

**ТИМИРЯЗЕВСКИЙ**  
**БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**  
**TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL**

**Том 4. № 1 / 2026**

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

Основан в 2023 году  
4 номера в год

Журнал включен в Российский индекс  
научного цитирования (РИНЦ)

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

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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ НАУЧНЫЙ РЕДАКТОР:

**Кидов А.А.**, д.б.н., доцент  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия)  
**Трухачев В.И.**, д.с.-х.н., д.э.н., академик РАН, профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Селионова М.И.**, д.б.н., профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Валентини Р.**, доктор наук, PhD, профессор  
(1 – РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;  
2 – Университет Туссии, Витербо, Италия);  
**Фэнг Баили**, доктор наук, PhD, профессор  
(Северо-западный университет сельского и лесного  
хозяйства, Янлин, пров. Шэньси, Китай);  
**Абдуллаева А.М.**, д.б.н., доцент (РОСБИОТЕХ, Москва, Россия);  
**Белопухов С.Л.**, д.с.-х.н., профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Блохин Г.И.**, д.с.-х.н., профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Бондорина И.А.**, д.б.н., в.н.с.  
(ГБС РАН им. Н.В. Цицина, Москва, Россия);  
**Васенев И.И.**, д.б.н., профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Васильева О.Ю.**, д.б.н., доцент  
(ЦБС СО РАН, Новосибирск, Россия);  
**Вертипрахов В.Г.**, д.б.н., доцент  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Денисова Т.В.**, д.б.н., доцент (ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия);  
**Джалилов Ф.С.**, д.б.н., профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Дивашук М.Г.**, к.б.н.,  
(1 – РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;  
2 – ВНИИСБ, Москва, Россия);  
**Дубенок Н.Н.**, д.с.-х.н., академик РАН, профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Думачева Е.В.**, д.б.н., доцент  
(ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», Лобня, Россия);  
**Загарин А.Ю.**,  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Иволга Р.А.**,  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Калугина С.В.**, к.б.н., доцент (НИУ «БелГУ», Белгород, Россия);  
**Каменский П.А.**, д.б.н., профессор  
(МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия);  
**Карлов Г.И.**, д.б.н., академик РАН, профессор  
(ВНИИСБ, Москва, Россия);  
**Киракосян Р.Н.**, к.б.н., доцент  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Ким А.И.**, д.б.н., профессор  
(МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия);

**Козлов А.В.**, д.б.н., доцент  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Кособрых А.А.**, д.б.н., в.н.с.  
(ФИЦ ПНЦБИ РАН, Пущино, Россия);  
**Костомахин Н.М.**, д.б.н., профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Котова И.Б.**, д.б.н., профессор  
(МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия);  
**Ксенофонтов Д.А.**, д.б.н., доцент  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Латынина Е.С.**, к.в.н.  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Лебедев А.В.**, д.с.-х.н., доцент  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Мазиров М.А.**, д.б.н., профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Малородов В.В.**, к.с.-х.н.  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Маннапов А.Г.**, д.б.н., профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Маннапова Р.Т.**, д.б.н., профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Новиков Н.Н.**, д.б.н., профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Остренко К.С.**, д.б.н., в.н.с.  
(ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста, Подольск, Россия);  
**Поливанова О.Б.**, к.б.н.,  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Рожнов В.В.**, д.б.н., академик РАН, г.н.с.  
(ИПЭЭ РАН имени А.Н. Северцова);  
**Русанов А.М.**, д.б.н., профессор (ОГУ, Оренбург, Россия);  
**Селицкая О.В.**, к.б.н., доцент  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Соловьев А.А.**, д.б.н., профессор  
(ФГБУ «ВНИИКР», Быково, Россия);  
**Соломонова Е.В.**, к.б.н., доцент  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Тараканов И.Г.**, д.б.н., профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Тихонова М.В.**, к.б.н., доцент  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Ткачев А.В.**, д.с.-х.н., с.н.с.  
(АТИ РУДН, Москва, Россия);  
**Халилуев М.Р.**, к.б.н., доцент (ВНИИСБ, Москва, Россия);  
**Чередниченко М.Ю.**, к.б.н., доцент  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия);  
**Юлдашбаев Ю.А.**, д.с.-х.н., академик РАН, профессор  
(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия)

РЕДАКЦИЯ

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

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

**TIMIRYAZEV**  
**BIOLOGICAL JOURNAL**  
ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**Vol. 4(1)/2026**

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

Founded in 2023  
Four issues per year

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD:

EDITOR-IN-CHIEF:

Assoc. Prof. **Artem A. Kidov**, DSc (Bio),  
(RSAU-MTAA, Moscow, Russia)  
Prof. **Vladimir I. Trukhachev**, DSc (Ag), DSc (Econ), Member of RAS,  
(RSAU-MTAA, Moscow, Russia);  
Prof. **Marina I. Selionova**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);  
Prof. **Riccardo Valentini**, DSc, PhD (Italy),  
(1 – RSAU-MTAA, Moscow, Russia;  
2 – University of Tuscia, Viterbo, Italy);  
Prof. **Feng Baili**, DSc (Bio), PhD,  
(Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling,  
Shaanxi, China)  
Assoc. Prof. **Asiyat M. Abdullaeva**, DSc (Bio),  
(ROSBIOTECH, Moscow, Russia);  
Prof. **Sergei L. Belopukhov**, DSc (Ag),  
(RSAU-MTAA, Moscow, Russia);  
Prof. **Gennadiy I. Blokhin**, DSc (Ag), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);  
LRA **Irina A. Bondorina**, DSc (Bio),  
(The Main Botanical Garden, Moscow, Russia);  
Prof. **Ivan I. Vasenev**, DSc (Bio), (RSAU-MTAA, Moscow, Russia);  
Assoc. Prof. **Olga Yu. Vasilyeva**, DSc (Bio),  
(Research Library of TSU, Novosibirsk, Russia);  
Assoc. Prof. **Vladimir G. Vertiprakhov**, DSc (Bio),  
(RSAU-MTAA, Moscow, Russia);  
Assoc. Prof. **Tatyana V. Denisova**, DSc (Bio),  
(SFedU, Rostov-on-Don, Russia);  
Prof. **Fevzi S. 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 – **Roman A. Ivolga**  
Editor – **Vera I. Markovskaya**  
Translation into English – **Natalya A. Sergeeva**  
Computer design and making-up – **Annetta S. Lavrova**  
Journal cover design – **Peter. R. Atanasov**

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

## СОДЕРЖАНИЕ

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЯ

- Научная статья .....101  
**Курбонов К.Ч., Аманова Г.И., Матчанов А.Д.,  
 Зиявитдинов Ж.Ф., Сагдиев Н.Ж.**  
 Накопления элементов в системе «Почва-растение» *Capparis spinosa* L., произрастающего в различных регионах: сравнительный аспект
- Научная статья .....102  
**Amarzaya Lkhagvasuren, Oyunbileg Lkhagvasuren**  
 Анализ аминокислотного состава бараньих субпродуктов с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии
- Обзорная статья .....103  
**Алексеев В.Р., Максимова О.Б., Чабан О.А.**  
 Портативная система фильтрации для определения хлорофилла в экспедиционных условиях и криоконсервация проб
- Научная статья .....104  
**Михалин П.А., Гудков П.М., Алдобаев Е.Е., Данилова Е.А.**  
 Особенности воспроизводства стерляди (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) в условиях Мансуровского рыбоводного хозяйства
- Научная статья .....105  
**Руденко Е.Ю., Милютин М.В., Агаркова А.А., Кубатбеков Т.С.**  
 Изменения процесса пролиферации кардиомиоцитов озерной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) под действием ионов кадмия

## БОТАНИКА, ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

- Научная статья .....201  
**Муратаев Р.А., Насимович Ю.А.**  
 Инвентаризация культивируемых и спонтанно растущих тополей в городах Московского региона

## ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ

- Научная статья .....301  
**Алтухова Н.С., Подвальнова Д.С.**  
 Синдром ранней мышечной слабости голштинского скота: молекулярные механизмы, эпидемиология и стратегии контроля
- Научная статья .....302  
**Оздемиров А.А.**  
 Маркерная оценка внутривидового родства и сигналов недавнего демографического сужения у овец андийской породы по данным 12-локусной STR-панели

## ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

- Научная статья .....401  
**Никитченко С.Ю., Сорокин Д.В., Исмаил Саид-Хасанович Мусаев**  
 Физиологические механизмы адаптации организма студентов к силовым нагрузкам
- Научная статья .....402  
**Никифорова О.Н., Маркин Э.В.**  
 Влияние занятий разными видами двигательной деятельности на биоэлектрическую активность миокарда у студентов
- Научная статья .....403  
**Черников Д.С., Брагин М.А., Веселова Н.А.**  
 Обогащение среды кустарниковых собак (*Speothos venaticus* Lund, 1842) в Московском зоопарке

## CONTENTS

## BIOLOGICAL RESOURCES, ECOLOGY

- Original article .....101  
**Kamoliddin Ch. Kurbonov, Guzal I. Amanova, Alimzhon D. Matchanov,  
 Zhamolitdin F. Ziyavitdinov, Nail Zh. Sagdiev**  
 Elemental composition in the “soil-plant” system of *Capparis spinosa* L. growing in different regions: a comparative aspect
- Original article .....102  
**Amarzaya Lkhagvasuren, Oyunbileg Lkhagvasuren**  
 Analysis of amino acid composition in sheep by-products by High-Performance Liquid Chromatography
- Review article .....103  
**Viktor R. Alekseev, Olga B. Maksimova, Olga A. Chaban**  
 Portable filtration system for chlorophyll determination in expeditionary conditions and cryopreservation of samples
- Research article .....104  
**Pavel A. Mikhalin, Pavel M. Gudkov,  
 Egor E. Aldobaev, Elena A. Danilova**  
 Reproduction features of sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) in the Mansurovsky Fish Farm
- Research article .....105  
**Elena Yu. Rudenko, Maksim V. Milyutin,  
 Alisa A. Agarkova, Tursumbai S. Kubatbekov**  
 Changes in cardiomyocyte proliferation process of the lake frog *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) under the effect of cadmium ions

## BOTANY, PLANT PHYSIOLOGY

- Original article .....201  
**Ramil A. Murataev, Yuri A. Nasimovich**  
 Inventory of cultivated and spontaneously growing poplar trees in cities of the Moscow Region

## GENETICS, BIOTECHNOLOGY, BIOCHEMISTRY

- Original article .....301  
**Natalia S. Altukhova, Daria S. Podvalnova**  
 Early-onset muscle weakness syndrome in Holstein cattle: molecular mechanisms, epidemiology, and control strategies
- Original article .....302  
**Alimsoltan A. Ozdemirov**  
 Marker-based assessment of intra-flock relatedness and signals of recent demographic bottleneck in Andi sheep using a 12-Locus STR panel

## ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

- Original article .....401  
**Sergey Yu. Nikitchenko, Denis V. Sorokin, Ismail S.-Kh. Musaev**  
 Physiological mechanisms of students’ adaptation to strength training
- Original article .....402  
**Olga N. Nikiforova, Eduard V. Markin**  
 Effect of different motor performance on myocardium bioelectric activity in students
- Original article .....403  
**Dmitriy S. Chernikov, Mikhail A. Bragin, Natalya A. Veselova**  
 Environmental enrichment for bush dogs (*Speothos venaticus* Lund, 1842) at the Moscow Zoo

Научная статья  
УДК 631.4:581.192.4: 581.5  
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-01>



## Накопления элементов в системе «Почва-растение» *Capparis spinosa* L., произрастающего в различных регионах: сравнительный аспект

Камолиддин Чориевич Курбонов, Гузал Икромовна Аманова,  
Алимжон Давлатбоевич Матчанов, Жамолитдин Фазлитдинович Зиявитдинов,  
Наиль Жадитович Сагдиев

Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Автор, ответственный за переписку: Зиявитдинов Жамолитдин Фазлитдинович,  
[Jamolitdin@mail.ru](mailto:Jamolitdin@mail.ru)

### Аннотация

*Capparis spinosa* L. представляет собой ксерофитный вид, обладающий высокой устойчивостью к засухе, экстремальным температурам и дефициту почвенной влаги. Благодаря своим биологическим особенностям растение эффективно предотвращает эрозию почв и сдерживает процессы деградации земель. Работа посвящена изучению роли минерального обмена в адаптации *C. spinosa* к условиям засоления. На основе сравнительного анализа элементного состава почв и вегетативных органов растений, отобранных в контрастных экотопах, выявлены ключевые механизмы солеустойчивости данного вида. В почвах и образцах *C. spinosa* идентифицированы и количественно определены 25 элементов: 9 макроэлементов (K, Ca, Na, Mg, Fe, Al, Sr, S, P), 12 микроэлементов и 4 тяжелых металла (Pb, Cd, Cr, Hg). Содержание макроэлементов в почвах уменьшалась в такой последовательности: Ca, Fe, Al, K, Na, Mg, Sr, P, S. В исследуемых образцах *C. spinosa* обнаружена высокоэффективная аккумуляция калия (K) (КБП > 10), тогда как для серы (S), фосфора (P) и натрия (Na) проявляются свойства гипераккумуляции (КБП > 1.0-10.0), а для магния (Mg) и стронция (Sr) средней аккумуляцией (КБП > 0.1-1.0). *C. spinosa* аккумулирует кальций (Ca), железо (Fe) и алюминий (Al) в ограниченных количествах для осуществления метаболических процессов (КБП > 0.01-0.1).

### Ключевые слова

*Capparis spinosa*, макроэлементы, микроэлементы, соли тяжелых металлов, Аралкум, почвенный разрез, ICP-OES, Коэффициент Биологического Поглощения (КБП)

### Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова. Дополнительное финансирование (гранты) на проведение данных исследований не привлекалось.

### Для цитирования

Курбонов К.Ч., Аманова Г.И., Матчанов А.Д. и др. Накопления элементов в системе «Почва-растение» *Capparis spinosa* L., произрастающего в различных регионах: сравнительный аспект. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):101. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-01>



## Elemental composition in the “soil-plant” system of *Capparis spinosa* L. growing in different regions: a comparative aspect

Kamoliddin Ch. Kurbonov, Guzal I. Amanova, Alimzhon D. Matchanov,  
Zhamolitdin F. Ziyavitdinov, Nail Zh. Sagdiev

Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov,  
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Corresponding author: Zhamolitdin F. Ziyavitdinov, Jamolitdin@mail.ru

*Capparis spinosa* L. is a xerophytic species with high resistance to drought, extreme temperatures, and soil moisture deficiency. Due to its biological characteristics, the plant effectively prevents soil erosion and land degradation. This study focuses on the role of mineral metabolism in the adaptation of *C. spinosa* to saline conditions. Based on a comparative analysis of the elemental composition of soils and vegetative plant organs sampled from contrasting ecotopes, the key mechanisms of salt tolerance in this species have been identified. In soils and *C. spinosa* samples, 25 elements were identified and quantified: nine macroelements (K, Ca, Na, Mg, Fe, Al, Sr, S, P), twelve microelements, and four heavy metals (Pb, Cd, Cr, Hg). The content of macroelements in soils decreased in the following sequence: Ca, Fe, Al, K, Na, Mg, Sr, P, S. In the studied *C. spinosa* samples, highly efficient potassium (K) accumulation was detected (BAC > 10), while sulfur (S), phosphorus (P), and sodium (Na) exhibited hyperaccumulation properties (BAC > 1.0-10.0). Magnesium (Mg) and strontium (Sr) showed moderate accumulation (BAC > 0.1-1.0). *C. spinosa* accumulates calcium (Ca), iron (Fe), and aluminium (Al) in limited quantities to support metabolic processes (BAC > 0.01-0.1).

### Keywords

*Capparis spinosa*, macroelements, microelements, heavy metal salts, Aralqum, soil profile, ICP-OES, Biological Absorption Coefficient (BAC)

### Финансирование

The study was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov. No additional funding (grants) was obtained for this research.

### For citation

Kurbonov K.Ch., Amanova G.I., Matchanov A.D. et al. Elemental composition in the “soil-plant” system of *Capparis spinosa* L. growing in different regions: a comparative aspect. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):101. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-01

## Введение

### Introduction

Макро- и микроэлементы поступают в растения в основном через корневую систему, при этом листовая поверхность также может участвовать в этом процессе. Почва является ключевым источником этих элементов, а их адсорбция корнями – основной путь поступления [1]. Эффективность поглощения элементов растениями определяется несколькими факторами включая агрофизические и агрохимические свойства почв, химическую природу самих элементов и физиологические особенности растений [2]. Растения являются эффективными накопителями минеральных соединений. Макроэлементы необходимы для структурного построения тканей, поддержания осмотического

давления, а также ионного и кислотно-основного баланса. Микроэлементы в свою очередь повышают устойчивость растительного организма к различным стрессовым факторам [3]. Семейство *Capparidaceae* включает в себя 350 видов, в том числе каперс колючую (*Capparis spinosa* L.). *C. spinosa* широко распространена в основном в Средиземноморском регионе, в Южной Европе, Северной Африке, Западной и Центральной Азии. Это ксерофитное многолетнее растение с колючей ветвистой, глубокой и широкой корневой системой [4].

Спиртовые экстракты органов растения *C. spinosa* обладают антиоксидантным [5, 9], гепатопротекторным [6], нейропротекторным [7], антибактериальным [8, 9], противогрибковым [5, 9], противораковым [12] и противовоспалительным [13] действием, также используются при лечении сахарного

диабета [11] и артрита [14]. Активные соединения, способствующие этим эффектам, в основном связаны с действием флавоноидов, фенольных кислот, алкалоидов, эфирных масел, жирных кислот и полисахаридов [15]. *C. spinosa* является устойчивой к засухе, высоким температурам и значительным потерям влаги в почве, а также весьма полезным видом для предотвращения эрозии почв и деградации земель [16].

Анализ структурных изменений минерального состава различных органов *C. spinosa* в период с апреля по сентябрь выявил пиковое накопление минералов в плодах к сентябрю [17]. Эти плоды, как и семена [18], демонстрируют высокое содержание микроэлементов. Важно отметить, что исследования также показали существенные различия в концентрациях металлов (в том числе тяжелых) и неметаллов между видами *C. spinosa* и *C. ovata*, произрастающими на двух разных территориях Турции [19].

В исследованиях *C. spinosa*, широко распространенного в Ферганской долине, было установлено, что наибольшее количество макро- и микроэлементов накапливается в плодах и цветках растения, а наименьшее – в корнях и корневой коре [20]. Также было проанализировано изменение содержания элементов в *C. spinosa* под влиянием свойств почвы, вида растения, природно-климатических условий и других факторов. Отмечены изменения в составе элементов в зависимости от физиологических особенностей органов растения [21].

Исследования показали, что в почвах Приаралья наблюдается постоянное увеличение концентрации минеральных солей включая сульфаты, хлориды, карбонаты и нитраты. Это свидетельствует о продолжающихся процессах почвообразования, которые в свою очередь оказывают воздействие на формирование растительного покрова [22].

Усвоение растениями минеральных элементов из почвы выражается через Коэффициент Биологического Поглощения (КБП). Для его расчета используется следующая формула:  $КБП = \frac{C_{растение}}{C_{почва}}$ . Данный показатель служит важным критерием для определения способности растений абсорбировать минеральные элементы, а также для отбора видов, перспективных для фитомелиорации. КБП имеет относительное значение, и могут наблюдаться изменения в количестве и качестве элементов, содержащихся в растениях одного и того же вида в разных почвенных условиях [23]. При значении коэффициента биологического поглощения выше единицы ( $КБП > 1$ ) растение может усваивать больше элементов из почвы, если меньше единицы ( $КБП < 1$ ), то растение может усваивать меньше элементов из почвы. В соответствии со шкалой, основанной на диапазоне значений КБП, растения подразделяются на следующие группы:

высокоаккумуляторные (1.0-10), среднеаккумуляторные (0.1-1.0), малоаккумуляторные (0.01-0.1) и неаккумуляторные ( $\approx 0.01$ ) [24].

Согласно данным, предоставленным автором М.Н. Erdanov, на территории Сурхандарьинской области распространены такыры и сероземы. Такыровидные сероземы характеризуются тяжелым механическим составом и плоским рельефом. Содержание гумуса в такырных сероземах низкое и составляет 0.40-1.03%. В пустынной зоне Шерабада светлые и типичные сероземы подвержены процессам засоления, что обуславливает необходимость комплексных мелиоративных мероприятий для повышения их плодородия [25]. Сравнительная характеристика почв Ташкентского, Самаркандского, Мирзачульского регионов и Сурхан-Шерабадской долины подробно рассмотрена в исследованиях G.T. Parpiyev и R.Q. Qo'ziyev [26]. Материалы, представленные сотрудниками Института биоорганической химии [27], отражают особенности почв засушливой части Приаралья включая механический состав, содержание гумуса, уровень pH, специфику солевого состава и степень засоления, а также концентрацию токсичных солей.

В наших предыдущих исследованиях [28] были выделены водорастворимые соли из почв четырех регионов с последующим определением их качественного и количественного состава. Анализ выполнен с использованием порошкового рентгеновского дифрактометра. Установлено, что содержание водорастворимых солей в почвах исследуемых территорий уменьшается в следующем порядке: Аралкум (0.87%), Сурхандарья (0.71%), Ташкент (0.59%), Самарканд (0.39%). Определено, что соли представлены преимущественно фосфатами, хлоридами, сульфатами и карбонатами. Наибольшая доля хлорида натрия выявлена в почвах Приаралья (8.3%), тогда как минимальная – в Ташкентской области (0.4%).

На сегодняшний день объем научно-исследовательских работ, посвященных изучению *C. spinosa* в Узбекистане, особенно на территориях, подверженных значительному антропогенному воздействию – таких, как высохшее дно Аральского моря, является недостаточным. С учетом уникальных адаптивных способностей и потенциальной ценности этого вида проведение комплексных исследований в данном направлении приобретает особую актуальность и является одним из важнейших вопросов.

**Цель исследований:** сравнительное изучение качественного и количественного состава макро- и микроэлементов в *C. spinosa*, произрастающей в различных природно-климатических зонах Узбекистана, характеризующихся разной степенью засоления почв (Самаркандская, Сурхандарьинская, Ташкентская области и Аралкум).

## Методика исследований

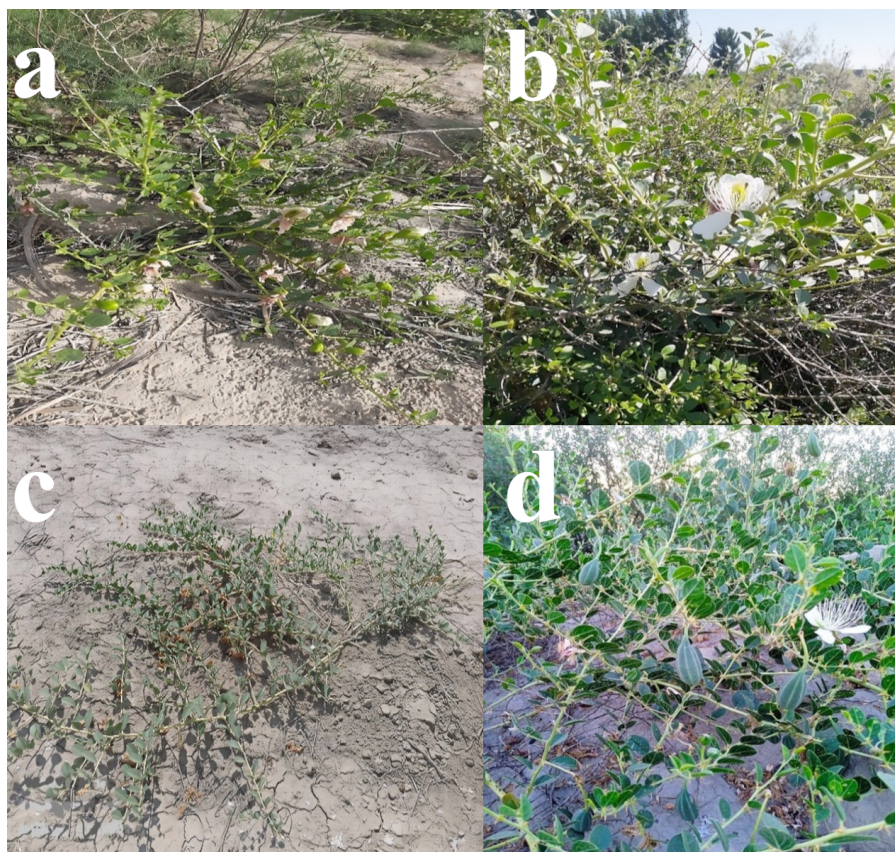
### Research method

Объектом исследований явились биоматериалы *C. spinosa*, сбор которых осуществлялся в августе-сентябре 2024 г. в четырех различных засоленных зонах Узбекистана. Подготовку растительных образцов проводили путем их сушки при комнатной температуре без прямого воздействия солнечного света. Отбор проб грунта выполнялся непосредственно в местах произрастания растений с формированием земляных срезов на двух глубинах: 0-20 см и 40-50 см. Для определения механического состава образцы почвы измельчались в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником и просеивались через сито с соответствующими отверстиями (метод Качинского) [29].

Для подготовки образцов к анализу по 0.1 г (точная навеска) каждого образца помещали в тефлоновые бюксы. Минерализацию растительного материала проводили добавлением 3 мл

концентрированной  $\text{HNO}_3$  и 2 мл  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Для расщепления минералов грунта к образцам в бюксы добавляли 3 мл концентрированной  $\text{HNO}_3$ , 2 мл  $\text{H}_2\text{O}_2$  и 1 мл концентрированной  $\text{HCl}$ . Полученную смесь подвергали микроволновому разложению в системе *Speedwave Xpert* (Германия). Влажное разложение осуществлялось в течение 35-45 мин при температуре 230°C и давлении 40 бар. После охлаждения автоклава содержимое количественно переносили в мерные колбы объемом 100 мл и доводили до метки деионизированной водой. Количество макро- и микроэлементов определяли на приборе ICP-OES Avio-200 (Perkin Elmer, США). Для калибровки использовали Интеллектуальный многоэлементный стандарт Agilent Technologies, Inc (Артикул: 5191-3933) [30].

Следует отметить, что результаты данных исследований применимы исключительно к образцам почв и органов (корней, стеблей, листьев) *C. spinosa*, собранным в указанных географических координатах (рис. 1).



**Рисунок 1.** Фотографии *C. spinosa*. Географические координаты местности сбора растения и отбора почвы: (a) – Аралқум, Мўйнақский район Республикаси Қарақалпақстан, N43°77'43.3, E60°20'28.1; (b) – Самарқанд, Нарпайский район Самарқандской области, N40°01'33.7, E65°89'75.1; (c) – Музрабатский район Сурхандарьинской области, N37°23'37.9, E66°40'04.3; (d) – Янгиюльський район Ташкентской области, N41°13'34.7, E68°85'21.8.

**Figure 1.** Photographs of *C. spinosa*. Geographical coordinates of the plant and soil sampling sites: (a) Aralqum, Muynak District, Karakalpak Republic: N43°77'43.3, 60°20'28.1; (b) Samarkand, Narpay District, Samarkand Region: N40°01'33.7, E65°89'75.1; (c) Muzrabot District, Surkhandarya Region: N37°23'37.9, E66°40'04.3; (d) Yangiyul District, Tashkent Region: N41°13'34.7, E68°85'21.8.

## Результаты и их обсуждение

### Results and discussion

Место отбора проб почвы и растения находится в Сурхандарьинской области и представляет собой равнину, спускающуюся с севера на юг к Амударье и приближающуюся к южной части горного хребта Кохитанг на западе. Средняя температура в январе составляет от 0 до +2°C, в июле – от +37 до +48°C; лето длинное, жаркое и сухое. Годовое количество осадков составляет 110-120 мм, вегетационный период – 250-280 дней; на территорию сильно влияет афганский ветер. Почва засоленная, произрастают верблюжья колючка (*Alhagi pseudalhagi*), саксаул (*Haloxylon aphyllum*) и тростник (*Phragmites communis*).

Местность Самарканда, где отобраны образцы, представляет собой долины, а вдоль северной границы протекает река Зарафшан. Климат резко континентальный, жаркий и сухой летом, холодный зимой. Средняя температура в январе составляет от 0 до –2°C, в июле – от +27 до +44°C. Вегетационный период – 200 дней. Годовое количество осадков – 200 мм. Большая часть осадков выпадает весной и зимой. Почвы – серые с орошаемыми участками. Среди дикорастущих растений произрастают марь (*Chenopodium albomi*), Пырей ползучий (*Elytrigia repens*), тростник (*P. communis*), гребенщик (*Tamarix ramosissima*).

Место отбора проб в Ташкентской области расположено в предгорьях. Почвы – серые, травянистые. Климат континентальный, средняя температура в январе составляет –2°C, в июле – +26-42°C, вегетационный период – 210 дней. Годовое количество осадков – 280-282 мм. Среди дикорастущих растений встречаются тростник (*P. communis*), верблюжья колючка (*A. pseudalhagi*), свиной пальчатый (*Cynodon dactylon*).

Местность Аралкум, где были отобраны образцы, расположено на высохшем дне Аральского моря. Почва болотисто-луговая, аллювиально-глинистая. Климат строго континентальный. Средняя температура в январе колеблется от –5 до –7.4°C, а в июле – от +26.3 до +43°C. Вегетационный период составляет 213 дней. Среднегодовое количество осадков – 105 мм, преимущественно весной и зимой. В дикой природе произрастают верблюжья колючка (*A. pseudalhagi*), гребенщик (*T. ramosissima*) и саксаул (*H. aphyllum*).

Результаты механического состава образцов почв, определенные методом Качинского, представлены в таблице 1.

В ходе проведенных исследований установлено, что механический состав почв – от песка рыхлого до глины легкой.

С использованием метода ICP-OES был проведен анализ элементного состава почвенных

горизонтов и органов *C. spinosa*, произрастающей на исследуемых территориях (табл. 2, 3).

В почвах идентифицированы и количественно определены 25 элементов: 9 макроэлементов (K, Ca, Na, Mg, Fe, Al, Sr, S, P), 12 микроэлементов и 4 тяжелых металла (Pb, Cd, Cr, Hg) (табл. 2). Содержание макроэлементов уменьшалась в такой последовательности: Ca, Fe, Al, K, Na, Mg, Sr, P, S.

Как известно, у *C. spinosa* – мощная стержневая корневая система, уходящая в глубину до 70 см [31]. После 4-5 месяцев роста корневая система каперса составляет 62.5% от общей биомассы растения [32]. Благодаря глубоко проникающим длинным корням растение способно переносить длительные засухи и воздействие высоких температур [33]. Корни выделяют кислотные соединения, которые могут проникать сквозь камни и трещины, чтобы добраться до водных ресурсов, а также происходит усваивание макро- и микроэлементов [34]. Кроме того, у *C. spinosa* очень хорошо развиты сосуды ксилемы в стеблях, что обеспечивает эффективную гидравлическую проводимость [35, 36]. Стоит отметить, что толстые слои коры на стержневых и мочковатых корнях, а также утолщенная зона перехода способны накапливать воду и растворенных в нем питательных веществ и защищать сосудисто-волокнистый пучок от повреждений в условиях засухи [32].

Исходя из вышесказанного нами изучено содержание макро- и микроэлементов в различных органах растений и определены КБП – усвоение растениями минеральных элементов. Полученные результаты приведены в таблицах 3-5.

Исследования показали, что, как и в изученных почвах, органы *C. spinosa* содержат 25 различных элементов: 9 макроэлементов (K, Ca, Na, Mg, Fe, Al, Sr, S, P), 12 микроэлементов и 4 тяжелых металла (Cr, Pb, Cd, Hg). Выявлена четкая тенденция снижения содержания макроэлементов в органах *C. spinosa* в зависимости от региона произрастания в такой последовательности: Аралкум, Сурхандарья, Ташкент, Самарканд. Учитывая, что стержневые и мочковатые корни усваивают воду и растворенные в ней почвенные минеральные вещества по всей длине корневой системы, целесообразно рассчитывать КБП по среднему значению содержания макро- и микроэлементов в почве (табл. 5).

Количество кальция в исследуемых почвах оказалось самым высоким. Но растения усваивает его в малых количествах со значением КБП < 1 и *C. spinosa* по отношению кальция является среднеаккумуляторным растением. Кальций поглощается в форме катиона из его растворимых солей. Общее содержание кальция у разных видов растений составляет 5-30 мг на 1 г сухой массы, что соответствует нашим данным.

**Таблица 1.** Результаты гранулометрического состава почв.  
**Table 1.** Results of soil granulometric analysis.

Место отбора <i>Sampling location</i>	Географические координаты <i>Geographical coordinates</i>	Генетический горизонт, см <i>Genetic horizon, cm</i>	Цвет <i>Color</i>	Количество фракции, % <i>Fraction content, %</i>							
				Песок <i>Sand</i>		Пыль <i>Dust</i>			Ил <i>Silt</i>	Физ. Глина <i>Physical clay</i>	
				>0.25 мм <i>&gt;0.25 mm</i>	0.25-0.1 мм <i>0.25-0.1 mm</i>	0.1-0.05 мм <i>0.1-0.05 mm</i>	0.05-0.01 мм <i>0.05-0.01 mm</i>	0.01-0.005 мм <i>0.01-0.005 mm</i>			0.005-0.001 мм <i>0.005-0.001 mm</i>
<b>Аралкум</b> <i>Aralqum</i>	N43°77'43.3 E60°20'28.1	0-20	Темно-серый <i>Dark-gray</i>	1.4	8.1	27.8	43.7	32.6	34.3	3.6	19.1
		40-50	Сине-серый <i>Blue-gray</i>	2.6	11.4	21.7	32.2	24.7	23.8	3.2	26.2
<b>Сурхандарья</b> <i>Surkhaniyaya</i>	N37°23'37.9 E 66°40'04.3	0-20	Коричневый <i>Brown</i>	0.4	0.1	4.9	69.3	–	–	–	25.3
		40-50	Светло-коричневый <i>Light-brown</i>	1.2	0.3	2.5	42.2	–	–	–	53.8
<b>Самарканд</b> <i>Samarqand</i>	N40°01'33.7 E65°89'75.1	0-20	Серый <i>Gray</i>	1.2	0.3	10.1	47.2	–	–	–	41.2
		40-50	Серый <i>Gray</i>	1.6	0.4	14.1	48.7	–	–	–	35.3
<b>Ташкент</b> <i>Tashkent</i>	N41°13'34.7 E68°85'21.8	0-20	Темно-коричневый <i>Dark-brown</i>	2.8	0.7	22.3	28.4	15.8	19.4	10.6	45.8
		40-50	Коричневый <i>Brown</i>	2.4	0.6	10.3	28.1	17.3	31.5	9.9	58.7

**Таблица 2.** Элементный состав генетических горизонтов почв, мкг/г. Среднее арифметическое ± стандартное отклонение, n=5.

**Table 2.** Elemental composition of soil genetic horizons, µg/g. Arithmetic mean ± standard deviation, n = 5.

Элементы <i>Elements</i>	Самарканд / <i>Samarkand</i>		Сурхандарья / <i>Surkhandaryya</i>		Ташкент / <i>Tashkent</i>		Аралкүм / <i>Aralqum</i>	
	Глубина, см / <i>Deepness, cm</i>							
	0-20	40-50	0-20	40-50	0-20	40-50	0-20	40-50
<b>Макроэлементы / <i>Macroelements</i></b>								
K	1697±18	2112±42	1479±13.2	1677±15.7	2571±37.4	2330±37.4	1789±52.7	2233±66.2
Ca	13370±97	16090±132	19700±82.8	17470±170	15920±122	22050±122	16550±190	18530±188
Na	1428±21	1742±36	1314±10.9	1683±15.6	1149±27	2076±59.1	2172±67.9	1156±43.7
Mg	1798±22	1873±25	1914±14.9	1864±22.4	1824±31	1940±43.2	1911±56.4	1783±50.9
Fe	14890±129	16480±203	13110±75.9	13600±109	18890±90	18770±132	14670±187	14890±171
Sr	177±79	312.1 ±0.97	317.4±1.36	294.6±0.62	209.6±0.35	171±0.59	172.4±0.51	225.3±0.76
Al	6610±40	7692±37	5607±14.8	5738±24	11290±64	10900±176	7727±56.3	7368±57.1
S	45.61±0.28	54.15±0.38	145.2±0.49	145.1±0.51	80.56±0.51	83.46±0.47	80.56±0.59	86.5±0.56
P	49.48±0.29	55.47±0.42	227.9±0.73	248.1±0.41	54.65±0.47	64.88±0.4	54.65±0.51	53.88±0.72
<b>Микроэлементы / <i>Microelements</i></b>								
Mn	282.8±0.64	353.90±0.8	388.7±0.82	395.7±0.48	487.6±0.48	403.2±0.48	421.5±0.88	420.6±0.53
Zn	37.69±0.46	46.65±0.39	27.66±0.46	30.48±0.31	58.97±0.53	65.96±0.61	34.59±0.86	35.38±0.51
Li	12.39±0.28	15.38±0.36	8.5±0.18	9.99±0.18	17.09±0.52	16.79±0.51	11.96±0.57	12.56±0.47
Rb	0.00	14.04±0.32	8.35±0.19	11.56±0.19	15.92±0.5	15.11±0.43	15.96±0.58	15.11±0.58
Se	4.62±0.29	4.75±0.51	4.36±0.15	4.07±0.14	5.16±0.44	4.38±0.31	4.18±0.31	4.65±0.55
Ba	96.98±0.46	101.8±0.71	43.82±0.44	49.67±0.34	110.0±0.55	116.8±0.85	73.06±0.55	94.5±0.49
Ag	4.03±0.13	3.6±0.37	3.65±0.17	3.8±0.13	4.32±0.48	4.23±0.5	4.42±0.4	4.2±0.5
Be	3.13±0.24	3.03±0.27	3.01±0.11	3.02±0.15	2.94±0.52	2.92±0.34	3.08±0.54	3.09±0.42
Ni	13.83±0.33	17.31±0.46	10.75±0.12	12.64±0.27	25.21±0.54	23.9±0.54	15.85±0.49	14.37±0.42
Cu	10.57±0.3	14.59±0.42	7.31±0.09	7.38±0.3	19.56±0.44	17.95±0.7	14.85±0.51	14.37±0.45
Co	2.48±0.16	4.06±0.49	2.94±0.11	3.92±0.12	6.01±0.48	5.54±0.43	3.98±0.57	3.8±0.47
As	0.28±0.08	0.98±0.28	0.36±0.05	0.75±0.02	0.97±0.11	0.59±0.16	0.78±0.32	0.62±0.13
<b>Тяжёлые металлы / <i>Heavy metals</i></b>								
Cr	14.93±0.17	17.48±0.33	11.36±0.09	11.28±0.29	34.01±0.43	36.76±0.59	16.5±0.5	16.42±0.5
Cd	2.48±0.19	2.4±0.32	2.5±0.13	2.51±0.1	2.34±0.42	2.35±0.37	2.51±0.3	2.47±0.37
Pb	1.43±0.15	1.17±0.58	2.45±0.1	2.9±0.17	1.66±0.4	1.38±0.25	1.89±0.45	2.49±0.42
Hg	0.01±0.002	0.01±0.003	0.01±0.003	0.01±0.002	0.01±0.001	0.01±0.001	0.01±0.004	0.01±0.001

**Таблица 3.** Элементный состав органов растения *C. spinosa* Самаркандской и Приаральской популяций, мкг/г. Среднее арифметическое  $\pm$  стандартное отклонение, n=5.

**Table 3.** Elemental composition of *C. spinosa* plant organs from the Samarkand and Aral Sea populations,  $\mu\text{g/g}$ . Arithmetic mean  $\pm$  standard deviation, n = 5.

