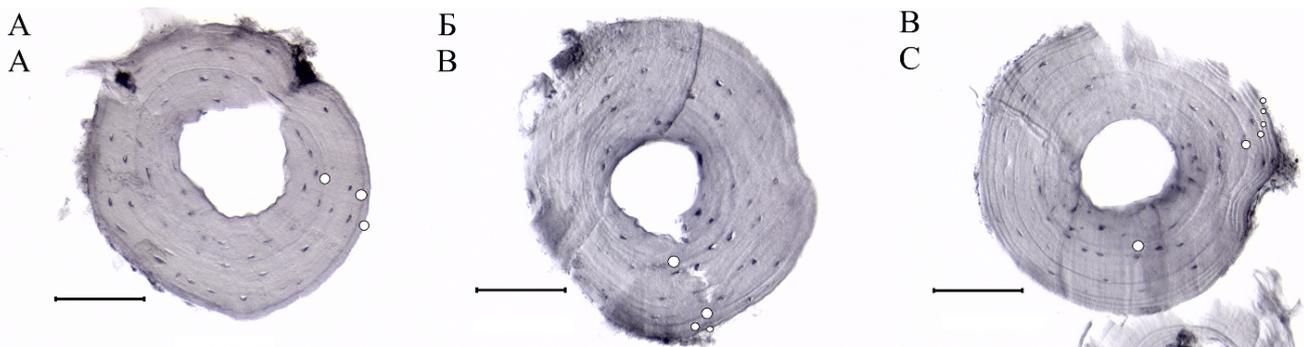


Рис. 2. Поперечные срезы фаланг пальцев краснобрюхой жерлянки:

А – трехлетняя особь (длина тела – 45,40 мм); Б – четырехлетняя особь (длина тела – 45,46 мм); В – шестилетняя особь (длина тела – 49,86 мм). Длина шкалы составляет 0,1 мм

Fig. 2. Cross section of fire-bellied toad finger phalanges:

(A) Three-year-old individual (body length = 45.40 mm); (B) Four-year-old individual (body length = 45.46 mm); (C) Six-year-old individual (body length = 49.86 mm). Scale bar = 0.1 mm

⁷ Смирин Э.М. Методика определения возраста амфибий и рептилий по слоям в кости // Щербак Н.Н. Руководство по изучению земноводных и пресмыкающихся. Киев, 1989. С. 144-153.

⁸ Von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth (Inquires on growth laws. II). *Human Biology*. 1938;10:181-213.

Анализируя данные по максимальному возрасту особей в популяциях краснобрюхой жерлянки, полученные нами и другими исследователями (табл.), можно отметить значительное снижение этого показателя после 1990-х гг. Вполне вероятно, что выявленные изменения могут быть вызваны не столько ухудшением состояния популяций, сколько сменой методики исследований. Так, до появления метода скелетохронологии или проведения долгосрочного мониторинга (>10 лет) одной популяции продолжительность жизни краснобрюхих жерлянок определили по длине тела в 3,5 года в популяции Московской области⁹, и 4 года – в популяции лесостепной зоны Украины¹⁰. Впоследствии Э.М. Смириной [18] было показано, что возраст земноводных действительно связан с длиной тела, но не предсказывает его. Если в работах 1969-1993 гг. возраст определяли мечением с повторным отловом, то впоследствии – при помощи скелетохронологии. Ранее было показано [5], что надежность метода скелетохронологии для земноводных, живущих до 7 лет, составляет в среднем 86,2% (размах – 29-100%), а с увеличением реальной продолжительности жизни особей надежность снижается вплоть до нуля. Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о том, что жерлянки из Калининградской области имеют схожие с конспецификами из других популяций возрастные показатели: приступают к размножению после второй зимовки и могут доживать до 6 и, вероятно, более лет (табл.).