Элементы <i>Elements</i>	Самарканд / <i>Samarkand</i>			Аралкум / <i>Aralqum</i>		
	Корень / <i>Root</i>	Стебель / <i>Stem</i>	Листья / <i>Leaves</i>	Корень / <i>Root</i>	Стебель / <i>Stem</i>	Листья / <i>Leaves</i>
<b>Макроэлементы / <i>Macroelements</i></b>						
K	4534 $\pm$ 40.3	12410 $\pm$ 72.04	25420 $\pm$ 35.5	31260 $\pm$ 96.8	29970 $\pm$ 176.1	40810 $\pm$ 162.2
Ca	2857 $\pm$ 42.5	5561 $\pm$ 29.6	5199 $\pm$ 45.2	4190 $\pm$ 58.5	3644 $\pm$ 44.1	12720 $\pm$ 262.2
Na	3006 $\pm$ 47.9	3921 $\pm$ 34.1	4542 $\pm$ 27.1	5120 $\pm$ 67.5	2408 $\pm$ 58.8	4574 $\pm$ 60.7
Mg	1511 $\pm$ 43.7	1596 $\pm$ 28.2	1841 $\pm$ 45.5	1769 $\pm$ 59	1535 $\pm$ 55.3	1947 $\pm$ 52.2
Fe	157.4 $\pm$ 0.9	41.05 $\pm$ 0.76	724.5 $\pm$ 0.86	649.6 $\pm$ 2	289.5 $\pm$ 1.69	239.3 $\pm$ 1.13
Sr	56.11 $\pm$ 0.48	52.98 $\pm$ 0.71	364 $\pm$ 0.82	197.2 $\pm$ 0.96	151.4 $\pm$ 0.85	506.9 $\pm$ 1.5
Al	41.21 $\pm$ 1.01	10.98 $\pm$ 0.51	327.1 $\pm$ 0.79	423 $\pm$ 0.98	115 $\pm$ 0.61	98.05 $\pm$ 0.88
S	141 $\pm$ 0.7	83.97 $\pm$ 0.63	245.1 $\pm$ 0.64	353 $\pm$ 0.75	119.2 $\pm$ 0.69	736 $\pm$ 1.19
P	154.4 $\pm$ 0.88	171.6 $\pm$ 0.46	132.7 $\pm$ 0.68	63.7 $\pm$ 0.73	74.91 $\pm$ 0.69	205 $\pm$ 1.15
<b>Микроэлементы / <i>Microelements</i></b>						
Mn	6.55 $\pm$ 0.74	3.18 $\pm$ 0.37	51.54 $\pm$ 0.72	41.5 $\pm$ 0.91	19.16 $\pm$ 0.51	53.55 $\pm$ 0.67
Zn	6.13 $\pm$ 0.52	2.91 $\pm$ 0.31	17.06 $\pm$ 0.65	67.04 $\pm$ 0.74	42.18 $\pm$ 0.57	53.58 $\pm$ 0.68
Li	2.93 $\pm$ 0.48	2.29 $\pm$ 0.38	12.28 $\pm$ 0.06	1.96 $\pm$ 0.57	2.25 $\pm$ 0.57	4.55 $\pm$ 0.54
Rb	0.68 $\pm$ 0.28	6.33 $\pm$ 0.3	9.12 $\pm$ 0.77	21.52 $\pm$ 0.91	24.23 $\pm$ 0.63	27.41 $\pm$ 0.89
Se	5.12 $\pm$ 0.48	4.91 $\pm$ 0.3	1.95 $\pm$ 0.46	4.6 $\pm$ 0.41	4.64 $\pm$ 0.41	2.97 $\pm$ 0.54
Ba	2.98 $\pm$ 0.82	5.63 $\pm$ 0.27	3.27 $\pm$ 0.66	2.08 $\pm$ 0.48	4.2 $\pm$ 0.67	3.25 $\pm$ 0.82
Ag	3.7 $\pm$ 0.51	3.96 $\pm$ 0.51	2.76 $\pm$ 0.6	3.82 $\pm$ 0.73	4.05 $\pm$ 0.64	3.96 $\pm$ 0.56
Be	2.89 $\pm$ 0.62	2.98 $\pm$ 0.42	2.14 $\pm$ 0.48	2.93 $\pm$ 0.5	3.06 $\pm$ 0.48	2.96 $\pm$ 0.36
Ni	3.59 $\pm$ 0.74	2.38 $\pm$ 0.31	0.69 $\pm$ 0.11	2.18 $\pm$ 0.67	2.01 $\pm$ 0.45	1.5 $\pm$ 0.42
Cu	0.82 $\pm$ 0.41	0.33 $\pm$ 0.13	3.54 $\pm$ 0.32	1.93 $\pm$ 0.44	0.21 $\pm$ 0.06	0.28 $\pm$ 0.11
Co	1.51 $\pm$ 0.41	2.81 $\pm$ 0.25	1.72 $\pm$ 0.36	2.13 $\pm$ 0.59	2.76 $\pm$ 0.38	2.61 $\pm$ 0.53
As	0.03 $\pm$ 0.01	0.02 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.01	0.01 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.01	0.04 $\pm$ 0.01
<b>Тяжёлые металлы / <i>Heavy metals</i></b>						
Cr	0.43 $\pm$ 0.16	1.27 $\pm$ 0.04	0.63 $\pm$ 0.01	1.71 $\pm$ 0.71	0.58 $\pm$ 0.1	0.85 $\pm$ 0.14
Pb	0.22 $\pm$ 0.11	0.36 $\pm$ 0.08	0.02 $\pm$ 0.001	0.14 $\pm$ 0.04	0.71 $\pm$ 0.06	0.51 $\pm$ 0.13
Cd	0.1 $\pm$ 0.05	0.13 $\pm$ 0.06	0.17 $\pm$ 0.01	0.11 $\pm$ 0.04	0.08 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.01
Hg	0.01 $\pm$ 0.008	0.01 $\pm$ 0.007	0.01 $\pm$ 0.008	0.01 $\pm$ 0.007	0.02 $\pm$ 0.008	0.02 $\pm$ 0.01

**Таблица 4.** Элементный состав органов растения *C. spinosa* Ташкентской и Сурхандарьинской популяций, мкг/г. Среднее арифметическое ± стандартное отклонение, n=5.

**Table 4.** Elemental composition of *C. spinosa* plant organs from the Tashkent and Surkhandarya populations, µg/g. Arithmetic mean ± standard deviation, n = 5.

Элементы Elements	Ташкентская популяция / Tashkent population			Сурхандарьинская популяция / Surkhandarya population		
	Корень / Root	Стебель / Stem	Листья / Leaves	Корень / Root	Стебель / Stem	Листья / Leaves
<b>Макроэлементы / Macroelements</b>						
K	24580±173	24950±160	27610±147	24390±184	16010±111	39250±173
Ca	5369±60	3056±80.5	11390±112	5745±60	6338±46.2	5241±72.9
Na	3266±85.9	1751±54.1	2563±68.1	3136±45.1	2006±58	3934±68.9
Mg	1748±68.1	1642±59.4	1958±44	1687±44.8	1528±48.05	1838±58.1
S	327.5±1.76	134±1.24	456.1±1.38	266.3±1.11	84.94±0.68	398.5±1.32
P	226±1.33	256.5±2.71	271.8±1.3	224.4±0.93	202.2±1.05	231.9±1.34
Sr	14.1±1.18	9.01±1.33	13.5±1.24	12.57±1.04	15.59±1.15	11.8±1.32
Fe	717.1±0.91	171.3±1.39	755.6±1.39	461.4±1.14	47±0.8	114.5±0.88
Al	37.7±0.94	33.4±1.18	50.9±1.45	29±0.85	10.57±0.95	17.87±1.39
<b>Микроэлементы / Microelements</b>						
Zn	41.33±0.85	15.13±0.95	15.9±1.43	62.16±0.88	30.03±0.99	19.3±1.14
Mn	32.65±1.41	12.54±0.9	80.87±1.41	15.84±0.98	8.86±0.79	19.02±1.15
Rb	0.52±0.11	0.23±0.11	0.41±0.04	0.51±0.04	0.19±0.07	0.11±0.09
Li	1.36±0.18	2.57±0.45	3.44±0.9	2.30±0.47	2.12±0.66	10.67±1.11
Ba	0.98±0.34	3.99±0.87	0.33±0.02	2.79±0.6	5.68±0.86	5.02±0.49
Ag	3.65±0.61	3.81±0.92	3.81±0.87	3.84±0.74	3.88±0.58	3.64±0.48
Se	4.38±0.56	4.72±0.83	3.18±0.95	3.82±0.63	3.89±0.62	2.12±0.44
Be	2.78±0.63	2.89±0.73	2.83±0.67	2.91±0.5	2.92±0.54	2.78±0.41
Co	2.21±0.42	1.23±0.98	2.3±0.79	2.45±0.44	2.72±0.48	2.58±0.46
Ni	0.84±0.27	0.47±0.27	0.7±0.34	0.66±0.22	2.09±0.44	1.25±0.47
Cu	2.71±0.62	0.51±0.26	0.52±0.11	1.83±0.54	0.68±0.42	0.13±0.04
As	0.07±0.01	0.04±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01	0.04±0.01
<b>Тяжёлые металлы / Heavy metals</b>						
Pb	0.35±0.09	0.45±0.21	0.33±0.11	0.72±0.1	0.48±0.1	0.19±0.06
Cd	0.05±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01	0.07±0.01	0.04±0.01
Cr	0.75±0.23	0.02±0.01	0.04±0.01	0.71±0.2	1±0.49	0.72±0.1
Hg	0.02±0.01	0.02±0.01	0.02±0.01	0.02±0.007	0.02±0.007	0.02±0.008

**Таблица 5.** Коэффициенты биологического поглощения корней и аккумуляции в надземных органах растения *C. spinosa* минеральных веществ почвы. К – Корень, С – Стебель, Л – Листья.

**Table 5.** Biological absorption coefficients of roots and accumulation of soil minerals in above-ground organs of *C. spinosa*. R – Root, S – Stem, L – Leaves.

	Сурхандарья <i>Surkhandarya</i>			Самарканд <i>Samarkand</i>			Ташкент <i>Tashkent</i>			Аралкум <i>Aralqum</i>		
	К R	С S	Л L	К R	С S	Л L	К R	С S	Л L	К R	С S	Л L
К	15.46	10.15	24.87	2.38	6.52	13.3	10.03	10.18	11.27	15.54	14.90	20.29
Ca	0.31	0.34	0.28	0.19	0.38	0.35	0.28	0.16	0.60	0.24	0.21	0.73
Na	2.10	1.34	2.63	1.90	2.47	2.87	2.03	1.09	1.59	3.08	1.45	2.75
Mg	0.89	0.81	0.97	0.82	0.87	1.00	0.93	0.87	1.04	0.96	0.83	1.05
Fe	0.03	<0.01	0.03	0.01	<0.01	0.05	0.04	<0.01	0.04	0.04	0.02	0.02
Sr	0.04	0.05	0.04	0.23	0.22	1.49	0.07	0.05	0.07	0.99	0.76	2.55
Al	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	0.02	0.01
S	1.83	0.60	0.79	2.83	1.68	4.91	3.99	1.63	5.56	4.23	1.43	8.81
P	0.94	0.85	0.97	2.94	3.27	2.53	3.78	4.29	4.55	1.17	1.38	3.78

Если количество кальция в почве находится в избытке, то он в растениях аккумулируется в основном в листьях (Ташкент, Приаралье). Кальций используется в растительных клетках как вторичный посредник для контролирования многих процессов (закрытие устьиц, тропизм, рост пыльцевых трубок, акклиматизация к холоду, экспрессия генов, фотоморфогенез). Недостаток кальция вызывает прекращение образования боковых корней и корневых волосков. Также нарушается структура плазмалеммы и мембран клеточных органелл. Но, как показывают проведенные нами эксперименты, высокое содержание кальцинированных минералов в почвах прорастания растения не повлияло на их содержание в корневой системе и надземных органах, что означает существование в стенках корневой системы регулятора ионного канала.

Вторым элементом по содержанию в исследуемых пробах почвы оказалось железо. Но в органах растений его КБП оказалось < 0.1, и *C. spinosa* по отношению к этому металлу относится к малоаккумуляторной группе. Согласно данным литературы, среднее содержание железа в растительных тканях варьирует в пределах 20-80 мг/кг сухой массы [37]. В ходе анализа установлено, что

в органах *C. spinosa* содержание данного элемента было приблизительно в 100 раз ниже указанных значений. Железо относится к числу эссенциальных микроэлементов, необходимых для нормального функционирования растений: оно участвует в процессах фотосинтеза, дыхания, метаболизма азота, а также в биосинтезе нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) [38].

В исследуемых пробах почвы содержание калия – одного из важнейших макроэлементов, необходимого для полноценного развития растений, оказалось высоким. Его КБП растениями составил > 1 (2-15); высокий коэффициент аккумуляции (10-20) в листьях. Калий играет ключевую роль в обмене веществ и выполняет несколько важных функций: активизирует ферменты, участвующие в синтезе белков и углеводов, участвует в фотосинтезе, поддерживает рост и развитие побегов весной, улучшает вкус плодов урожая или качество цветения летом, отвечает за подготовку к холодам осенью [39].

Четвертым элементом по содержанию в исследуемых пробах почвы оказался натрий. Несмотря на то, что ионы натрия оказывают токсическое действие на растения, его КБП для *C. spinosa*

составил больше 1 (1.9-3.08). Аккумуляция происходит в стеблях (1.03-2.47) и листьях (1.59-2.75). Согласно имеющимся в литературе данным, адаптационная стратегия соленакапливающих галофитов при экстремальном засолении основана на транспорте ионов  $\text{Na}^+$  в надземные органы и их компартментации в вакуолях. Данный механизм обеспечивает снижение водного потенциала в клетках, способствуя поддержанию водного баланса. Важную роль в этом механизме играет активность Н-АТФазы стеллярной паренхимы стебля наряду с  $\text{Na}^+/\text{H}^+$ -антипортером, которые локализованы в плазмалемме и тонопласте паренхимных клеток стебля [40]. Этот механизм способствует преодолению осмотического действия почвенного засоления, но его токсическое действие является не менее вредным для растений. «Засоляющие» ионы  $\text{Na}^+$  в высокой концентрации дезинтегрируют клеточные мембраны и ингибируют активность ферментов, участвующих в ключевых физиологических процессах растений (клеточное деление, синтез белка, фотосинтез и др.) [41].

Содержание марганца в исследуемых пробах почвы варьирует в пределах 0.8-1.05 мкг/г. Его КБП для *C. spinosa* составил  $\leq 1$  и равномерно аккумулируется в корнях, стеблях и листьях. По данным литературы, содержание в растениях марганца обычно составляет до 0,001%. Он накапливается в листьях и активизирует работу более 35 ферментов, участвующих в реакциях окисления-восстановления, декарбоксилирования и гидролиза [42]. Марганец необходим для фотолитического расщепления воды с выделением кислорода и ассимиляции углекислого газа в процессе фотосинтеза, а также способствует накоплению сахаров и их оттоку из листьев.

Наблюдалось уменьшение количества макроэлементов Fe, Sr, Al, S, P в почве и органах растения *C. spinosa*. Отмечено, что содержание железа (Fe) и алюминия (Al) в почве 4 регионов выше, чем в составе органов растений. Установлено, что содержание серы (S) и фосфора (P), напротив, выше в органах *C. spinosa*, чем в почве, что обусловлено избирательным накоплением этих элементов растением в ходе метаболизма.

Несмотря на то, что алюминий является одним из наиболее распространенных элементов в земной коре, он не относится к числу эссенциальных для растений микроэлементов, так как экспериментальные данные о его биологической роли до сих пор отсутствуют [43].

КБП серы в исследуемых растениях составил  $> 1$  (1.8-4.2); коэффициент аккумуляции (0.8-8.8) в листьях является высоким. Сера входит в состав глутатиона и аминокислот, витаминов и кофакторов, участвует при образовании дисульфидных мостиков в белках. Известно, что S-соединения работают в качестве сигнальных молекул

в регуляции стресса и в нормальных метаболических процессах [44].

Количество фосфора в органах растений (кроме Сурхандарьинской популяции) в 2-3 раза выше, чем в почве, и КБП составил  $> 1$  (1.17-3.78). В основном накапливается в листьях с коэффициентом аккумуляции 2.53-4.55, а в стеблях – намного меньше (0.85-4.29). Он участвует во многих физиологических процессах включая энергетический обмен, деление клеток, синтез ДНК и РНК, фотосинтез и дыхание [45].

С другой стороны, количество микроэлементов в образцах растений четырех регионов уменьшается в следующем порядке: в Самаркандской популяции – Mn, Zn, Li, Rb, Se; в Сурхандарьинской популяции – Zn, Mn, Li, Rb, Ba; в Ташкентской популяции – Mn, Rb, Zn, Se, Ag; в популяции Приаралья – Zn, Mn, Rb, Se, Ag.

Каждый из микроэлементов в растительных клетках выполняет специфические функции и не может быть заменен другими элементами. Они участвуют в окислительно-восстановительных реакциях в клетке, в процессе фотосинтеза, в обмене азота, углеводов и других веществ. Микроэлементы, являясь компонентами активных центров ряда ферментов и витаминов, способствуют повышению устойчивости растений к болезням и абиотическим стрессам. Недостаток микроэлементов приводит к нарушениям ростовых процессов и развития растений [1].

## Выводы

## Conclusions

Комплексный анализ методом ICP-OES позволил изучить качественный и количественный состав 25 элементов в почвах и в различных органах (корнях, стеблях, листьях) *C. spinosa* из четырех регионов. Показано, что содержание макроэлементов (Ca, Fe, Al, K, Na, Mg, Sr, P, S) в почвах и растениях всех исследуемых областей снижается в определенной последовательности.

Таким образом, для растения *C. spinosa*, произрастающего в четырех различных климатических и почвенных условиях, элемент калия является мощным аккумулятором (КБП  $> 10$ ). Установлено, что элементы S, P и Na являются гипераккумуляторами (КБП  $> 10.0$ ), элементы Mg, Sr – средними аккумуляторами (КБП  $> 0.1$ - $1.0$ ), элементы Ca, Fe и Al не обладают аккумуляторными свойствами (КБП  $> 0.01$ - $0.1$ ).

Установлены существенные межпопуляционные различия в элементном составе *C. spinosa* из Аралкумы и других областей, проявляющиеся в неодинаковом накоплении элементов надземными и подземными органами. Выявлено повышенное содержание калия (особенно у растений

Аралкумы) и натрия, для которого характерна выраженная биоаккумуляция. С учетом исключительной устойчивости *C. spinosa* к засолению и засухе, а также его способности к адаптации к экстремальным условиям рекомендуется активное внедрение этого растения в программы по восстановлению деградировавших экосистем, особенно в Аралкум. Его можно использовать в комплексе с другими адаптированными видами для проведения мелиоративных работ, фитомелиорации засоленных земель и предотвращения эрозии почв.

Помимо экологического потенциала, результаты исследований подчеркивают необходимость

дальнейшего, более глубокого анализа химического состава, биологических и фармакологических свойств *C. spinosa*. Это растение представляет собой ценное сырье для решения широкого круга задач: от озеленения засоленных территорий и ландшафтного дизайна до использования в пищевой промышленности (например, в качестве пряности или источника масла) и фармацевтической индустрии благодаря его доказанным лечебным свойствам. Таким образом, *C. spinosa* обладает значительным потенциалом для устойчивого развития регионов с неблагоприятными почвенно-климатическими условиями.

## Список источников

1. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. *Тяжелые металлы и растения*. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, Институт биологии КарНЦ РАН, 2014:192.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Новосибирск: Изд-во Сибирского отделения Российской акад. наук, 2012:218.
3. Бубенчикова В.Н., Логутев С.В., Сухомлинов Ю.А., Малутина А.Ю. Сравнительная оценка макро- и микроэлементного состава некоторых видов растений семейств Asteraceae и Rosaceae. *Вестник Воронежского Государственного Университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2011;(2).181-184.
4. Fici S. Intraspecific variation and evolutionary trends in *Capparis spinosa* L. (Capparaceae). *Plant Systematics and Evolution*. 2001;228:123-141. <https://doi.org/10.1007/s006060170024>
5. Rajhi I., Hernandez-Ramos F., Abderrabba M. et al. Antioxidant, Antifungal and Phytochemical Investigations of *Capparis spinosa* L. *Agriculture*. 2021;11(10):1025. <https://doi.org/10.3390/agriculture11101025>
6. Tir M., Feriani A., Labidi A. et al. Protective effects of phytochemicals of *Capparis spinosa* seeds with cisplatin and CCl4 toxicity in mice. *Food Bioscience*. 2019;28:42-48. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.01.002>
7. Baradaran Rahimi V., Rajabian A., Rajabi H. et al. The effects of hydro-ethanolic extract of *Capparis spinosa* (*C. spinosa*) on lipopolysaccharide (LPS) – induced inflammation and cognitive impairment: Evidence from *in vivo* and *in vitro* studies. *Journal of Ethnopharmacology*. 2020;256:112706. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112706>
8. Mazarei F., Jooyandeh H., Noshad M., Hojjati M. Polysaccharide of caper (*Capparis spinosa* L.) leaf: Extraction optimization, antioxidant potential and antimicrobial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017;95:224-231. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.049>

## References

1. Titov A.F., Kaznina N.M., Talanova V.V. *Heavy metals and plants*. Petrozavodsk, Russia: Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Biology of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 2014:192. (In Russ.)
2. Ilyin V.B. *Heavy metals and non-metals in the soil-plant system*. Novosibirsk, Russia: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2012:218. (In Russ.)
3. Bubenchikova V.N., Logutev S.V., Sukhomlinov Yu.A., Malyutina A.Yu. Comparative evaluation of macro- and microelement composition of some plants species of Asteraceae and Rosaceae families. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2011;(2).181-184. (In Russ.)
4. Fici S. Intraspecific variation and evolutionary trends in *Capparis spinosa* L. (Capparaceae). *Plant Systematics and Evolution*. 2001;228:123-141. <https://doi.org/10.1007/s006060170024>
5. Rajhi I., Hernandez-Ramos F., Abderrabba M. et al. Antioxidant, Antifungal and Phytochemical Investigations of *Capparis spinosa* L. *Agriculture*. 2021;11(10):1025. <https://doi.org/10.3390/agriculture11101025>
6. Tir M., Feriani A., Labidi A. et al. Protective effects of phytochemicals of *Capparis spinosa* seeds with cisplatin and CCl4 toxicity in mice. *Food Bioscience*. 2019;28:42-48. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.01.002>
7. Baradaran Rahimi V., Rajabian A., Rajabi H. et al. The effects of hydro-ethanolic extract of *Capparis spinosa* (*C. spinosa*) on lipopolysaccharide (LPS) – induced inflammation and cognitive impairment: Evidence from *in vivo* and *in vitro* studies. *Journal of Ethnopharmacology*. 2020;256:112706. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112706>
8. Mazarei F., Jooyandeh H., Noshad M., Hojjati M. Polysaccharide of caper (*Capparis spinosa* L.) leaf: Extraction optimization, antioxidant potential and antimicrobial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017;95:224-231. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.049>

9. Mahboubi M., Mahboubi A. Antimicrobial activity of *Capparis spinosa* as its usages in traditional medicine. *Herba Polonica*. 2014;60(1):39-48. <https://doi.org/10.2478/hepo-2014-0004>
10. Rajhi I., Hernandez-Ramos F., Abderrabba M. et al. Antioxidant, antifungal and phytochemical investigations of *Capparis spinosa* L. *Agriculture*. 2021;11(10):1025. <https://doi.org/10.3390/agriculture11101025>
11. Mollica A., Zengin G., Locatelli M. et al. Anti-diabetic and anti-hyperlipidemic properties of *Capparis spinosa* L.: *In vivo* and *in vitro* evaluation of its nutraceutical potential. *Journal of Functional Foods*. 2017;35:32-42. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.05.001>
12. Sheikh M., Eshraghi H.R., Khoshnia M. et al. Cytotoxicity effect of *Capparis spinosa* L. on the HepG2 human hepatocellular carcinoma cell line. *Medical Laboratory Journal*. 2017;11(4):9-12.
13. El Azhary K., Tahiri Jouti N., El Khachibi M. et al. Anti-inflammatory potential of *Capparis spinosa* L. in vivo in mice through inhibition of cell infiltration and cytokine gene expression. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2017;17:81. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1569-7>
14. Maresca M., Micheli L., Di Cesare Mannelli L. et al. Acute effect of *Capparis spinosa* root extracts on rat articular pain. *Journal of Ethnopharmacology*. 2016;193:456-465. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.09.032>
15. Sun Y., Yang T., Wang Ch. *Capparis spinosa* L. as a potential source of nutrition and its health benefits in foods: A comprehensive review of its phytochemistry, bioactivities, safety, and application. *Food Chemistry*. 2023;409:135258. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135258>
16. Sakcali M.S., Bahadir H., Ozturk M. Eco-physiology of *Capparis spinosa* L.: A plant Suitable for combating desertification. Pakistan. *Journal of Botany*. 2008;40(4):1481-1486.
17. Gull T., Sultana B., Bhatti I.A., Jamil A. Seasonal variation in proximate composition and minerals profile of different parts of wildy grown *Capparis spinosa*. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 2015;52(3):747-754.
18. Al-Snafi A.E. The chemical constituents and pharmacological effects of *Capparis spinosa* -an overview. *Indian Journal of Pharmaceutical Science & Research*. 2015;15(2):93-100.
19. Özcan M.M., Harmankaya M., Al juhaimi F. et al. Metal, non-metal and heavymetal contents of *Caper* parts. *Sixth International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2015»*. 2015:342.
20. Jalolov I.J., Shermatova U.X. Dynamics of accumulation of alkaloids, micro and macroelements in different organs of *Capparis spinosa* L. *Science and Innovation International Scientific Journal*. 2022;(1):696-704. (In Uzbek.)
21. Isagaliev M., Abakumov E., Turdaliev A. et al. *Capparis spinosa* L. Cenopopulation and Biogeochemistry in South
9. Mahboubi M., Mahboubi A. Antimicrobial activity of *Capparis spinosa* as its usages in traditional medicine. *Herba Polonica*. 2014;60(1):39-48. <https://doi.org/10.2478/hepo-2014-0004>
10. Rajhi I., Hernandez-Ramos F., Abderrabba M. et al. Antioxidant, antifungal and phytochemical investigations of *Capparis spinosa* L. *Agriculture*. 2021;11(10):1025. <https://doi.org/10.3390/agriculture11101025>
11. Mollica A., Zengin G., Locatelli M. et al. Anti-diabetic and anti-hyperlipidemic properties of *Capparis spinosa* L.: *In vivo* and *in vitro* evaluation of its nutraceutical potential. *Journal of Functional Foods*. 2017;35:32-42. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.05.001>
12. Sheikh M., Eshraghi H.R., Khoshnia M. et al. Cytotoxicity effect of *Capparis spinosa* L. on the HepG2 human hepatocellular carcinoma cell line. *Medical Laboratory Journal*. 2017;11(4):9-12.
13. El Azhary K., Tahiri Jouti N., El Khachibi M. et al. Anti-inflammatory potential of *Capparis spinosa* L. in vivo in mice through inhibition of cell infiltration and cytokine gene expression. *BMC Complementary and Alternative Medicine*. 2017;17:81. <https://doi.org/10.1186/s12906-017-1569-7>
14. Maresca M., Micheli L., Di Cesare Mannelli L. et al. Acute effect of *Capparis spinosa* root extracts on rat articular pain. *Journal of Ethnopharmacology*. 2016;193:456-465. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.09.032>
15. Sun Y., Yang T., Wang Ch. *Capparis spinosa* L. as a potential source of nutrition and its health benefits in foods: A comprehensive review of its phytochemistry, bioactivities, safety, and application. *Food Chemistry*. 2023;409:135258. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135258>
16. Sakcali M.S., Bahadir H., Ozturk M. Eco-physiology of *Capparis spinosa* L.: A plant Suitable for combating desertification. Pakistan. *Journal of Botany*. 2008;40(4):1481-1486.
17. Gull T., Sultana B., Bhatti I.A., Jamil A. Seasonal variation in proximate composition and minerals profile of different parts of wildy grown *Capparis spinosa*. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 2015;52(3):747-754.
18. Al-Snafi A.E. The chemical constituents and pharmacological effects of *Capparis spinosa* -an overview. *Indian Journal of Pharmaceutical Science & Research*. 2015;15(2):93-100.
19. Özcan M.M., Harmankaya M., Al juhaimi F. et al. Metal, non-metal and heavymetal contents of *Caper* parts. *Sixth International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2015»*. 2015:342.
20. Jalolov I.J., Shermatova U.X. Dynamics of accumulation of alkaloids, micro and macroelements in different organs of *Capparis spinosa* L. *Science and Innovation International Scientific Journal*. 2022;(1):696-704. (In Uzbek.)
21. Isagaliev M., Abakumov E., Turdaliev A. et al. *Capparis spinosa* L. Cenopopulation and Biogeochemistry in South

- Uzbekistan. *Plants*. 2022;11(13):1628.  
<https://doi.org/10.3390/plants11131628>
22. Amanova G.I., Abdirahimova S.Sh., Saitova A.Q. et al. Comparative analysis of chemical elements contained in various organs of the Nitrebush (*Nitraria schoberi* L.) growing in the Aralqum areas. *European Chemical Bulletin*. 2023;12(S3):4280-4290.  
<https://doi.org/10.31838/ecb/2023.12.s3.490>
23. Lima e Cunha M.C., Nardi L.V.S., Pereira V.P. et al. Evaluation of biological absorption coefficient of trace elements in plants from the Pitinga mine district, Amazonian region. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*. 2014;35(1): 19-29.  
<https://doi.org/10.5935/0100-929X.20140002>
24. Pašava J., Kříbek B., Žák K. et al. Environmental impacts of mining of Ni-Mo black shale-hosted deposits in the Zunyi region, southern China: Preliminary results of the study of toxic metals in the system rock–soil–plant. *Bulletin of Geosciences*. 2003;78(3):251-260.
25. Erdanov M.N. Geographical aspects of studying the soil cover of Surkhondarya. *Ekonomika i sotsium*. 2023;(10(113)):52-57. (In Uzbek.)
26. Parpiyev G.T. *Pale-oasis soils*. Tashkent, Republic of Uzbekistan: Lesson Press, 2023:250. (In Uzbek.)
27. Idirisov K., Bobomurodov Sh., Abdirahimova S. et al. Fractional and salt composition of soils of the drained part of the bottom of the big Aral Sea. *Tuproqshunoslik va agrokimyo Ilmiy jurnal*. 2023;(2):31-43.
28. Kurbonov K., Isaboev X., Kosimov I., Ziyavitdinov Zh. Comparative analysis of the content of water-soluble salts in the soil of different regions where *Capparis spinosa* L. grows. *Tuproqshunoslik va agrokimyo Ilmiy jurnal*. 2025;(3):53-60. (In Uzbek.)
29. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. *КонсультантПлюс*. URL: <https://www.consultant.ru/> (дата обращения: 23.09.2025).
30. Al-Juhaimi F., Kulluk D.A., Mohamed Ahmed I.A. et al. Quantitative determination of macro and micro elements and heavy metals accumulated in wild fruits analyzed by ICP-OES method. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2023;195:1370.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-023-12025-8>
31. *Capparis spinosa* L. Каперсы колючие. *Planta Medica*. URL: <https://planta-medica.uz/> (дата обращения: 23.09.2025).
32. Gan L., Zhang C., Yin Y. et al. Anatomical adaptations of the xerophilous medicinal plant, *Capparis spinosa*, to drought conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2013;54:156-161.  
<https://doi.org/10.1007/s13580-013-0162-3>
33. Özkahraman I. Caper. Forest Ministry, Various publications. Series Nos 2. Ankara: AGM publications, 1997.
- in South Uzbekistan. *Plants*. 2022;11(13):1628.  
<https://doi.org/10.3390/plants11131628>
22. Amanova G.I., Abdirahimova S.Sh., Saitova A.Q. et al. Comparative analysis of chemical elements contained in various organs of the Nitrebush (*Nitraria schoberi* L.) growing in the Aralqum areas. *European Chemical Bulletin*. 2023;12(S3):4280-4290.  
<https://doi.org/10.31838/ecb/2023.12.s3.490>
23. Lima e Cunha M.C., Nardi L.V.S., Pereira V.P. et al. Evaluation of biological absorption coefficient of trace elements in plants from the Pitinga mine district, Amazonian region. *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*. 2014;35(1):19-29.  
<https://doi.org/10.5935/0100-929X.20140002>
24. Pašava J., Kříbek B., Žák K. et al. Environmental impacts of mining of Ni-Mo black shale-hosted deposits in the Zunyi region, southern China: Preliminary results of the study of toxic metals in the system rock–soil–plant. *Bulletin of Geosciences*. 2003;78(3):251-260.
25. Erdanov M.N. Geographical aspects of studying the soil cover of Surkhondarya. *Ekonomika i sotsium*. 2023;(10(113)):52-57. (In Uzbek.)
26. Parpiyev G.T. *Pale-oasis soils*. Tashkent, Republic of Uzbekistan: Lesson Press, 2023:250. (In Uzbek.)
27. Idirisov K., Bobomurodov Sh., Abdirahimova S. et al. Fractional and salt composition of soils of the drained part of the bottom of the big Aral Sea. *Tuproqshunoslik va agrokimyo Ilmiy jurnal*. 2023;(2):31-43.
28. Kurbonov K., Isaboev X., Kosimov I., Ziyavitdinov Zh. Comparative analysis of the content of water-soluble salts in the soil of different regions where *Capparis spinosa* L. grows. *Tuproqshunoslik va agrokimyo Ilmiy jurnal*. 2025;(3):53-60. (In Uzbek.)
29. GOST 12536-2014. Soils. Laboratory methods for determining the particle size distribution (grain size) and microaggregate composition. *ConsultantPlus*. (In Russ.) URL: <https://www.consultant.ru/> (accessed: September 23, 2025).
30. Al-Juhaimi F., Kulluk D.A., Mohamed Ahmed I.A. et al. Quantitative determination of macro and micro elements and heavy metals accumulated in wild fruits analyzed by ICP-OES method. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2023;195:1370.  
<https://doi.org/10.1007/s10661-023-12025-8>
31. *Capparis spinosa* L. Prickly caper. *Planta Medica*. (In Russ.) URL: <https://planta-medica.uz/> (accessed: September 23, 2025).
32. Gan L., Zhang C., Yin Y. et al. Anatomical adaptations of the xerophilous medicinal plant, *Capparis spinosa*, to drought conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*. 2013;54:156-161.  
<https://doi.org/10.1007/s13580-013-0162-3>
33. Özkahraman I. Caper. Forest Ministry, Various publications. Series Nos 2. Ankara: AGM publications, 1997.

34. Sozzi G.O. *Caper bush: botany and horticulture*. Horticultural Reviews, 2001;27:188. <https://doi.org/10.1002/9780470650813.ch4>
35. Psaras G.K., Sofroniou I. Wood anatomy of *Capparis spinosa* from an ecological perspective. *IAWA Journal*. 1999;20(4):419-429. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001567>
36. Levizou E., Drilias P., Kyparissis A. Exceptional photosynthetic performance of *Capparis spinosa* L. under adverse conditions of Mediterranean summer. *Photosynthetica*. 2020;42(2);229-235. <https://doi.org/10.1023/B:PHOT.0000040594.85407.f4>
37. Копылова Л.В. Оценка уровня загрязнения почв тяжелыми металлами и интенсивность поглощения их древесными растениями. *Ученые записки Забайкальского государственного гуманитарно-педагогического университета им. Н.Г. Чернышевского*. 2012;(1 (42)):70-75.
38. Ning X., Lin M., Huang G. et al. Research progress on iron absorption, transport, and molecular regulation strategy in plants. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1190768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1190768>
39. Leigh R.A., Wyn Jones R.G. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytologist*. 1984;97:1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1984.tb04103.x>
40. Луньков Л.В., Андреев И.М., Мясоедов Н.А. и др. Функциональная идентификация протонатной АТФазы (H<sup>+</sup>-АТФазы) и Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup>-антипортера в плазматической мембране, выделенной из клеток корня галофита *Suaeda altissima* (сведа высокая). *Физиология растений*. 2005;52(5):717-725.
41. Веселов Д.С., Маркова И.В., Кудоярова Г.Р. Реакция растений на засоление и формирование солеустойчивости. *Успехи современной биологии*. 2007;127(5):482-493.
42. Рогачева С.М., Каменец А.Ф., Шилова Н.А. Влияние растворимых соединений марганца на высшие растения и оценка фитоэкстракционной способности растений. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016;18(5(3)):484-488.
43. Wang M., Zheng Q., Shen Q., Guo S. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*. 2013;14(4):7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
44. Mian A., Oomen R.J.F.L., Isayenkov S. et al. Over-expression of an Na<sup>+</sup>-and K<sup>+</sup>-permeable HKT transporter in barley improves salt tolerance. *The Plant Journal: for cell and plant biology*. 2011;68(3):468-479. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04701.x>
45. Maathuis F.J.M. Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of Experimental Botany*. 2013;65(3):849-858. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert326>
34. Sozzi G.O. *Caper bush: botany and horticulture*. Horticultural Reviews, 2001;27:188. <https://doi.org/10.1002/9780470650813.ch4>
35. Psaras G.K., Sofroniou I. Wood anatomy of *Capparis spinosa* from an ecological perspective. *IAWA Journal*. 1999;20(4):419-429. <https://doi.org/10.1163/22941932-90001567>
36. Levizou E., Drilias P., Kyparissis A. Exceptional photosynthetic performance of *Capparis spinosa* L. under adverse conditions of Mediterranean summer. *Photosynthetica*. 2020;42(2);229-235. <https://doi.org/10.1023/B:PHOT.0000040594.85407.f4>
37. Kopylova L.V. Assessing the level of soil contamination with heavy metals and the intensity of their absorption by woody plants. *Uchenye zapiski Zabaykalskogo Gosudarstvennogo humanitarno-pedagogicheskogo universiteta im. N.G. Chernyshevskogo*. 2012;(1(42)):70-75. (In Russ.)
38. Ning X., Lin M., Huang G. et al. Research progress on iron absorption, transport, and molecular regulation strategy in plants. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1190768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1190768>
39. Leigh R.A., Wyn Jones R.G. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. *New Phytologist*. 1984;97:1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1984.tb04103.x>
40. Lun'kov R.V., Andreev I.M., Myasoedov N.A. et al. Functional identification of H<sup>+</sup>-ATPase and Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> antiporter in the plasma membrane isolated from the root cells of salt-accumulating halophyte. *Suaeda altissima*. *Fiziologiya rastenij*. 2005;52(5):717-725. (In Russ.)
41. Veselov D.S., Markova I.V., Kudoyarova G.R. Plant response to salinity and formation of salt tolerance. *Uspekhi sovremennoi biologii*. 2007;127(5):482-493. (In Russ.)
42. Rogacheva S., Kamenetz A., Shilova N. The effect of soluble manganese compounds at higher plants and assessment of plants's phytoextraction ability. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2016;18(5-3):484-488. (In Russ.)
43. Wang M., Zheng Q., Shen Q., Guo S. The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*. 2013;14(4):7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
44. Mian A., Oomen R.J.F.L., Isayenkov S. et al. Over-expression of an Na<sup>+</sup>-and K<sup>+</sup>-permeable HKT transporter in barley improves salt tolerance. *The Plant Journal: for cell and plant biology*. 2011;68(3):468-479. <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2011.04701.x>
45. Maathuis F.J.M. Sodium in plants: perception, signalling, and regulation of sodium fluxes. *Journal of Experimental Botany*. 2013;65(3):849-858. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert326>

## Сведения об авторах

**Камолитдин Чориевич Курбонов**, докторант лаборатории клеточных технологий овощей и растений, Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз; 100125, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83; qurbonovkamol808@gmail.com

**Гузал Икромовна Аманова**, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории клеточных технологий овощей и растений, Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз; 100125, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83; guzal.amanova.87@mail.ru

**Алимжон Давлатбоевич Матчанов**, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией низкомолекулярных биологически активных соединений, Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз; 100125, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83; olim\_0172@mail.ru

**Жамолитдин Фазлитдинович Зиявитдинов**, доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией клеточных технологий овощей и растений, Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз; 100125, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83; Jamolitdin@mail.ru

**Наиль Жадитович Сагдиев**, кандидат химических наук, Институт биоорганической химии имени академика А.С. Садыкова АН РУз; 100125, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Мирзо Улугбека, 83; n\_sagdiev@mail.ru

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 23.09.2025  
Одобрена после рецензирования 18.02.2026  
Принята к публикации 18.02.2026

## Information about the authors

**Kamoliddin Ch. Kurbonov**, doctoral student of the Laboratory of Cellular Technologies of Vegetables and Plants, Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov; 100125, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Mirzo Ulugbeka St., 83; qurbonovkamol808@gmail.com

**Guzal I. Amanova**, CSc (Bio), Junior Research Associate at the Laboratory of Cellular Technologies of Vegetables and Plants, Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov; 100125, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Mirzo Ulugbeka St., 83; guzal.amanova.87@mail.ru

**Alimzhon D. Matchanov**, DSc (Chem), Professor, Head of the Laboratory of Low-Molecular Biologically Active Compounds, Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov; 100125, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Mirzo Ulugbeka St., 83; olim\_0172@mail.ru

**Zhamolitdin F. Ziyavitdinov**, DSc (Chem), Professor, Head of the Laboratory of Cellular Technologies of Vegetables and Plants, Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov; 100125, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Mirzo Ulugbeka St., 83; Jamolitdin@mail.ru

**Nail Zh. Sagdiev**, CSc (Chem), Institute of Bioorganic Chemistry named after Acad. A.S. Sadykov; 100125, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Mirzo Ulugbeka St., 83; n\_sagdiev@mail.ru

## Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office September 23, 2025  
Approved after reviewing February 18, 2026  
Accepted for publication February 18, 2026

## BIOLOGICAL RESOURCES, ECOLOGY

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-02>



### Analysis of amino acid composition in sheep by-products by High-Performance Liquid Chromatography

Amarzaya Lkhagvasuren, Oyunbileg Lkhagvasuren

Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia

**Corresponding author:** Amarzaya Lkhagvasuren, [amralhagva@gmail.com](mailto:amralhagva@gmail.com)

#### Abstract

The study aimed to investigate the amino acid composition of sheep by-products (kidney, liver, heart, spleen, blood, and lung) using High-Performance Liquid Chromatography (HPLC). The results showed that 17 amino acids in the samples were successfully detected by HPLC, and the chromatographic peak shape was sharp without interference from extraneous peaks, demonstrating good separation. The amino acid content and composition in by-products serve as key factors in evaluating protein nutritional value and directly influence this value in by-products. Among the six types of samples, there is a significant difference in the content of total amino acids; among them, liver and spleen exhibit the highest total amino acid content, 21.335 g/100 g and 19.325 g/100 g respectively, while blood exhibited the lowest value of 12.49 g/100 g.

#### Keywords

Kidney, liver, heart, spleen, blood, lung, essential amino acids, non-essential amino acids

#### For citation

Lkhagvasuren A., Lkhagvasuren O. Analysis of amino acid composition in sheep by-products by High-Performance Liquid Chromatography. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):102. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-02>

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 543.544.5: 636.033: 637.074

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-02>



### Анализ аминокислотного состава бараньих субпродуктов с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии

Amarzaya Lkhagvasuren, Oyunbileg Lkhagvasuren

Монгольский университет науки и технологии, Улан-Батор, Монголия

**Автор, ответственный за переписку:** Amarzaya Lkhagvasuren, [amralhagva@gmail.com](mailto:amralhagva@gmail.com)

#### Аннотация

Целью настоящего исследования было изучение аминокислотного состава бараньих субпродуктов, таких как почки, печень, сердце, селезенка, кровь и легкие, с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Результаты показали, что с помощью ВЭЖХ удалось четко определить 17 видов аминокислот в субпродуктах; форма хроматографических пиков была четкой, без посторонних шумов, а разделение – хорошим. Содержание и состав аминокислот в субпродуктах являются основными факторами при оценке пищевой ценности белка и напрямую влияют на пищевую ценность белка в субпродуктах. Среди 6 типов образцов наблюдается значительная разница в содержании общего количества аминокислот; среди них печень и селезенка имеют самое высокое общее содержание аминокислот – 21.335 г/100 г и 19.325 г/100 г соответственно, а кровь – самое низкое – 12.49 г/100г.

#### Ключевые слова

Почки, печень, сердце, селезенка, кровь, легкие, незаменимые аминокислоты, заменимые аминокислоты

#### Для цитирования

Lkhagvasuren A., Lkhagvasuren O. Analysis of Amino Acid Composition in Sheep By-Products by High-Performance Liquid Chromatography. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):102. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-02>

## Introduction

By-products are of high value as a source of cheap protein. Offal is quite varied regarding composition and functionality, most of it contains a good amount of nutrients such as essential amino acids, minerals, and vitamins [1, 2]. Most by-products are characterized by good digestibility of proteins. Spleen, kidney, lungs, and tripe proteins have the highest rate of digestibility (in vitro) [3]. Offal with a high content of connective tissue proteins is promising for producing hydrolysates of these proteins and compositions for the production of the antioxidant peptides [1, 4, 5]. Protein hydrolysates from meat by-products are an interesting alternative to soy products due to the lack of allergenic proteins and the presence of large amounts of all essential amino acids [6]. It has been proven that offal is a good source of essential and limiting amino acids.

Currently, High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) [7] and amino acid analyzers [8] are advanced methods for detecting amino acids in food products. Compared to amino acid analyzers, HPLC offers advantages such as lower detection limits, higher sensitivity, and greater stability of derivatization products [9]. In Mongolia, there is limited quantitative information on the amino acid composition of offal, and the existing detection methods have certain limitations. Therefore, conducting studies using High-Performance Liquid Chromatography holds significant scientific importance. In this study, 6 types of offal samples were collected and analyzed to detect and compare their amino acid profiles.

## Research Methods

**Sample collection.** In this study, we collected (Tsaluut Impex LLC Animal slaughtering house) various by-products, including kidney, liver, heart, spleen, blood, and lung, from 11 sheep and performed subsequent analysis on the samples. After sample collection, the samples were placed in refrigerated containers and transported to the laboratory.

**Sample preparation.** Before analysis, all meat by-products were chopped into small pieces. Samples were subjected to acid hydrolysis using 6 N HCl with added phenol at 120°C for 22 h. Hydrolysates were diluted to 100 mL with 0.1 N HCl and filtered through 0.45 µm membrane filters prior to analysis. Subsequently, 500 µL of the sample solution was accurately measured and placed into a 2 mL sample vial. Then, 50 µL of internal standard solution was accurately added, mixed thoroughly, and used as the sample solution for derivatization.

Accurately measured 100 µL of the amino acid standard solution from the amino acid analysis method component package, placed it into a 2 mL sample vial, then accurately added 50 µL of internal standard solution and 400 µL of 0.1 M HCl solution. (Table 1).

**Chromatographic Conditions.** Amino acid analysis column (Shimadzu AJS-02, C18, 3 µm, 4.6 × 150 mm) was used. The RF20A fluorescence detector was set at an excitation wavelength of 340 nm and an emission wavelength of 450 nm, with the column temperature maintained at 50°C. The mobile phase gradient and flow rate for the amino acid composition analysis of the sample are shown in Table 2.

To detect Pro in the sample, the excitation and emission wavelengths were adjusted to 266 nm and 305 nm, respectively, after a 27-minute reaction.

**Data Processing.** All the analyses were repeated three times and the data are expressed as mean ± SD. Statistical analysis of amino acid data was performed using SPSS27.0. Differences among organs were evaluated by one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test at  $p < 0.05$ .

## Results and Discussion

Amino acid standard solutions were analyzed using the HPLC FR detector (Figure 1). Figure 1 demonstrates that all amino acids exhibited sharp peaks without interference from other peaks, indicating excellent resolution. The FR detector demonstrated excellent response for all 17 amino acids (Trp was excluded as it was not detected in the total hydrolyzed sample), demonstrating effective separation [10]. Three replicate analyses were performed, and the results were reproducible, demonstrating the high performance capability of the FR detector for amino acid detection. Furthermore, the FR detector was used to analyze the amino acid content in sheep by-products, with quantification conducted using the internal standard method.

The total amino acid content in by-products and their average values are reported in Table 3. As shown in Table 3, there are significant differences in the composition and relative content of amino acids among the kidney, liver, heart, spleen, blood and lung. The total amino acid content of the samples is significantly different ( $p < 0.05$ ); the essential amino acid content (Val, Met, Ile, Phe, Lys, Leu, and Thr) in liver is the highest, at 7.988 g/100 g, and the content in blood is the lowest, at 4.501 g/100 g. Leu is the essential amino acid with the highest content in samples. Leu can promote the synthesis of muscle protein in the body [11]. The second most abundant essential amino acid in by-products is Lys. Lys, as the first limiting amino acid in the human body, plays an important role in regulating human metabolism and enhancing disease resistance. Particularly, the high content of Lys in the hydrolyzed offal protein could potentially provide good protein supplementation for vegetable foods, in which Lys is commonly a limiting amino acid [12, 13].

**Table 1.** Standard concentration of amino acids.

**Таблица 1.** Стандартная концентрация аминокислот.

Amino acids <i>Аминокислоты</i>	Molecular mass <i>Молекулярная масса</i>	Concentration (µg/mL) <i>Концентрация, µг/мл</i>	Amino acids <i>Аминокислоты</i>	Molecular mass <i>Молекулярная масса</i>	Concentration (µg/mL) <i>Концентрация, µг/мл</i>
<i>Histidine</i> <i>Гистидин</i>	155.15	387.9	<i>Cysteine</i> <i>Цистеин</i>	240.30	600.8
<i>Serine</i> <i>Серин</i>	105.09	262.7	<i>Lysine</i> <i>Лизин</i>	146.19	365.5
<i>Arginine</i> <i>Аргинин</i>	174.20	435.5	<i>Tyrosine</i> <i>Тирозин</i>	181.19	453.0
<i>Glycine</i> <i>Глицин</i>	75.07	187.7	<i>Methionine</i> <i>Метионин</i>	149.21	373.0
<i>Aspartic acid</i> <i>Аспартановая кислота</i>	133.10	332.8	<i>Valine</i> <i>Валин</i>	117.15	292.9
<i>Glutamic acid</i> <i>Глутаминовая кислота</i>	147.13	367.8	<i>Isoleucine</i> <i>Изолейцин</i>	131.17	327.9
<i>Threonine</i> <i>Треонин</i>	119.12	297.8	<i>Leucine</i> <i>Лейцин</i>	131.17	327.9
<i>Alanine</i> <i>Аланин</i>	89.09	222.7	<i>Phenylalanine</i> <i>Фенилаланин</i>	165.19	413.0
<i>Proline</i> <i>Пролин</i>	115.13	287.8			

Juknienė I. et al., researchers from Lithuania, also conducted an analysis of the amino acid composition in sheep by-products and compared the results. It was found that in Mongolian sheep, the content of essential amino acids such as Ile, Phe, Lys, and Leu was significantly higher across all by-product types than in Lithuanian sheep, with the exception of Met. In addition, the non-essential amino acids such as Arg, Tyr, Pro, Gly, Ser, and Asp were found to be higher in all by-product samples, while the levels of the remaining amino acids were similar in both

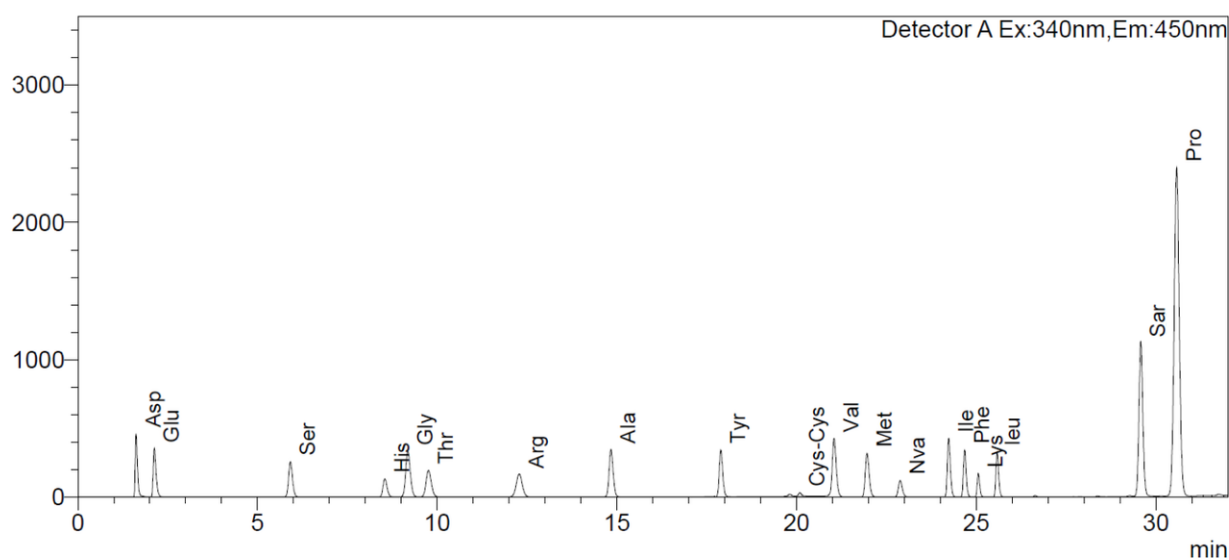
studies [14]. The ratio of essential to non-essential amino acids (EAA/NEAA) is commonly used to evaluate protein nutritional quality. Our results showed that the EAA/NEAA ratios were comparable to values reported in the literature and consistent with the amino acid pattern recommended by FAO/WHO, indicating that sheep by-products represent an excellent source of high-quality protein [15]. Amino acid profiles of by-products exhibit significant variation among livestock species, affecting their nutritional quality.

**Table 2.** Mobile phase gradient and flow rate.

**Таблица 2.** Градиент мобильной фазы и скорость потока.

Time (min) Время, мин	Mobile phase A Мобильная фаза А	Mobile phase B Мобильная фаза Б	Flow rate (ml/min) Скорость потока, мл/мин
0	95	5	1.6
6	90	10	1.6
8	90	10	1.6
10	84	16	1.3
23	60	40	1.0
30	50	50	1.6
31	0	100	1.6
34	0	100	1.6
35	95	5	1.6
38	95	5	1.6

mV



**Figure 1.** High-Performance Liquid Chromatography chromatogram of the amino acid standard.

**Рисунок 1.** Хроматограмма стандартного раствора аминокислот, полученная методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

**Table 3.** Determination of amino acid composition in sheep by-products (g/100 g).

**Таблица 3.** Определение аминокислотного состава бараньих субпродуктов (г/100 г).

Amino acids Аминокислоты	Kidney Почки	Liver Печень	Heart Сердце	Spleen Селезенка	Blood Кровь	Lung Легкие
Asp	1.131±0.012 <sup>ab</sup>	1.114±0.091 <sup>ab</sup>	1.187±0.053 <sup>b</sup>	1.206±0.05 <sup>b</sup>	1.012±0.02 <sup>a</sup>	1.081±0.072 <sup>ab</sup>
Glu	1.973±0.052 <sup>b</sup>	2.08±0.12 <sup>b</sup>	2.377±0.136 <sup>c</sup>	2.006±0.174 <sup>b</sup>	1.009±0.028 <sup>a</sup>	1.92±0.133 <sup>b</sup>
Ser	0.886±0.036 <sup>bc</sup>	1.085±0.042 <sup>d</sup>	0.865±0.027 <sup>bc</sup>	0.962±0.091 <sup>c</sup>	0.559±0.021 <sup>a</sup>	0.824±0.063 <sup>b</sup>
His	0.522±0.04 <sup>ab</sup>	0.855±0.053 <sup>bc</sup>	0.387±0.079 <sup>a</sup>	0.91±0.326 <sup>c</sup>	0.558±0.004 <sup>abc</sup>	0.661±0.069 <sup>abc</sup>
Gly	1.434±0.089 <sup>b</sup>	2.428±0.173 <sup>c</sup>	1.533±0.022 <sup>b</sup>	2.114±0.281 <sup>c</sup>	0.532±0.028 <sup>a</sup>	2.129±0.213 <sup>c</sup>
Thr	0.626±0.018 <sup>b</sup>	0.601±0.046 <sup>b</sup>	0.501±0.084 <sup>ab</sup>	0.516±0.083 <sup>ab</sup>	0.442±0.021 <sup>a</sup>	0.435±0.074 <sup>a</sup>
Arg	1.204±0.062 <sup>b</sup>	1.626±0.012 <sup>c</sup>	1.403±0.135 <sup>bc</sup>	1.422±0.256 <sup>bc</sup>	0.474±0.02 <sup>a</sup>	1.379±0.158 <sup>bc</sup>
Ala	1.076±0.043 <sup>b</sup>	1.286±0.037 <sup>c</sup>	1.25±0.022 <sup>c</sup>	1.53±0.133 <sup>d</sup>	0.813±0.032 <sup>a</sup>	1.266±0.072 <sup>c</sup>
Tyr	0.636±0.023 <sup>b</sup>	0.837±0.028 <sup>c</sup>	0.602±0.056 <sup>b</sup>	0.582±0.106 <sup>b</sup>	0.359±0.011 <sup>a</sup>	0.557±0.061 <sup>b</sup>
Cys	0.516±0.024 <sup>b</sup>	0.867±0.05 <sup>c</sup>	0.168±0.036 <sup>a</sup>	0.515±0.244 <sup>b</sup>	0.373±0.003 <sup>b</sup>	0.427±0.035 <sup>b</sup>
Val	0.779±0.018 <sup>a</sup>	0.962±0.032 <sup>b</sup>	0.804±0.012 <sup>a</sup>	1.024±0.04 <sup>b</sup>	0.763±0.026 <sup>a</sup>	0.83±0.047 <sup>a</sup>
Met	0.396±0.012 <sup>bc</sup>	0.582±0.005 <sup>d</sup>	0.465±0.051 <sup>c</sup>	0.434±0.071 <sup>bc</sup>	0.122±0.005 <sup>a</sup>	0.339±0.04 <sup>b</sup>
Ile	0.629±0.017 <sup>c</sup>	0.739±0.045 <sup>d</sup>	0.639±0.055 <sup>c</sup>	0.5±0.048 <sup>b</sup>	0.138±0.003 <sup>a</sup>	0.51±0.044 <sup>b</sup>
Phe	0.825±0.033 <sup>a</sup>	1.127±0.047 <sup>b</sup>	0.787±0.078 <sup>a</sup>	1.003±0.129 <sup>b</sup>	0.728±0.023 <sup>a</sup>	0.805±0.082 <sup>a</sup>
Lys	1.465±0.076 <sup>b</sup>	1.955±0.029 <sup>d</sup>	1.745±0.059 <sup>cd</sup>	1.95±0.2 <sup>d</sup>	1.013±0.032 <sup>a</sup>	1.519±0.119 <sup>bc</sup>
Leu	1.551±0.065 <sup>b</sup>	2.023±0.052 <sup>c</sup>	1.73±0.05 <sup>b</sup>	1.986±0.131 <sup>c</sup>	1.297±0.053 <sup>a</sup>	1.578±0.121 <sup>b</sup>
Pro	1.914±0.084 <sup>c</sup>	1.168±0.073 <sup>b</sup>	0.667±0.041 <sup>a</sup>	0.665±0.013 <sup>a</sup>	2.299±0.22 <sup>d</sup>	1.097±0.058 <sup>b</sup>
EAA	6.271±0.239	7.988±0.255	6.671±0.39	7.413±0.703	4.501±0.162	6.015±0.528
NEAA	11.292±0.466	13.346±0.679	10.438±0.608	11.912±1.674	7.989±0.386	11.342±0.933
TAA	17.564±0.704	21.335±0.934	17.109±0.997	19.325±2.377	12.49±0.548	17.356±1.461
EAA/NEAA	55.535	59.853	63.911	62.231	56.340	53.033

**Note.** TAA (Total amino acids); EAA (Total essential amino acids); NEAA (Total non-essential amino acids);  $p < 0.05$ . Values are expressed as mean  $\pm$  SD ( $n = 3$ ). Different superscript letters within the same row indicate significant differences among organs ( $p < 0.05$ ) according to one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test. The full names of the amino acids are given in Table 1.

**Примечание.** TAA (общее количество аминокислот); EAA (общее количество незаменимых аминокислот); NEAA (общее количество заменимых аминокислот);  $p < 0,05$ . Значения представлены в виде среднего значения  $\pm$  стандартное отклонение ( $n = 3$ ). Различные буквы-индексы в одной строке указывают на значимые различия между органами ( $p < 0,05$ ) по результатам однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с апостериорным HSD-тестом Тьюки. Полное наименование аминокислот приведено в таблице 1.

## Conclusions

In recent decades, analytical methods for determining amino acid composition have been further optimized and are determined using highly sensitive analytical techniques. This study, for the first time using HPLC technology, compared the amino acid compositions in by-products from Mongolian sheep. The analysis of amino acid compositions revealed significant differences in the amino acid composition. Liver has the highest TAA and EAA contents,

while blood has the lowest. Compared with the amino acid profiles recommended by FAO/WHO [15], the protein quality of the hydrolyzed offal protein was fairly high, due to their high contents of essential amino acids, including Ile, Leu, Lys and Val. The nutritional, functional, bioactive, and potential flavoring aspects of sheep by-products are remarkable. Extraction and isolation of bioactive compounds from sheep by-products should receive special attention and further study.

## References

1. Aristoy M.C. Essential amino acids. *Handbook of analysis of edible animal by-products*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2011:123-135. <https://doi.org/10.1201/b10785>
2. Honikel K.O. Composition and calories. *Handbook of analysis of edible animal by-products*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2011:105-121. <https://doi.org/10.1201/b10785>
3. Anonymous. Animal by-products. Their use in animal nutrition. *Feed Compounder*. 1985;5(10):15-16.
4. Lasekan A., Abu Bakar F., Hashim D. Potential of chicken by-products as sources of useful biological resources. *Waste Manage*. 2013;33(3):552-565. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.08.001>
5. Mora L., Reig M., Toldra F. Bioactive peptides generated from meat industry by-products. *Food Research International*. 2014;65(C):344-349. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.014>
6. Martinez-Alvarez O., Chamorro S., Brenes A. Protein hydrolysates from animal processing by-products as a source of bioactive molecules with interest in animal feeding: A review. *Food Research International*. 2015;73:204-212. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.005>
7. Shi T., Tang T., Qian K. et al. High-performance liquid chromatographic method for determination of amino acids by precolumn derivatization with 4-chloro-3,5-dinitrobenzotrifluoride. *Analytica Chimica Acta*. 2009;654(2):154-161. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.09.027>
8. Deibler G.E., Martenson R.E. Determination of methylated basic amino acids with the amino acid analyzer. Application to total acid hydrolyzates of myelin basic proteins. *The Journal of Biological Chemistry*. 1973;248(7):2387-2391.
9. Xu W., Zhong C., Zou C. et al. Analytical methods for amino acid determination in organisms. *Amino Acids*. 2020;52:1071-1088. <https://doi.org/10.1007/s00726-020-02884-7>
10. Gotti R., Esposito E., Luise D. et al. Determination of Free Amino Acids in Milk, Colostrum and Plasma of Swine via Liquid Chromatography with Fluorescence and UV Detection. *Molecules*. 2022;27(13):4153. <https://doi.org/10.3390/molecules27134153>

## Список источников

1. Aristoy M.C. Essential amino acids. *Handbook of analysis of edible animal by-products*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2011:123-135. <https://doi.org/10.1201/b10785>
2. Honikel K.O. Composition and calories. *Handbook of analysis of edible animal by-products*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2011:105-121. <https://doi.org/10.1201/b10785>
3. Anonymous. Animal by-products. Their use in animal nutrition. *Feed Compounder*. 1985;5(10):15-16.
4. Lasekan A., Abu Bakar F., Hashim D. Potential of chicken by-products as sources of useful biological resources. *Waste Manage*. 2013;33(3):552-565. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.08.001>
5. Mora L., Reig M., Toldra F. Bioactive peptides generated from meat industry by-products. *Food Research International*. 2014;65(C):344-349. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.014>
6. Martinez-Alvarez O., Chamorro S., Brenes A. Protein hydrolysates from animal processing by-products as a source of bioactive molecules with interest in animal feeding: A review. *Food Research International*. 2015;73:204-212. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.005>
7. Shi T., Tang T., Qian K. et al. High-performance liquid chromatographic method for determination of amino acids by precolumn derivatization with 4-chloro-3,5-dinitrobenzotrifluoride. *Analytica Chimica Acta*. 2009;654(2):154-161. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.09.027>
8. Deibler G.E., Martenson R.E. Determination of methylated basic amino acids with the amino acid analyzer. Application to total acid hydrolyzates of myelin basic proteins. *The Journal of Biological Chemistry*. 1973;248(7):2387-2391.
9. Xu W., Zhong C., Zou C. et al. Analytical methods for amino acid determination in organisms. *Amino Acids*. 2020;52:1071-1088. <https://doi.org/10.1007/s00726-020-02884-7>
10. Gotti R., Esposito E., Luise D. et al. Determination of Free Amino Acids in Milk, Colostrum and Plasma of Swine via Liquid Chromatography with Fluorescence and UV Detection. *Molecules*. 2022;27(13):4153. <https://doi.org/10.3390/molecules27134153>

11. Qi X. *The research of the effect of leucine supplement in older people muscle protein metabolism*. Shanghai: Shanghai Institute of Physical Education, 2015.
  12. Holeček M. Lysine: Sources, Metabolism, Physiological Importance, and Use as a Supplement. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025;26(18):8791. <https://doi.org/10.3390/ijms26188791>
  13. Deng S., Peng Z., Chen F. et al. Amino acid composition and anti-anaemia action of hydrolyzed offal protein from *Harengula Zunasi Bleeker*. *Food Chemistry*. 2004;87(1):97-102. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.024>
  14. Juknienė I., Zaborskienė G., Jankauskienė A. et al. Effect of Lyophilization Process on Nutritional Value of Meat By-Products. *Applied Sciences*. 2022;12(24):12984. <https://doi.org/10.3390/app122412984>
  15. WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Protein and amino acid requirements in human nutrition. World Health Organization technical report series, 2007;(935):265.
11. Qi X. *The research of the effect of leucine supplement in older people muscle protein metabolism*. Shanghai: Shanghai Institute of Physical Education, 2015.
  12. Holeček M. Lysine: Sources, Metabolism, Physiological Importance, and Use as a Supplement. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025;26(18):8791. <https://doi.org/10.3390/ijms26188791>
  13. Deng S., Peng Z., Chen F. et al. Amino acid composition and anti-anaemia action of hydrolyzed offal protein from *Harengula Zunasi Bleeker*. *Food Chemistry*. 2004;87(1):97-102. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.10.024>
  14. Juknienė I., Zaborskienė G., Jankauskienė A. et al. Effect of Lyophilization Process on Nutritional Value of Meat By-Products. *Applied Sciences*. 2022;12(24):12984. <https://doi.org/10.3390/app122412984>
  15. WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Protein and amino acid requirements in human nutrition. World Health Organization technical report series, 2007;(935):265.

#### Information about the authors

**Amarzaya Lkhagvasuren**, Research Associate at the Institute of Food Research, University of Science and Technology; 14191, Mongolia, Ulaanbaatar, Sukhbaatar district, 8th khoroo, Baga toiruu 34; [amralhagva@gmail.com](mailto:amralhagva@gmail.com)

**Oyunbileg Lkhagvasuren**, Research Associate at the Institute of Food Research, University of Science and Technology; 14191, Mongolia, Ulaanbaatar, Sukhbaatar district, 8th khoroo, Baga toiruu 34.

#### Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office November 11, 2025  
Approved after reviewing March 22, 2026  
Accepted for publication March 22, 2026

#### Сведения об авторах

**Amarzaya Lkhagvasuren**, научный сотрудник института пищевых исследований, Монгольский университет науки и технологии; 14191, Монголия, г. Улан-Батор, район Сухэ-Батор, 8-й квартал, Бага Тойруу 34; [amralhagva@gmail.com](mailto:amralhagva@gmail.com)

**Oyunbileg Lkhagvasuren**, научный сотрудник института пищевых исследований, Монгольский университет науки и технологии; 14191, Монголия, г. Улан-Батор, район Сухэ-Батор, 8-й квартал, Бага Тойруу 34.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 11.11.2025  
Одобрена после рецензирования 22.03.2026  
Принята к публикации 22.03.2026

Обзорная статья  
УДК 547.979.7: 57.086.13  
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-03>



## Портативная система фильтрации для определения хлорофилла в экспедиционных условиях и криоконсервация проб

Виктор Ростиславович Алексеев<sup>1</sup>, Ольга Борисовна Максимова<sup>2</sup>,  
Ольга Александровна Чабан<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Санкт-Петербург, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Виктор Ростиславович Алексеев,  
[alekseev@zin.ru](mailto:alekseev@zin.ru)

### Аннотация

В работе оценивается эффективность двух методов сбора проб хлорофилла в экспедиционных условиях. Первый метод основан на портативной фильтрационной системе с нагнетательным давлением через шприц, второй – на криоконсервации проб. Были проведены: сравнение шприцевой с традиционной вакуумной фильтрацией; тестирование разных типов фильтров (стекловолоконные и ацетатцеллюлозные); проверка стабильности хлорофилла при замораживании. Результаты показали: стекловолоконные фильтры с нагнетательной системой дают сопоставимые с вакуумом результаты ( $5.4 \pm 1.52$  против  $6.01 \pm 1.15$  мкг/л); ацетатцеллюлозные фильтры не рекомендуются для использования с нагнетательной системой через шприц (занижение – на 55%); замораживание сохраняет хлорофилл в течение минимум 30 дней (статистически не отличаясь от свежесобранных проб). Предложенные модификации методов сбора рекомендуются для широкого использования в полевых условиях.

### Ключевые слова

Портативная фильтрация, криоконсервация проб, фитопигменты, полевые исследования, сбор проб, Сахалин

### Благодарности

Авторы благодарят участников экспедиции за помощь в сборе материала.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 125012800888-5.

### Для цитирования

Алексеев В.Р., Максимова О.Б., Чабан О.А. Портативная система фильтрации для определения хлорофилла в экспедиционных условиях и криоконсервация проб. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):103. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-03>



## Portable filtration system for chlorophyll determination in expeditionary conditions and cryopreservation of samples

Viktor R. Alekseev<sup>1</sup>, Olga B. Maksimova<sup>2</sup>, Olga A. Chaban<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: Viktor R. Alekseev, alekseev@zin.ru

### Abstract

The study evaluates the effectiveness of two methods for chlorophyll sampling in expeditionary conditions. The first method is based on a portable, syringe-based pressure filtration system, while the second involves cryopreservation of samples. The following were conducted: comparison of syringe-based filtration with conventional vacuum filtration; testing of different filter types (glass-fiber and cellulose acetate); verification of chlorophyll stability in freezing. The results showed that the pressure-driven system with glass-fiber filters provides results comparable to vacuum filtration ( $5.4 \pm 1.52$  vs.  $6.01 \pm 1.15$   $\mu\text{g/L}$ ); cellulose acetate filters are not recommended for the syringe-based system (underestimation by 55%); cryopreservation preserves chlorophyll for at least 30 days (statistically indistinguishable from freshly collected samples). The proposed modifications of the sampling methods are recommended for widespread use in field conditions.

### Keywords

Portable filtration, cryopreservation of samples, photopigments, field research, sampling, Sakhalin

### Acknowledgments

The authors are grateful to the expedition participants for their assistance with sample collection.

### Funding

The work was carried out within the framework of state assignment No. 125012800888-5.

### For citation

Alekseev V.R., Maksimova O.B., Chaban O.A. Portable filtration system for chlorophyll determination in expeditionary conditions and cryopreservation of samples. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):103. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-03

## Введение

### Introduction

Определение концентрации хлорофилла-а является ключевым методом оценки продуктивности водных экосистем и широко применяется в гидробиологических исследованиях, включая биоиндикацию, изучение первичной продукции, оценку рыбопродуктивности и мониторинг биоразнообразия [1]. В отличие от оперативно измеряемых параметров (температура, pH, электропроводность, содержание кислорода), стандартный лабораторный анализ хлорофилла требует сложной многоэтапной процедуры: фильтрация воды с осаждением фитопланктона на мембранных или стекловолоконных фильтрах; обезвоживание и замораживание образцов; экстракция пигментов органическими растворителями (ацетон, этанол); спектрофотометрическое или флуориметрическое определение концентраций [2, 3].

Стандартный протокол предполагает использование громоздкого оборудования (вакуумные насосы, стеклянные колбы Бунзена, системы шлангов), требующего стационарного размещения. Процедура фильтрации существенно замедляется по мере засорения пор фильтрующей мембраны минеральной взвесью и клетками фитопланктона, достигая 40-60 мин на пробу при работе с большими объемами воды (500-1000 мл). Эти технические сложности зачастую вынуждают исследователей отказываться от определения хлорофилла в ходе экспедиционных работ и тем самым лишаться важнейшего показателя биопродуктивности.

Для решения указанных проблем возможно применение портативного фильтрационного устройства, где вакуумная система заменена нагнетательным механизмом с регулируемым давлением до 2.5 атм. Портативный комплект (шприц емкостью 160 мл и стандартный фильтродержатель)

позволяет сократить время обработки пробы до 5 мин при сохранении целостности фильтра и возможности визуального контроля. Этот прибор был опробован в условиях многодневных пешеходных маршрутов во время экспедиции на острове Сахалин. Вторым методом, упрощающим сбор проб хлорофилла, является прямое замораживание проб воды с последующей лабораторной обработкой. Несмотря на то, что методы нагнетательной фильтрации и криоконсервации проб кратко упоминались ранее [4, 5], их подробное описание и систематическая проверка на разных типах фильтров и в различных условиях не проводились.

## Описание прибора

### Device description

Основу портативного фильтрационного прибора составляет пластиковый шприц объемом 160 мл из высокопрочного химически нейтрального полистирола, обеспечивающий плавное нагнетание воды под давлением до 2.5 атм (рис. 1). Шприц герметично соединяется с разборным фильтродержателем (приобретен через платформу AliExpress под названием «plastic syringe filter holder»), позволяющим использовать фильтры диаметром 47-50 мм. Прозрачный корпус фильтродержателя обеспечивает визуальный контроль степени заполнения фильтра, а быстросъемный механизм значительно упрощает процесс замены мембран в полевых условиях. Компактные размеры и малый вес прибора делают его эффективным для экспедиционных исследований, где критически важны мобильность и простота эксплуатации.

## Использование прибора Operating the device

Работа с портативным фильтрационным прибором осуществляется по следующей отработанной методике. После отбора пробы воды шприцем с присоединенным фильтродержателем производится плавное нагнетание жидкости, обеспечивающее равномерное прохождение воды через фильтрующую мембрану. Оптимальным является фильтрование такого количества порций воды (каждая по 160 мл), которое может быть обработано примерно за 5 мин. Значительное увеличение этого времени или заметное возрастание сопротивления при нажатии на поршень свидетельствуют о необходимости завершения фильтрации. Визуальный контроль через прозрачный корпус фильтродержателя позволяет оценить степень насыщения фильтра по интенсивности его окрашивания. При необходимости процесс можно прервать, зафиксировав общий профильтрованный объем с учетом остатка воды в шприце, что особенно важно при работе с высококонцентрированными пробами. По окончании фильтрации мембрану аккуратно извлекают, складывают пигментированной стороной внутрь для минимизации потерь анализируемого материала, после чего помещают между листами фильтровальной бумаги для удаления избыточной влаги. Подготовленный таким образом фильтр помещают в бумажный конверт и маркируют, затем дегидратируют в эксикаторе в течение 24 ч. Для длительного хранения до лабораторного анализа высушенные образцы размещают в герметичных полиэтиленовых пакетах в морозильной камере, что гарантирует сохранность пигментов в течение нескольких месяцев.

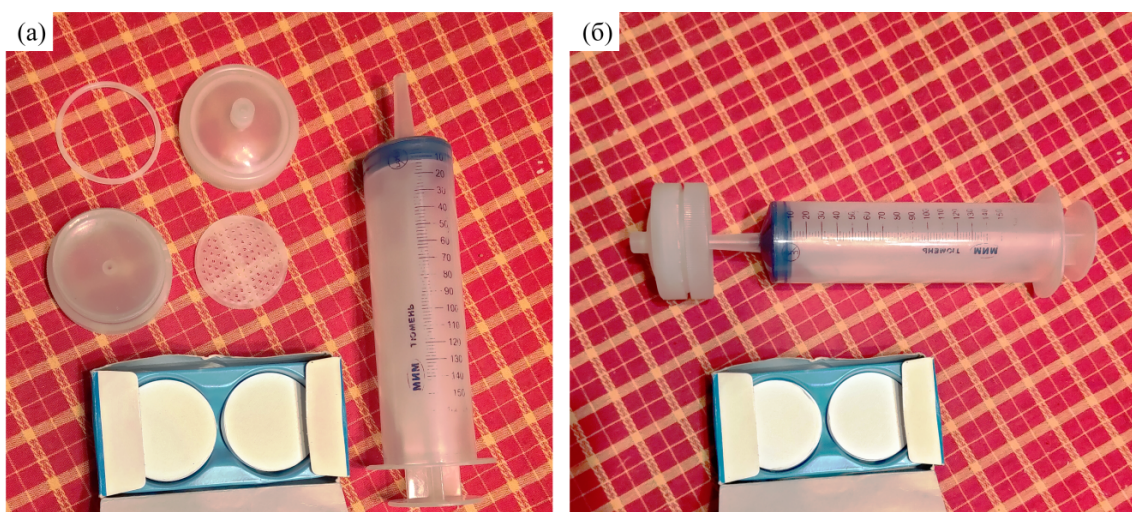


Рисунок 1. Конструкция портативного прибора для фильтрации воды и сбора проб хлорофилла в полевых условиях. а – в разобранном виде, б – в собранном виде.

Figure 1. Design of a portable water filtration device for field chlorophyll sampling. (a) disassembled view; (b) assembled view.

В экспедиции на острове Сахалин в июле-августе 2024 г. этот портативный прибор был успешно опробован. Отбор проб производился на 26 станциях, охватывающих различные типы континентальных водоемов: речные системы, озерные и болотные массивы. Для каждой пробы объем фильтруемой воды варьировал от 160 до 800 мл в зависимости от визуально оцениваемой концентрации фитопланктона, при этом использовались стандартные стекловолоконные фильтры Whatman GF/F с пористостью 1.2 мкм. После завершения полевого этапа все отобранные пробы были транспортированы в лабораторию для последующего анализа. Определение концентрации хлорофилла-а выполнялось согласно международному стандарту [3] методом спектрофотометрии ацетоновых экстрактов на высокоточном двухлучевом спектрофотометре Shimadzu UV-1800, обеспечивающем чувствительность измерений до 0.01 мкг/л. Полученные данные продемонстрировали значительный разброс значений содержания пигмента в исследованных водоемах: от 1 до 75 мкг/л. Результаты измерений представлены на рисунке 2. Наиболее показательными стали пробы из высокоотрофного озера-отстойника в Южном Сахалине, где при минимальном профильтрованном объеме (160 мл) и высокой мутности воды (95 NTU) была зафиксирована максимальная концентрация пигмента (75 мкг/л).

Для оценки эффективности данного метода нагнетательной фильтрации был проведен сравнительный анализ с традиционной вакуумной методикой. В мае 2025 г. в пруду Фрунзенского района Санкт-Петербурга осуществлен отбор проб поверхностной воды общим объемом 6 л, которые методом случайной выборки были разделены на подпробы объемом 400 мл.

Сравнительное исследование включало в себя три варианта обработки проб:

1. Нагнетательная фильтрация через стекловолоконные фильтры Whatman GF/F, 1.2 мкм.
2. Нагнетательная фильтрация через ацетатцеллюлозные фильтры, 1.2 мкм.
3. Стандартная вакуумная фильтрация через ацетатцеллюлозные фильтры, 1.2 мкм – контроль (рутинный лабораторный протокол).

Результаты спектрофотометрического анализа показали, что применение стекловолоконных фильтров с шприцевой системой дает статистически сопоставимые результаты с контрольной группой ( $5.4 \pm 1.52$  против  $6.01 \pm 1.15$  мкг/л соответственно,  $p > 0.05$ ). Однако использование ацетатцеллюлозных мембран в сочетании с нагнетательным методом продемонстрировало значительное занижение показателей ( $2.67 \pm 1.07$  мкг/л), что объясняется их меньшей сорбционной способностью и частичным вымыванием пигментов при принудительной фильтрации (рис. 3).