Ранее К. Фог¹¹ отмечал, что краснобрюхие жерлянки в Дании достигают половой зрелости после второй зимовки при длине тела 33 мм (самцы) – 36 мм (самки), а длина тела размножающихся особей варьирует от 33 до 56 мм. Точно такие же результаты были получены Э.В. Антонюк и И.М. Панченко [12] для жерлянок в Окском государственном природном биосферном заповеднике: особи приступали к размножению после второй или третьей зимы при длине тела 35 мм (самцы) – 36 мм (самки). Длина тела изученных нами жерлянок из Калининградской области изменялась в пределах от 34,80 мм до 52,35 мм (среднее – 46,58±3,52 мм), зависела от возраста ($r = 0,412$, $p = 0,024$), но не предсказывала его ($R^2 = 0,210$). Модель роста фон Бергаланфи надежно описывала рост краснобрюхих жерлянок ($R^2 = 0,981$): средняя предельная длина тела (SVL_{max}) составила 48,69±0,67 мм ($p < 0,001$), а коэффициент ро-

ста (k) – 0,835±0,087 ($p < 0,001$) (рис. 3Б). Интересно, что средняя и предельная длина у жерлянок из Калининградской области была больше, чем у животных из Франции (средняя длина тела – 35,6-37,2 мм, SVL_{max} – 40,05-41,02 мм [15]), Дании (средняя длина тела – 40,6 мм [19]), Польши (средняя длина тела – 40,7 мм¹²), Закарпатья и Прикарпатья (средняя длина тела – 42,1 мм¹³), Румынии (средняя длина тела – 36,6-41,2 мм, SVL_{max} 39-40 мм [19, 32]), Болгарии (средняя длина тела – 36,4-36,5 мм [14]), Турции (средняя длина тела – 34,6-35,9 мм, SVL_{max} 35 мм [14]), Республики Мордовии (средняя длина тела – 40,2-41,1 мм¹⁴), Республики Татарстан (средняя длина тела – 40,9-43,4 мм¹⁵), Самарской области (средняя длина тела – 35,7-38,2 мм [21]), Западного Предкавказья (средняя длина тела – 37,8-39,0 мм [20]), Центрального Предкавказья (средняя длина тела – 37,9 мм¹⁶).

Традиционно считается [22, 23], что более крупные особи одного вида земноводных имеют большую вероятность выживания в период зимовки. Согласно правилу Бергмана¹⁷ размеры тела близкородственных наземных теплокровных позвоночных в холодном климате будут больше, а в теплом климате – меньше. Вопрос о том, подчиняются ли правилу Бергмана эктотермные организмы, до сих пор остается дискуссионным. Доказательства того, что земноводные в целом подчиняются правилу Бергмана, отсутствуют, но для отдельных видов это было показано [24]. Таким образом, увеличенные в сравнении с другими изученными популяциями показатели роста у *B. bombina* в Калининградской области могут являться адаптивным ответом на существование в суровых условиях пессимума ареала на востоке Балтийского региона.

¹² Dobrowolska H. Bode-part proportions to the mode of locomotion in Anurans. *Zoologica Poloniae*. 1973;23:59-108.

¹³ Щербак Н.Н., Щербань М.И. *Земноводные и пресмыкающиеся Украинских Карпат*. Киев: Наукова думка, 1980. 268 с.

¹⁴ Ручин А.Б., Рыжов М.К. *Амфибии и рептилии Мордовии: видовое разнообразие, распространение, численность*: Монография. Саранск: Издательство Мордовского университета, 2006. 160 с.

¹⁵ Гаранин В.И. К экологии краснобрюхой жерлянки // *Природные ресурсы Волжско-Камского края: Животный мир*. Казань: Издательство Казанского университета, 1971. № 3. С. 94-104.

¹⁶ Высотин А.Г., Тертышников М.Ф. *Земноводные Ставропольского края // Животный мир Предкавказья и сопредельных территорий*. Ставрополь: Издательство Ставропольского государственного педагогического института, 1988. С. 87-121.