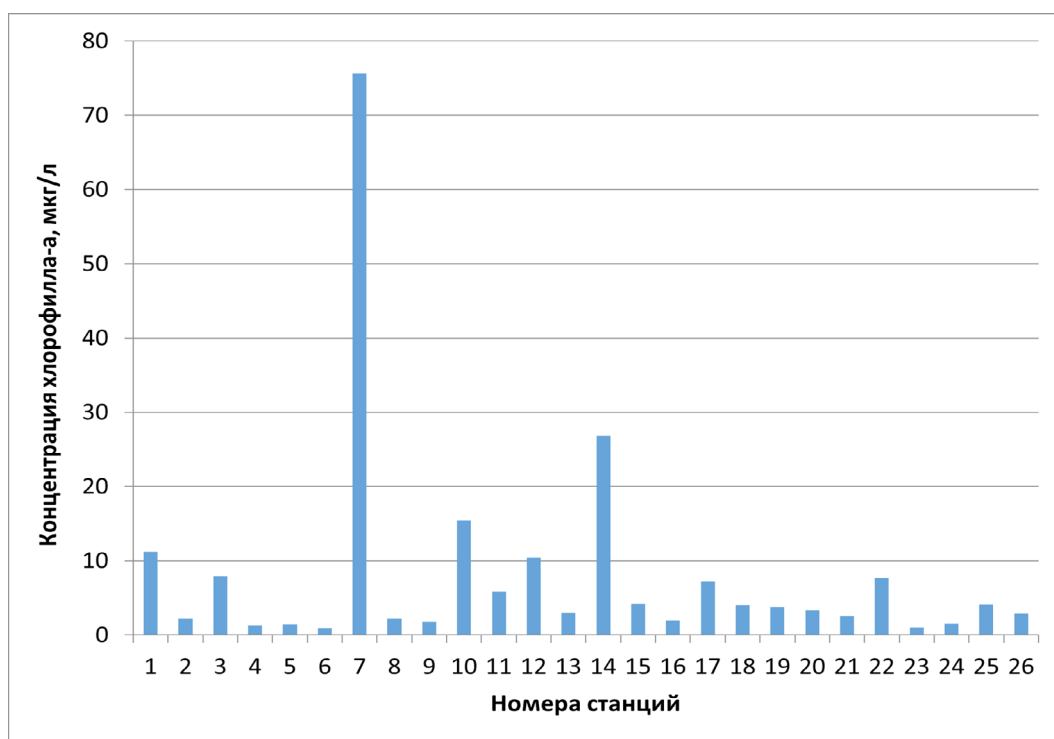


Рисунок 2. Результаты определения концентрации хлорофилла-а в водных объектах острова Сахалин, июль-август 2024.

Figure 2. Results of chlorophyll-a concentration determination in water bodies of Sakhalin island, July-August 2024.

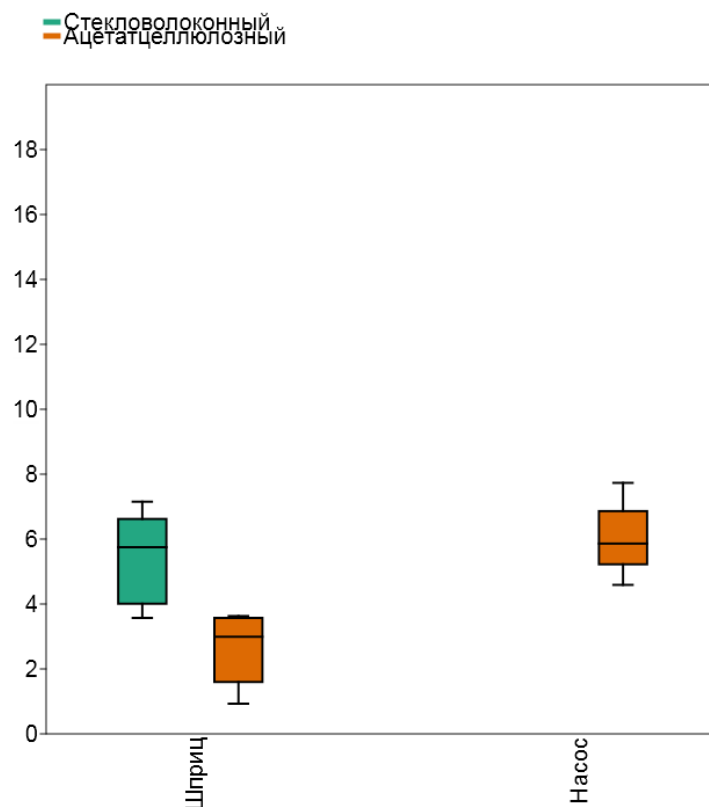


Рисунок 3. Результаты определения концентрации хлорофилла-а (мкг/л) в период массового развития фитопланктона в воде пруда Фрунзенского р-на Санкт-Петербурга, май 2025.

Figure 3. Results of chlorophyll-a concentration ( $\mu\text{g/L}$ ) determination during the period of phytoplankton bloom in the water of Frunzensky District pond, Saint Petersburg, May 2025.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Шприцевой метод со стекловолоконными фильтрами обеспечивает сопоставимую с традиционной методикой точность измерений.

2. Ацетатцеллюлозные мембраны не рекомендуются для использования с нагнетательной системой по причине систематического занижения результатов (в среднем на 55%).

3. Стекловолоконные фильтры обладают дополнительным преимуществом – повышенной механической прочностью, что предотвращает их повреждение при рабочих давлениях до 2.5 атм.

Таким образом, для полевых исследований оптимальным является сочетание портативного шприцевого устройства со стекловолоконными фильтрами, обеспечивающее как точность измерений, так и удобство работы в экспедиционных условиях.

### Замораживание проб

#### Cryopreservation of samples

Вторым методом упрощения сбора проб хлорофилла и доставки в лабораторию для анализа является замораживание в пластиковых бутылках объемом 0.5 л в морозильной камере. Пробы

отбирали в водоемах различного трофического уровня и в разные периоды вегетационного сезона 2024 г. в р. Неве, Финском заливе и озерах Выборгского района Ленинградской области. Пробы отбирались с поверхности в р. Неве и на озерах, а в Финском заливе – батометром интегрально от поверхности до глубины 3 прозрачности. Воду отбирали в чистые сосуды 0.5 л и транспортировали в лабораторию, где из каждого сосуда немедленно фильтровали контрольную подпробу 250 мл на фильтры с диаметром пор 0.8 мкм. Оставшиеся 250 мл замораживались в морозильной камере холодильника. Через месяц пробы размораживались и фильтровались на фильтры с диаметром пор 0.8 мкм.

Хлорофилл-а во всех пробах определялся описанным выше способом. При статистической обработке данных использовали программные пакеты Microsoft Excel и Statistica 10. Были отобраны 54 пробы на фотосинтетические пигменты и проведено сравнение результатов, полученных сразу после отбора проб (AS) и после заморозки (AF).

Проведенный предварительный анализ этих выборок выявил некоторую асимметрию в распределении результатов, поэтому наряду с критерием Стьюдента для оценки их сходства был также использован непараметрический U-критерий

Манна-Уитни. Корреляционный анализ выявил в обоих случаях высокую корреляцию между оценками содержания хлорофилла в свежих и замороженных и определенных после месяца хранения пробах ( $r = 0.94$ ,  $n = 54$  и  $p < 0.05$ ). Согласно проведенному статистическому анализу обе исследованные группы происходят из одной генеральной совокупности, и наблюдаемые различия между

средними значениями сравниваемых выборок случайны и невелики (рис. 4). Это позволяет считать, что при заморозке проб, при условии доставки их в лабораторию в течение одного месяца, не происходит заметных изменений состояния фотосинтетических пигментов. Это позволяет использовать данную методику для оценки содержания хлорофилла в водоемах различного трофического статуса.

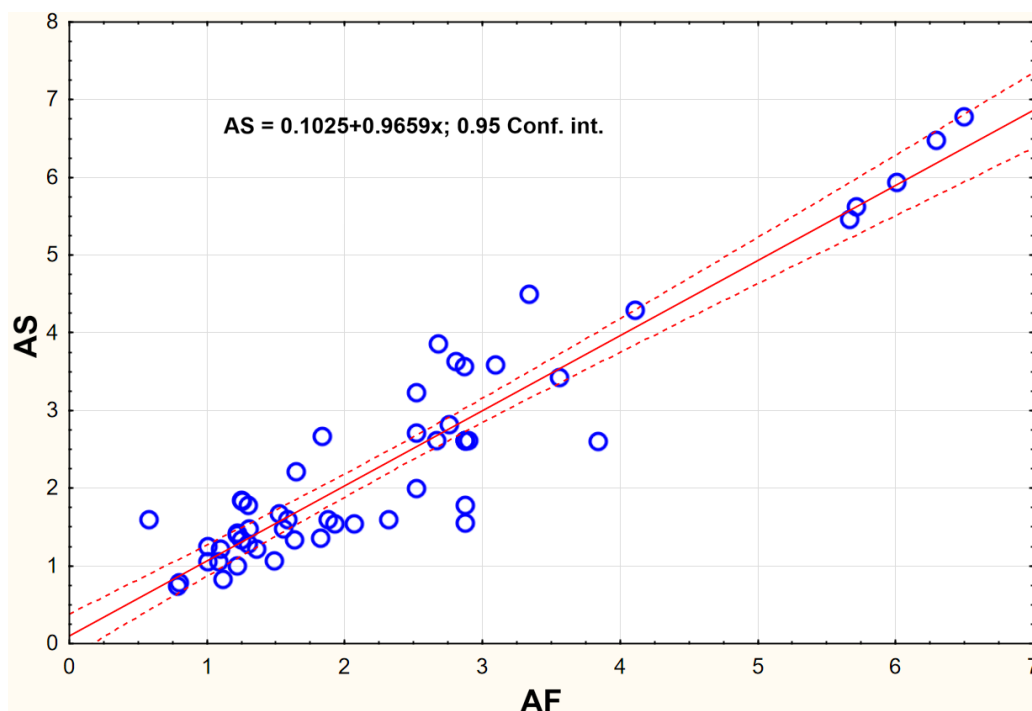


Рисунок 4. Сравнение концентрации хлорофилла-а в свежих (AS) и замороженных (AF) пробах воды, мкг/л, демонстрирующее высокую степень согласованности результатов ( $r = 0.94$ ,  $p < 0.05$ ).

Figure 4. Comparison of chlorophyll-a concentration in fresh (AS) and frozen (AF) water samples,  $\mu\text{g/L}$ , demonstrating a high degree of result consistency ( $r = 0.94$ ,  $p < 0.05$ ).

## Выводы

### Conclusions

Описываемый простой и доступный портативный прибор показал высокую эффективность, надежность и удобство в работе в широком диапазоне концентраций хлорофилла и других взвесей в разнотипных водоемах. Оцениваемые значения хлорофилла-а, полученные с использованием стекловолоконных фильтров и шприцевого метода, не показали значимых различий со стандартным вакуумным методом ( $p > 0.05$ ,  $t$ -тест). Использование прибора в комплекте со стекловолоконными

фильтрами можно рекомендовать для использования в экспедиционных условиях, что повышает скорость фильтрации и упрощает транспортировку, снижая вес и объем оборудования.

Метод замораживания еще более упрощает процедуру сбора проб в полевых условиях и не требует для этих целей специального оборудования, за исключением морозильной камеры. Он позволяет адекватно оценивать концентрацию хлорофилла в широком диапазоне значений этого показателя при хранении сроком как минимум одного месяца, что было подтверждено данными исследованиями.

### Список источников

1. Бульон В.В. Хлорофилл-а как показатель биомассы фитопланктона. *Вода: Химия и экология*. 2017;(8(110)):39-47.
2. Крылов А.В., Барышев И.А., Безматерных Д.М. *Методы гидробиологических исследований*

### References

1. Boulion V.V. Chlorophyll-a as an indicator of biomass of phytoplankton. *Voda: Khimiya i ekologiya*. 2017;(8(110)):39-47. (In Russ.)
2. Krylov A.V., Baryshev I.A., Bezmaternykh D.M. *Methods of hydrobiological studies of inland waters*.

внутренних вод. Борок, Ярославская обл.: ИБВВ РАН; Ярославль: Филигрань, 2024:557.

3. SCOR Working Group 17. *Determination of photosynthetic pigments in sea-water*. Paris, France: UNESCO, 1966:69.  
<https://doi.org/10.25607/OBP-1940>
4. Денисов Д.Б. Фитопланктон водоемов Мурманской области в зонах влияния металлургической промышленности. *Труды Кольского научного центра РАН*. 2019;10(4-7):94-108.  
<https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.94-108>
5. Насмараев Б.Б., Бархутова Д.Д., Хахинов В.В. *Полевой практикум по водной микробиологии и гидрохимии*. Улан-Уде: Издательство Бурятского государственного университета, 2006:68.

### Сведения об авторах

**Виктор Ростиславович Алексеев**, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории пресноводной и экспериментальной гидробиологии, Зоологический институт РАН; 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 1; [alekseev@zin.ru](mailto:alekseev@zin.ru);  
<https://orcid.org/0000-0002-1968-2609>

**Ольга Александровна Чабан**, аспирант лаборатории пресноводной и экспериментальной гидробиологии, Зоологический институт РАН; 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 1; [Olga.Chaban@zin.ru](mailto:Olga.Chaban@zin.ru);  
<https://orcid.org/0009-0006-4136-8831>

**Ольга Борисовна Максимова**, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидробиологии, Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга); 199053, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Набережная Макарова, 26; [olgamaximova@mail.ru](mailto:olgamaximova@mail.ru)

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.03.2026  
Одобрена после рецензирования 30.03.2026  
Принята к публикации 30.03.2026

Borok, Yaroslavl region, Russia: Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences; Yaroslavl, Russia: Limited Liability Company Filigran, 2024:557. (In Russ.)

3. SCOR Working Group 17. *Determination of photosynthetic pigments in sea-water*. Paris, France: UNESCO, 1966:69.  
<https://doi.org/10.25607/OBP-1940>
4. Denisov D.B. Phytoplankton of the lakes of the Murmansk Region in the zones of influence of the metallurgical industry. *Trudy Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2019;10(4-7):94-108. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2019.4.94-108>
5. Nasmaraev B.B., Barkhutova D.D., Khakhinov V.V. *Field practical training on aquatic microbiology and hydrochemistry*. Ulan-Ude: Banzarov Buryat State University, 2006:68. (In Russ.)

### Information about the authors

**Viktor R. Alekseev**, DSc (Bio), Professor, Chief Research Associate at the Laboratory of Freshwater and Experimental Hydrobiology, Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences; 199034, Russian Federation, Saint Petersburg, Universitetskaya Embankment, 1; [alekseev@zin.ru](mailto:alekseev@zin.ru);  
<https://orcid.org/0000-0002-1968-2609>

**Olga A. Chaban**, postgraduate student of the Laboratory of Freshwater and Experimental Hydrobiology, Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences; 199034, Russian Federation, Saint Petersburg, Universitetskaya Embankment, 1; [Olga.Chaban@zin.ru](mailto:Olga.Chaban@zin.ru);  
<https://orcid.org/0009-0006-4136-8831>

**Olga B. Maksimova**, CSc (Bio), Senior Researcher Associate at the Hydrobiology Laboratory, Saint Petersburg branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography; 199053, Russian Federation, Saint Petersburg, Makarova Embankment St., 26; [olgamaximova@mail.ru](mailto:olgamaximova@mail.ru)

### Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office March 17, 2026  
Approved after reviewing March 30, 2026  
Accepted for publication March 30, 2026

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 639.3: 597.423 (470.311)

https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-04



### Особенности воспроизводства стерляди (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) в условиях Мансуровского рыбоводного хозяйства

Павел Александрович Михалин<sup>1</sup>, Павел Михайлович Гудков<sup>2</sup>,  
Егор Евгеньевич Алдобаев<sup>1</sup>, Елена Анатольевна Данилова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «АГТУ»,  
Московская область, Рыбное, Россия

<sup>2</sup> Мансуровское рыбоводное хозяйство, Московская область, Истра, Россия

Автор, ответственный за переписку: Павел Александрович Михалин,  
mikhalinpavel2005@yandex.ru

#### Аннотация

В работе отражены технология воспроизводства и характеристика стерляди волжской популяции в условиях рыбоводного хозяйства Мансуровского карьероуправления («Мансуровское рыбоводное хозяйство») в Истринском районе Московской области, созданного на отработанных карьерах с целью аквакультуры осетровых и других видов рыб. Условия содержания: производителей содержат в садках на карьерах в течение года, на нерестовую кампанию переводят в цех (в конце апреля – начале мая). Мальков подращивают в бассейнах цеха в течение летнего сезона, в дальнейшем переводят в садки на выращивание или реализуют. Производители стерляди (самки) в возрасте 5-7 лет по результатам нерестовой кампании 2025 г. характеризовались следующими рыбоводно-биологическими показателями: средняя масса – 2.43 кг; масса полученной икры от одной самки в среднем –  $342.0 \pm 38.09$  г; средняя рабочая плодовитость –  $36.42 \pm 3.81$  тыс. шт.; относительная плодовитость –  $15.35 \pm 1.6$  тыс. шт./кг веса; масса 1 ооцита –  $9.4 \pm 0.2$  мг; ГСИ (гамето-соматический индекс) –  $14.3 \pm 1.55\%$ . Репродуктивные показатели самок стерляди с Мансуровского рыбоводного хозяйства оказались выше аналогичных данных по сравнению со стерлядью из Конаковского завода по осетроводству (Отдел «Конаковский» Филиала по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), выращиваемых в проточных бассейнах на теплой воде.

#### Ключевые слова

Стерлядь, воспроизводство, репродуктивные показатели, Мансуровское рыбоводное хозяйство, осетровые

#### Для цитирования

Михалин П.А., Гудков П.М., Алдобаев Е.Е., Данилова Е.А. Особенности воспроизводства стерляди (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) в условиях Мансуровского рыбоводного хозяйства. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):104. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-04

## BIOLOGICAL RESOURCES, ECOLOGY

Research article

https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-04



### Reproduction features of sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) in the Mansurovsky Fish Farm

Pavel A. Mikhalin<sup>1</sup>, Pavel M. Gudkov<sup>2</sup>, Egor E. Aldobaev<sup>1</sup>, Elena A. Danilova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dmitrov Fish-industry Technological Institute (Branch) of the Astrakhan State Technical University,  
Rybnoe Vlg., Moscow Region, Russia

<sup>2</sup> Mansurovsky Fish Farm, Istra, Moscow Region, Russia

Corresponding author: Pavel A. Mikhalin, mikhalinpavel2005@yandex.ru

#### Abstract

The study presents the technology of reproduction and characteristics of the Volga population of sterlet in the Mansurovsky Fish Farm in the Istra District of the Moscow Region. The farm was created on the basis of abandoned quarries for the

aquaculture of sturgeon and other fish species. The conditions of breeding include keeping spawners in cages in quarries throughout the year, transferring them to the workshop for the spawning campaign (in late April or early May). Fry are raised in the workshop pools during the summer season, and then transferred to cages for further growing or sold. According to the results of the 2025 spawning campaign, starlet spawners (aged 5-7 years) had the following fish-breeding and biological indicators: average weight – 2.43 kg, average weight of eggs obtained from one spawner –  $342.0 \pm 38.09$  g, average working fertility –  $36.42 \pm 3.81$  thousand eggs, relative fertility –  $15.35 \pm 1.6$  thousand eggs/kg of body weight, average weight of one oocyte –  $9.4 \pm 0.2$  mg, gametosomatic index (GSI) –  $14.3 \pm 1.55\%$ . The reproductive indicators of starlet spawners from the Mansurovsky Fish Farm were higher compared to data from the Konakovsky Sturgeon Breeding Farm (Department “Konakovsky” of the Branch for Freshwater Fisheries of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography), where fish were raised in flowing pools with warm water.

### Keywords

Sterlet, reproduction, reproductive indicators, Mansurovsky Fish Farm, sturgeon

### For citation

Mikhailin P.A., Gudkov P.M., Aldobaev E.E., Danilova E.A. Reproduction features of sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) in the Mansurovsky Fish Farm. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):104. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-04>

## Введение

### Introduction

Стерлядь (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, 1758) относительно других представителей семейства Acipenseridae отличается небольшими размерами, способностью созревать в пресной воде в более ранние сроки и лучшими адаптационными способностями при выращивании в разных аквакультурных системах [1]. Поэтому она является прекрасным объектом на начальных этапах организации осетрового, в том числе товарного, икорного предприятия. При этом важно учитывать репродуктивные показатели этого вида [2-4].

**Цель исследований:** изучение технологии воспроизводства стерляди в условиях «Мансуровского рыболовного хозяйства» и оценка репродуктивных показателей самок.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Характеристика условий содержания.
2. Описание этапов технологии искусственного воспроизводства.
3. Оценка репродуктивных показателей.
4. Сравнение с аналогичными данными относительно стерляди, полученными в других хозяйствах.

## Методика исследований

### Research method

Исследовательская работа проводилась на Мансуровском рыболовном хозяйстве, расположенном в Московской области, городской округ Истра, деревня Алексеевка. Данное хозяйство находится в первой рыболовной зоне с вегетационным периодом 65-75 суток и использует обводненные карьеры с преобладанием грунтового типа питания. Обводненные карьеры имеют глубину свыше

8 м и прозрачность воды более 3 м. Содержание растворенного кислорода – более 10 мг/л, активная реакция среды pH – 7.5-8.

На Мансуровском рыболовном хозяйстве в качестве объекта аквакультуры выращивают и воспроизводят осетровых рыб: сибирского и русского осетров, стерлядь; недавно завезли калугу, а также выращивают радужную форель и другие виды.

Материалом исследований являлись производители стерляди (самки) в возрасте 5-7 лет, выращенные в садках Мансуровского рыболовного хозяйства. Оценивались следующие репродуктивные показатели: масса полученной икры, количество икринок в навеске 1 г, плодовитость индивидуальная рабочая (РП), относительная плодовитость (ОП) – количество икры на 1 кг массы самки, гамето-соматический индекс (ГСИ) – отношение массы полученной икры к массе рыбы до нереста, %.

## Результаты и их обсуждение

### Results and discussion

На Мансуровском рыболовном хозяйстве сформировано собственное маточное стадо стерляди волжской популяции. Созревание самок происходило в возрасте 4+. В настоящее время имеются 46 особей производителей в возрасте от 5 до 7 лет. От них ежегодно получают половые продукты – нерест проводится раз в год в мае в инкубационно-мальковом цехе.

Условия содержания рыб: производители находятся в садках на карьерах в течение года при естественных температурах. Кормление в садках проводится с мая по сентябрь. На нерестовую кампанию их переводят в цех (в конце апреля – начале мая при наступлении нерестовых температур 11-12°C).

**Технология воспроизводства.** Производителям стерляди проводят гормональные инъекции

гипофизом карповых рыб. Самок инъектируют дробно. Первая инъекция – предварительная – 0.5 мкг/кг; вторая – разрешающая – 4 мкг/кг, проводилась по прошествии 12-18 ч (в зависимости от температуры воды) после первой инъекции. В 2025 г. разрешающая инъекции стерляди была сделана 22 мая в 12:00 при температуре воды 14-15°C. Первые самки стерляди начали отдавать половые продукты (икру) через 11 ч. Основной же пик нереста начался через 15 ч (23 мая с 00:40 до 03:00). Получение икры проводили по методу С.Б. Подушки. Результаты получения икры в нерестовой кампании в мае 2025 г. отражены в таблице 1.

Сравнение репродуктивных показателей самок стерляди Мансуровского рыбоводного хозяйства с аналогичными данными по волжской стерляди из Конаковского завода по осетроводству (Отдел «Конаковский» Филиала по пресноводному

рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), выращиваемых в проточных бассейнах на теплой воде, показало превышение по нескольким показателям (табл. 2), но достоверные различия (на уровне  $p \geq 95\%$ ) по критерию Стьюдента выявлены по массе и рабочей плодовитости.

Оплодотворение проводили полусухим способом с разбавлением спермы. Обесклеивали танином. Инкубация икры происходила в аппаратах «Осетр» и Вейса. Вылупившихся постэмбрионов рассаживали в бассейнах, при проявлении роения начинали кормить стартовым кормом Aquagex. Личинок и мальков подращивают в бассейнах цеха в течение летнего сезона, в дальнейшем переводят в садки или реализуют.

Мальки стерляди в возрасте 2 месяцев достигли массы от 11.5 до 15 г – в среднем  $13.02 \pm 0.35$  г.

**Таблица 1.** Рыбоводно-биологические показатели самок стерляди.

**Table 1.** Fish-breeding and biological indicators of starlet spawners.

Номер рыбы <i>Fish number</i>	Масса, кг <i>Weight, kg</i>	Возраст <i>Age</i>	Кол-во икры, г <i>Quantity of eggs, g</i>	Кол-во икринок в 1 г, шт. <i>Number of eggs per gram, pcs.</i>	Масса ооцита, мг <i>Oocyte weight, mg</i>	ГСИ, % <i>GSI, %</i>	Рабочая плодовитость (РП), тыс. шт. <i>Working fertility (WF), thousand pcs.</i>	Относительная плодовитость (ОП), тыс.шт/кг <i>Relative fertility (RF), thousand pcs./kg</i>
1	1.895	5+	315	97	10.3	16.6	30.555	16.124
2	1.99	5+	460	100	10.0	23.1	46.000	23.116
3	2.13	6+	200	109	9.2	9.4	21.800	10.235
4	2.195	6+	345	114	8.8	15.7	39.330	17.918
5	2.195	6+	375	116	8.6	17.1	43.500	19.818
6	2.395	6+	145	114	8.8	6.1	16.530	6.902
7	2.405	6+	265	119	8.4	11.0	31.535	13.112
8	2.435	6+	445	118	8.5	18.3	52.510	21.565
9	2.67	6+	330	96	10.4	12.4	31.680	11.865
10	3.96	7+	540	94	10.6	13.6	50.760	12.818
Среднее <i>Mean</i>	2.427	5.9	342	107.7	9.4	14.3	36.420	15.347
Стандартное отклонение, $\sigma$ <i>Standard deviation, <math>\sigma</math></i>	0.59	0.57	120.47	9.90	0.88	4.90	12.04	5.24
<i>m, ошибка m, error</i>	0.19	0.18	38.09	3.13	0.28	1.55	3.81	1.66

**Таблица 2.** Сравнение репродуктивных показателей с производителями стерляди волжской популяции из Конаковского завода по осетроводству (Отдел «Конаковский» Филиала по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»).

**Table 2.** Comparison of reproductive indicators with spawners of the Volga population starlet from the Konakovsky Sturgeon Breeding Farm (Department “Konakovsky” of the Branch for Freshwater Fisheries of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography).

Показатели <i>Indicators</i>	Среднее значение <i>Mean</i>	m	Стандартное отклонение, $\sigma$ <i>Standard deviation, <math>\sigma</math></i>	Cv, %	Среднее <i>Mean</i>	m	Tst	Среднее <i>Mean</i>	m	Tst
<b>Мансуровское рыбноводное хозяйство</b> <i>Mansurovsky Fish Farm</i>					<b>*Отдел «Конаковский» (КЗТО)</b> <i>Department “Konakovsky” (Konakovsky Sturgeon Breeding Farm)</i>					
Возраст / <i>Age</i>	6+				6+			10+		
Масса, кг <i>Weight, kg</i>	2.35	0.07	0.19	7.99	2.04	0.09	2.72	2.36	0.08	-0.09
Количество икринок в 1 грамме, шт. <i>Number of eggs per gram, pcs.</i>	112.3	2.98	7.89	7.03	106.70	5.59	0.88	102.7	2.21	2.59
Плодовитость рабочая, тыс. шт. <i>Working fertility, thousand pcs.</i>	33.80	4.70	12.43	36.7	22.60	1.96	2.20	32.42	2.09	0.27
ОП, тыс.шт/кг массы тела самки <i>OP, thousands of eggs/kg of female body weight</i>	14.50	2.04	5.40	37.2	11.58	1.02	1.28	13.74	1.38	0.31

**Примечание.** Используются данные по источникам литературы [4, 5].

Note

## Выводы

## Conclusions

1. «Мансуровское рыбноводное хозяйство» создано на выработанных карьерах в Истринском районе Московской области для разведения различных видов рыб (сибирский осетр, стерлядь, калуга, радужная форель и т.д.) в целях товарной аквакультуры.

2. Условия содержания рыб: производители содержат в садках на карьерах в течение года, на нерестовую кампанию переводят в цех (в конце апреля – начале мая). Мальков подращивают в бассейнах цеха в течение летнего сезона, в дальнейшем переводят в садки или реализуют.

3. Производители стерляди (самки) в возрасте 5-7 лет по результатам нерестовой кампании

2025 г. характеризовались следующими рыбноводно-биологическими показателями: средняя масса тела –  $2.427 \pm 0.19$  кг; масса полученной икры от 1 самки –  $342.0 \pm 38.09$  г; средняя рабочая плодовитость (РП) –  $36.420 \pm 3.81$  тыс. шт.; относительная плодовитость (ОП) –  $15.347 \pm 1,6$  тыс. шт/кг веса тела; масса 1 ооцита –  $9.4 \pm 0.2$  мг; ГСИ (гамето-соматический индекс) –  $14.3\% \pm 1.55$ .

4. Репродуктивные показатели самок стерляди с Мансуровского рыбноводного хозяйства оказались выше аналогичных данных по сравнению со стерлядью из Конаковского завода по осетроводству (Отдел «Конаковский» Филиала по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), выращиваемых в проточных бассейнах на теплой воде, но достоверные отличия получены по рабочей плодовитости и массе.

## Список источников

1. Нефедов С.А., Мельченков Е.А., Нефедова И.В., Чертихина Е.А. Рыбоводно-биологическая характеристика обского осетра (*Acipenser baerii* Brandt) и иртышской стерляди (*Acipenser*

## References

1. Nefedov S.A., Melchenkov E.A., Nefedova I.V., Chertikhina E.A. Fish-farming and biological characteristics of ob sturgeon (*Acipenser baerii* Brandt) and irtish sterlet (*Acipenser*

- ruthenus marsiglii* Brandt) при выращивании в промышленных условиях. *Вопросы рыболовства*. 2009;10(2(38)):347-351.
2. Бартош Н.А. Современное состояние популяций стерляди Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ. *Состояние популяций стерляди в водоемах России и пути их стабилизации*. 2004:112-159.
  3. Волкова А.Ю., Хуобонен М.Э. Репродуктивные показатели производителей осетровых при выращивании в садках в условиях европейского севера. *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. 2015;(4 (149)):73-76.
  4. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральный селекционно-генетический центр рыбоводства. *Породы и одомашненные формы осетровых рыб (Acipenseridae)*. Москва: ООО «Столичная типография», 2008:152.
  5. Данилова Е.А., Воробьев А.П., Звезда И.О. и др. Репродуктивные показатели стерляди и сибирского осетра при выращивании в аквакультуре и в естественных водоемах. *Рыбоводство и рыбное хозяйство*. 2023;17(4(207)):245-255. <https://doi.org/10.33920/sel-09-2304-03>
- ruthenus marsiglii* Brandt) at the rearing under industrial conditions. *Fisheries Issues*. 2009;10(2(38)):347-351. (In Russ.)
2. Bartosh N.A. Current status of sterlet populations in the Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs. *Status of sterlet populations in Russian water bodies and ways to stabilize them*. 2004:112-159. (In Russ.)
  3. Volkova A.Yu., Khuobonen M.E. Reproductive indicators of cage grown sturgeon producers in conditions of European North. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015;(4(149)):73-76. (In Russ.)
  4. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Federal Selection and Genetic Center for Fish Farming. *Breeds and domesticated forms of sturgeon (Acipenseridae)*. Moscow, Russia: ООО "Stolichnaya tipografiya", 2008:152. (In Russ.)
  5. Danilova E.A., Vorob'eva A.P., Zvezda I.O. et al. Reproductive indicators of sterlet and Siberian sturgeon when grown in aquaculture and in natural reservoirs. *Fish Breeding and Fisheries*. 2023;17(4(207)):245-255. <https://doi.org/10.33920/sel-09-2304-03>

#### Сведения об авторах

**Павел Александрович Михалин**, обучающийся, Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «АГТУ»; 141821, Россия, Московская область, пос. Рыбное, д. 36; [mikhailinpavel2005@yandex.ru](mailto:mikhailinpavel2005@yandex.ru)

**Павел Михайлович Гудков**, начальник цеха переработки, Мансуровское рыбоводное хозяйство; 143573, Россия, Московская область, г.о. Истра, дер. Алексеевка, производственная база «Мансуровское карьероуправление», д. 3.

**Алдобаев Егор Евгеньевич**, обучающийся, Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «АГТУ»; 141821, Россия, Московская область, пос. Рыбное, д. 36; [Aldobmix1234@yandex.ru](mailto:Aldobmix1234@yandex.ru)

**Елена Анатольевна Данилова**, доцент кафедры аквакультуры и экологии, Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «АГТУ»; 141821, Россия, Московская область, пос. Рыбное, д. 36; [kafvba@mail.ru](mailto:kafvba@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2841-5959>

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 12.12.2025  
Одобрена после рецензирования 24.12.2025  
Принята к публикации 24.12.2025

#### Information about the authors

**Pavel A. Mikhailin**, student, Dmitrov Fish-industry Technological Institute (Branch) of the Astrakhan State Technical University; 141821, Russian Federation, Moscow Region, Rybnoe Vlg., 36; [mikhailinpavel2005@yandex.ru](mailto:mikhailinpavel2005@yandex.ru)

**Pavel M. Gudkov**, Head of the Processing Department, Mansurovsky Fish Farm; 143573, Russian Federation, Moscow Region, Urban District Istra, Alekseevka Vlg., Production Base "Mansurovskoye quarry management", 3

**Egor E. Aldobaev**, student, Dmitrov Fish-industry Technological Institute (Branch) of the Astrakhan State Technical University; 141821, Russian Federation, Moscow Region, Rybnoe Vlg., 36; [Aldobmix1234@yandex.ru](mailto:Aldobmix1234@yandex.ru)

**Elena A. Danilova**, Associate Professor at the Department of Aquaculture and Ecology, Dmitrov Fish-industry Technological Institute (Branch) of the Astrakhan State Technical University; 141821, Russian Federation, Moscow Region, Rybnoe Vlg., 36; [kafvba@mail.ru](mailto:kafvba@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2841-5959>

#### Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office December 12, 2025  
Approved after reviewing December 24, 2025  
Accepted for publication December 24, 2025

Научная статья

УДК 597.8: 612.176: 591.16

https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-05



## Изменения процесса пролиферации кардиомиоцитов озерной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) под действием ионов кадмия

Елена Юрьевна Руденко<sup>1</sup>, Максим Викторович Милютин<sup>2</sup>,  
Алиса Анатольевна Агаркова<sup>3</sup>, Турсумбай Сатымбаевич Кубатбеков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет)

<sup>2</sup> Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ, Обнинск, Россия

<sup>3</sup> Российский государственный аграрный университет –  
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Елена Юрьевна Руденко,  
e\_rudenko@rambler.ru

### Аннотация

Исследовали изменения процесса пролиферации кардиомиоцитов озерной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) в период метаморфоза головастика, происходящие под действием различных концентраций ионов кадмия. Личинок озерной лягушки выращивали в прудовой воде, содержащей 0.002 мг/л, 0.02 мг/л и 0.1 мг/л ионов кадмия. Для получения изолированных кардиомиоцитов использовали метод щелочной диссоциации тканей. В мазках изолированных клеток подсчитывали митотический индекс (процентное содержание делящихся клеток) и индекс двуядерных кардиомиоцитов (процентное содержание двуядерных клеток). Проведенные исследования показали, что развитие головастика озерной лягушки в воде, содержащей различные концентрации ионов кадмия, не вызывает существенных изменений морфологии сердечных миоцитов. Большинство кардиомиоцитов имеют цилиндрическую форму, овальное, центрально расположенное ядро и небольшое количество боковых и концевых отростков. Наряду с одноядерными встречаются и двуядерные кардиомиоциты. Под влиянием на организм головастика озерной лягушки ионов кадмия в различных концентрациях, содержащихся в среде обитания личинок озерной лягушки, в период метаморфоза головастика в молодых лягушат происходит угнетение пролиферативной активности сердечных мышечных клеток предсердий и желудочка на всех изученных стадиях развития, которое особенно заметно при воздействии на организм ионов кадмия в концентрации 0.02 мг/л. При этом наблюдается закономерное снижение индекса двуядерных кардиомиоцитов в предсердии и желудочке сердца озерной лягушки. Изменение протекания процесса пролиферации сердечных миоцитов может быть обусловлено нарушением синтеза или структурной организации белков цитоскелета, принимающих участие в формировании веретена деления и расхождении хромосом в анафазе митоза.

### Ключевые слова

Кадмий, кардиомиоциты, пролиферация, дифференцировка, озерная лягушка

### Для цитирования

Руденко Е.Ю., Милютин М.В., Агаркова А.А., Кубатбеков Т.С. Изменения процесса пролиферации кардиомиоцитов озерной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) под действием ионов кадмия. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):105. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-05



## Changes in cardiomyocyte proliferation process of the lake frog *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) under the effect of cadmium ions

Elena Yu. Rudenko<sup>1</sup>, Maksim V. Milyutin<sup>2</sup>, Alisa A. Agarkova<sup>3</sup>, Tursumbai S. Kubatbekov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
«N.I. Pirogov Russian National Research Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

<sup>2</sup> Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, National Research Nuclear University “MEPhI”,  
Obninsk, Russia

<sup>3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Corresponding author: Elena Yu. Rudenko, e\_rudenko@rambler.ru

### Abstract

The study investigated changes in the cardiomyocyte proliferation process of the lake frog *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) during tadpole metamorphosis under the effect of various concentrations of cadmium ions. Lake frog larva were raised in pond water containing 0.002 mg/L, 0.02 mg/L, and 0.1 mg/L of cadmium ions. The alkaline tissue dissociation method was used to obtain isolated cardiomyocytes. The mitotic index (percentage of dividing cells) and the index of binucleated cardiomyocytes (percentage of binucleated cells) were counted in smears of isolated cells. The research showed that the development of lake frog tadpoles in water containing various concentrations of cadmium ions did not cause significant changes in the morphology of cardiac myocytes. Most cardiomyocytes had a cylindrical shape, an oval centrally located nucleus, and a small number of lateral and terminal processes. Both uninucleated and binucleated cardiomyocytes were present. Under the effect of cadmium ions at various concentrations in the tadpoles' environment during the metamorphosis period, there was an inhibition of proliferative activity of cardiac muscle cells in the atria and ventricle at all studied developmental stages. This effect was most noticeable at a cadmium concentration of 0.02 mg/L. A systematic decrease in the index of binucleated cardiomyocytes in the atrium and ventricle of the lake frog was observed. The altered course of cardiomyocyte proliferation of cardiac myocytes may be due to disruption of the synthesis or structural organization of cytoskeleton proteins involved in spindle formation and chromosome separation during anaphase of mitosis.

### Keywords

Cadmium, cardiomyocytes, proliferation, differentiation, lake frog

### For citation

Rudenko E.Yu., Milyutin M.V., Agarkova A.A., Kubatbekov T.S. Changes in cardiomyocyte proliferation process of the lake frog *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) under the effect of cadmium ions. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):105. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-1-05

### Введение

#### Introduction

Кадмий является глобальным загрязнителем окружающей среды, обладающим длительным периодом полураспада и низкой скоростью выведения из различных компонентов экосистем [2]. Загрязнение окружающей среды кадмием происходит при добыче и переработке полезных ископаемых, производстве удобрений и утилизации отходов. Кадмий оказывает токсическое воздействие на почки, скелет, дыхательную и сердечно-сосудистую системы представителей различных классов позвоночных животных [2].

Амфибий от представителей других классов позвоночных животных отличает высокая

восприимчивость к загрязняющим веществам, встречающимся в среде их обитания, являющаяся следствием двойного (водного и наземного) жизненного цикла, миграции в различные места размножения, а также высокой проницаемости их кожных покровов. Благодаря этому амфибий можно использовать в качестве адекватных индикаторов состояния окружающей среды, однако токсикологические исследования амфибий являются довольно скудными по сравнению с исследованиями представителей других классов позвоночных животных [3]. Выбор личинок бесхвостых амфибий в качестве биомаркера может позволить оценить эффект воздействия на организм ионов кадмия, обычно содержащихся в воде в концентрациях, которые редко бывают достаточно высокими, чтобы напрямую

вызывать смертность, а скорее нарушают какой-либо механизм (например, работу сердца), что ухудшает поддержание гомеостаза организма в целом.

Большинство исследований эффектов воздействия ионов кадмия на амфибий было сосредоточено на негативном влиянии ксенобиотиков на рост, развитие и поведение головастика бесхвостых амфибий. При воздействии ионов кадмия на амфибий обнаружены задержка метаморфоза, снижение роста, тератогенез кожи, глаз и пищеварительной системы, деформации сердца. Однако были проведены лишь единичные исследования, посвященные влиянию ионов кадмия на развитие сердца амфибий, особенно его токсикологическому влиянию на дифференцировку кардиомиоцитов [3, 4].

**Цель исследований:** анализ изменений процесса пролиферации кардиомиоцитов озерной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) в период метаморфоза головастика, происходящих под действием различных концентраций ионов кадмия.

## Методика исследований

### Research method

Исследования проводили на личинках, выловленных в период их массового развития в естественном водоеме Красноглинского района города Самары. Принадлежность пойманных животных к виду *P.* устанавливали по соответствующему определителю [5]. В связи с отсутствием таблиц эмбрионального онтогенеза озерной лягушки стадии развития зародышей и головастика *P.* определяли по таблицам зародышевого и личиночного развития травяной лягушки *Rana temporaria* (Linnaeus, 1758) [6], в соответствии с общими признаками строения их личинок.

По 5 личинок 49 стадии эмбрионального онтогенеза помещали в стеклянные аквариумы вместимостью 5 дм<sup>3</sup>, наполненные прудовой водой, содержащей 0.002 мг/л (I серия эксперимента), 0.02 мг/л (II серия эксперимента) и 0.1 мг/л (III серия эксперимента) ионов кадмия. Контрольных животных помещали в прудовую воду, не содержащую ионы кадмия. Для каждой экспериментальной группы, включая контрольную, использовали по три аквариума. Продолжительность фотопериода составляла 12 ч, температура воды – 22°C, pH – 7,0. Ежедневно 2/3 объема использованной воды заменяли водой того же состава. После каждой замены воды личинкам предлагали полноценный комбикорм для рыб марки «TetraMin Flakes». Забор материала производили на 51-54 стадиях развития. Забой животных осуществляли методом декапитации под хлороформовым наркозом.

Для получения изолированных кардиомиоцитов использовали метод щелочной диссоциации тканей [7], который применительно к миокарду

*Pelophylax ridibundus* был модифицирован для повышения степени разделения кардиомиоцитов. Для этого кусочки миокарда предсердий и желудочка фиксировали в холодном 10%-ном формалине на фосфатном буфере (pH = 7.0). После фиксации в течение 10-14 дней производили поперечные срезы ткани толщиной 1-2 мм, длиной 2-3 мм и помещали в холодильник в 50% КОН на двое суток. Затем пипеткой отбирали КОН, а кусочки ткани перекладывали в холодильник в дистиллированную воду на 7-10 суток. После двухчасовой экспозиции при комнатной температуре воду осторожно сливали, добавляли свежую дистиллированную воду из расчета 1 мл на 2 мг миокарда.

С помощью магнитной мешалки в течение 20-30 мин производили окончательное разделение кардиомиоцитов. Постоянно визуально, по возрастанию степени опалисценции суспензии, контролировали качество разделения кардиомиоцитов. Полученную суспензию наносили на предметное стекло, мазок подсушивали на воздухе при комнатной температуре, затем окрашивали гематоксилином и эозином по стандартной методике [8]. В исследованном материале имела место определенная доля неразделившихся миоцитов (8-10 на 100 клеток), поправка на неразделившиеся миоциты вносилась в расчет митотического индекса и индекса двуядерных клеток.

Митотический индекс (процентное содержание делящихся клеток) и индекс двуядерных кардиомиоцитов (процентное содержание двуядерных клеток) подсчитывали в мазках изолированных клеток на микроскопе Биомед-1 при 400-кратном увеличении для 5 тыс. клеток у каждого из объектов исследования. С помощью программы Statistica 10 определяли среднее арифметическое, стандартное отклонение и размах от минимального до максимального значений для каждого из исследуемых признаков. Статистическую достоверность различий в показателях митотического индекса и индекса двуядерных кардиомиоцитов определяли с использованием t-критерия.

## Результаты и их обсуждение

### Results and discussion

Светомикроскопическое изучение мазков изолированных клеток, полученных при проведении щелочной диссоциации миокарда, показало, что развитие головастика озерной лягушки в воде, содержащей ионы кадмия различных концентраций, не вызывает существенных изменений морфологии сердечных миоцитов. В мазках клеток большинство кардиомиоцитов имеют цилиндрическую форму, овальное, центрально расположенное ядро и небольшое количество боковых и концевых отростков, не отличаясь от сердечных мышечных

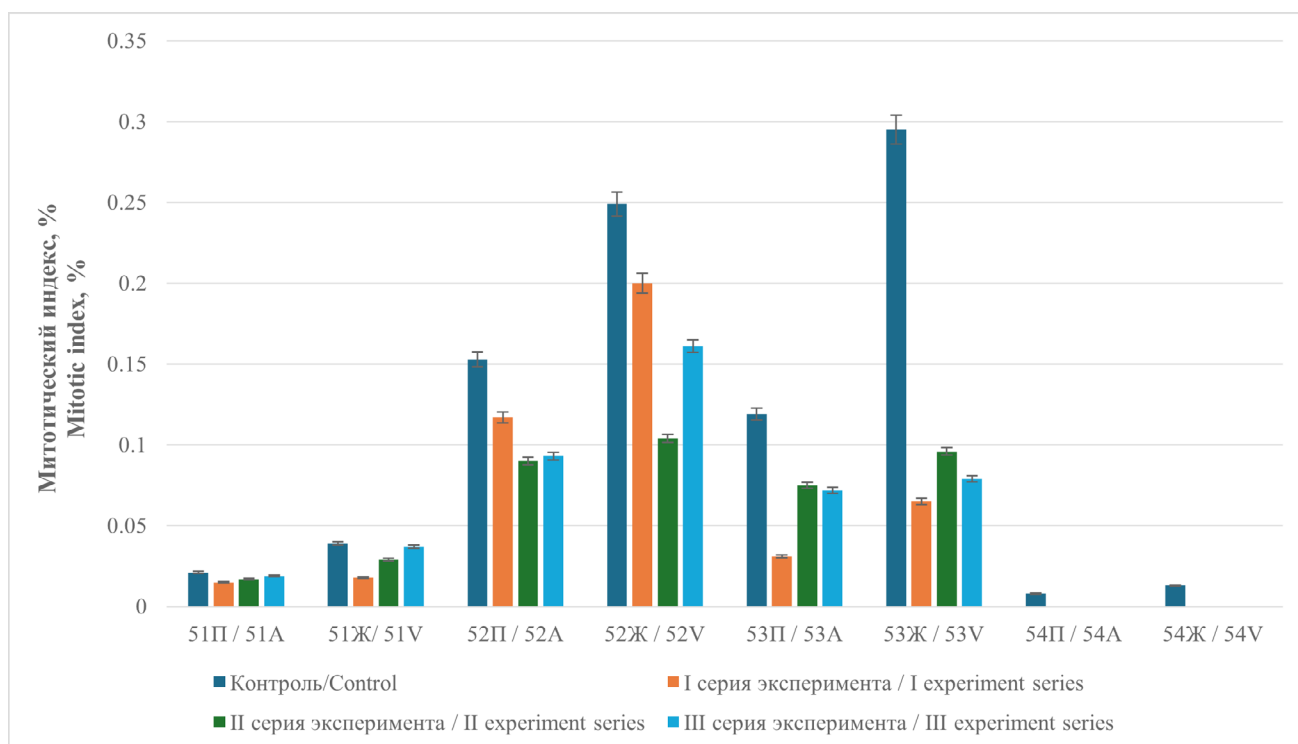
клеток контрольных животных. Наряду с одноядерными встречаются и двуядерные кардиомиоциты. Однако на 53, и особенно часто на 54 стадиях периода метаморфоза, среди сердечных миоцитов, имеющих нормальное строение, встречаются единичные кардиомиоциты неправильной зигзагообразной формы, у которых отмечается большая выраженность конденсации хроматина ядер. Частота обнаружения подобных миоцитов возрастает по мере увеличения сроков воздействия и концентрации ионов кадмия в среде обитания головастика.

Воздействие ионов кадмия всех изученных концентраций изменяет пролиферативную активность сердечных мышечных клеток и индекс двуядерных кардиомиоцитов (рис. 1, 2).

В I серии эксперимента при действии на головастика ионов кадмия в концентрации 0.002 мг/л на 51 стадии развития митотический индекс сердечных мышечных клеток предсердий снижается в 1.4 раза, а пролиферативная активность кардиомиоцитов желудочка уменьшается в 2.15 раза. При этом индекс двуядерных кардиомиоцитов в предсердиях снижается в 1.35 раза по сравнению с контролем, а в миокарде желудочка содержание двуядерных миоцитов уменьшается в 1.55 раза. На 52 стадии личиночного развития наблюдается угнетение процесса митотического деления кардиомиоцитов как предсердий, так и желудочка,

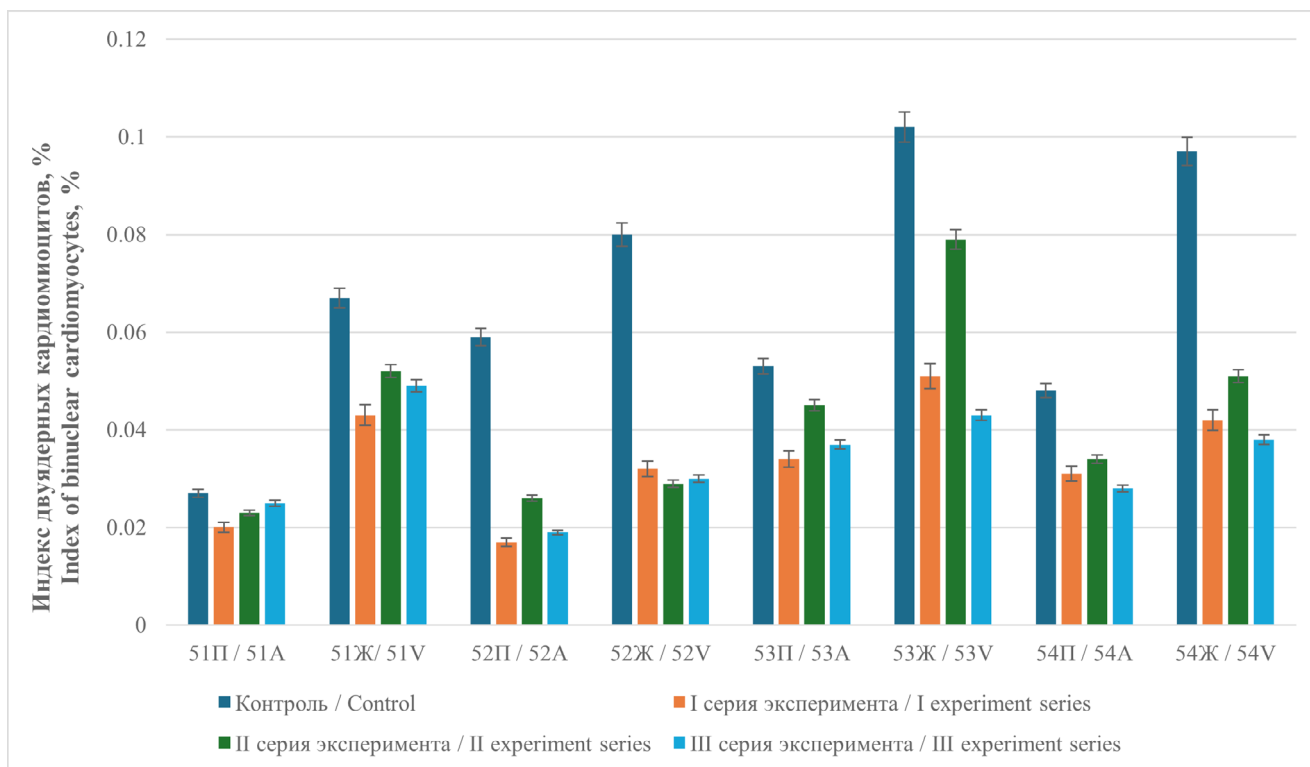
по сравнению с контролем. Содержание двуядерных кардиомиоцитов снижается в предсердиях в 1.2 раза, в желудочке – в 1.35 раза. У головастика 53 стадии развития наблюдается существенное уменьшение пролиферативной активности и увеличение доли двуядерных кардиомиоцитов по сравнению с животными контрольной группы. На заключительной, 54 стадии периода метаморфоза головастика в молодых лягушатах, в мазках изолированных клеток предсердий и желудочка не обнаруживаются митотически делящиеся сердечные мышечные клетки, при этом индекс двуядерных кардиомиоцитов остается достаточно высоким.

Во II серии эксперимента под действием ионов кадмия, содержащихся в среде обитания в концентрации 0,02 мг/л, у головастика 51 стадии личиночного развития отмечается снижение митотического индекса кардиомиоцитов в предсердиях в 0.12 раза, в желудочке – в 0.14 раза. При этом в желудочке индекс двуядерных кардиомиоцитов также уменьшается по сравнению с контролем, а в предсердиях наблюдается тенденция снижения содержания двуядерных сердечных мышечных клеток. У личинок 52 стадии развития пролиферативная активность сердечных мышечных клеток возрастает, но остается значительно меньше, чем у животных контрольной группы. Содержание двуядерных кардиомиоцитов в предсердиях увеличивается в 1.14 раза,



**Рисунок 1.** Изменение митотического индекса кардиомиоцитов озерной лягушки под влиянием ионов кадмия. 51-54 – стадии личиночного развития, П – предсердие, Ж – желудочек.

**Figure 1.** Changes in the mitotic index of lake frog cardiomyocytes under the effect of cadmium ions. 51-54 – larval development stages, A – atrium, V – ventricle.



**Рисунок 2.** Изменение индекса двуядерных кардиомиоцитов озерной лягушки под влиянием ионов кадмия. 51-54 – стадии личиночного развития, П – предсердие, Ж – желудочек.

**Figure 2.** Changes in the index of binuclear cardiomyocytes of the lake frog under the effect of cadmium ions. 51-54 – larval development stages, A – atrium, V – ventricle.

а в желудочке уменьшается. На 53 стадии личиночного развития наблюдается тенденция снижения митотического индекса кардиомиоцитов желудочка и снижение пролиферативной активности кардиомиоцитов предсердий. При этом индекс двуядерных кардиомиоцитов увеличивается, но не превышает контрольных показателей. На 54 стадии личиночного развития наблюдается полное подавление пролиферативной активности сердечных мышечных клеток личинок озерной лягушки, при этом индекс двуядерных кардиомиоцитов уменьшается, но не превышает контрольных значений.

В III серия эксперимента при действии на организм головастика ионов кадмия в концентрации 0.1 мг/л на 51 стадии личиночного развития наблюдается тенденция снижения митотического индекса и индекса двуядерных кардиомиоцитов по сравнению с контролем. У личинок озерной лягушки 52 стадии развития происходит повышение пролиферативной активности кардиомиоцитов в предсердиях и в желудочке. При этом индекс двуядерных кардиомиоцитов снижается в предсердиях в 1.3 раза, а в желудочке – в 1.6 раза. На 53 стадии личиночного развития митотический индекс сердечных мышечных клеток озерной лягушки в предсердиях уменьшается менее интенсивно, чем в желудочке. При этом индекс двуядерных кардиомиоцитов увеличивается, но не превышает

контрольных показателей. На следующей стадии периода метаморфоза головастика в молодых лягушат в мазках изолированных клеток сердца озерной лягушки не обнаруживаются митотически делящиеся кардиомиоциты. При этом индекс двуядерных кардиомиоцитов предсердий и желудочка снижается.

В литературе описано несколько механизмов повреждения клеток и тканей, вызываемых ионами кадмия. Ионы кадмия воздействуют на белки, липиды и фосфолипиды клеточной мембраны [1, 9], а также на ДНК, изменяя факторы транскрипции, регуляцию и экспрессию их целевых генов [10, 11], Кадмий может вызывать окислительный стресс [2], способствуя накоплению митохондриальных активных форм кислорода, снижению мембранного потенциала митохондрий и увеличению ионной проницаемости во внутренней мембране, что в дальнейшем также приводит к апоптозу клеток [9].

Изменение протекания процесса пролиферации сердечных миоцитов озерной лягушки в период метаморфоза головастика, происходящих под действием различных концентраций ионов кадмия, вероятно, обусловлено нарушением синтеза или структурной организации белков цитоскелета, принимающих участие в формировании веретена деления и расхождении хромосом в анафазе митоза.

## Выводы

## Conclusions

Под влиянием на организм головастика озерной лягушки ионов кадмия в различных концентрациях, содержащихся в среде обитания личинок озерной лягушки, в период метаморfoза головастика в молодых лягушат наблюдается

угнетение пролиферативной активности сердечных мышечных клеток предсердий и желудочка на всех изученных стадиях развития, которое особенно заметно при воздействии на организм ионов кадмия в концентрации 0.02 мг/л. При этом наблюдается закономерное снижение индекса двуядерных кардиомиоцитов во всех отделах сердца.

## Список источников

1. Matović V., Buha A., Đukić-Ćosić D., Bulat Z. Insight into the oxidative stress induced by lead and/or cadmium in blood, liver and kidneys. *Food and Chemical Toxicology*. 2015;78:130-140. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.02.011>
2. Li X., Zheng Y., Zhang G. et al. Cadmium induced cardiac toxicology in developing Japanese quail (*Coturnix japonica*): Histopathological damages, oxidative stress and myocardial muscle fiber formation disorder. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*. 2021;250:109168. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109168>
3. Dal-Medico S.E., Rissoli R.Z., Gamero F.U. et al. Negative impact of a cadmium concentration considered environmentally safe in Brazil on the cardiac performance of bullfrog tadpoles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2014;104:168-174. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.03.003>
4. Руденко Е.Ю., Милютин М.В. Воздействие ионов кадмия на дифференцировку кардиомиоцитов озерной лягушки (*Pelophylax ridibundus*). *Международный научный сельскохозяйственный журнал*. 2025;(2):20-25.
5. Дунаев Е.А., Орлова В.Ф. *Земноводные и пресмыкающиеся России. Атлас-определитель*. Москва: Фитон, 2021:328.
6. Бакулина Э.Д., Баранов В.С., Белорусов Л.В. и др. *Объекты биологии развития*. Москва: Наука, 1975:579.
7. Бродский В.Я., Цирекидзе Н.Н., Коган М.Е. Изменение абсолютного числа клеток в сердце и печени. Количественное сохранение белков и ДНК в изолированных клетках. *Цитология*. 1983;(3):260-265.
8. Мавликеев М.О., Киясов А.П., Деев Р.В. и др. *Гистологическая техника в патоморфологической лаборатории*. Москва: Практическая медицина, 2023:112.
9. Genchi G., Sinicropi M.S., Lauria G. et al. The effects of cadmium toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(11):3782. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
10. Tai Y.-T., Chou S.-H., Cheng C.-Y. et al. The preferential accumulation of cadmium ions among various tissues in mice. *Toxicology Reports*. 2022;9:111-119. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.01.002>

## References

1. Matović V., Buha A., Đukić-Ćosić D., Bulat Z. Insight into the oxidative stress induced by lead and/or cadmium in blood, liver and kidneys. *Food and Chemical Toxicology*. 2015;78:130-140. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.02.011>
2. Li X., Zheng Y., Zhang G. et al. Cadmium induced cardiac toxicology in developing Japanese quail (*Coturnix japonica*): Histopathological damages, oxidative stress and myocardial muscle fiber formation disorder. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*. 2021;250:109168. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109168>
3. Dal-Medico S.E., Rissoli R.Z., Gamero F.U. et al. Negative impact of a cadmium concentration considered environmentally safe in Brazil on the cardiac performance of bullfrog tadpoles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2014;104:168-174. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.03.003>
4. Rudenko E.Yu., Milyutin M.V. Effect of cadmium ions on differentiation of lacustrine frog (*Pelophylax ridibundus*) cardiomyocytes. *International Scientific Agricultural Journal*. 2025;(2):20-25. (In Russ.)
5. Dunaev E.A., Orlova V.F. *Amphibians and reptiles of Russia. Atlas-guide*. Moscow, Russia: Fiton, 2021:328. (In Russ.)
6. Bakulina E.D., Baranov V.S., Belorусov L.V. et al. *Objects of developmental biology*. Moscow, USSR: Nauka, 1975:579. (In Russ.)
7. Brodsky V.Ya., Tsirekidze N.N., Kogan M.E. Changes in the absolute number of cells in the heart and liver. Quantitative preservation of proteins and DNA in isolated cells. *Tsitologiya*. 1983;(3):260-265. (In Russ.)
8. Mavlikeev M.O., Kiyasov A.P., Deev R.V. et al. *Histological technique in the pathomorphological laboratory*. Moscow, Russia: Prakticheskaya meditsina, 2023:112. (In Russ.)
9. Genchi G., Sinicropi M.S., Lauria G. et al. The effects of cadmium toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(11):3782. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
10. Tai Y.-T., Chou S.-H., Cheng C.-Y. et al. The preferential accumulation of cadmium ions among various tissues in mice. *Toxicology Reports*. 2022;9:111-119. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.01.002>

11. Tokumoto M., Lee J.-Y., Satoh M. Transcription factors and downstream genes in cadmium toxicity. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 2019;42(7):1083-1088.  
<https://doi.org/10.1248/bpb.b19-00204>

### Сведения об авторах

**Елена Юрьевна Руденко**, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры морфологии ИАМ, ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России (Пироговский Университет); 117513, Россия, г. Москва, ул. Островитянова, 1, стр. 6; e\_rudenko@rambler.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-2701-9225>

**Максим Викторович Милютин**, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры анатомии человека медицинского факультета, Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ МИФИ; 249039, Россия, Калужская область, г. Обнинск, Студгородок, 1; mv-sykytyvkar@mail.ru;  
<https://orcid.org/0009-0007-6539-9875>

**Алиса Анатольевна Агаркова**, кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; agarkova-vasilisa@mail.ru;  
<https://orcid.org/0009-0003-2696-2320>

**Турсумбай Сатымбаевич Кубатбеков**, доктор биологических наук, профессор кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; tursumbai61@list.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-0911-9791>

### Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 04.03.2026  
Одобрена после рецензирования 30.03.2026  
Принята к публикации 30.03.2026

11. Tokumoto M., Lee J.-Y., Satoh M. Transcription factors and downstream genes in cadmium toxicity. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 2019;42(7):1083-1088.  
<https://doi.org/10.1248/bpb.b19-00204>

### Information about the authors

**Elena Yu. Rudenko**, DSc (Bio), Associate Professor, Professor at the Department of Morphology of the Anatomy and Morphology Institute, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «N.I. Pirogov Russian National Research Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation; 117513, Russian Federation, Moscow, Ostrovityanova St., 1, Bldg. 6; e\_rudenko@rambler.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-2701-9225>

**Maksim V. Milyutin**, CSc (Med), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Human Anatomy of the Faculty of Medicine, Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, National Research Nuclear University “MEPhI”, 249039, Russian Federation, Kaluga Region, Obninsk, Studgorodok, 1; mv-sykytyvkar@mail.ru;  
<https://orcid.org/0009-0007-6539-9875>

**Alisa A. Agarkova**, CSc (Ag), Assistant at the Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Expertise, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; agarkova-vasilisa@mail.ru;  
<https://orcid.org/0009-0003-2696-2320>

**Tursumbai S. Kubatbekov**, DSc (Bio), Professor at the Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Expertise, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; tursumbai61@list.ru;  
<https://orcid.org/0000-0002-0911-9791>

### Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

### Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office March 04, 2026  
Approved after reviewing March 30, 2026  
Accepted for publication March 30, 2026

Научная статья

УДК 633.878.32: 581.9 (470-25)

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



## Инвентаризация культивируемых и спонтанно растущих тополей в городах Московского региона

Рамиль Айдарович Муратаев<sup>1,2</sup>, Юрий Андреевич Насимович<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт молекулярной биологии РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> ГПБУ «Государственный природоохранный центр», Москва, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Муратаев Рамиль Айдарович,  
ramil.murataev@mail.ru

### Аннотация

Представители рода *Populus* L. широко использовались в озеленении городов. Это обусловлено тем, что тополя обладают целым рядом полезных биологических свойств – таких, как быстрый рост, легкость вегетативного размножения, высокая пыле-, дымо- и газоустойчивость, и т.д. В Советском Союзе и царской России было создано множество культиваров тополей перспективных для озеленения городов. Однако в настоящее время многие сведения о таксонах тополей утрачены, а их селекция и озеленение ими городов оказались в упадке. Цель исследований заключалась в выявлении соотношения культивируемых тополей в городах Московского региона для возрождения селекционной работы с тополями и грамотного использования тополей в озеленении. Работа была проведена в 2024-2025 гг. маршрутным методом в Москве и 7 городах Подмосковья. Учтены 1406 взрослых деревьев в Москве и 1738 – в подмосковных городах. Эти деревья относятся к 21 таксону. *P. × sibirica*, *P. × petrovskoe*, *P. tremula* встречаются в Москве и во всех 7 изученных подмосковных городах, причем только *P. × sibirica* везде присутствует в большом количестве (в Москве – 56%, в подмосковных городах – в среднем 42%). *P. × petrovskoe* является массовым видом в Можайске (42%), Шатуре (34%), Дмитрове (24%) и Москве (19%). *P. tremula* в уличном и дворовом озеленении во всех городах встречается не очень часто (1-6%). Остальные таксоны повсеместно редки или же обильны лишь в 1-2 городах: *P. simonii* много в Коломне (37%), *P. × wobstii* – в Дмитрове (15%) и т.д. Установлено, что в Московском регионе межвидовые гибриды преобладают над «чистыми» видами, сложные – над простыми, спонтанные – над созданными селекционерами. У каждого города есть своя специфика, зависящая от времени проведения озеленительных работ, ориентировки на тот или иной питомник, привлекательности города. Для озеленения городов рекомендованы прежде всего культивары, представленные только мужскими клонами.

### Ключевые слова

*Populus*, *P. × sibirica*, *P. × petrovskoe*, культивары тополей, озеленение

### Финансирование

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

### Для цитирования

Муратаев Р.А., Насимович Ю.А. Инвентаризация культивируемых и спонтанно растущих тополей в городах Московского региона. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):201. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-2-01>

BOTANY, PLANT PHYSIOLOGY

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



## Inventory of cultivated and spontaneously growing poplar trees in cities of the Moscow Region

Ramil A. Murataev<sup>1,2</sup>, Yuri A. Nasimovich<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Engelhardt Institute of Molecular Biology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup> State Environmental Protection Budgetary Institution of Moscow "State Environmental Protection Center",  
Moscow, Russia

Corresponding author: Ramil A. Murataev, ramil.murataev@mail.ru

### Abstract

Species of the genus *Populus* L. have been widely used in urban landscaping. This is due to the fact that poplar trees possess a number of beneficial biological properties, such as fast growth, ease of vegetative propagation, high resistance to dust, smoke, and gases, etc. In the Soviet Union and Tsarist Russia, numerous poplar cultivars promising for urban landscaping were developed. However, at present, much information about poplar taxa has been lost, and their breeding and use in urban landscaping have declined. The aim of the study was to identify the proportion of cultivated poplar trees in cities of the Moscow Region to revive breeding work with poplar trees and ensure their appropriate use in landscaping. The study was carried out in 2024-2025 using the route method in Moscow and seven cities of the Moscow Region. A total of 1,406 adult trees in Moscow and 1,738 in cities of the Moscow Region were recorded. These trees belong to 21 taxa. *P. × sibirica*, *P. × petrovskoe*, and *P. tremula* were found in Moscow and all the seven studied cities of the Moscow Region, with *P. × sibirica* present in large numbers everywhere (56% in Moscow, an average of 42% in cities of the Moscow Region). *P. × petrovskoe* is a widespread species in Mozhaisk (42%), Shatura (34%), Dmitrov (24%), and Moscow (19%). *P. tremula* is not very common in street and yard landscaping in any of cities (1-6%). The remaining taxa are generally rare or abundant in only 1-2 cities: *P. simonii* is abundant in Kolomna (37%); *P. × wobstii* is abundant in Dmitrov (15%), etc. It was established that in the Moscow Region, interspecific hybrids predominate over "pure" species, complex hybrids predominate over simple ones, and spontaneous hybrids predominate over those created by breeders. Each city has its own specifics, depending on the timing of landscaping activities, the focus on a particular nursery, and the attractiveness of the city. For urban landscaping, cultivars represented by male clones only are primarily recommended.

### Keywords

*Populus*, *P. × sibirica*, *P. × petrovskoe*, poplar cultivars, landscaping

### Acknowledgments

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

### For citation

Murataev R.A., Nasimovich Yu.A. Inventory of cultivated and spontaneously growing poplar trees in cities of the Moscow Region. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):201. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-2-01>

### Введение

#### Introduction

С одной стороны, в Советском Союзе [1-5] и в дореволюционной России [6, 7] было создано много культиваров тополей, перспективных для озеленения городов. С другой стороны, почти все эти культивары, за исключением нескольких, были забыты, не высаживаются, а на улицах городов господствует *Populus × sibirica* G.V. Krylov et G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov – недолговечный и малозадекоративный гибрид, представленный в основном образующими пух женскими деревьями [8, 9]

Преобладание в городском озеленении этого культивара дискредитирует саму идею использования тополей в озеленении, и эта ситуация нуждается в осмыслении.

Дело в том, что периоды расцвета селекционной деятельности перемежались в России с периодами, когда знания о культиварах тополей в значительной степени утрачивались. Первая такая утрата связана с эпохой трех войн и трех революций первой половины XX в., а вторая – с перестройкой, причем она оказалась болезненней, так как сопровождалась разочарованием в возможностях прикладной науки и возмож-

ностях государства наладить соответствующую деятельность.

**Цель исследований:** восстановление утраченных знаний об используемых в озеленении культиварах тополей, их учет в городах Московского региона для облегчения возрождения селекционной работы с тополями и обеспечения грамотного использования тополей в озеленении.

Сначала нужно было научиться правильно определять виды, гибриды и культивары тополей, которые используются в озеленении. Надо сказать, что соответствующие действия начались до нас – с самого начала XXI в. В 2001 г. Н.Н. Цвелёв [10] восстановил «в правах» *P. longifolia* Fisch. – нередкий культивар в Московском регионе, 5% всех тополей в Москве (см. ниже). До этого его либо игнорировали, либо считали одной из форм американского *P. balsamifera* L. [10], а он оказался гибридом *P. balsamifera* и российского *P. suaveolens* Fisch. [11]. В 2007 г. А.К. Скворцов [12] убедительно доказал, что наиболее массовый тополь московского озеленения – это отнюдь не *P. balsamifera*, как считали на протяжении всего XX в. [10, 13], а гибрид неизвестного происхождения – *P. × sibirica*. Теперь мы считаем его гибридом трех российских тополей: *P. nigra* L. × (*P. laurifolia* Ledeb. × *P. suaveolens*) [9]. Нам удалось восстановить названия двух спонтанных гибридов, найденных в Петровско-Разумовском (теперь Москва) и введенных в культуру Р.И. Шредером [7]. Первый из них нередко использовался в озеленении под ошибочным названием «тополь берлинский» (*P. × berlinensis* K. Koch), а изначально назывался тополем петровским (*P. × petrovskoe* R.I. Schrod. ex Wolkenst.) [6, 7]. Второй, менее распространенный эффектный культивар с округлыми листьями и «плакучими» ветвями, несколько похожий на *P. simonii* Carriere f. *pendula* C.K. Schneid. [9, 14, 15], оказался тополем Разумовского (*P. × rasumovskoe* R.I. Schrod. ex Wolkenstein).

В 2024-2025 гг. мы более интенсивно занялись установлением названий московских культиваров, используя для этих целей молекулярный анализ, морфологические, фенологические, краеведческие и другие методы. Результатом стала передача в 2025 г. в «Полевой журнал биолога» статьи «Разнообразии видов, гибридов и культиваров тополей (*Populus* L., Salicaceae) Московского региона, Россия» (Насимович и др., в печати), которая содержит указания на 71 таксон (из них 33 – таксоны, неоднократно встреченные в наше время). Таким образом, проблема определения тополей для нас оказалась на соответствующем уровне решенной. В связи с этим мы решили узнать реальную встречаемость таксонов тополей в Москве и Московской области,

то есть оценить положение дел с озеленением тополями в нашем регионе, для чего были выполнены учеты видов, гибридов и культиваров тополей в 7 районах Москвы и 7 городах Московской области.

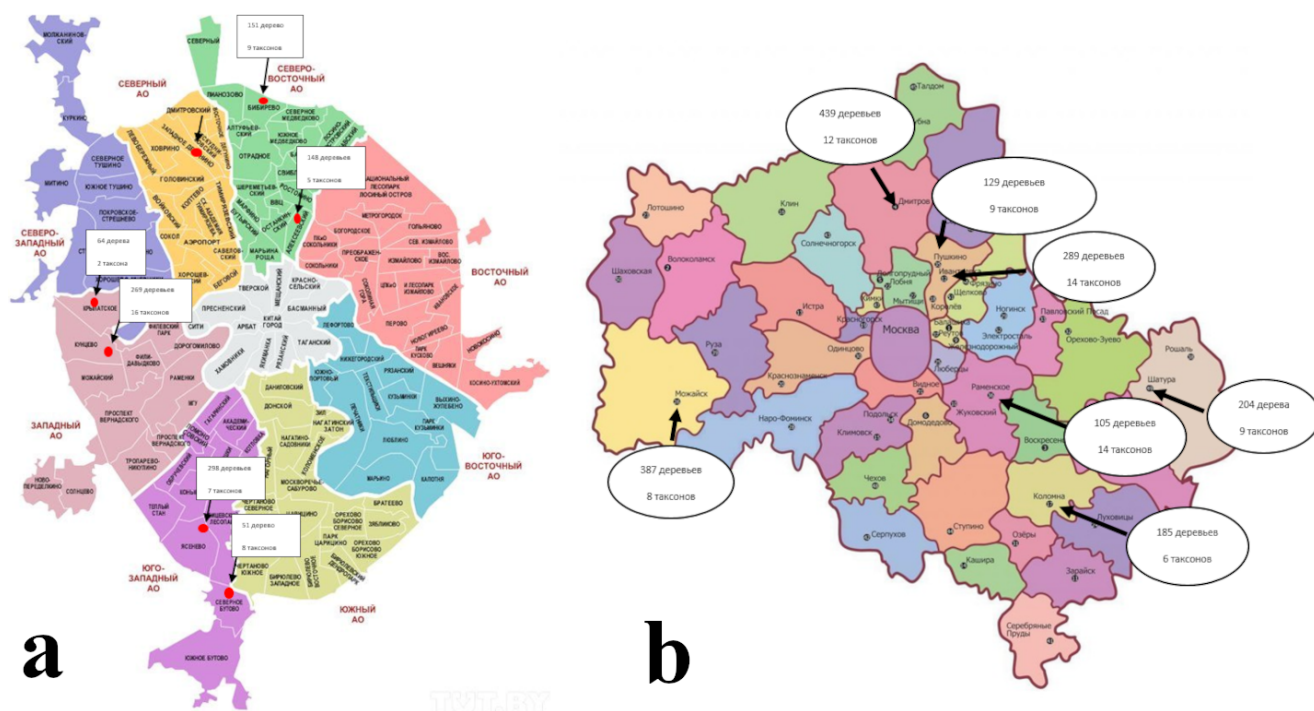
## Методика исследований

### Research method

Для учетов видов, гибридов и культиваров тополей выбраны 7 районов Москвы и 7 городов Московской области (рис. 1). Районы Москвы выбирались так, чтобы в первом приближении охватить Москву внутри МКАД целиком: на западе – Крылатское и Кунцево, на севере – Бибирево и Алексеевский, на востоке – Перово, на юге – Ясенево. Рассмотрен также один район за МКАД – Северное Бутово.

По такому же географическому принципу отобраны подмосковные города: на западе – Можайск, на севере – Дмитров, на востоке – Раменское и Шатура, на юге – Коломна. В основном это города Дальнего Подмосковья, и только Раменское находится относительно близко к Москве. Кроме того, изучены два города, связанные с ВНИИЛМ (Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, г. Пушкино, Московская область), где раньше проводилась селекция тополей: в Пушкине располагается главное здание ВНИИЛМа, в Ивантеевке – дендрологический питомник (бывший). Оба эти города тоже расположены близко от Москвы.

Учеты тополей проведены с середины мая по середину сентября в 2024-2025 гг. маршрутным методом [17]. В Москве и в подмосковных городах в основном исследовали деревья в жилой застройке разного типа (городской центр, многоэтажные кварталы, 5-этажную застройку 1950-1970 гг., периферийную 1-2-этажную застройку сельского облика и т.д.), а также в парках и в других озелененных участках включая природные территории с выросшими из самосева или посаженными тополями. Маршруты планировались таким образом, чтобы за время их прохождения посетить разные типы территорий, а при прохождении жилых застроек регистрировать все деревья не только вдоль основной линии маршрута, но также на прилегающих улицах и во дворах. При таком подходе наблюдениями оказывались охвачены 20-30 улиц. В подмосковных городах заранее намечали композиционные центры (привокзальные площади, площади перед зданием местной администрации, территории кремля и т.п.). Во время прохождения маршрутов попутно оценивалось состояние разных культиваров, но «строгая» работа на эту тему не проводилась.



**Рисунок 1.** Карта Москвы (а) и Московской области (б) с указанием числа обследованных деревьев и числом найденных таксонов в каждом из обследованных районов.

**Figure 1.** Map of Moscow (a) and the Moscow Region (b), showing the number of studied trees and the number of taxa found in each area.

Особое внимание уделяли половой принадлежности культиваров, поскольку именно этот признак определяет наличие или отсутствие тополиного пуха.

В Москве вне проложенных маршрутов, известны еще не менее 12 таксонов тополей, но все они являются редкими и в данной работе не рассматриваются. Культивары на базе «чистых» видов, например, *P. simonii* var. *pendula*, к «чистым» видам не относили. У цветущих и плодоносящих деревьев определяли пол особей. Для определения тополей использовали в основном наши собственные наработки, о которых говорится во введении статьи. Описание некоторых таксонов (с рисунками) приведено в монографии «Чужеродная флора...» [9].

В общей сложности учтены 3144 экземпляра тополя: в Москве – 1406, в подмосковных городах – 1738.

Гербаризация проводилась в отдельных случаях, поскольку образцы из Москвы с тем же определением в прежние годы были переданы Ю.А. Насимовичем в Гербарий Главного ботанического сада РАН (МНА), оцифрованы и доступны для просмотра в электронном виде. Гербарные сборы 2024-2025 гг. переданы в Гербарий флоры Ярославской области им. И.Н. Гарина (международный акроним – GARIN) в пос. Борок Ярославской области.

## Результаты и их обсуждение Results and discussion

Результаты учетов показаны отдельно для Москвы (табл. 1, рис. 2) и подмосковных городов (табл. 2, рис. 3).

В Москве тополя представлены 17 таксонами, из которых 3 являются чистыми видами (табл. 1).

Процентное соотношение таксонов тополей в исследованных районах Москвы показано на рисунке 3.

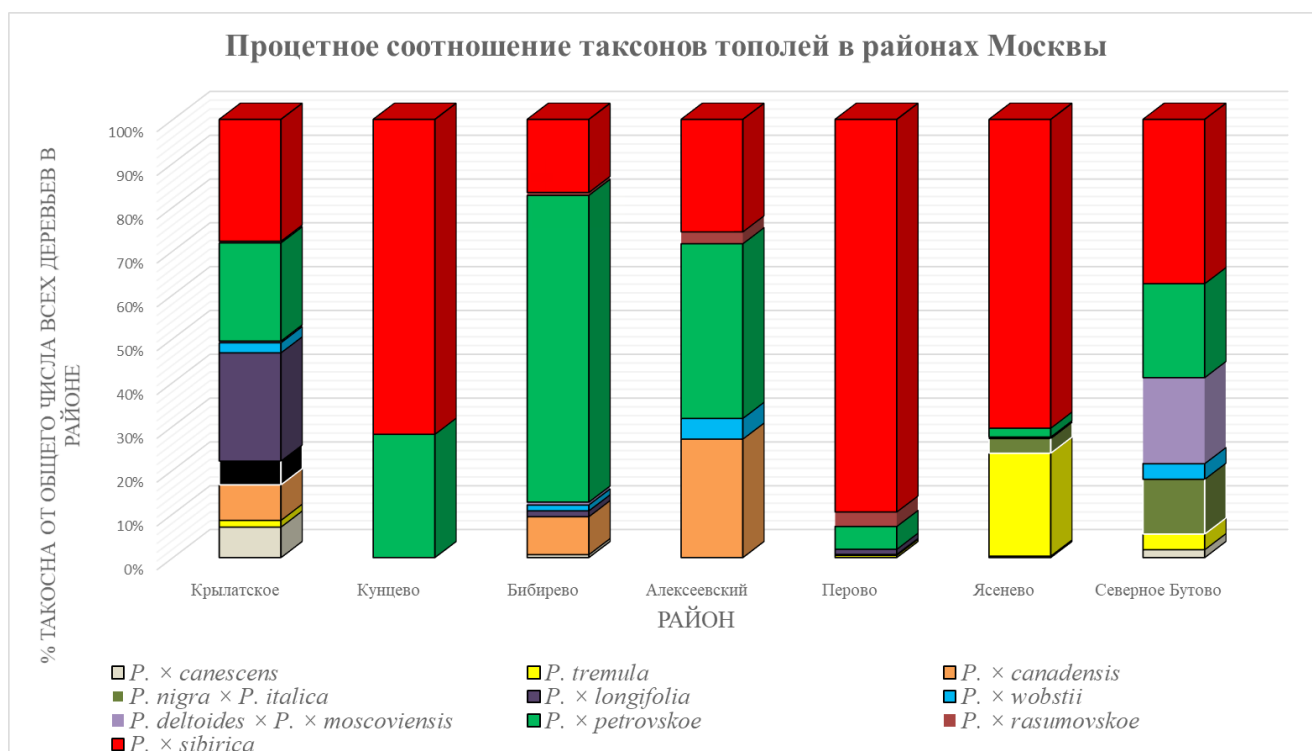
В подмосковных городах тополя представлены 19 таксонами, из которых 4 являются чистыми видами (табл. 2).