¹⁷ Bergmann K.G.L.C. Über die Verhältnisse der wärmeökonomie der Thiere zu ihrer Größe. *Göttinger Studien*. 1847;3:595-708.

⁹ Банников А.Г. Возрастной состав популяции и его динамика у *Bombina bombina* L. // *Доклады Академии наук СССР*. 1950. Т. 70, № 1. С. 17-23.

¹⁰ Гончаренко А.Е. Зависимость размеров некоторых земноводных от их возраста // *Вестник зоологии*. 1979. № 4. С. 46-50.

¹¹ Fog K. *Bombina bombina* in Dänemark – verbreitung, bestandssituation und lebensweise. *Rana*. 1993;1:123-131.

Таблица / Table

Показатели возраста и роста *Bombina bombina* из разных локалитетов:

n – количество особей; SD – стандартное отклонение; SVL_{max} – предельная длина тела; SE – стандартная ошибка; k – коэффициент роста

Age and growth parameters of the *Bombina bombina* from different localities.

n – number of individuals, SD – standard deviation, SVL_{max} – asymptotic size, SE – standard error, k – growth coefficient

Локалитет Locality	Год Year	Пол Sex	n	Сред- ний возраст Mean age	SD	Возраст достижения половой зрелости Maturity age	Продол- жительность жизни Longevity	Средняя длина тела Mean body length	SD	SVL _{max}	SE	k	SE	Метод определения возраста Method of age determination	Источник Reference
Волжско-Камский государственный природный заповедник, Республика Татарстан, Россия Volzhsko-Kamsky State Natural Biosphere Reserve, Republic of Tatarstan, Russia	1958-1973	самки female	–	–	–	2	11	43.4	–	–	–	–	–	отлов-мечение- повторный отлов capture-mark- recapture	[11, 12]
		самцы males						40.9							
Окский государственный природный биосферный заповедник, Рязанская область, Россия Oka Nature Reserve, Ryazan Oblast, Russia	1971-1989	самки females	>50	3-4	–	2-3	12	46.5	–	–	–	–	–	отлов-мечение- повторный отлов capture-mark- recapture	[13, 14]
		самцы males						48.2							
Дания Denmark	1970-1990	самки + самцы females + males	>50	–	–	2	12	–	–	–	–	–	–	отлов-мечение- повторный отлов capture-mark- recapture	[15]
Малый остров Брэила, г. Брэила, регион Мунтения, Румыния Insula Mică a Brăilei, Brăila, Muntenia region, Romania	1995	самки females	20	3.4	1.04	2	5	36.8	2.9	39	–	1.02	–	скелетохронология skeletochronology	[16]
		самцы males	13	3.4	0.93	2	5	36.6	2.9	40	–	0.95	–		

Окончание табл. / Table finished

Локалитет Locality	Год Year	Пол Sex	n	Сред- ний возраст Mean age	SD	Возраст достижения половой зрелости Maturity age	Продол- жительность жизни Longevity	Средняя длина тела Mean body length	SD	SVL _{max}	SE	k	SE	Метод определе- ния возраста Method of age determination	Источник Reference
д. Дегирменъени, г. Эдирне, ил Эдирне, Турция Değirmenüeni, Edirne, province of Edirne, Turkey	2015	самки	15	4.5	1.06	3	7	34.9	2.64	35	–	–	–	скелетохронология skeletochronology	[17]
		самцы	20	4.1	1.25	2	6	34.6	3.83	35	–	–	–		
		самки + самцы females + males	35	4.2	1.19	2	7	–	–	–	–	–	–		
Коммуна Альбестрофф, департамент Мозль, Франция Albestroff, Moselle Department, France	2016	самки females	14	3.1	1.2	2	5	37.2	3.7	41.02	0.95	1.09	0.17	скелетохронология skeletochronology	[18]
		самцы males	13	2.3	0.9	2	5	35.6	2.7	40.05	2.21	1.35	0.38		
пос. Большаковское, Багратионовский район Калининградской области, Россия Bolshakovskoe settlement, Bagrationovsky District, Kaliningrad Oblast, Russia	2024	самки + самцы females + males	30	3.90	1.09	2	6	46.58	3.52	48.69	0.67	0.84	0.09	скелетохронология skeletochronology	данные авторов статьи authors' data