Учеты тополей, проведенные нами с середины мая до середины июля (во время цветения и плодоношения тополей), позволили установить пол примерно у половины учтенных деревьев. *P. simonii* var. *fasigiata*, *P. simonii* var. *pendula*, *P. × rasumovskoe*, 'ЭС-38' («Воронежский гигант»), *P. deltoides*, а также пирамидальные формы черных и белых тополей *P. × sowietica* pyr., *P. nigra × P. italica* представлены мужскими клонами, *P. × wobstii* – женскими, *P. × canadensis*, *P. × petrovskoe*. *P. × nevensis*, *P. × longifolia*, *P. alba*, *P. tremula*, *P. × canescens*, *P. × jablocowii*, *P. nigra* var. *nigra*, *P. suaveolens* – мужскими и женскими клонами, *P. × sibirica* – в основном женскими клонами.

**Таблица 1.** Число учтенных деревьев тополя (виды, гибриды, культивары) в Москве.

**Table 1.** Number of recorded poplar trees (species, hybrids, cultivars) in Moscow.

Вид, гибрид, культивар <i>Type, hybrid, cultivar</i>	Крылатское <i>Krylatskoe</i>	Кунцево <i>Kuntsevo</i>	Бибирево <i>Bibirevo</i>	Алексеевский <i>Alekseevsky</i>	Перово <i>Perovo</i>	Ясенево <i>Yasenevo</i>	Северное Бутово <i>Severnoe Butovo</i>	Во всех районах Москвы <i>In all the districts of Moscow</i>	
								общее количество <i>total number</i>	%
<b>Белые тополя и их внутрисекционные гибриды</b> <i>White poplar trees and their intra-sectional hybrids</i>									
<i>P. alba</i>	1							1	0.07
<i>P. × canescens</i>	18		1			1	1	21	1.49
<i>P. × jablocowii</i>	1							1	0.07
<i>P. × sowietica pyr.</i>							3	3	0.21
<i>P. tremula</i>	4				2	70	2	78	5.55
<b>Черные тополя и их внутрисекционные гибриды</b> <i>Black poplar trees and their intra-sectional hybrids</i>									
<i>P. × canadensis</i>	21		13	40	1			75	5.33
<i>P. deltoides</i>									
<i>P. nigra var. nigra</i>	1							1	0.07
<i>P. nigra × P. italica</i>	14					10	7	31	2.2
<b>Бальзамические тополя и их внутрисекционные гибриды</b> <i>Balsam poplar trees and their intra-sectional hybrids</i>									
<i>P. × longifolia</i>	64		2		5			71	5.05
<i>P. × moscoviensis</i>									
<i>P. simonii var. fastigiata</i>	2					1		3	0.21
<i>P. simonii var. pendula</i>	4		1					5	0.36
<i>P. suaveolens</i>									
<i>P. × wobstii</i>	6		2	7			2	17	1.21
<b>Межсекционные гибриды / Intersectional hybrids</b>									
<i>P. deltoides × P. × moscoviensis</i>	1		1			1	3	6	0.43
<i>P. deltoides × P. × sibirica</i> («ЭС-38'- Воронежский гигант»)									
<i>P. × nevensis</i>	1							1	0.07
<i>P. × petrovskoe</i>	58	18	105	59	22	6	12	280	19.91
<i>P. × rasumovskoe</i>	1		1	4	14			20	1.42
<i>P. × sibirica</i>	72	46	25	38	379	210	21	792	56.33
Итого / <i>Total:</i>	269	64	151	148	423	298	51	1406	100



**Рисунок 2.** Процентное соотношение таксонов тополей в исследованных районах Москвы. По горизонтали указаны районы, по вертикали – процент, который составляет каждый таксон в районе. На графике представлены лишь 10 наиболее распространенных таксонов, остальные отражены в таблице 1.

**Figure 2.** Percentage distribution of poplar taxa in the studied districts of Moscow. The horizontal axis shows the districts; the vertical axis shows the percentage that each taxon represents in the district. The graph presents only the 10 most common taxa, the remaining taxa are listed in Table 1.

*Сравнение таксонов по распространенности в городах.* Результаты исследования показали, что имеются только три таксона, которые встречаются в Москве и во всех 7 изученных подмосковных городах. Это *P. x sibirica*, *P. x petrovskoe* и, конечно, *P. tremula* – местный вид тополя. *P. x sibirica* распространен равномерно, то есть его везде относительно много. Только в Можайске он уступает первое место по численности другим таксонам, но и здесь его довольно много. Тополь *P. x petrovskoe* является массовым видом в Можайске (42%) (первое место по численности), обычен в Москве (20%), Дмитрове (24%) и Шатуре (35%) (уступает только *P. x sibirica*), но в остальных 4 городах его мало. Что же касается нашей местной осины, то ее в уличном и дворовом озеленении везде мало, а городские лесопарки для наших исследований не представляли интереса.

Довольно широко распространены также *P. x canescens*, *P. simonii* var. *pendula* Schneid. и пирамидальные формы черного тополя; они не найдены лишь в 1-2 подмосковных городах. Численность их, как правило, невелика; только *P. simonii* каким-то удивительным образом оказался массовым видом в Коломне (37%) – почти сравнялся по обилию с *P. x sibirica*. Похожую

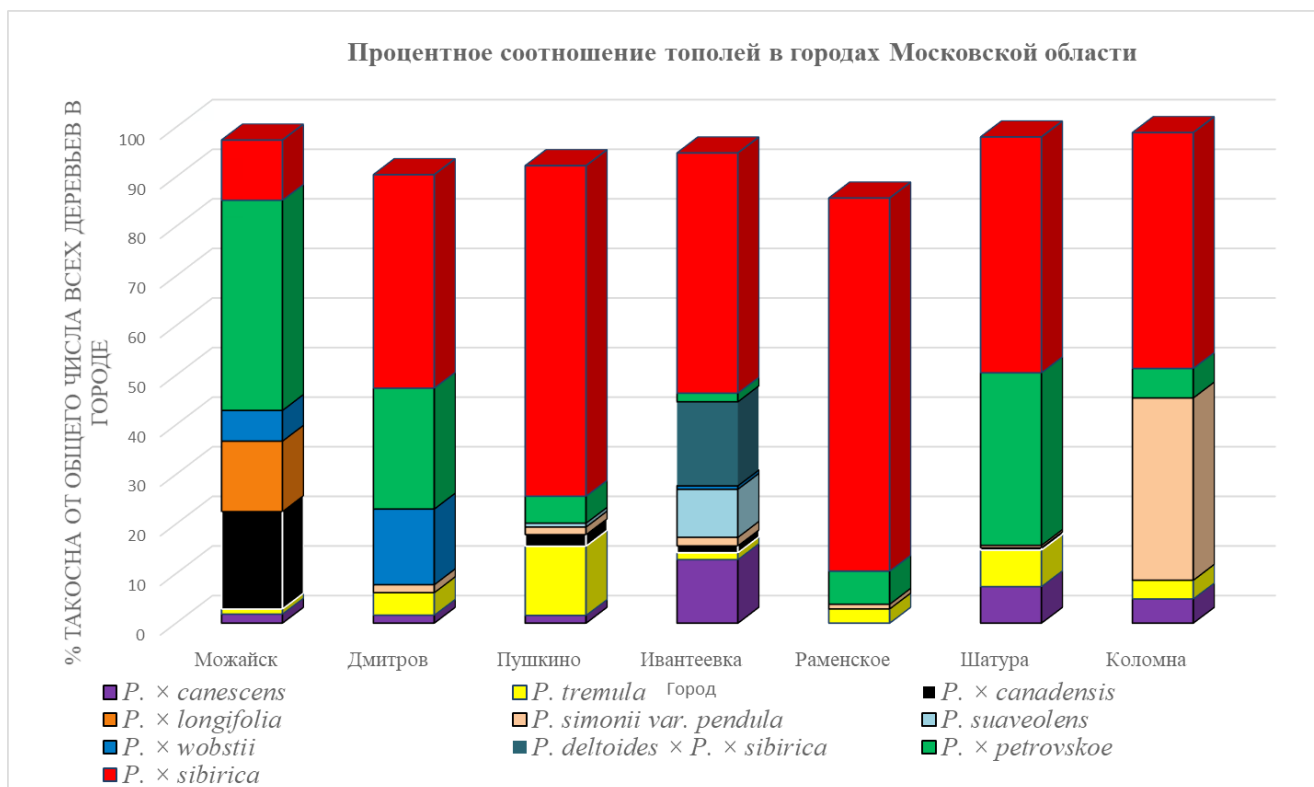
«вспышку» численности вроде бы продемонстрировал *P. x canescens* (13%) в Ивантеевке, но почти все деревья были обнаружены в странной загущенной лесополосе близ бывшего Ивантеевского дендропитомника, а на остальной территории города мы его не видели. *P. x wobstii* оказалось много в Дмитрове (15%), *P. x canadensis* (20%) – в Можайске.

Об остальных таксонах можно сказать, что они довольно редки или распространены крайне неравномерно: где-то их очень много, но лишь в 1-2 городах, а в других городах может не быть совсем. Так, *P. x canadensis* Moench является массовым гибридом только в Можайске, обычен в Москве, а в остальных городах редок, и, конечно, это связано со временем озеленения города: сохранились преимущественно старые деревья, и если город озеленялся после того, как *P. x canadensis* перестали высаживать, то этот гибрид там отсутствует. *P. longifolia* тоже оказался обычным только в Можайске. *P. suaveolens* и *P. deltoides x P. x sibirica* («Воронежский гигант») крайне редки в озеленении улиц и дворов, но массово высажены в той же лесополосе близ Ивантеевского дендропитомника. *P. x moscoviensis* (гибрид *P. laurifolia* и *P. suaveolens*) посажен в единственной точке Дмитрова – на привокзальной площади,

**Таблица 2.** Число учтенных деревьев тополя (виды, гибриды, культивары) в подмосковных городах.

**Table 2.** Number of recorded poplar trees (species, hybrids, cultivars) in cities of the Moscow Region.

Вид, гибрид, культивар <i>Type, hybrid, cultivar</i>	Можайск <i>Mozhaysk</i>	Дмитров <i>Dmitrov</i>	Пушкино <i>Pushkino</i>	Ивантеевка <i>Ivanteevka</i>	Раменское <i>Ramenskoe</i>	Шатура <i>Shatura</i>	Коломна <i>Kolomna</i>	Во всех городах Московской области» <i>In all cities of the Moscow region</i>	
								общее количество <i>total number</i>	%
<b>Белые тополя и их внутрисекционные гибриды</b> <i>White poplar trees and their intra-sectional hybrids</i>									
<i>P. alba</i>									
<i>P. × canescens</i>	7	7	2	37		15	9	77	4.3
<i>P. × jablocowii</i>		1		1			2	4	0.2
<i>P. × sowietica pyr.</i>		2	7	1				10	0.6
<i>P. tremula</i>	4	20	18	4	3	15	7	71	4.1
<b>Черные тополя и их внутрисекционные гибриды</b> <i>Black poplar trees and their intra-sectional hybrids</i>									
<i>P. × canadensis</i>	76		3	4		1		84	4.8
<i>P. deltoides</i>						2		2	0.1
<i>P. nigra var. nigra</i>				11		1		12	0.7
<i>P. nigra × P. italica</i>		2	3	1	10	1		17	1.0
<b>Бальзамические тополя и их внутрисекционные гибриды</b> <i>Balsam poplar trees and their intra-sectional hybrids</i>									
<i>P. × longifolia</i>	55							55	3.2
<i>P. × moscoviensis</i>		17						17	1.0
<i>P. simonii var. fastigiata</i>									
<i>P. simonii var. pendula</i>		7	2	5	1	1	68	84	4.8
<i>P. suaveolens</i>			1	28				29	1
<i>P. × wobstii</i>	24	67		2				93	5.4
<b>Межсекционные гибриды / <i>Intersectional hybrids</i></b>									
<i>P. deltoides × P. × moscoviensis</i>		3						3	0.2
<i>P. deltoides × P. × sibirica</i> («ЭС-38'- Воронежский гигант»)				49				49	2.8
<i>P. × nevensis</i>				1	5			6	0.3
<i>P. × petrovskoe</i>	164	107	7	5	7	71	11	372	21.4
<i>P. × rasumovskoe</i>	10	17						27	1.6
<i>P. × sibirica</i>	47	189	86	140	79	97	88	726	41.8
Итого / <i>Total:</i>	387	439	129	289	105	204	185	1738	100



**Рисунок 3.** Процентное соотношение таксонов тополей в исследованных городах Московской области. По горизонтали указаны города, по вертикали – процент, который составляет каждый таксон в городе. На графике представлены лишь 10 наиболее распространенных таксонов, остальные отражены в таблице 2.

**Figure 3.** Percentage distribution of poplar taxa in the studied cities of the Moscow Region. The horizontal axis shows the cities; the vertical axis shows the percentage that each taxon represents in the city. The graph presents only the 10 most common taxa, the remaining taxa are listed in Table 2.

больше он нигде не встречен. Это единственный случай, когда в подмосковном городе найден культурар, отсутствующий в Москве.

Мы видим, что численность разных таксонов тополей в городском озеленении резко различна; обычно имеются 1-2 (редко 3-4) обычных таксона, 1-2 нередких, а остальные представлены единичными экземплярами. Такое распределение согласно правилу Виллиса [18, 19] похоже на естественное, и это означает стихийность формирования культивируемой флоры тополей. При сознательном формировании распределение было бы в среднем более равномерным, так как «ставка» на 1-2 таксона всегда означает уязвимость озеленения при появлении нового вредителя или новой болезни.

*Сравнение городов по соотношению таксонов тополей.* Всем или практически всем городам свойственны общие черты в пропорциях флоры культивируемых тополей:

1. Межвидовые гибриды преобладают над «чистыми» видами. Особенно велико преобладание гибридов над «дикими» типами тополей (в этом случае культурары на базе «чистых» видов, например, *P. simonii var. pendula*, не учитываются в качестве «чистых» видов). Это можно

интерпретировать как малую жизнеспособность «чистых» видов в городах и возникновение более приспособленных к городу гибридных комбинаций; но кроме того, это ослабление в городе стабилизирующего отбора, в результате чего гибриды могут выжить. Эти спонтанные явления происходят на фоне деятельности человека и потому не всегда очевидны.

2. Сложные гибриды (в данном случае – *P. x sibirica* и *P. x petrovskoe*) преобладают над простыми гибридами. Это говорит лишь о долгом процессе озеленения данного города. В Москве в начале XX в. преобладали простые гибриды [9], а потом они сменились сложными [13].

3. Спонтанные гибриды (в данном случае те же *P. x sibirica* и *P. x petrovskoe*) преобладают над гибридными культурарами, которые созданы селекционерами (например, *P. x jablocowii*). Это обстоятельство говорит об упадке современного озеленения; кроме того, спонтанные гибриды могут быть менее прихотливыми, и за ними проще ухаживать.

4. В гибридизации очень велико участие российских видов тополей – *P. nigra*, *P. laurifolia*, *P. suaveolens*; участие североамериканских видов (*P. balsamifera*, *P. deltooides*) существенно меньше.

5. Местные виды (в данном случае – *P. tremula*) используются в озеленении улиц и дворов сравнительно редко.

6. Среди конкретных культиваров больше всего *P. × sibirica*, и это негативное обстоятельство, так как *P. × sibirica* представлен в основном женскими клонами, то есть «дает пух». Кроме того, он недолговечен, непрочен, высок, при ветре представляет угрозу для людей и автомашин, больше всего поражается вредителями и болезнями, с возрастом быстро теряет декоративность и т.д. Тем не менее этот тополь неприхотлив и растет очень быстро [12].

Москва – особенно большой город, подвергшийся более тщательному изучению по сравнению с другими городами, и потому что здесь найдено больше всего таксонов тополей. Суммарное время учетов в Москве и в совокупности подмосковных городов является соразмерным. Число выявленных таксонов в Москве (17) и подмосковных городах (19) тоже соразмерно. Если же учесть наши московские находки вне учетных маршрутов, то в Москве нам знакомы все подмосковные таксоны, кроме тополя московского из Дмитрова.

Можайск интересен господством *P. × petrovskoe* и обилием *P. × canadensis*. *P. × petrovskoe* встречается почти по всему городу и, кроме того, массово высажен в парке «Можайская Ривьера», что в значительной степени обеспечило специфический облик этого парка. Что же касается *P. × canadensis*, то, по нашему мнению, здесь использован один культивар этого гибрида, который более похож на *P. deltoides* (возвратный гибрид). У него крупные серовато-зеленые дельтовидные (почти треугольные) листья со множеством базальных железок. Тем не менее мы посчитали эти деревья гибридными, так как имеются признаки *P. nigra*: отсутствуют реснички по краю листа (главное отличие от «чистого» дельтовидного тополя), основание листовой пластинки не совсем прямое, а с небольшой выпуклостью (тупым «клинышком») близ черешка, листья длиннее своей ширины. Этот гибрид высажен близ бывшей водоканализационной станции и в других местах. Еще Можайск интересен наличием здесь второго «шредеровского вида» – *P. × rasumovskoe*.

Дмитров обладает богатой культурной флорой тополей (12 видов, больше только в Ивантеевке). Здесь, как и в Можайске, имеются «шредеровские виды» – *P. × petrovskoe* и *P. × rasumovskoe*, причем *P. × petrovskoe* тоже очень много. В других подмосковных городах (кроме Можайска) *P. × rasumovskoe* пока не обнаружен, а *P. × perovskoe* хотя и присутствует, но в небольшом количестве. Привокзальная площадь в Дмитрове оригинально озеленена тополями: имеется пирамидальное дерево, полученное сращением черного и белого

пирамидальных тополей, и, кроме того, только здесь, в пределах Московского региона, высажена группа тополя московского – гибрида *P. laurifolia* и *P. suaveolens*. Интересно, что тополь московский присутствует в двух формах: «плакучей» и «неплакучей», то есть можно говорить о двух разных культиварах на базе этого гибрида.

Раменское в противоположность Дмитрову не богато тополями: только 6 таксонов, причем численность всех тополей мала (самая низкая суммарная численность тополей среди всех 7 обследованных подмосковных городов), в жилой многоэтажной застройке только *P. × sibirica* встречается более или менее регулярно. Но и этот город обладает интересными особенностями: некоторые деревья, похожие на *P. × sibirica*, весьма мощны, раскидисты и «кряжисты», то есть отдельные ветки почти соразмерны по толщине главному стволу, и мы определили 5 таких деревьев как *P. nevensis* Nasim. (тополь невский в широком смысле). В остальных городах, включая Москву, мы только дважды предпочли такое определение. Яркая достопримечательность Раменского – это, конечно, 7 мощных черных пирамидальных тополей, которые в частном порядке высажены в малоэтажной застройке сельского типа в нескольких метрах южнее железнодорожной станции «Раменское». Мы определили их как сорт «Пионер» А.С. Яблокова, так как это женские деревья, гигантские деревья, и крона у них широкопирамидальная.

Шатура обладает довольно «стандартным» озеленением: много *P. × sibirica* и *P. × petrovskoe*, иногда встречается *P. × canescens*, а остальные таксоны представлены единичными деревьями, которые, вероятнее всего, посажены не государством, а отдельными жителями. Из таких деревьев можно отметить по одному крупному экземпляру *P. deltoides* у д. 53 по просп. Ильича и д. 18 по ул. Школьная [17]. Композиционные центры Шатуры тополями не озеленялись. Вероятно, Шатура в отличие, например, от Можайска, Дмитрова, Коломны и даже Раменского, никогда не воспринималась местной администрацией в качестве туристического центра, а потому внешнему облику города уделялось меньше внимания. Что же касается *P. × sibirica*, то он приводился для Шатуры еще в 1979 г. – как *P. balsamifer* [20], причем речь шла о деревьях диаметром ствола до 65 см, то есть этот культивар в Шатуре имеет не менее чем вековую историю.

Коломна по числу таксонов (всего 6) озеленена тополями бедно, но обладает одной удивительной чертой: почти по всей старой и относительно старой многоэтажной части города высажен *P. simonii* var. *pendula* – исключительно декоративный культивар со свисающими («плакучими») ветвями и темными блестящими листьями. По численности он почти приближается к повсеместному

*P. × sibirica* и среди тополей выходит на второе место. Деревья довольно крупные и почти все в хорошем состоянии. *P. simonii* уже в 1979 г. достигал высоты до 24 м и диаметра ствола до 42 см, *P. × sibirica* – высоты до 27 м и диаметра ствола до 58 см [20], то есть за прошедшие 47 лет структура озеленения тополями в Коломне не изменилась, хотя, наверное, проводилась посадка молодых деревьев.

Пушкино изучалось в качестве города, где расположен ВНИИЛМ, но озеленение тополями оказалось «стандартным» (*P. × sibirica* – 67%, остальные 8 видов – 33%). Даже в дендрологическом парке на территории ВНИИЛМ, примыкающем к главному зданию этого учреждения, примечательные виды тополей не были замечены. Из «шредеровских видов» в городе наблюдался только *P. × petrovskoe*, причем в небольшом количестве. Структура озеленения тополями в Пушкине была такой же 47 лет назад. *P. × petrovskoe* (указан как *P. × berolinensis*) достигал высоты 22 м при диаметре ствола до 46 см, а преобладал *P. × sibirica* (указан как *P. balsamifera*), хотя это были деревья чуть меньшего предельного размера [20], то есть деревья были посажены значительно раньше.

Ивантеевка тоже связана с ВНИИЛМ, так как здесь располагался Ивантеевский дендропитомник, от которого уцелел дендрологический парк, а опытные и производственные площади не используются по прежнему назначению. Ивантеевка, согласно данным таблицы 2, обладает максимальным многообразием тополей – 14 таксонов. Тем не менее 3 таксона (*P. × canescens*, *P. suaveolens* и *P. deltoides × P. × sibirica*, или «Воронежский гигант») встречены только в одной загущенной лесополосе в непосредственной близости от Ивантеевского дендропитомника. Рядом, но уже в сельской застройке, единично произрастают *P. × jablocowii* Jabl. и *P. × wobstii* R.I. Schrod. (последний гибрид имеется также в городском парке). Что же касается остального города (улицы, дворы), то таксономическое разнообразие тополей там не выше, чем в других городах, – 10 таксонов. Из них более или менее примечателен *P. nigra* var. *nigra* – дикий тип черного тополя, так как он исключительно редок в Московском регионе. Черешки иногда чуть опущены, то есть можно предположить небольшую примесь бальзамических тополей.

## Список источников

1. Альбенский А.В. *Методы улучшения древесных пород*. Москва, Ленинград: Гослесбумиздат, 1954:212.
2. Котелова Н.В., Стельмахович М.Л. *Тополя и их использование в зеленых насаждениях*. Москва: Сельхозиздат, 1963:127.

Почти во всех подмосковных городах тополей особенно много в 2-5-этажной застройке городского типа, существенно меньше – в 1-2-этажной застройке сельского типа и в современной высотной застройке, то есть частные владельцы небольших домов не любят сажать тополя, а в недавнее время их перестали сажать при озеленении новых городских кварталов.

## Выводы

## Conclusions

1. В городском озеленении обычно имеются 1-2 (редко 3-4) обычных таксона тополей, 1-2 нередких, а остальные представлены единичными экземплярами; такое распределение похоже на естественное (правило Виллиса), и это означает стихийность формирования культивируемой флоры тополей, то есть по сути упадок селекционной и озеленительной деятельности в Московском регионе.

2. Все таксоны, учтенные в подмосковных городах, известны в Москве.

3. Структура культивируемой флоры всех изученных городов обладает принципиальными общими чертами: межвидовые гибриды преобладают над «чистыми» видами, сложные гибриды – над простыми, спонтанные – над созданными селекционерами. В гибридизации велико участие местных российских тополей, но в «чистом» виде местные тополя используются сравнительно редко. В озеленении среди тополей преобладает *P. × sibirica*, что по многим причинам является нежелательным.

4. У каждого города имеется своя специфика в смысле культивируемой флоры тополей; она, вероятно, зависит от времени, когда началось озеленение, от ориентировки на тот или иной питомник, от того, в какой степени данный город воспринимался местными властями в качестве туристического центра, и от других причин.

5. Городское озеленение в Московском регионе желательно обогатить посадкой на улицах и во дворах *P. simonii*, *P. × rasumovskoe* и 'ЭС-38' («Воронежский гигант»), а также пирамидальными тополями черных и белых тополей *P. × sowietica* pyr., *P. nigra × P. italica*. Такой выбор обусловлен тем, что эти культивары представлены в озеленении только мужскими клонами. Долю *P. × sibirica* в озеленении необходимо снизить.

## References

1. Albensky A.V. *Methods of wood species improvement*. Moscow, Leningrad, USSR: Goslesbumizdat, 1954:212. (In Russ.)
2. Kotelova N.V., Stelmakhovich M.L. *Poplar trees and their use in green plantations*. Moscow, USSR: Selkhozizdat, 1963:127. (In Russ.)

3. Богданов П.Л. *Тополя и их культура*. Москва: Лесная промышленность, 1965:104.
4. Царёв А.П. *Сортоведение тополя*. Воронеж: Издательство Воронежского государственного университета, 1985:152.
5. Бакулин В.Т. Использование тополя в озеленении промышленных городов Сибири: краткий анализ проблемы. *Сибирский экологический журнал*. 2005;12(4):563-571.
6. [Wolkenstein Пётр Ермолаевич] [P.W.] New Plants at the Moscow Exhibition [Новые растения на московской выставке]. *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., 1882:108.
7. Шредер Р.И. *Указатель растений Дендрологического сада Московского сельскохозяйственного института*. Москва: Московский сельскохозяйственный институт, 1899:78.
8. Майоров С.Р., Бочкин В.Д., Насимович Ю.А. и др. *Адвентивная флора Москвы и Московской области*. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2012:411.
9. Майоров С.Р., Алексеев Ю.Е., Бочкин В.Д. и др. *Чужеродная флора Московского региона: состав, происхождение и пути формирования*. Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2020:576.
10. Цвелев Н.Н. О тополях (*Populus, Salicaceae*) Санкт-Петербурга и Ленинградской области. *Ботанический журнал*. 2001;86(2):70-78.
11. Borkhert E.V., Pushkova E.N., Krasnov G.S. Whole-genome sequencing of Russian poplars to understand relationships within the genus *Populus* L. *Frontiers in Plant Science*. 2025;16:1706329. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1706329>
12. Скворцов А.К. О сибирском «бальзамическом» тополе. *Бюллетень Главного ботанического сада РАН*. 2007;193:41-45.
13. Сырейщиков Д.П. *Иллюстрированная флора Московской губернии*. Москва: кн. маг. торг. д. Лахтин, Сырейщиков и К°, 1907;2:445.
14. Насимович Ю.А., Майоров С.Р., Муратаев Р.А. Идентификация *Populus × rasumovskoe (Salicaceae)* в Москве. *Социально-экологические технологии*. 2025;15(2):137-155. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2025-15-2-137-155>
15. Насимович Ю.А., Муратаев Р.А. *Populus × rasumovskoe (Salicaceae)* в Москве: морфологические и другие признаки, родительские виды. *Социально-экологические технологии*. 2025;15(3):259-269. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2025-15-3-259-269>
16. 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
3. Bogdanov P.L. *Poplar trees and their culture*. Moscow, USSR: Lesnaya promyshlennost, 1965:104. (In Russ.)
4. Tsarev A.P. *Poplar variety investigation*. Voronezh, USSR: Voronezh State University, 1985:152. (In Russ.)
5. Bakilin V.T. Use of poplar trees in the landscaping of industrial cities in Siberia: a brief analysis of the issue. *Siberian ecological journal*. 2005;12(4):563-571. (In Russ.)
6. [Wolkenstein Пётр Ермолаевич] [P.W.] New Plants at the Moscow Exhibition [Новые растения на московской выставке]. *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., 1882:108.
7. Schroeder R.I. Index of plants of the Dendrological Garden of the Moscow Agricultural Institute. Moscow, Russia: Moscow Agricultural Institute, 1899:78. (In Russ.)
8. Mayorov S.R., Bochkin V.D., Nasimovich Yu.A. et al. Adventive flora of Moscow and the Moscow Region. Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd., 2012:411. (In Russ.)
9. Mayorov S.R., Alekseev Yu.E., Bochkin V.D. et al. Alien flora of the Moscow Region: composition, origin, and formation pathways. Moscow, Russia: KMK Scientific Press Ltd., 2020:576. (In Russ.)
10. Tselev N.N. About poplars (*Populus, Salicaceae*) of St. Petersburg and Leningrad Region. *Botanicheskii zhurnal*. 2001;86(2):70-78. (In Russ.)
11. Borkhert E.V., Pushkova E.N., Krasnov G.S. Whole-genome sequencing of Russian poplars to understand relationships within the genus *Populus* L. *Frontiers in Plant Science*. 2025;16:1706329. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1706329>
12. Skvortsov A.K. On Siberian “balsamic” poplar tree. *Bulletin of the Central Botanical Garden Russian Academy of Sciences*. 2007;193:41-45. (In Russ.)
13. Syreishchikov D.P. Illustrated flora of the Moscow province. Moscow, Russia: kn. mag. torg. d. Lakhtin, Syreishchikov i K°, 1907; 2:445. (In Russ.)
14. Nasimovich Yu.A., Mayorov S.R., Murataev R.A. Identification of *Populus × rasumovskoe (Salicaceae)* in Moscow. *Sotsialno-ekologicheskie tekhnologii*. 2025;15(2):137-155. (In Russ.) <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2025-15-2-137-155>
15. Nasimovich Yu.A., Murataev R.A. *Populus × rasumovskoe (Salicaceae)* in Moscow: morphological and other traits, parent species. *Sotsialno-ekologicheskie tekhnologii*. 2025;15(3):259-269. (In Russ.) <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2025-15-3-259-269>
16. 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*

- Шатуры Московской области). *Тимирязевский биологический журнал*. 2025;3(1):202531201. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-2-01>
17. Насимович Ю.А., Костина М.В., Васильева Н.В. Концепция вида у тополей (genus *Populus* L., Salicaceae) на примере представителей подрода *Tacamahaca* (Spach) Penjkovsky. *Социально-экологические технологии*. 2019;9(4):426-466. <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2019-9-4-426-466>
18. Willis J.C. *Age and area; a study in geographical distribution and origin of species*. Cambridge: Cambridge The University Press, 1922:259.
19. Муратаев Р.А. Предварительные итоги инвентаризации видов, гибридов и культиваров тополей (*Populus* L.) в Москве и Московской области. *Экологическая морфология растений*. Москва: Московский педагогический государственный университет, 2024:278-281.
20. Александров М.С., Лапин П.И., Петрова И.П. и др. *Древесные растения парков Подмосковья*. Москва: Наука, 1979:236.
- Biological Journal*. 2025;3(1):20253120. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-1-2-01>
17. 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 neighbouring countries. *Sotsialno-ekologicheskie tekhnologii*. 2019;(4):426-466. (In Russ.) <https://doi.org/10.31862/2500-2961-2019-9-4-426-466>
18. Willis J.C. *Age and area; a study in geographical distribution and origin of species*. Cambridge: Cambridge The University Press, 1922:259.
19. Murataev R.A. Preliminary results of the inventory of poplar (*Populus* L.) species, hybrids and cultivars in Moscow and Moscow Region. *Ekologicheskaya morfologiya rasteniy*. Moscow, Russia: Moscow Pedagogical State University, 2024:278-281. (In Russ.)
20. Aleksandrov M.S., Lapin P.I., Petrova I.P. et al. Woody plants of parks in the Moscow Region. Moscow, Russia: Nauka, 1979:236. (In Russ.)

#### Сведения об авторах

**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, Ленинские горы, 1; ramil.murataev@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-3632-3835>

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

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 17.01.2026  
Одобрена после рецензирования 26.03.2026  
Принята к публикации 26.03.2026

#### Information about the authors

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

**Yuri A. Nasimovich**, Biodiversity Conservation Expert, State Environmental Protection Budgetary Institution of Moscow "State Nature Conservation Centre"; 119019, Russian Federation, Moscow, Novy Arbat St. 11, Bldg. 1; nasimovich@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-0644-0314>

#### Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office January 17, 2026  
Approved after reviewing March 26, 2026  
Accepted for publication March 26, 2026

Научная статья

УДК 619: 636.234.1: 616-009.17

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-3-01>



## Синдром ранней мышечной слабости голштинского скота: молекулярные механизмы, эпидемиология и стратегии контроля

Наталья Сергеевна Алтухова, Дарья Сергеевна Подвальнова

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

**Автор, ответственный за переписку:** Наталья Сергеевна Алтухова,  
[n.altukhova@rgau-msha.ru](mailto:n.altukhova@rgau-msha.ru)

### Аннотация

Синдром ранней мышечной слабости (Early-onset muscle weakness syndrome, MW) – рецессивное генетическое заболевание голштинского скота, ассоциированное с миссенс-мутацией p.Gly1029Ser в гене *SACNA1S*. Включение данной аномалии в перечень обязательных к тестированию генетических дефектов отражает ее значимость для современного племенного скотоводства. Цель исследований – систематизация данных о молекулярных механизмах, эпидемиологии, клинической диагностике и стратегиях контроля заболевания. Проанализированы публикации 2015–2025 гг. из баз данных PubMed, Google Scholar, eLibrary и OMIА. Установлено, что частота носительства мутации варьирует от 3 до 38% в зависимости от региона и методики оценки, достигая максимальных значений в популяциях США и отдельных субъектах Российской Федерации. Неполная пенетрантность мутации осложняет клиническую диагностику и требует обязательного применения молекулярно-генетических методов. Рассмотрены экономические последствия распространения заболевания: прямые убытки от падежа гомозиготных телят и косвенные издержки, связанные с ограничением использования ценных производителей, носителей заболевания. Обоснована необходимость интеграции управления генетическими дефектами в системе геномной селекции включая обязательное генотипирование племенного поголовья, исключение спариваний носителей и контроль уровня инбридинга. Полученные данные могут служить основой для разработки национальных программ наследственных аномалий в молочном скотоводстве.

### Ключевые слова

Рецессивные генетические мутации, синдром ранней мышечной слабости, голштинская порода, *SACNA1S*, управление наследственными аномалиями

### Для цитирования

Алтухова Н.С., Подвальнова Д.С. Синдром ранней мышечной слабости голштинского скота: молекулярные механизмы, эпидемиология и стратегии контроля. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):301. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-3-01>



## Early-onset muscle weakness syndrome in Holstein cattle: molecular mechanisms, epidemiology, and control strategies

Natalia S. Altukhova, Daria S. Podvalnova

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

**Corresponding author:** Natalia S. Altukhova, n.altukhova@rgau-msha.ru

### Abstract

Early-onset muscle weakness syndrome (MW) is a recessive genetic disorder in Holstein cattle associated with the missense mutation p.Gly1029Ser in the *CACNA1S* gene. The inclusion of this anomaly in the list of mandatory genetic defects for testing underscores its significance for modern dairy cattle breeding. The aim of this review is to systematize data on the molecular mechanisms, epidemiology, clinical diagnosis, and control strategies for MW. Publications from 2015 to 2025 indexed in PubMed, Google Scholar, eLibrary, and OMIA databases were analyzed. It was found that the carrier frequency of the mutation varies from 3% to 38%, depending on the region and assessment methodology, reaching maximum values in US populations and certain regions of the Russian Federation. The incomplete penetrance of the mutation complicates clinical diagnosis and necessitates the mandatory use of molecular genetic methods. The economic impact of MW spread is discussed, including direct losses from mortality of homozygous calves and indirect costs associated with restricted use of valuable carrier sires. The study substantiates the need to integrate genetic defect management into genomic selection systems, including mandatory genotyping of breeding stock, avoidance of carrier-to-carrier matings, and inbreeding control. The obtained data can serve as a basis for developing national programs for controlling hereditary anomalies in dairy cattle breeding.

### Keywords

Recessive genetic mutations, early-onset muscle weakness syndrome, Holstein breed, *CACNA1S*, management of hereditary anomalies

### For citation

Altukhova N.S., Podvalnova D.S. Early-onset muscle weakness syndrome in Holstein cattle: molecular mechanisms, epidemiology, and control strategies. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):301. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-3-01

## Введение

### Introduction

Современная племенная работа в скотоводстве характеризуется интенсивным использованием методов геномной селекции и искусственного осеменения, что обеспечивает значительный генетический прогресс по продуктивным признакам. Однако данные технологии имеют и обратную сторону: сокращение эффективного размера популяции и концентрация генетического материала ограниченного числа быков-производителей способствует накоплению нежелательных аллелей включая рецессивные мутации, ответственные за наследственные аномалии [1]. В условиях глобализации племенного рынка и активного международного обмена генетическим материалом риск распространения генетических дефектов приобретает транснациональный характер, требуя скоординированных мер контроля на уровне отраслевых ассоциаций и государственных регуляторов.

Синдром ранней мышечной слабости (Early-onset muscle weakness syndrome, MW) представляет собой рецессивное генетическое заболевание, характеризующееся неспособностью новорожденных телят, в частности, голштинской породы, самостоятельно стоять или удерживать вертикальное положение вследствие нарушения функции скелетной мускулатуры [2]. Заболевание впервые описано в научной литературе в 2022 г. [3]. Ретроспективный анализ позволил проследить происхождение мутации до быка Southwind Bell of Bar-Lee (HOUSA196484), рожденного в 1984 г. Широкое использование в племенной работе его потомков, в частности, быков Rolyane Socra Robust-ET (2008 г.р.) и Seagull-Bay Supersire-ET (2010 г.р.), способствовало распространению мутантного аллеля в популяциях голштинского скота Северной Америки, Европы и Австралии [4, 5].

Актуальность изучения MW обусловлена несколькими факторами. Высокая частота носительства (до 9% в популяциях США) создает существенный риск появления гомозиготных животных

при случайных спариваниях [6]. Неполная пенетрантность мутации затрудняет клиническую диагностику и ведет к недооценке реального распространения заболевания в стадах [7]. Экономические потери от гибели телят, снижения продуктивности и затрат на ветеринарное обслуживание могут достигать значительных величин [1]. Включение MW в перечень обязательных к тестированию генетических аномалий в 2024 г. требует разработки стандартизированных протоколов диагностики и эффективных стратегий управления популяцией [8].

**Цель исследований:** систематизация современных научных данных об этиологии, молекулярных механизмах, клинических проявлениях, эпидемиологии и методах контроля синдрома ранней мышечной слабости крупного рогатого скота, а также анализ перспектив дальнейших исследований в данной области.

## Методика исследований

### Research methods

Статья представляет собой обзор научных публикаций, посвященных этиологии и распространению синдрома ранней мышечной слабости (MW) у крупного рогатого скота голштинской породы.

Поиск литературы осуществлялся в базах данных PubMed, Google Scholar, eLibrary и на специализированном портале OMIA (Online Mendelian Inheritance in Animals) за период 2015-2025 гг. с использованием следующих ключевых слов и их комбинаций на русском и английском языках: синдром ранней мышечной слабости, голштинская порода, генетические аномалии крупного рогатого скота, *CACNA1S*, early-onset muscle weakness syndrome, MW syndrome, Holstein cattle, recessive genetic disorder, p.Gly1029Ser, rs3423414874. Для эпидемиологических данных дополнительно использовали запросы «MW carrier frequency Holstein» и «*CACNA1S* allele frequency».

В анализ включали оригинальные исследования, клинические случаи и рецензируемые обзоры, а также официальные отчеты племенных организаций. Приоритет отдавался публикациям, вышедшим после первого описания мутации (2022 г.).

Процесс отбора публикаций включал в себя первичный поиск по ключевым словам в названиях и аннотациях с последующим анализом полных текстов. Из 47 первоначально найденных источников для детального анализа отобрали 24 работы.

Отобранные материалы систематизированы по разделам: исторические аспекты, молекулярная генетика, клинические проявления, эпидемиология, диагностика, экономические последствия и стратегии контроля.

## Результаты и их обсуждение

### Results and discussion

*Исторический аспект и открытие синдрома.* Первые клинические случаи, впоследствии отнесенные к синдрому ранней мышечной слабости, зафиксированы в племенных хозяйствах США в 2018-2020 гг. Астазия (неспособность стоять) у новорожденных телят изначально интерпретировалась как следствие родовых травм, метаболических нарушений или инфекций [9]. Однако отсутствие характерных биохимических маркеров и повторяемость клинической картины в разных популяциях позволили предположить генетическую природу патологии.

С применением полногеномного ассоциативного анализа (GWAS) и метода секвенирования нового поколения исследователи идентифицировали общий гомозиготный рецессивный гаплотип на дистальном конце 16-й хромосомы у всех пораженных телят [2, 3]. Дальнейший биоинформатический анализ сузил область поиска до миссенс-мутации в гене *CACNA1S* (Calcium Voltage-Gated Channel Subunit Alpha1 S), кодирующем  $\alpha 1S$ -субъединицу потенциал-зависимого кальциевого канала L-типа скелетных мышц [2, 7]. Генеалогический анализ показал, что все носители мутации восходят к общему предку – быку Southwind Bell of Bar-Lee [4]. Этот случай иллюстрирует характерный риск современной селекции: концентрация генетического материала высокопродуктивных производителей ускоряет как накопление желательных признаков, так и распространение скрытых рецессивных мутаций [1, 10].

*Молекулярно-генетическая характеристика дефекта в гене CACNA1S.* Ген *CACNA1S* расположен на 16-й хромосоме крупного рогатого скота и кодирует порообразующую  $\alpha 1S$ -субъединицу дигидропиридинового рецептора (DHPR) – ключевого компонента системы сопряжения возбуждения и сокращения в скелетной мускулатуре [11]. Белковый продукт формирует трансмембранный кальциевый канал, функционирующий как потенциал-чувствительный сенсор, обеспечивающий передачу сигнала от T-трубочек сарколеммы к рианодиновым рецепторам (RyR1) саркоплазматического ретикулума [12].

Согласно современным данным мутация, ассоциированная с синдромом ранней мышечной слабости, имеет номенклатурное обозначение: rs3423414874 (c.3068G>A; p.Gly1029Ser). Данная миссенс-мутация приводит к замене глицина на серин в положении 1029 белковой последовательности. Анализ с помощью алгоритмов предсказания функциональных последствий (SIFT, PolyPhen-2) показывает, что данная модификация классифицируется как

умеренно повреждающая, и это согласуется с наблюдаемой неполной пенетрантностью фенотипа [3]. Консервативность затронутого участка у всех позвоночных животных подчеркивает его критическую роль в физиологии мышечного сокращения [13].

Патогенез связан с нарушением регуляции внутриклеточного кальция. Дефектный  $\alpha 1S$ -белок не обеспечивает адекватную активацию RyR1-рецепторов, что приводит к недостаточному высвобождению ионов  $Ca^{2+}$  из саркоплазматического ретикулума и нарушению формирования актин-миозиновых мостиков. Клинически это проявляется мышечной слабостью, астазией, и в тяжелых случаях – прогрессирующей дегенерацией мышечных волокон [3].

Гетерозиготные мутации в ортологичном гене человека ассоциированы с гипокалиемическим периодическим параличом и предрасположенностью к злокачественной гипертермии [13]. У мышей гомозиготные нокауты *Cacna1s* приводят к перинатальной гибели вследствие полной неспособности к мышечному сокращению [14]. Эти данные подтверждают эволюционную консервативность функции гена.

*Клинико-патоморфологическая характеристика синдрома.* Клиническая картина синдрома ранней мышечной слабости характеризуется значительной вариабельностью, что осложняет его диагностику. К числу типичных проявлений относят:

- неонатальную астазию: телята рождаются в срок с нормальным аппетитом и без метаболических нарушений, но не способны стоять [3, 4, 15];
- характерную позу: при попытке встать наблюдаются сгибание грудных конечностей и разгибание тазовых, что формирует специфическую («растопыренную») позу [4, 15];
- прогрессирующую атрофию: у части длительно выживающих гомозиготных животных развивается атрофия мышц, преимущественно тазового пояса; нейрогенные изменения (такие как дегенерация седалищного нерва) не являются характерным признаком патологии *CACNA1S* и обычно свидетельствуют о вторичных осложнениях [3].

Важной особенностью заболевания является неполная пенетрантность: часть гомозигот демонстрирует лишь минимальные клинические признаки или сохраняет нормальную жизнедеятельность при хорошем уходе [3, 7]. Причиной феномена могут быть модифицирующие гены, эпигенетические факторы или условия содержания, однако точные механизмы остаются предметом активных исследований.

При патоморфологическом исследовании у пораженных телят обнаруживаются структурные изменения мышечных волокон:

анизоцитоз (вариабельность размера волокон), очаги некроза и фиброз (разрастание соединительной ткани) [4, 16]. Биохимические показатели крови обычно остаются в пределах нормы, за исключением умеренного повышения активности креатинкиназы, наблюдаемого при активной дегенерации мышечной ткани [5, 10, 17].

*Эпидемиология синдрома ранней мышечной слабости.* Анализ распространенности синдрома ранней мышечной слабости в глобальных популяциях голштинского скота выявляет существенные региональные различия, обусловленные историей использования носителей мутации в племенной работе. Сводные данные по частоте носительства MW представлены в таблице 1.

Реальная распространенность мутации может быть выше приведенных показателей. Это обусловлено неполной пенетрантностью, затрудняющей клиническую идентификацию гомозиготных животных, ограниченным охватом поголовья обязательным генотипированием, а также возможной ошибочной классификацией случаев неонатальной астазии как следствия травм или метаболических нарушений. Представленные региональные различия подчеркивают необходимость гармонизации подходов к мониторингу и контролю дефекта MW на международном уровне.

*Методы диагностики синдрома ранней мышечной слабости (MW).* Современная диагностика синдрома ранней мышечной слабости базируется на комплексном подходе, сочетающем клиническое обследование, генеалогический анализ и молекулярно-генетические методы. Краткая характеристика основных диагностических подходов представлена в таблице 2.

При проведении клинической диагностики первостепенное значение приобретает дифференциальный подход, поскольку неонатальная астазия может быть следствием различных патологий, не связанных с мутацией *CACNA1S*. В первую очередь необходимо исключить такие распространенные причины, как родовые травмы и переломы конечностей, субклинический дефицит селена и витамина E (беломышечная болезнь, *nutritional muscular dystrophy*), врожденный неоспороз, а также внутриутробную инфекцию вирусом диареи крупного рогатого скота (*BVDV, Bovine Viral Diarrhea Virus*). Особого внимания заслуживает гаплотип холестериновой недостаточности (*HCD, Haplotype Cholesterol Deficiency*), который также может проявляться слабостью новорожденных телят и требует молекулярной идентификации [3, 4, 10, 15].

Только после исключения перечисленных состояний можно обоснованно предполагать наличие MW и назначать подтверждающее генетическое тестирование.

**Таблица 1.** Частота носительства мутации MW в популяциях голштинского скота в различных географических регионах.

**Table 1.** Carrier frequency of the MW mutation in Holstein cattle populations across different geographic regions.

Страна <i>Country</i>	Частота носительства, % <i>Carrier frequency, %</i>	Выборка <i>Sample size</i>	Особенности <i>Characteristics</i>	Источник <i>Reference</i>
Глобальная оценка (по данным США) <i>Global estimate (USA-based)</i>	2.09% подтверждённых носителей; 8.15% вероятных носителей <i>2.09% confirmed carriers; 8.15% probable carriers</i>	5.6 млн <i>5.6 million</i>	Летальность гомозигот 52% до 18 мес.; смертность среди не носителей – 2.4%. <i>homozygote lethality 52% by 18 months of age; mortality among non-carriers – 2.4%</i>	[3, 4]
США <i>USA</i>	~11% (оценка для коров, родившихся в 2018 г.) ~11% (estimated for cows born in 2018)	Не указано <i>Not specified</i>	Высокий уровень; связан с активным использованием потомков Southwind Bell of Bar-Lee <i>High frequency; associated with extensive use of descendants of Southwind Bell of Bar-Lee</i>	[5]
Канада <i>Canada</i>	< 6%	Не указано <i>Not specified</i>	Более низкий уровень обусловлен ограничениями на импорт семени от носителей <i>Lower frequency attributed to restrictions on semen imports from carriers</i>	[5, 17]
Польша <i>Poland</i>	38%	50 (быки, целевая выборка) <i>50 (sires, sample)</i>	Высокий уровень в племенной группе; требует подтверждения в расширенной выборке для предупреждения огомозигочивания <i>High frequency in breeding stock; requires confirmation in extended sample to prevent homozygosity</i>	[16]
Япония <i>Japan</i>	Не установлена (носители выявлены) <i>Not established (carriers identified)</i>	195	Первый клинический случай диагностирован ретроспективно в 2024 г. при генотипировании 195 образцов <i>First clinical case was diagnosed retrospectively in 2024 when 195 samples were genotyped</i>	[15]
Австралия <i>Australia</i>	предварительно <i>preliminary</i>	Не указано <i>Not specified</i>	Первые случаи зарегистрированы в 2024 г. <i>First cases reported in 2024</i>	[4, 22]
Российская Федерация (Краснодарский край) <i>Russian Federation (Krasnodar Krai)</i>	5.5% (коровы и телки); 28% (быкопроизводящая группа коров) <i>5.5% (cows and heifers) 28% (bull-producing group of cows)</i>	7616 (коровы и телки); 25 (быкопроизводящая группа коров) <i>7616 cows and heifers; 25 (bull-producing group of cows)</i>	Высокий риск в субпопуляции; рекомендуется ограничение использования быков-носителей <i>High risk within the subpopulation; restricted use of carrier bulls recommended</i>	[14]

**Примечание.** Частота носителей может варьировать в зависимости от схемы исследования (популяционный скрининг/целевая выборка). Данные, полученные на малых или преднамеренно отобранных выборках, не следует экстраполировать на всю популяцию.

**Note.** Carrier frequencies may vary depending on the study design (population screening / targeted sampling). Data from small/targeted samples should not be extrapolated to the general population.

**Таблица 2.** Методы диагностики ранней мышечной слабости.

**Table 2.** Diagnostic methods for early-onset muscle weakness syndrome.

Метод <i>Method</i>	Принцип метода <i>Principle of the method</i>	Диагностическая значимость <i>Diagnostic value</i>	Ограничения применения <i>Limitations</i>
Клиническая диагностика <i>Clinical diagnostics</i>	Выявление неонатальной астазии у телят голштинской породы при отсутствии признаков травм, инфекций или метаболических нарушений  <i>Detection of neonatal atasia in Holstein calves in the absence of signs of trauma, infection, or metabolic disorders</i>	Первичное подозрение на MW, отбор животных для дальнейшего тестирования  <i>Initial suspicion of MW, selection of animals for further testing</i>	Требуется дифференциальная диагностика для исключения других причин астазии  <i>A differential diagnosis is required to rule out other causes of atasia</i>
Молекулярно-генетические методы (ПЦР, секвенирование) <i>Molecular genetic methods (PCR, sequencing)</i>	Алель-специфичная ПЦР или секвенирование для детекции миссенс-мутации rs3423414874 в гене CACNA1S (с.3068G>A; p.Gly1029Ser) на хромосоме 16  <i>Allele-specific PCR or sequencing for detection of the missense mutation rs3423414874 in the CACNA1S gene (c.3068G&gt;A; p.Gly1029Ser) on chromosome 16</i>	«Золотой стандарт» диагностики; точное определение генотипа  <i>«Gold standard» for diagnosis; precise genotype determination</i>	Высокая чувствительность и специфичность; коммерческие тест-системы доступны в специализированных лабораториях  <i>High sensitivity and specificity; commercial test systems are available in specialized laboratories</i>
Гаплотипный анализ (на основе SNP-чипов) <i>Haplotype analysis (SNP chip-based)</i>	Прогноз статуса носительства на основе анализа гаплотипных маркеров, сцепленных с мутантным аллелем CACNA1S  <i>Prediction of carrier status based on analysis of haplotype markers linked to the mutant CACNA1S allele</i>	Оценка вероятности носительства для животных без прямого тестирования на мутацию  <i>Assessment of carrier probability for animals without direct testing for the mutation</i>	Позволяет присваивать вероятностные значения носительства (от 1 до 99%); точность зависит от плотности SNP-чипа по генетически сцепленным мутациям и качества референсной популяции  <i>The system enables the assignment of probability values for carrier status (1-99%); accuracy depends on SNP chip density for genetically linked markers and reference population quality</i>

Интерпретация результатов молекулярно-генетического анализа проводится в соответствии с международными стандартами и предполагает отнесение животного к одной из трех категорий [5, 17]:

- TNC (tested non-carrier): животное не несет мутантный аллель (гомозигота по здоровому аллелю);
- TC (tested carrier): гетерозиготный носитель мутантного аллеля;
- Homozygous Affected: гомозигота по мутации.

Важно подчеркнуть, что ввиду неполной пенетрантности наличие гомозиготного статуса не всегда коррелирует с выраженностью клинических проявлений. В литературе описаны случаи, когда гомозиготные по мутации животные при надлежащих условиях содержания и хорошем уходе демонстрировали лишь минимальные

клинические признаки или даже сохраняли способность к нормальной жизнедеятельности [15]. Данный феномен требует осторожности при принятии решений о выбраковке животных исключительно на основании генотипа и подчеркивает важность комплексной оценки, учитывающей как генетические, так и фенотипические данные, а также условия содержания.

Практическая доступность тестирования в настоящее время не является ограничивающим фактором. Коммерческие тест-системы для выявления мутации MW разработаны и успешно применяются в ряде специализированных международных лабораторий (например, VHL Genetics, STgenetics и DataGene). В Российской Федерации тестирование может проводиться в лабораториях, аккредитованных для проведения молекулярно-генетической экспертизы племенных животных в рамках

выполнения требований Евразийской экономической комиссии<sup>1</sup> [18]. Это создает необходимые предпосылки для внедрения обязательного скрининга и эффективного контроля распространения мутации в отечественных популяциях крупного рогатого скота.

*Экономические последствия и аспекты благополучия животных.* Распространение синдрома ранней мышечной слабости оказывает разностороннее экономическое воздействие на молочное скотоводство, которое условно можно подразделить на прямые экономические потери, косвенные издержки и этические аспекты, связанные с благополучием животных.

Прямые экономические потери обусловлены повышенной смертностью гомозиготных по мутации телят. Согласно данным Al-Khudhair et al. (2024) среди 46 гомозиготных телок с известными данными о выживаемости 52% погибли до достижения 18-месячного возраста, при этом средний возраст падежа составил  $1.7 \pm 1.6$  месяца. Для количественной оценки ущерба авторы использовали модель, учитывающую среднюю стоимость теленка (около 300 долл. США), коэффициент пенетрантности на уровне 50% и дополнительные затраты на ветеринарное обслуживание и уход за ослабленными животными (около 100 долларов США на 1 гол.). Экстраполяция этих данных на всю популяцию голштинского скота в США показывает, что ежегодные убытки только за счет гомозиготных телят могут достигать 1.9 млн долл. США [3].

Несмотря на то, что аналогичные расчеты для Российской Федерации не проводились, с учетом высокой частоты носительства в отдельных регионах (см. раздел «Эпидемиология») потенциальный экономический ущерб для отечественной отрасли может быть весьма существенным в пересчете на общее поголовье.

Косвенные экономические последствия связаны с влиянием мутации на продуктивные и племенные качества даже у гетерозиготных животных-носителей. Исследования показывают, что смертность среди носителей примерно на 1% превышает таковую у животных без мутации, что добавляет еще около 1 млн долл. США к годовым потерям в масштабах отрасли США [2].

Помимо прямых потерь от падежа, к косвенным издержкам следует отнести:

- затраты на обязательное генотипирование племенного поголовья;

<sup>1</sup>Об утверждении Положения о проведении молекулярной генетической экспертизы племенной продукции государств – членов Евразийского экономического союза: Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 2 июня 2020 г. № 74. [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_354514/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_354514/).

- ограничения в подборе родительских пар, снижающие эффективность селекционных программ;

- потенциальное снижение темпов генетического прогресса вследствие необходимости исключения ценных по племенным качествам, но гетерозиготных производителей из активной части племенного ядра.

Не менее значимым по сравнению с экономическими потерями является этический аспект. Телята с тяжелыми клиническими проявлениями MW испытывают очевидные страдания по причине неспособности самостоятельно стоять и передвигаться. Невозможность нормального кормления (доступа к вымени или поилке), высокий риск развития пролежней и вторичных инфекций, а также хронический стресс, обусловленный вынужденной лежачей позой, ставят вопрос о гуманности дальнейшего содержания таких животных. В ветеринарной практике это часто приводит к решению об эвтаназии пораженных телят вскоре после постановки диагноза [15].

Данный этический аспект дополнительно подчеркивает необходимость ранней диагностики и превентивных мер, направленных на недопущение появления гомозиготных телят.

Примечательно, что скоординированные отраслевые меры способны существенно снизить экономическое бремя генетических аномалий. Согласно данным Совета по разведению молочного скота США (Council on Dairy Cattle Breeding, CDCB) широкое внедрение геномной селекции и целенаправленное исключение спариваний животных-носителей заболевания позволили сократить совокупное экономическое воздействие от известных генетических дефектов в популяции молочного скота примерно на 2/3 (с 11 млн долл. США в 2016 г. до 4.1 млн долл. США в 2024 г.) [1, 19]. Этот успешный пример служит ориентиром для других стран, в том числе России, при разработке национальных стратегий контроля наследственных заболеваний.

*Стратегии селекции и профилактики распространения заболевания.* Эффективное управление популяцией в условиях наличия рецессивных генетических дефектов требует комплексного подхода, сочетающего обязательное генетическое тестирование, рациональный подбор родительских пар, контроль уровня инбридинга и прозрачный обмен информацией между всеми участниками селекционного процесса.

Фундаментом любой стратегии контроля является обязательное генотипирование племенных животных. В первую очередь это касается быков-производителей, используемых для искусственного осеменения, а также маточного поголовья быкопроизводящего назначения. Именно эти селекционные группы животных оказывают

наибольшее влияние на генетическую структуру популяции.

Значимым нормативным изменением стало Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 17 декабря 2024 г. № 140<sup>2</sup>. Документ обновляет перечень генетически детерминированных заболеваний, подлежащих обязательной молекулярно-генетической экспертизе. Для голштинской породы в этот перечень включен синдром врожденной мышечной слабости (MW, OMIA ID002819-9913), ассоциированный с мутацией в гене *CACNA1S*. Вступление решения в силу с 1 января 2026 г. создаст правовую основу для контроля распространения данной аномалии на территории стран ЕАЭС.

Базовым принципом профилактики появления гомозиготных животных является недопущение спариваний между двумя носителями мутации, что позволяет полностью предотвратить рождение пораженных телят. Современные системы подбора пар (MateSel<sup>3</sup>, Inbreeding Calculator<sup>4</sup> и др.) автоматически учитывают статус носительства по всем известным генетическим дефектам. Алгоритмы, основанные на популяционных методах оптимизации, позволяют минимизировать риски, сохраняя при этом высокие темпы генетического прогресса по продуктивным признакам. При этом ценные гетерозиготные особи могут продолжать использоваться в селекционном процессе.

Поскольку экспрессия рецессивных мутаций тесно связана с уровнем инбридинга, ключевым элементом долгосрочной стратегии становится контроль степени родства в стаде. Как отмечают Gozdek et al. [20], целенаправленный подбор пар с учетом статуса носительства и исключение родственного спаривания позволяют минимизировать риск проявления скрытых генетических дефектов и сократить частоту нежелательных аллелей. Данный подход приобретает особую актуальность для голштинской породы, в популяции которой зафиксирована повышенная частота рецессивных гаплотипов вследствие исторически сложившейся практики интенсивного использования ограниченного пула быков-производителей [1, 3, 21].

Критически важными условиями эффективности перечисленных мер являются прозрачность и доступность информации о статусе носительства племенных животных. Отраслевые

ассоциации (Holstein Association USA, CDCB, Lactanet, ABS Global) публикуют результаты тестирования в открытых базах данных, что позволяет заводчикам принимать решения при подборе пар и покупке генетического материала [6, 22]. В отличие от зарубежной практики для российского племенного животноводства актуальной задачей является создание аналогичных национальных баз и их интеграция с международными системами. Это обеспечит сопоставимость результатов тестирования и предотвратит непреднамеренное распространение мутаций при импорте семени и эмбрионов.

С учетом глобального характера торговли племенным материалом особого внимания требует международная координация усилий по контролю генетических аномалий. Гармонизация протоколов тестирования, унификация номенклатуры генетических дефектов (например, через базу OMIA) и стандартизация отчетности о статусе носительства способствуют более эффективному контролю на транснациональном уровне.

Как показывает опыт Северной Америки и Европы, реализация описанного комплекса мер позволяет существенно снизить экономические потери от генетических аномалий, сохраняя при этом высокие темпы генетического прогресса по селекционным признакам.

*Приоритетные направления дальнейших исследований.* Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в изучении синдрома ранней мышечной слабости, ряд фундаментальных и прикладных вопросов остается открытым и требует дальнейшего изучения.

Важной задачей остается функциональная валидация мутации. Несмотря на то, что биоинформатические данные о патогенности аминокислотной замены p.Gly1029Ser являются убедительными, детальное изучение влияния данной мутации на структуру и функцию кальциевого канала с использованием клеточных моделей (например, в культуре миобластов) и трансгенных животных позволит уточнить патогенетические механизмы и выявить потенциальные мишени для терапевтического воздействия.

Одним из приоритетных направлений является изучение механизмов неполной пенетрантности. Выявление генетических, эпигенетических и средовых факторов, модулирующих экспрессию фенотипа у гомозиготных животных, способно объяснить существующие клинические парадоксы. Понимание причин, по которым часть гомозиготных особей сохраняет нормальную жизнедеятельность, позволит разработать более точные прогностические критерии и персонализированные подходы к содержанию и эксплуатации таких животных.

Несмотря на то, что полное излечение генетических заболеваний в обозримом будущем остается

<sup>2</sup> О внесении изменения в перечень генетически детерминированных заболеваний сельскохозяйственных племенных животных: Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 17 декабря 2024 г. № 140. [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_493905/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_493905/).

<sup>3</sup> [https://vsni.co.uk/software/matesel/?trk=public\\_post\\_comment-text](https://vsni.co.uk/software/matesel/?trk=public_post_comment-text).

<sup>4</sup> <https://lactanet.ca/en/genetic-tools-tips-tricks-the-inbreeding-calculator/>.

сложной задачей, исследования в области терапевтических подходов не теряют актуальности. Особый интерес представляют методы генной терапии, фармакологической коррекции дисфункции кальциевых каналов, а также поддерживающего лечения. Разработка таких методов может стать важным шагом в решении этических проблем, связанных с вынужденной эвтаназией телят с тяжелыми формами MW.

Крайне актуальным направлением является расширение эпидемиологического мониторинга. Систематический сбор данных о распространенности MW в различных популяциях, включая развивающиеся рынки и регионы с недостаточным охватом генотипированием [16], необходим для объективной оценки глобального воздействия мутации и планирования эффективных профилактических мер на национальном и международном уровнях.

Наконец, ключевой задачей на стыке генетики и селекции является интеграция контроля генетических дефектов в системах геномной селекции. Разработка и внедрение алгоритмов, одновременно учитывающих племенную ценность животных по селекционным признакам и их статус носительства рецессивных мутаций, позволят оптимизировать генетический прогресс при минимизации риска накопления нежелательных аллелей в популяциях [23]. Как показывают исследования, включение информации о рецессивных летальных генах в модели геномной оценки повышает точность прогноза признаков выживаемости [24].

Решение этих задач будет способствовать более глубокому пониманию биологии MW и разработке научно обоснованных подходов к контролю заболевания.

## Список источников

1. Cole J.B., Baes C.F., Eaglen S.A.E. et al. Invited review: Management of genetic defects in dairy cattle populations. *Journal of Dairy Science*. 2025;108(4):3045-3067. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-26035>
2. Dechow C.P., Frye E., Maunsell F.P. Identification of a putative haplotype associated with recumbency in Holstein calves. *JDS Communications*. 2022;3(6):412-415. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0224>
3. Al-Khudhair A., VanRaden P.M., Null D.J. et al. New mutation within a common haplotype is associated with calf muscle weakness in Holsteins. *Journal of Dairy Science*. 2024;107(6):3768-3779. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24121>
4. Ciacia M.G., Phipps A.J. Early-onset muscle weakness syndrome (MW) in an Australian Holstein calf. *Australian Veterinary Journal*. 2025;103(5):298-303. <https://doi.org/10.1111/avj.13431>
5. New Genetic Condition and Haplotypes: Muscle Weakness and BH14. *Lactanet*. URL: <https://lactanet.ca/en/new-genetic-condition-and->

## Выводы

## Conclusions

Синдром ранней мышечной слабости (MW) крупного рогатого скота представляет собой актуальную проблему современного племенного скотоводства, наглядно демонстрирующую противоречие между генетическим прогрессом и сохранением здоровья популяции. Мутация *CACNA1S* (p.Gly1029Ser) является доказанной причиной заболевания, наследуемого по рецессивному типу с неполной пенетрантностью. Частота носительства варьирует от 3 до 38% в разных странах, достигая максимальных значений в США и некоторых регионах Российской Федерации, что обуславливает необходимость системного контроля.

Представленные в работе данные подтверждают, что эффективное управление распространением MW достижимо на основе комплекса мер. В качестве ключевых элементов выступают: обязательное генотипирование племенных животных; исключение спариваний между носителями мутаций; контроль инбридинга и прозрачный обмен информацией между участниками селекционного процесса. Внедрение этих подходов позволяет минимизировать экономические потери, сохраняя высокие темпы генетического прогресса по хозяйственно-полезным признакам.

Дальнейшее углубление знаний о молекулярных механизмах MW, совершенствование диагностических инструментов и интеграция управления генетическими дефектами в системы геномной селекции станут основой для долгосрочной стратегии, обеспечивающей баланс между селекционными достижениями и благополучием животных.

## References

1. Cole J.B., Baes C.F., Eaglen S.A.E. et al. Invited review: Management of genetic defects in dairy cattle populations. *Journal of Dairy Science*. 2025;108(4):3045-3067. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-26035>
2. Dechow C.P., Frye E., Maunsell F.P. Identification of a putative haplotype associated with recumbency in Holstein calves. *JDS Communications*. 2022;3(6):412-415. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0224>
3. Al-Khudhair A., VanRaden P.M., Null D.J. et al. New mutation within a common haplotype is associated with calf muscle weakness in Holsteins. *Journal of Dairy Science*. 2024;107(6):3768-3779. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24121>
4. Ciacia M.G., Phipps A.J. Early-onset muscle weakness syndrome (MW) in an Australian Holstein calf. *Australian Veterinary Journal*. 2025;103(5):298-303. <https://doi.org/10.1111/avj.13431>
5. New Genetic Condition and Haplotypes: Muscle Weakness and BH14. *Lactanet*. URL: <https://lactanet.ca/en/new-genetic-condition-and->

- haplotypes-muscle-weakness-and-bh14/ (accessed: February 15, 2026).
6. Gene Mutation Prevents Calves from Standing. *Dairy Star*. URL: <https://dairystar.com/stories/gene-mutation-prevents-calves-from-standing,23319> (accessed: March 02, 2026).
  7. Muscle Weakness, Holstein. *OMIA – Online Mendelian Inheritance in Animals*. URL: <https://www.omia.org/OMIA002819/9913/> (accessed: February 15, 2026).
  8. Early-Onset Muscle Weakness Syndrome Officially Recognized as Undesirable Genetic Condition by Holstein Association USA. *Holstein Association USA*. URL: [https://www.holsteinusa.com/news/press\\_release2024.html#pr2024\\_3](https://www.holsteinusa.com/news/press_release2024.html#pr2024_3) (accessed: February 15, 2026).
  9. Abutarbush S.M., Radostits O.M. Congenital Nutritional Muscular Dystrophy in a Beef Calf. *Canadian Veterinary Journal*. 2003;44(9):738-739.
  10. Besnard F., Guintard A., Grohs C. et al. Massive detection of cryptic recessive genetic defects in dairy cattle mining millions of life histories. *Genome Biology*. 2024;25:248. <https://doi.org/10.1186/s13059-024-03384-7>
  11. Sangkuhl K., Dirksen R.T., Alvarellos M.L. et al. PharmGKB summary: very important pharmacogene information for CACNA1S. *Pharmacogenet and Genomics*. 2020;30(2):34-44. <https://doi.org/10.1097/FPC.0000000000000393>
  12. Schartner V., Romero N.B., Donkervoort S. et al. Dihydropyridine receptor (DHPR, CACNA1S) congenital myopathy. *Acta Neuropathologica*. 2017;133:517-533. <https://doi.org/10.1007/s00401-016-1656-8>
  13. Marinella G., Orsini A., Scacciati M. et al. Congenital myopathy as a phenotypic expression of CACNA1S gene mutation: case report and systematic review of the literature. *Genes*. 2023;14(7):1363. <https://doi.org/10.3390/genes14071363>
  14. Ковалюк Н.В., Волченко А.Е., Ширяева Е.В. и др. Тестирование и распространение новой генетической аномалии крупного рогатого скота голштинской породы *HMW (OMIA ID002819-9913)*. *Молочное и мясное скотоводство*. 2024;(3):8-10. <https://doi.org/10.33943/MMS.2024.94.40.002>
  15. Inokuma H., Maezawa M., Miyazaki Y. et al. A clinical case of CACNA1S-related muscle weakness in a Holstein calf with congenital astasia diagnosed by a genotyping test of stored blood. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2025;87(1):28-31. <https://doi.org/10.1292/jvms.24-0308>
  16. Kamiński S. Muscle weakness – new genetic defect transmitted to Polish Holstein-Friesian cattle. *Polish Journal Veterinary Sciences*. 2024;27(4):651-653. <https://doi.org/10.24425/pjvs.2024.152956>
  17. Introduction of HMW: The Haplotype Call for Early-Onset Muscle Weakness Syndrome. *Council on Dairy Cattle Breeding*. URL: <https://uscddb.com/introduction-of-hmw-the-haplotype-call-for-early-onset-muscle-weakness-syndrome/> (accessed: March 04, 2026).
  18. Ковалюк Н.В., Сацук В.Ф., Якушева Л.И. Способ определения полиморфизма rs3423414874 haplotypes-muscle-weakness-and-bh14/ (accessed: February 15, 2026).
  6. Gene Mutation Prevents Calves from Standing. *Dairy Star*. URL: <https://dairystar.com/stories/gene-mutation-prevents-calves-from-standing,23319> (accessed: March 02, 2026).
  7. Muscle Weakness, Holstein. *OMIA – Online Mendelian Inheritance in Animals*. URL: <https://www.omia.org/OMIA002819/9913/> (accessed: February 15, 2026).
  8. Early-Onset Muscle Weakness Syndrome Officially Recognized as Undesirable Genetic Condition by Holstein Association USA. *Holstein Association USA*. URL: [https://www.holsteinusa.com/news/press\\_release2024.html#pr2024\\_3](https://www.holsteinusa.com/news/press_release2024.html#pr2024_3) (accessed: February 15, 2026).
  9. Abutarbush S.M., Radostits O.M. Congenital Nutritional Muscular Dystrophy in a Beef Calf. *Canadian Veterinary Journal*. 2003;44(9):738-739.
  10. Besnard F., Guintard A., Grohs C. et al. Massive detection of cryptic recessive genetic defects in dairy cattle mining millions of life histories. *Genome Biology*. 2024;25:248. <https://doi.org/10.1186/s13059-024-03384-7>
  11. Sangkuhl K., Dirksen R.T., Alvarellos M.L. et al. PharmGKB summary: very important pharmacogene information for CACNA1S. *Pharmacogenet and Genomics*. 2020;30(2):34-44. <https://doi.org/10.1097/FPC.0000000000000393>
  12. Schartner V., Romero N.B., Donkervoort S. et al. Dihydropyridine receptor (DHPR, CACNA1S) congenital myopathy. *Acta Neuropathologica*. 2017;133:517-533. <https://doi.org/10.1007/s00401-016-1656-8>
  13. Marinella G., Orsini A., Scacciati M. et al. Congenital myopathy as a phenotypic expression of CACNA1S gene mutation: case report and systematic review of the literature. *Genes*. 2023;14(7):1363. <https://doi.org/10.3390/genes14071363>
  14. Kovalyuk N.V., Volchenko A.E., Shiryayeva E.V. et al. Testing and distribution of a new genetic anomaly in Holstein cattle *HMW (OMIA ID002819-9913)*. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2024;(3):8-10. (In Russ.) <http://doi.org/10.33943/MMS.2024.94.40.002>
  15. Inokuma H., Maezawa M., Miyazaki Y. et al. A clinical case of CACNA1S-related muscle weakness in a Holstein calf with congenital astasia diagnosed by a genotyping test of stored blood. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2025;87(1):28-31. <https://doi.org/10.1292/jvms.24-0308>
  16. Kamiński S. Muscle weakness – new genetic defect transmitted to Polish Holstein-Friesian cattle. *Polish Journal Veterinary Sciences*. 2024;27(4):651-653. <https://doi.org/10.24425/pjvs.2024.152956>
  17. Introduction of HMW: The Haplotype Call for Early-Onset Muscle Weakness Syndrome. *Council on Dairy Cattle Breeding*. URL: <https://uscddb.com/introduction-of-hmw-the-haplotype-call-for-early-onset-muscle-weakness-syndrome/> (accessed: March 04, 2026).
  18. Kovalyuk N.V., Satsuk V.F., Yakusheva L.I. Method for determining rs3423414874 polymorphism

- в гене CACNA1S, ассоциированного с синдромом мышечной слабости крупного рогатого скота. *Патент на изобретение RU2840505 C1*. Россия: Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное объединение «Юг-Плем», 2024.
19. Genetic defects in dairy cattle. *Farm and Dairy*. URL: <https://www.farmanddairy.com/columns/genetic-defects-in-dairy-cattle/871102.html> (accessed: February 15, 2026).
20. Gozdek M., Mucha S., Prostek A., Sadkowski T. Selected monogenic genetic diseases in Holstein cattle—a review. *Genes*. 2024;15(8):1052. <https://doi.org/10.3390/genes15081052>
21. Early-onset muscle weakness in Holsteins. *DataGene*. URL: <https://www.datagene.com.au/wp-content/uploads/2024/10/fact-sheet-39-early-onset-muscle-weakness-2.pdf> (accessed: February 15, 2026).
22. The Facts about Early-Onset Muscle Weakness Syndrome (MW). *ABS Global*. URL: <https://www.absglobal.com/articles/abs-calf-recumbency/> (accessed: February 15, 2026).
23. Kostyunina O., Yaryshkin A., Bykova O. et al. Identification of lethal recessive genetic variants in Holstein cattle. *BIO Web of Conferences IDSISA 2024*. 2024;108:01002. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410801002>
24. Gebreyesus G., Sahana G., Christian Sørensen A. et al. Novel approach to incorporate information about recessive lethal genes increases the accuracy of genomic prediction for mortality traits. *Heredity*. 2020;125:155-166. <https://doi.org/10.1038/s41437-020-0329-5>
- in CACNA1S gene associated with bovine muscle weakness syndrome. *Patent RU2840505 C1*. Russia: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu nauchno-proizvodstvennoe ob"edinenie "Yug-Plem", 2024.
19. Genetic defects in dairy cattle. *Farm and Dairy*. URL: <https://www.farmanddairy.com/columns/genetic-defects-in-dairy-cattle/871102.html> (accessed: February 15, 2026).
20. Gozdek M., Mucha S., Prostek A., Sadkowski T. Selected monogenic genetic diseases in Holstein cattle – a review. *Genes*. 2024;15(8):1052. <https://doi.org/10.3390/genes15081052>
21. Early-onset muscle weakness in Holsteins. *DataGene*. URL: <https://www.datagene.com.au/wp-content/uploads/2024/10/fact-sheet-39-early-onset-muscle-weakness-2.pdf> (accessed: February 15, 2026).
22. The Facts about Early-Onset Muscle Weakness Syndrome (MW). *ABS Global*. URL: <https://www.absglobal.com/articles/abs-calf-recumbency/> (accessed: February 15, 2026).
23. Kostyunina O., Yaryshkin A., Bykova O. et al. Identification of lethal recessive genetic variants in Holstein cattle. *BIO Web of Conferences IDSISA 2024*. 2024;108:01002. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410801002>
24. Gebreyesus G., Sahana G., Christian Sørensen A. et al. Novel approach to incorporate information about recessive lethal genes increases the accuracy of genomic prediction for mortality traits. *Heredity*. 2020;125:155-166. <https://doi.org/10.1038/s41437-020-0329-5>

## Сведения об авторах

**Наталья Сергеевна Алтухова**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры разведения, генетики и биотехнологии животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; [n.altukhova@rgau-msha.ru](mailto:n.altukhova@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6169-3953>

**Дарья Сергеевна Подвальнова**, обучающийся кафедры разведения, генетики и биотехнологии животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; [d.podvalnova@oaohcr.ru](mailto:d.podvalnova@oaohcr.ru)

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 04.03.2026  
Одобрена после рецензирования 30.03.2026  
Принята к публикации 30.03.2026

## Information about the authors

**Natalia S. Altukhova**, CSc (Ag), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; [n.altukhova@rgau-msha.ru](mailto:n.altukhova@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-6169-3953>

**Daria S. Podvalnova**, student of the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; [d.podvalnova@oaohcr.ru](mailto:d.podvalnova@oaohcr.ru)

## Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office March 04, 2026  
Approved after reviewing March 30, 2026  
Accepted for publication March 30, 2026

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ

Научная статья

УДК 636.082.3: 636.32

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-3-02>



**Маркерная оценка внутрискладного родства  
и сигналов недавнего демографического сужения  
у овец андийской породы по данным 12-локусной STR-панели**

**Алимсолтан Ахмедович Оздемиров**

Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Алимсолтан Ахмедович Оздемиров,  
[alim72@mail.ru](mailto:alim72@mail.ru)

**Аннотация**

В статье представлены маркерная оценка внутрискладного родства и диагностика признаков недавнего демографического сужения у овец андийской породы по данным 12-локусной STR-панели. Материалом исследования служили 40 овцематок андийской породы, генотипированных по 12 аутосомным STR-локусам. Средний FIS по панели составил 0.026. Для 780 уникальных попарных сравнений среднее значение  $r$  составило 0.305, медиана – 0.292, доля пар с  $r \geq 0.25$  достигала 78.8%, а 58 пар находились в интервале 0.45-0.55. Агрегированное распределение частот аллелей имело L-образный профиль без смещения моды, средний M-ratio составил 0.730, медиана – 0.733, что не поддерживает гипотезу о недавнем сильном демографическом сужении. Полученные результаты указывают на заметную внутрискладную родственную связанность при отсутствии признаков недавнего резкого демографического сужения. Основные генетические риски для исследуемого стада, вероятно, связаны не с недавней демографической катастрофой, а с семейственной структурой и ограниченным использованием производителей. Практическая значимость работы заключается в обосновании необходимости регулярного маркерного мониторинга родственных связей при сохранении и племенном использовании овец андийской породы.