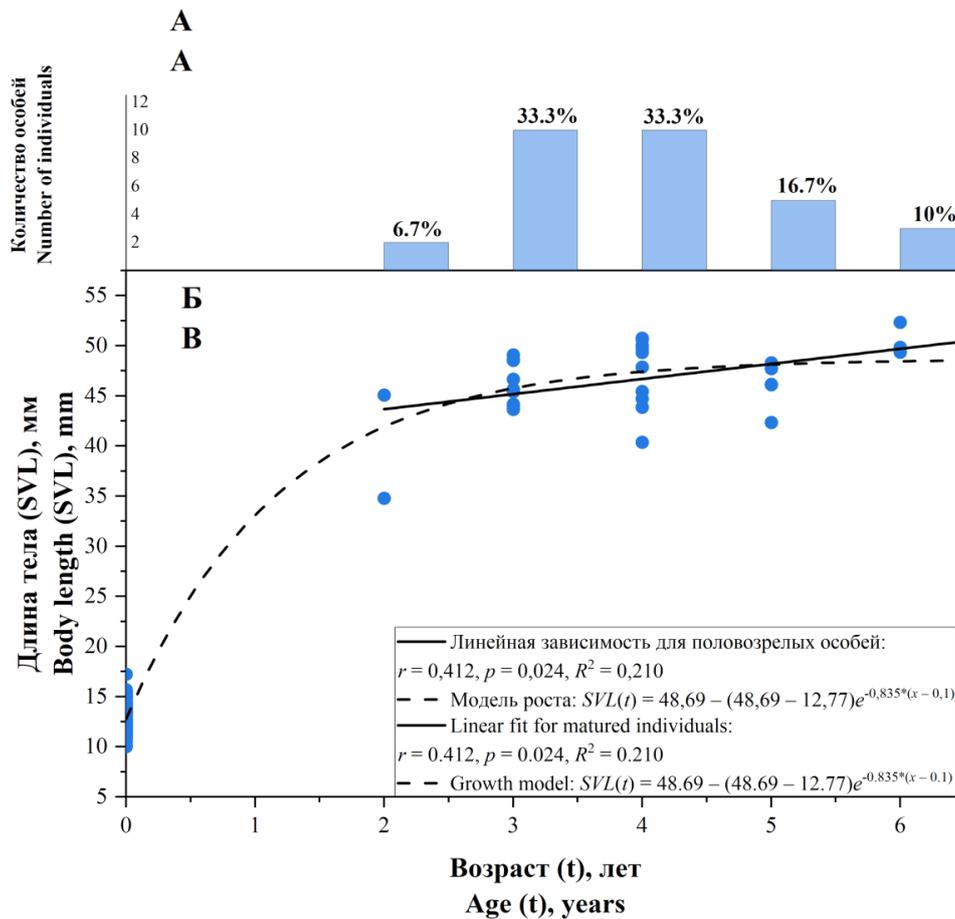


Рис. 3. Возрастная структура и рост краснобрюхой жерлянки:

А – гистограмма количества особей в каждой возрастной группе;

Б – линейная зависимость длины тела (SVL) от возраста и модель роста, основанная на уравнении фон Бергаланфи

Fig. 3. Age structure and growth of the fire-bellied toads:

(A) Histograms of individuals in each age class.

(B) Linear dependence of body length (SVL) on age and growth model, based on the von Bertalanffy's model

Выводы

Conclusions

Таким образом, проведенные исследования показали, что краснобрюхие жерлянки из Калининградской области имеют схожую с особями из других

популяций жизненную стратегию, характеризующуюся половым созреванием после второй зимовки с продолжительностью жизни 6 лет и более. При этом в ответ на суровые условия северной периферии ареала жерлянки заметно (в некоторых случаях более чем на 25%) увеличиваются в размерах тела.

Список источников

1. Luedtke J.A., Chanson J., Neam K., Hobin L. 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/s41586-023-06851-6>
2. IUCN SSC Amphibian Specialist Group. *Bombina bombina* // *The IUCN Red List of Threatened Species 2023*. e.T2865A89699662. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2023-1.RLTS.T2865A89699662.en>. URL: <https://www.iucnredlist.org/species/2865/89699662> (дата обращения: 06.07.2025)

References

1. Luedtke J.A., Chanson J., Neam K., Hobin L. 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/s41586-023-06851-6>
2. IUCN SSC Amphibian Specialist Group. *Bombina bombina*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2023*. e.T2865A89699662. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2023-1.RLTS.T2865A89699662.en> URL: <https://www.iucnredlist.org/species/2865/89699662> (accessed: July 06, 2025)

3. Кузьмин С.Л. *Земноводные бывшего СССР: Монография*. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Товарищество научных изданий КМК», 2012. 370 с. EDN: YNDCGL
4. Brum A., Loebens L., Santos M.B., Cechin S.Z. First record of growth rings for 11 native subtropical anuran species of South America. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2019;91(4): e20190154. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920190154>
5. Sinsch U. Review: skeletochronological assessment of demographic life-history traits in amphibians. *Herpetological Journal*. 2015;25(1):5-13. EDN: VFZWKB
6. Степанкова И.В., Африн К.А., Сайтов В.Р., Иволга Р.А. 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). С. 71-82. <https://doi.org/10.26456/vtbio346>
7. Степанкова И.В., Африн К.А., Сайтов В.Р., Иволга Р.А. и др. Возрастная структура, рост и плодовитость обыкновенной жабы (*Bufo bufo*, Amphibia, Anura, Bufonidae) в Новой Москве // *Вестник Тверского государственного университета. Серия «Биология и экология»*. 2024. № 2 (74). С. 75-86. <https://doi.org/10.26456/vtbio363>
8. Zamaletdinov R., Svinin A., Fayzulin A., Ermakov O. et al. Age structure of water frogs of the genus *Pelophylax* in the middle Volga River region (European Russia). *Animals*. 2025;15(9):1273. <https://doi.org/10.3390/ani15091273>
9. 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. Т. 213. С. 85-90. EDN: PWNVLH
10. Кидов А.А., Иволга Р.А., Кондратова Т.Э. Возрастная структура и рост дальневосточной лягушки (*Rana dybowskii*) в городской популяции на юге Приморского края // *Трансформация экосистем*. 2025. Т. 8, № 3. С. 138-150. <https://doi.org/10.23859/estr-240305>
11. Иволга Р.А., Кидов А.А., Кондратова Т.Э. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625977, Российская Федерация. Возраст земноводных в популяциях Северной Евразии / Заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева». EDN: JREFKS
3. Kuzmin S.L. *Amphibians of the former Soviet Union: a monograph*. Moscow, Russia: KMK Scientific Press, 2012:370. (In Russ.)
4. Brum A., Loebens L., Santos M.B., Cechin S.Z. First record of growth rings for 11 native subtropical anuran species of South America. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2019;91(4): e20190154. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201920190154>
5. Sinsch U. Review: skeletochronological assessment of demographic life-history traits in amphibians. *Herpetological Journal*. 2015;25(1):5-13.
6. Stepankova I.V., Afrin K.A., Saitov V.R., Ivolga R.A. 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>
7. Stepankova I.V., Afrin K.A., Saitov V.R., Ivolga R.A. et al. Age structure, growth and fertility of the common toad (*Bufo bufo*, Amphibia, Anura, Bufonidae) in the New Moscow. *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2024;(2(74)):75-86. <https://doi.org/10.26456/vtbio363>
8. Zamaletdinov R., Svinin A., Fayzulin A., Ermakov O. et al. Age structure of water frogs of the genus *Pelophylax* in the middle Volga River region (European Russia). *Animals*. 2025;15(9):1273. <https://doi.org/10.3390/ani15091273>
9. 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. Bauman*. 2013;213:85-90. (In Russ.)
10. Kidov A.A., Ivolga R.A., Kondratova T.E. Age structure and growth of the Far Eastern tree frog (*Rana dybowskii*) from the urban population in the south of Primorsky Krai. *Ecosystem Transformation*. 2025;8(3):138-150. (In Russ.) <https://doi.org/10.23859/estr-240305>
11. Database registration certificate No. 2024625977 (Russian Federation): The amphibians age in Northern Eurasia populations. Ivolga R.A., Kidov A.A., Kondratova T.E., 2024. (In Russ.)

12. Антонюк Э.В., Панченко И.М. *Земноводные и пресмыкающиеся Рязанской области // Труды Окского государственного природного биосферного заповедника*. Рязань: НП «Голос губернии», 2014. 168 с. EDN: TEZMRI
13. 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>
14. Bülbül U., Eroğlu A.İ., Kurnaz M., Kaya Z.M. et al. Age structure and some growth parameters in a population of *Bombina bombina* (L., 1761) from Turkey. *Russian Journal of Herpetology*. 2018;25(3):221-226. <https://doi.org/10.30906/1026-2296-2018-25-3-221-226>
15. Cogălniceanu D., Stănescu F., Eggert C. Aging and growth outside the comfort zone: the case of alien fire-bellied toads in France. *The European Zoological Journal*. 2024;91(1):142-150. <https://doi.org/10.1080/24750263.2024.2304269>
16. 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](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1961)90[181:CCAMR]2.0.CO;2)
17. Seber G.A.F. *The estimation of animal abundance and related parameters*. London, England: Griffin. 1973:506. <https://doi.org/10.1126/science.184.4137.686>
18. Smirina E.M. Age determination and longevity in amphibians. *Gerontology*. 1994;40(2-4):133-146. <https://doi.org/10.1159/000213583>
19. Пескова Т.Ю., Бобровский В.В., Бахарев В.А. Сравнительно-географический анализ краснобрюхой и дальневосточной жерлянок из разных частей ареала // *Современные экологические проблемы устойчивого развития Полесского региона и сопредельных территорий: наука, образование, культура: Материалы III Международной научно-практической конференции*. Мозырь: Издательство Мозырского государственного педагогического университета им. И.П. Шамякина, 2007. Ч. 1. С. 190-193. EDN: NCMFIT
20. Пескова Т.Ю., Желев Ж.М. Размеры краснобрюхой жерлянки *Bombina bombina* Linnaeus, 1761 (Amphibia, Anura, Discoglossidae) у южной границы ареала вида // *Поволжский экологический журнал*. 2010. № 4. С. 447-451. EDN: NCMFIT
21. Файзулин А.И. Морфометрическая характеристика краснобрюхой жерлянки *Bombina bombina* (Anura, Amphibia) Самарской области // *Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии*. 2022. Т. 31, № 3. С. 74-78. <https://doi.org/10.24412/2073-1035-2022-10457>
12. Antonyuk E.V., Panchenko I.M. *Amphibians and reptiles of the Ryazan Region: a monograph*. In: *Works of the Oksky State Natural Biosphere Zapovednik*. Ryazan, Russia: NP “Golos gubernii”, 2014:168. (In Russ.)
13. 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>
14. Bülbül U., Eroğlu A.İ., Kurnaz M., Kaya Z.M. et al. Age structure and some growth parameters in a population of *Bombina bombina* (L., 1761) from Turkey. *Russian Journal of Herpetology*. 2018;25(3):221-226. <https://doi.org/10.30906/1026-2296-2018-25-3-221-226>
15. Cogălniceanu D., Stănescu F., Eggert C. Aging and growth outside the comfort zone: the case of alien fire-bellied toads in France. *The European Zoological Journal*. 2024;91(1):142-150. <https://doi.org/10.1080/24750263.2024.2304269>
16. 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](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1961)90[181:CCAMR]2.0.CO;2)
17. Seber G.A.F. *The estimation of animal abundance and related parameters*. London, England: Griffin. 1973:506. <https://doi.org/10.1126/science.184.4137.686>
18. Smirina E.M. Age determination and longevity in amphibians. *Gerontology*. 1994;40(2-4):133-146. <https://doi.org/10.1159/000213583>
19. Peskova T.Yu., Bobrovsky V.V., Bakharev V.A. Comparative geographical analysis of fire-bellied and oriental fire-bellied toads from different parts of the range. III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya ‘Sovremennye ekologicheskie problemy ustoychivogo razvitiya Poleskogo regiona i sopredelnykh territoriy: nauka, obrazovaniye, kultura’. Mozyr, Belarus: Mozyr State Pedagogical University named after I.P. Shamiakin, 2007;1:190-193. (In Russ.)
20. Peskova T.Yu., Zhelev Zh.M. Body size of *Bombina bombina* Linnaeus, 1761 (Amphibia, Anura, Discoglossidae) near its habitat’s southern border. *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2010;(4):447-451. (In Russ.)
21. Fayzulin A.I. Morphometric characteristics of the fire-bellied toad *Bombina bombina* (Anura, Amphibia) of the Samara Region. *Samarskaya Luka: problemy regionalnoy i globalnoy ekologii*. 2022;31(3):74-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2073-1035-2022-10457>

22. Fitzpatrick M.J., Porter W.P., Pauli J.N. et al. Future winters present a complex energetic landscape of decreased costs and reduced risk for a freeze-tolerant amphibian, the wood frog (*Lithobates sylvaticus*). *Global Change Biology*. 2020;26(11):6350-6362. <https://doi.org/10.1111/gcb.15321>
23. Reading C.J. Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*. 2007;151:125-131. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0558-1>
24. Ashton K.G. Do amphibians follow Bergman's rule? *Canadian Journal of Zoology*. 2011;80(4):708-716. <https://doi.org/10.1139/z02-049>
22. Fitzpatrick M.J., Porter W.P., Pauli J.N. et al. Future winters present a complex energetic landscape of decreased costs and reduced risk for a freeze-tolerant amphibian, the wood frog (*Lithobates sylvaticus*). *Global Change Biology*. 2020;26(11):6350-6362. <https://doi.org/10.1111/gcb.15321>
23. Reading C.J. Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*. 2007;151:125-131. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0558-1>
24. Ashton K.G. Do amphibians follow Bergman's rule? *Canadian Journal of Zoology*. 2011;80(4):708-716. <https://doi.org/10.1139/z02-049>

Сведения об авторах

Роман Александрович Иволга, ассистент кафедры зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: romanivolga@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2050-5279>

Даниил Андреевич Мальнов, студент Института зоотехнии и биологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: malnovdan@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-6199-4717>

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

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

Information about the authors

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

Daniil A. Malnov, student of the Institute of Zootechnics and Biology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation; e-mail: malnovdan@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-6199-4717>

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

Artem A. Kidov, CSc (Bio), Associate Professor, Head of the Department of Zoology, 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>

Статья поступила в редакцию 07.02.2025
Одобрена после рецензирования 23.03.2025
Принята к публикации 29.03.2025

The article was submitted to the editorial office
February 02, 2025
Approved after reviewing March 23, 2025
Accepted for publication March 29, 2025