**Ключевые слова**

Андийская порода овец, STR-маркеры, внутрискладное родство, коэффициент родства  $r$ , FIS, демографическое сужение, индекс Гарзы-Уильямсона, смещение моды, генетические ресурсы животных

**Для цитирования**

Оздемиров А.А. Маркерная оценка внутрискладного родства и сигналов недавнего демографического сужения у овец андийской породы по данным 12-локусной STR-панели. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):302. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-3-02>

GENETICS, BIOTECHNOLOGY, BIOCHEMISTRY

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-3-02>



**Marker-based assessment of intra-flock relatedness and signals  
of recent demographic bottleneck in Andi sheep using a 12-Locus STR panel**

**Alimsoltan A. Ozdemirov**

Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Russia

**Corresponding author:** Alimsoltan A. Ozdemirov, [alim72@mail.ru](mailto:alim72@mail.ru)

**Abstract**

The study presents a marker-based assessment of intra-flock relatedness and diagnostics of recent demographic bottleneck signs in Andi sheep using data from a 12-locus STR panel. The research material consisted of 40 Andi ewes genotyped across 12 autosomal STR loci. The mean panel-wide FIS was 0.026. For 780 unique pairwise comparisons the mean  $r$  value was 0.305, the median value was 0.292, the proportion of pairs with  $r \geq 0.25$  reached 78.8%, and 58 pairs fell within the range

of 0.45-0.55. The aggregated allele-frequency distribution showed an L-shaped profile without mode shift. The mean M-ratio was 0.730, with a median of 0.733, which does not support the hypothesis of a recent severe demographic bottleneck. The results indicate significant intra-flock relatedness in the absence of recent sharp demographic bottleneck signs. The main genetic risks for the studied flock are likely associated not with recent demographic collapse but with family structure and limited use of breeding rams. The practical significance of the study lies in substantiating the need for regular marker-based monitoring of relatedness when preserving and breeding Andi sheep.

### Keywords

Andi sheep; STR markers; intra-flock relatedness; relatedness coefficient  $r$ ; FIS; demographic bottleneck; M-ratio; mode shift; animal genetic resources

### For citation

Ozdemirov A.A. Marker-based assessment of intra-flock relatedness and signals of recent demographic bottleneck in Andi sheep using a 12-Locus STR panel. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):302. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-3-02>

## Введение

### Introduction

Сохранение локальных пород сельскохозяйственных животных относится к числу приоритетных задач современного управления генетическими ресурсами. Локальные популяции поддерживают адаптацию к специфическим природно-климатическим условиям, повышают устойчивость производственных систем и сохраняют вариабельность, необходимую для долгосрочного развития животноводства [1, 2]. В этой связи оценка генетического состояния малочисленных стад рассматривается не только как академическая задача, но и как практический инструмент сохранения породы.

Для территориально ограниченных и небольших по численности популяций формальный племенной учет и фенотипическая характеристика часто оказываются недостаточными. Накопление родственных связей, скрытый инбридинг и сужение аллельного спектра могут развиваться постепенно и в течение длительного времени не проявляться на уровне внешних признаков. Именно поэтому молекулярно-генетические методы остаются важным компонентом мониторинга локальных пород и позволяют количественно описывать как генетическое разнообразие, так и внутривидовую связанность [1-3]. Микросателлитные маркеры (STR) сохраняют практическую ценность для популяционно-генетических исследований малых стад благодаря кодоминантному наследованию, высокой полиморфности и сравнительно умеренным требованиям к инфраструктуре генотипирования. Ранние работы показали высокий потенциал микросателлитов для сравнения популяций сельскохозяйственных животных и для классификации особей по степени родства [3-5]. В дальнейшем было показано, что корректность таких оценок существенно зависит от контроля нулевых аллелей, возможных генотипических артефактов и используемых аналитических процедур [6-8].

Не менее важным направлением применения STR-панелей является диагностика недавнего

демографического сужения. Для этой цели широко используются подходы, основанные на анализе гетерозиготного избытка, спектра частот аллелей и индекса Гарзы-Уильямсона, позволяющие выявлять сигналы демографического сужения (bottleneck) даже в относительно небольших выборках [9-11]. Совместная интерпретация показателей родства и результатов диагностики демографического сужения особенно важна для локальных стад, где повышенная внутривидовая связанность не всегда означает недавний демографический коллапс.

Практическая пригодность STR-маркеров для молекулярной характеристики локальных пород подтверждена в региональных исследованиях последних лет. Такие панели успешно использовались для оценки генетического разнообразия и структуры локальных пород КРС и овец включая дагестанский горный скот, местные овечьи популяции Черногогория, Болгарии и Карпатского региона, а также ряд аборигенных популяций других стран [12-16]. На этом фоне андийская порода овец представляет интерес как локальный генетический ресурс, для которого особенно актуальна оценка внутривидового родства и признаков недавнего демографического сужения.

**Цель исследований:** маркерная оценка внутривидовой родственной структуры и признаков недавнего демографического «узкого места» у овец андийской породы по данным 12-локусной STR-панели.

Особое внимание было уделено совместной интерпретации показателей родства и результатов диагностики демографического сужения как основе для последующих выводов о генетическом состоянии стада и его сохранении.

### Методика исследований

### Research methods

Исследования выполнены на овцах андийской породы, содержащихся в племенном КФХ «Ухо», Гумбетовский район, Республика

Дагестан, Россия. В анализ включили 40 овцематок, для которых были получены индивидуальные STR-профили. Генотипирование проводили по 12 аутосомным локусам: CSRD247, ETH152, INRA005, INRA006, INRA023, INRA063, INRA172, MAF065, MAF214, McM042, McM527 и OarFCB20. Для генотипирования использовали коммерческий набор Gene Profile Sheep (ООО «Синтол», Россия), включающий в себя 12 аутосомных STR-локусов и локус амелогенина. В настоящей работе аутосомные локусы использовали для популяционно-генетического анализа, тогда как локус амелогенина применяли только для контроля соответствия генетического и документированного пола и в последующие расчеты не включали. Амплификацию выполняли методом мультиплексной ПЦР в термоциклере C1000 Touch (Bio-Rad, США) по протоколу производителя. Размеры амплифицированных фрагментов определяли методом капиллярного электрофореза на генетическом анализаторе НАНОФОР-05 (ООО «Синтол», Россия) с использованием внутреннего стандарта длины. Первичную обработку электрофореграмм, идентификацию пиков и определение размеров аллелей проводили в программе GeneMarker (SoftGenetics, США). Результаты автоматического аллельного вызова дополнительно проверяли визуально и при необходимости корректировали с учетом качества сигнала и формы пиков. Итоговые генотипы экспортировали в табличный формат, в котором каждой особи соответствовала одна строка, а каждому локусу – два аллельных столбца.

Подготовка данных включала в себя унификацию структуры генотипов и контроль пропусков. Пустые ячейки, технические обозначения пропусков и некорректные сигналы трактовали как отсутствующие значения (NA). Для каждого локуса и каждой особи оценивали долю пропусков; локусы с неприемлемой missingness или выраженными признаками артефактов типирования подлежали бы исключению. В фактическом рабочем наборе все 12 аутосомных STR-локусов обеспечили приемлемое качество типирования и были сохранены в анализе.

Для проверки возможных ошибок генотипирования использовали программу Micro-Checker. Дополнительно учитывали характер электрофоретических профилей, что позволяло контролировать возможное влияние артефактов стуттера (stutter-артефактов), нулевых аллелей и выпадения крупных аллелей. Таким образом, контроль качества включал в себя как формальные программные процедуры, так и экспертную проверку интерпретации аллельных сигналов.

Для характеристики маркерного инбридинга рассчитывали локусные значения FIS с последующим усреднением по панели. Этот показатель

использовали как интегральную оценку дефицита или избытка гетерозигот в исследуемой выборке. Межиндивидуальное генетическое родство оценивали с использованием подхода, основанного на доле общих аллелей (allele-sharing). Для каждой пары животных и каждого локуса сравнивали состав аллелей: вклад принимал значение 0 при полном совпадении генотипов, 0.5 – при совпадении одного аллеля, 1 – при отсутствии общих аллелей. Полученные локусные расстояния усредняли по всем локусам, валидно типированным у обеих особей, после чего рассчитывали операциональный коэффициент родства как  $r = 1 - D$ , где  $D$  – среднее allele-sharing-расстояние. Итоговые значения  $r$  сводили в полную матрицу  $40 \times 40$ . Для описания распределения использовали среднее, медиану, минимум, максимум, долю пар с  $r \geq 0.25$ , а также число пар в интервале 0.45-0.55. Коэффициент FIS использовали для интегральной характеристики дефицита или избытка гетерозигот в выборке в целом, тогда как коэффициент  $r$  применяли для оценки попарной генетической связанности между конкретными животными. Признаки недавнего демографического сужения оценивали двумя взаимодополняющими подходами.

Первый подход основывался на анализе смещения моды распределения частот аллелей (mode-shift): частоты всех наблюдаемых аллелей агрегировали по локусам и распределяли по классам шириной 0.1 (0-0.1, 0.1-0.2 и т.д.). L-образная форма распределения с максимумом в первом частотном классе трактовалась как отсутствие признаков недавнего демографического сужения, тогда как смещение моды к промежуточным частотам рассматривали как возможный демографический сигнал.

Второй подход включал в себя расчет индекса Гарзы-Уильямсона (M-ratio) для каждого локуса по формуле  $M = Na/(R + 1)$ , где  $Na$  – число различных аллелей, а  $R$  – диапазон аллельных размеров в шагах повтора. Длину мотива определяли как наибольший общий делитель попарных различий размеров аллелей. В качестве интегральных характеристик панели использовали среднее и медиану M-ratio. Для повышения корректности интерпретации результатов диагностики недавнего демографического сужения параметры двухфазной мутационной модели (TPM, two-phase mutation model) калибровали эмпирически по наблюдаемым различиям размеров аллелей у гетерозигот. Для каждого локуса оценивали распределение межаллельных шагов, после чего определяли долю одношаговых различий ( $p_s$ ) и дисперсию шага ( $\sigma^2$ ) в единицах мотива. Такой подход позволял интерпретировать результаты анализа смещения моды и M-ratio с учетом фактического мутационного режима использованной STR-панели. Визуализацию

распределения попарных значений  $g$  и спектра смещения моды выполняли в среде Python. Итоговые таблицы и рисунки формировали на основе рабочего набора, включавшего в себя 40 животных и 12 аутосомных STR-локусов, прошедших контроль качества.

## Результаты и их обсуждение Results and discussion

*Контроль качества генотипирования и аналитическая надежность.* Перед интерпретацией маркерного родства и показателей, используемых для диагностики недавнего демографического

сужения, была оценена техническая надежность массива STR-генотипов. В итоговый рабочий набор вошли 40 овцематок андийской породы, типированных по 12 аутосомным STR-локусам. По всем локусам число валидных генотипов оставалось высоким и варьировало в пределах 39-40, тогда как доля пропусков была низкой: от 0.0 до 2.5% при среднем значении 0.2%. Животных с выражено повышенной долей пропусков не выявлено, поэтому все 40 образцов были сохранены в дальнейшем анализе.

Сводные показатели полноты STR-типирования и результатов первичного контроля качества представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Сводные показатели качества STR-генотипирования и аналитической надежности панели у овец андийской породы.

**Table 1.** Summary of STR genotyping quality and analytical reliability indicators for the Andi sheep panel.

Показатель <i>Indicator</i>	Значение <i>Value</i>
Число животных в рабочем наборе <i>Number of animals in the working set</i>	40
Число STR-локусов <i>Number of STR loci</i>	12
Диапазон валидных генотипов по локусам (N) <i>Range of valid genotypes per locus (N)</i>	39-40
Минимальная доля пропусков по локусу, % <i>Minimum missing rate per locus, %</i>	0.0
Максимальная доля пропусков по локусу, % <i>Maximum missing rate per locus, %</i>	2.5
Средняя доля пропусков по локусам, % <i>Average missing rate per locus, %</i>	0.2
Образцы с выражено повышенной долей пропусков <i>Samples with a significantly elevated missing rate</i>	Не выявлены <i>Not detected</i>
Критичные сигналы нулевых аллелей (Micro-Checker) <i>Critical signals of null alleles (Micro-Checker)</i>	Не выявлены <i>Not detected</i>
Выраженные артефакты стуттера <i>Pronounced stutter artifacts</i>	Не выявлены <i>Not detected</i>
Признаки выпадения крупных аллелей <i>Signs of large allele dropout</i>	Не выявлены <i>Not detected</i>
Число локусов, исключенных после QC <i>Number of loci excluded after QC</i>	0
Локусы, сохраненные в финальном анализе <i>Loci retained in the final analysis</i>	12

Таким образом, рабочий набор STR-генотипов характеризовался высокой полнотой типирования и удовлетворительной аналитической согласованностью: критических сигналов нулевых аллелей, выраженных артефактов стуттера и выпадения крупных аллелей не обнаружено, а все 12 локусов были сохранены в анализе. Это позволяет рассматривать последующие оценки маркерного родства и показатели, примененные для диагностики недавнего демографического сужения, как основанные на технически пригодном массиве данных.

**Маркерная оценка родственной структуры стада.** Для количественной характеристики внутростадной родственной структуры, помимо локусных коэффициентов инбридинга FIS, были рассчитаны попарные коэффициенты генетического родства  $r$  между всеми животными выборки. Оценка выполнялась на основе подхода, основанного на доле общих аллелей (allele sharing), по 12 STR-локусам, что позволило одновременно охарактеризовать интегральный уровень маркерного инбридинга в стаде и степень генетической связанности между отдельными особями. В агрегированном виде панель имела низкий средний уровень инбридинга (FIS = 0.026), тогда как распределение  $r$  указывало на умеренно

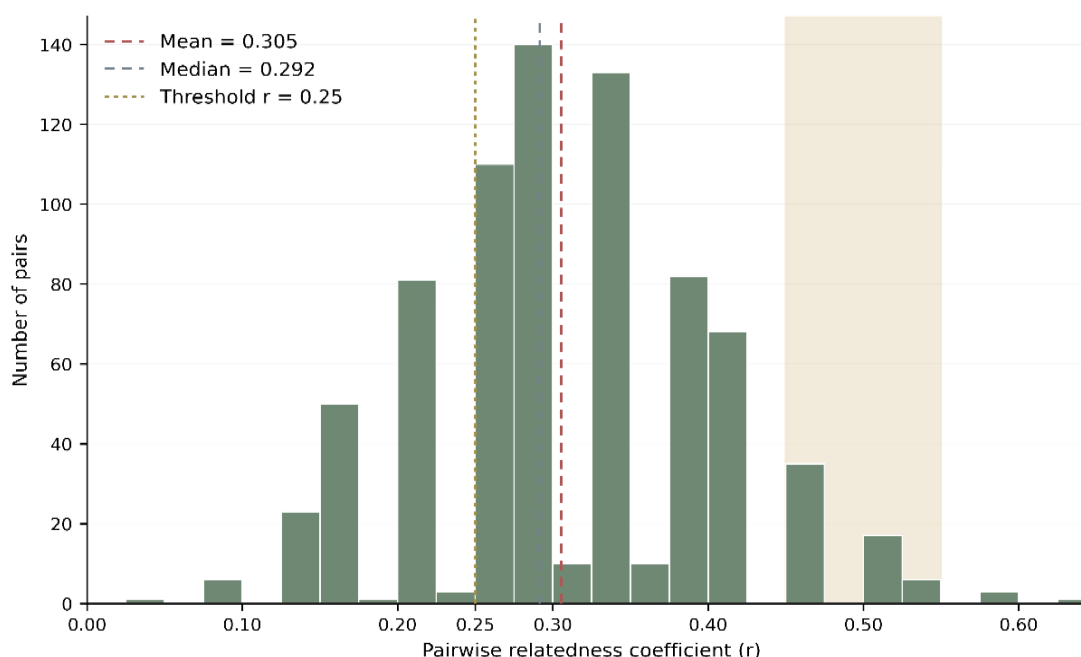
повышенную внутростадную родственную связанность.

Сводные показатели маркерного инбридинга и межиндивидуального родства в исследуемой выборке представлены в таблице 2.

В агрегированном виде STR-панель указывает на сочетание низкого среднего маркерного инбридинга и заметной внутростадной родственной связанности. При среднем  $r = 0.305$  и доле пар с  $r \geq 0.25$ , равной 78.8%, стадо можно охарактеризовать как генетически связанное, но без признаков резко выраженного панельного инбридинга. Таким образом, FIS характеризовал общий уровень панельного инбридинга в исследуемой выборке, тогда как распределение  $r$  отражало структуру межиндивидуального родства внутри стада.

Распределение попарных коэффициентов генетического родства в исследуемой выборке представлено на рисунке 1.

Распределение  $r$  было смещено в область умеренно повышенных значений: среднее составило 0.305, медиана – 0.292, а 78.8% всех пар имели  $r \geq 0.25$ . При этом 58 пар находились в интервале 0.45-0.55, что указывает на наличие в стаде заметной доли тесно связанных животных, но без преобладания экстремально высоких значений родства.



**Рисунок 1.** Распределение попарных коэффициентов генетического родства ( $r$ ) у овец андийской породы по данным 12-локусной STR-панели. Вертикальные пунктирные линии соответствуют среднему и медианному значениям  $r$ ;  $r$  – попарный коэффициент генетического родства; линия при  $r = 0.25$  показывает порог умеренно повышенного родства. Заштрихованная область 0.45-0.55 соответствует интервалу повышенного родства.

**Figure 1.** Distribution of pairwise genetic relatedness coefficients ( $r$ ) in Andi sheep based on a 12-locus STR panel. The vertical dashed lines indicate the mean and median  $r$  values;  $r$  is the pairwise genetic relatedness coefficient; the line at  $r = 0.25$  indicates the threshold for moderately elevated relatedness. The shaded region from 0.45 to 0.55 corresponds to the interval of elevated relatedness.

**Таблица 2.** Сводные показатели маркерного инбридинга и межиндивидуального родства у овец андийской породы по 12-локусной STR-панели.

**Table 2.** Summary of marker inbreeding and interindividual relatedness indicators in Andi sheep based on the 12-locus STR panel.

Показатель <i>Indicator</i>	Значение <i>Value</i>
Число животных (n) <i>Number of animals (n)</i>	40
Число STR-локусов <i>Number of STR loci</i>	12
Число попарных сравнений (i<j) <i>Number of pairwise comparisons (i&lt;j)</i>	780
Средний FIS по панели <i>Average FIS across the panel</i>	0.026
Диапазон локусных значений FIS <i>Range of locus-specific FIS values</i>	–0.200 до 0.224
Средний коэффициент родства r <i>Average relatedness coefficient r</i>	0.305
Медиана коэффициента родства r <i>Median relatedness coefficient r</i>	0.292
Минимальное значение r <i>Minimum r value</i>	0.042
Максимальное значение r <i>Maximum r value</i>	0.625
Доля пар с $r \geq 0,25$ , % <i>Proportion of pairs with <math>r \geq 0.25</math>, %</i>	78.8
Число пар с r в интервале 0.45-0.55 <i>Number of pairs with r in the range 0.45-0.55</i>	58
Доля пар с r в интервале 0.45-0.55, % <i>Proportion of pairs with r in the range 0.45-0.55, %</i>	7.4
Совпадающие многолокусные STR-профили <i>Identical multi-locus STR profiles</i>	Не выявлены <i>Not detected</i>

**Примечание.** FIS – коэффициент внутривидового инбридинга, r – попарный коэффициент генетического родства, i < j – число уникальных попарных сравнений.

**Note:** FIS is the intrapopulation inbreeding coefficient, r is the pairwise genetic relatedness coefficient, and i < j is the number of unique pairwise comparisons.

*Диагностика недавнего демографического «узкого места» по STR-панели.* Для оценки наличия или отсутствия признаков недавнего демографического сужения в исследуемой выборке были использованы 2 взаимодополняющих подхода: анализ формы суммарного распределения частот аллелей (mode-shift) и индекс Гарзы-Уильямсона M-ratio. Дополнительно параметры двухфазной мутационной модели ( $p_s$ ,  $\sigma^2$ ) были калиброваны эмпирически по межаллельным различиям у гетерозигот, что позволило интерпретировать результаты диагностики демографического сужения с учетом фактического мутационного режима использованной 12-локусной STR-панели.

Сводные индикаторы недавнего демографического сужения и параметры эмпирически калиброванной двухфазной мутационной модели (TPM) представлены в таблице 3.

Совокупность полученных показателей не поддерживает гипотезу о недавнем выраженном демографическом сужении в исследуемом стаде. L-образная форма распределения без смещения моды и интегральные значения M-ratio на уровне около 0.73 соответствуют сценарию без резкого недавнего обеднения аллельного спектра.

Форма агрегированного распределения частот аллелей, использованная для визуальной оценки смещения моды (mode-shift), представлена на рисунке 2.

Распределение имело L-образный профиль с преобладанием аллелей низкой частоты и без смещения моды в область промежуточных частот. Такой характер распределения не указывает на недавнее сильное обеднение аллельного спектра в исследуемом стаде.

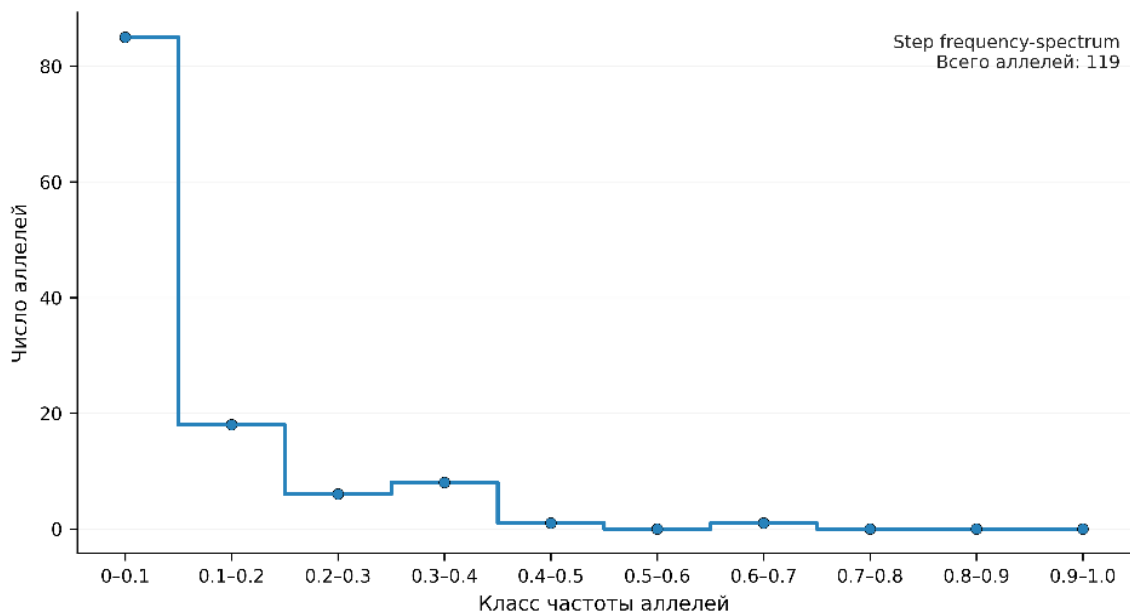
**Таблица 3.** Сводные индикаторы недавнего демографического сужения по STR-панели у овец андийской породы.

**Table 3.** Summary indicators of recent demographic bottleneck in the STR panel in Andi sheep.

Показатель <i>Indicator</i>	Значение <i>Value</i>
Число животных (n) <i>Number of animals (n)</i>	40
Число STR-локусов <i>Number of STR loci</i>	12
Смещение моды (пул частот аллелей) <i>Mode shift (pool of allele frequencies)</i>	<i>L-образная форма (смещения моды не выявлено)</i> <i>L-shaped (no mode shift detected)</i>
$p_s$ (доля одношаговых различий) $p_s$ ( <i>proportion of single-step differences</i> )	0.213
$\sigma^2$ (дисперсия шагов, все гетерозиготы) $\sigma^2$ ( <i>step variance, all heterozygotes</i> )	14.09
$\sigma^2$ (только многократные шаги $\geq 2$ ) $\sigma^2$ ( <i>only multiple steps <math>\geq 2</math></i> )	24.66
Среднее M-ratio по панели <i>Mean M-ratio across the panel</i>	0.730
Медиана M-ratio <i>Median M-ratio</i>	0.733

**Примечание.**  $p_s$  – доля одношаговых различий,  $\sigma^2$  – дисперсия межаллельных шагов, M-ratio – индекс Гарзы-Уильямсона. Анализ смещения моды (mode shift) оценивали по агрегированному распределению частот аллелей с шириной класса 0.1.

**Note:**  $p_s$  is the proportion of single-step differences,  $\sigma^2$  is the inter-allelic step variance, and M-ratio is the Garza-Williamson index. Mode shift analysis was estimated using the aggregated allele frequency distribution with a class width of 0.1.



**Рисунок 2.** Распределение наблюдаемых аллелей по классам частоты для оценки смещения моды (mode shift) у овец андийской породы по данным 12-локусной STR-панели. Ступенчатая диаграмма отражает агрегированное распределение частот по всем 12 STR-локусам. Первый частотный класс соответствует редким аллелям.

**Figure 2.** Distribution of observed alleles by frequency classes for mode-shift assessment in Andi sheep based on a 12-locus STR panel. The step chart shows the aggregated allele frequency distribution across all 12 STR loci. The first frequency class corresponds to rare alleles.

*Обсуждение.* Полученные результаты показывают, что использованная 12-локусная STR-панель обеспечивает технически пригодную основу для интерпретации генетического состояния исследуемого стада овец андийской породы. Низкая доля пропусков, отсутствие критичных сигналов нулевых аллелей, выраженных stutter-артефактов и выпадения крупных аллелей, а также сохранение всех 12 локусов в итоговом анализе указывают на удовлетворительную аналитическую согласованность массива. Это особенно важно в контексте задач настоящей работы, поскольку оценки родства и показатели, применяемые для диагностики недавнего bottleneck, чувствительны к качеству исходного генотипирования и при выраженных технических искажениях могли бы смещаться в сторону ложной интерпретации. При этом сами результаты по внутростадной структуре заслуживают отдельного внимания.

Несмотря на низкий средний панельный уровень маркерного инбридинга ( $FIS = 0.026$ ), распределение попарных коэффициентов родства свидетельствует о заметной генетической связанности животных внутри стада. Среднее значение  $r = 0.305$ , медиана 0.292, высокая доля пар с  $r \geq 0.25$ , а также наличие группы сравнений в интервале 0.45-0.55 указывают на то, что исследуемая выборка не является генетически разреженной. Иными словами, в стаде присутствует

выраженная семейственная компонента, однако она не сопровождается резким ростом интегрального панельного инбридинга. Такое сочетание представляется биологически правдоподобным для локальной популяции, поддерживаемой в условиях ограниченной племенной базы и повторного использования относительно узкого круга производителей. В подобных системах родственные связи между животными могут накапливаться постепенно и формировать заметную связанность внутри стада даже без явного перехода к состоянию резко выраженного системного инбридинга.

Диагностика недавнего демографического сужения дополняет эту картину и в известной степени уточняет ее. L-образный характер агрегированного распределения без смещения моды в область промежуточных частот, а также интегральные значения M-ratio на уровне около 0.73 не поддерживают гипотезу о недавнем выраженном демографическом сужении. Это не означает, что популяция никогда не испытывала демографических ограничений или что она полностью защищена от дальнейшего сокращения генетического разнообразия; однако имеющийся STR-профиль не имеет признаков недавнего резкого обеднения аллельного спектра. В сочетании с эмпирически калиброванными параметрами двухфазной мутационной модели такой результат выглядит внутренне

согласованным и указывает скорее на отсутствие недавнего катастрофического сценария, чем на его подтверждение.

Наиболее содержательный вывод возникает именно при совместной интерпретации показателей внутристадного родства и признаков недавнего демографического сужения. Если бы повышенная внутристадная связанность была следствием недавнего резкого демографического обвала, можно было бы ожидать более выраженного сигнала в анализах, основанных на спектре частот аллелей и M-ratio. Однако такого сигнала не обнаружено. Следовательно, более вероятным объяснением является не недавняя демографическая катастрофа, а структурная особенность самого стада: ограниченное число репродуктивно активных линий, семейственная организация выборки и постепенное накопление родственных связей в пределах локальной популяции. В этом смысле выявленное генетическое состояние можно охарактеризовать как сочетание умеренно повышенного внутристадного родства с отсутствием признаков недавнего выраженного демографического сужения.

С практической точки зрения это различие является принципиальным. Если основной риск для популяции связан не с острым недавним сужением, а с накоплением родства в условиях ограниченного воспроизводственного контура, то и меры управления должны быть направлены прежде всего на контроль структуры спариваний, расширение круга используемых производителей и регулярный мониторинг родственных связей. Для локальных пород, сохраняемых в ограниченных стадах, такие меры часто оказываются более эффективными, чем попытка интерпретировать текущее состояние исключительно через призму единичного bottleneck-события.

Вместе с тем полученные результаты следует рассматривать с учетом масштаба и природы использованной маркерной системы. STR-панель из 12 локусов остается полезным и практичным инструментом для оценки внутристадной структуры, идентификации тесного родства и первичной диагностики демографических сигналов, однако ее разрешающая способность ниже, чем у плотных SNP-наборов. Поэтому выводы настоящих исследований более корректно трактовать как устойчивую маркерную характеристику исследуемого стада, а не как исчерпывающее описание всей геномной архитектуры популяции. Тем не менее даже в этих рамках результаты выглядят достаточно согласованными: они не указывают на недавнее сильное демографическое сужение, но фиксируют заметную внутристадную родственную связанность, имеющую прямое значение для сохранения

андийской породы и организации дальнейшей племенной работы. В дальнейшем представляется целесообразным сопоставить полученные маркерные оценки родства с данными происхождения животных и фактической структурой использования производителей в стаде, что позволит точнее интерпретировать выявленную внутристадную связанность.

## Выводы

## Conclusion

Проведенный анализ 12-локусной STR-панели показал, что исследуемое стадо овец андийской породы характеризуется высокой полнотой генотипирования и удовлетворительной аналитической надежностью, что позволяет использовать полученный массив данных для интерпретации внутристадной генетической структуры. Технические показатели качества не выявили критических артефактов, способных существенно исказить оценки родства и показатели, примененные для диагностики недавнего демографического сужения.

Маркерный анализ показал сочетание низкого среднего панельного инбридинга с заметной внутристадной родственной связанностью. При невысоком среднем значении FIS распределение попарных коэффициентов родства  $r$  указывало на присутствие в стаде значительной доли генетически близких животных, что согласуется с существованием выраженной семейственной структуры и ограниченной племенной базы. В то же время совокупность критериев, использованных для диагностики демографического сужения, не поддержала гипотезу о недавнем сильном демографическом сужении. L-образный профиль распределения частот аллелей и интегральные значения M-ratio соответствовали сценарию без резкого недавнего обеднения аллельного спектра. Это позволяет предположить, что выявленная родственная связанность обусловлена преимущественно не недавней демографической катастрофой, а особенностями воспроизводственной структуры стада и постепенным накоплением родственных связей.

Таким образом, генетическое состояние исследуемой выборки андийской породы может быть охарактеризовано как относительно стабильное по признакам недавней демографической динамики, но требующее внимания с точки зрения контроля внутристадного родства. Полученные результаты подтверждают целесообразность регулярного маркерного мониторинга, направленного на ограничение дальнейшего накопления родственных связей и сохранение генетической устойчивости локальной породы.

## Список литературы

1. FAO. *The second report on the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture*. Rome: FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments, 2015:562.
2. Groeneveld L.F., Lenstra J.A., Eding H. et al. Genetic diversity in farm animals – a review. *Animal Genetics*. 2010;41(s1):6-31. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02038.x>
3. MacHugh D.E., Loftus R.T., Bradley D.G. et al. Microsatellite DNA variation within and among European cattle breeds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 1994;256(1345):25-31. <https://doi.org/10.1098/rspb.1994.0044>
4. Blouin M.S., Parsons M., Lacaille V., Lotz S. Use of microsatellite loci to classify individuals by relatedness. *Molecular Ecology*. 1996;5(3):393-401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1996.tb00329.x>
5. Blouin M.S. DNA-based methods for pedigree reconstruction and kinship analysis in natural populations. *Trends in Ecology & Evolution*. 2003;18(10):503-511. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00225-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00225-8)
6. Van Oosterhout C., Hutchinson W.F., Wills D.P.M., Shipley P. MICRO-CHECKER: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Molecular Ecology Notes*. 2004;4(3):535-538. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00684.x>
7. Wagner A.P., Creel S., Kalinowski S.T. Estimating relatedness and relationships using microsatellite loci with null alleles. *Heredity*. 2006;97:336-345. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800865>
8. Peakall R., Smouse P.E. GenAEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. *Bioinformatics*. 2012;28(19):2537-2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
9. Cornuet J.-M., Luikart G. Description and power analysis of two tests for detecting recent population bottlenecks from allele frequency data. *Genetics*. 1996;144(4):2001-2014. <https://doi.org/10.1093/genetics/144.4.2001>
10. Luikart G., Allendorf F.W., Cornuet J.-M., Sherwin W.B. Distortion of allele frequency distributions provides a test for recent population bottlenecks. *Journal of Heredity*. 1998;89(3):238-247. <https://doi.org/10.1093/jhered/89.3.238>
11. Garza J.C., Williamson E.G. Detection of reduction in population size using data from microsatellite loci. *Molecular Ecology*. 2001;10(2):305-318. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2001.01190.x>
12. Volkova V.V., Abdelmanova A.S., Deniskova T.E. et al. Investigation of the genetic diversity of Dagestan Mountain cattle using STR-Markers. *Diversity*. 2022;14(7):569. <https://doi.org/10.3390/d14070569>
13. Marković M., Radonjić D., Zorc M. et al. Genetic diversity of Montenegrin local sheep breeds based on microsatellite

## References

1. FAO. *The second report on the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture*. Rome: FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments, 2015:562.
2. Groeneveld L.F., Lenstra J.A., Eding H. et al. Genetic diversity in farm animals – a review. *Animal Genetics*. 2010;41(s1):6-31. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02038.x>
3. MacHugh D.E., Loftus R.T., Bradley D.G. et al. Microsatellite DNA variation within and among European cattle breeds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 1994;256(1345):25-31. <https://doi.org/10.1098/rspb.1994.0044>
4. Blouin M.S., Parsons M., Lacaille V., Lotz S. Use of microsatellite loci to classify individuals by relatedness. *Molecular Ecology*. 1996;5(3):393-401. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1996.tb00329.x>
5. Blouin M.S. DNA-based methods for pedigree reconstruction and kinship analysis in natural populations. *Trends in Ecology & Evolution*. 2003;18(10):503-511. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00225-8](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00225-8)
6. Van Oosterhout C., Hutchinson W.F., Wills D.P.M., Shipley P. MICRO-CHECKER: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Molecular Ecology Notes*. 2004;4(3):535-538. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2004.00684.x>
7. Wagner A.P., Creel S., Kalinowski S.T. Estimating relatedness and relationships using microsatellite loci with null alleles. *Heredity*. 2006;97:336-345. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6800865>
8. Peakall R., Smouse P.E. GenAEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. *Bioinformatics*. 2012;28(19):2537-2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
9. Cornuet J.-M., Luikart G. Description and power analysis of two tests for detecting recent population bottlenecks from allele frequency data. *Genetics*. 1996;144(4):2001-2014. <https://doi.org/10.1093/genetics/144.4.2001>
10. Luikart G., Allendorf F.W., Cornuet J.-M., Sherwin W.B. Distortion of allele frequency distributions provides a test for recent population bottlenecks. *Journal of Heredity*. 1998;89(3):238-247. <https://doi.org/10.1093/jhered/89.3.238>
11. Garza J.C., Williamson E.G. Detection of reduction in population size using data from microsatellite loci. *Molecular Ecology*. 2001;10(2):305-318. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2001.01190.x>
12. Volkova V.V., Abdelmanova A.S., Deniskova T.E. et al. Investigation of the genetic diversity of Dagestan Mountain cattle using STR-Markers. *Diversity*. 2022;14(7):569. <https://doi.org/10.3390/d14070569>
13. Marković M., Radonjić D., Zorc M. et al. Genetic diversity of Montenegrin local sheep breeds based on microsatellite

- markers. *Animals*. 2022;12(21):3029.  
<https://doi.org/10.3390/ani12213029>
14. Mihailova Y., Rusanov K., Rusanova M. et al. Genetic diversity and population structure of Bulgarian autochthonous sheep breeds revealed by microsatellite analysis. *Animals*. 2023;13(11):1878.  
<https://doi.org/10.3390/ani13111878>
15. Sztankoová Z., Milerski M., Vostrý L., Rychtářová J. Genetic diversity and population structure of nine local sheep populations bred in the Carpathia area of Central Europe revealed by microsatellite analysis. *Animals*. 2025;15(16):2400.  
<https://doi.org/10.3390/ani15162400>
16. Bora S.K., Tessema T.S., Girmay G. Genetic diversity and population structure of selected Ethiopian indigenous cattle breeds using microsatellite markers. *Genetics Research*. 2023;2023:1106755.  
<https://doi.org/10.1155/2023/1106755>
- markers. *Animals*. 2022;12(21):3029.  
<https://doi.org/10.3390/ani12213029>
14. Mihailova Y., Rusanov K., Rusanova M. et al. Genetic diversity and population structure of Bulgarian autochthonous sheep breeds revealed by microsatellite analysis. *Animals*. 2023;13(11):1878.  
<https://doi.org/10.3390/ani13111878>
15. Sztankoová Z., Milerski M., Vostrý L., Rychtářová J. Genetic diversity and population structure of nine local sheep populations bred in the Carpathia area of Central Europe revealed by microsatellite analysis. *Animals*. 2025;15(16):2400.  
<https://doi.org/10.3390/ani15162400>
16. Bora S.K., Tessema T.S., Girmay G. Genetic diversity and population structure of selected Ethiopian indigenous cattle breeds using microsatellite markers. *Genetics Research*. 2023;2023:1106755.  
<https://doi.org/10.1155/2023/1106755>

### Сведения об авторе

**Алимсолтан Ахмедович Оздемиров**, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией геномных исследований, селекции и племенного дела, Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан; 367014, Россия, г. Махачкала, ул. Шахбанова, 30; [alim72@mail.ru](mailto:alim72@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 07.03.2026  
Одобрена после рецензирования 30.03.2026  
Принята к публикации 30.03.2026

### Information about the author

**Alimsoltan Akhmedovich Ozdemirov**, CSc (Bio), Head of the Laboratory of Genomic Research, Selection and Breeding; Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan; 367014, Russian Federation, Makhachkala, Shahbanova St., 30; [alim72@mail.ru](mailto:alim72@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-2150-2192>

### Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office March 07, 2026  
Approved after reviewing March 30, 2026  
Accepted for publication March 30, 2026

Научная статья  
УДК: 796.015.3:612.7  
<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-4-01>



## Физиологические механизмы адаптации организма студентов к силовым нагрузкам

Сергей Юрьевич Никитченко, Денис Викторович Сорокин,  
Исмаил Саид-Хасанович Мусаев

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

Автор, ответственный за переписку: Сергей Юрьевич Никитченко,  
[sernik@rgau-msha.ru](mailto:sernik@rgau-msha.ru)

### Аннотация

Цель исследований – анализ физиологических механизмов адаптации организма студентов к регулярным силовым нагрузкам на основе оценки показателей сердечно-сосудистой системы, вариабельности сердечного ритма, мышечной силы и субъективной переносимости нагрузок. В исследованиях приняли участие студенты Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева в возрасте 19–25 лет, систематически занимающиеся силовыми видами физической подготовки. Результаты исследований показали, что систематические силовые нагрузки способствуют формированию устойчивых адаптационных изменений, проявляющихся в повышении парасимпатического влияния на сердечный ритм, снижении частоты сердечных сокращений в покое и увеличении функциональных резервов сердечно-сосудистой системы. На уровне опорно-двигательного аппарата отмечалось увеличение мышечной силы и улучшение нейромышечной координации. Установлено, что адекватная периодизация силовых нагрузок и достаточное восстановление являются ключевыми факторами формирования положительных адаптационных реакций. Полученные данные подтверждают, что физиологическая адаптация студентов к силовым нагрузкам носит системный характер и зависит от интенсивности, объема и регулярности тренировочного воздействия. Практическая значимость исследований заключается в возможности использования полученных результатов для оптимизации программ силовой подготовки студентов, профилактики перенапряжения и повышения общей физической работоспособности.

### Ключевые слова

Силовые нагрузки, адаптация, студенты, физиология, мышечная сила

### Для цитирования:

Никитченко С.Ю., Сорокин Д.В., Мусаев И.С.-Х. Физиологические механизмы адаптации организма студентов к силовым нагрузкам. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):401. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-4-01>



## Physiological mechanisms of students' adaptation to strength training

Sergey Yu. Nikitchenko, Denis V. Sorokin, Ismail S.-Kh. Musaev

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

**Corresponding author:** Sergey Yu. Nikitchenko, sernik@rgau-msha.ru

### Abstract

The study aims to analyze the physiological mechanisms of students' adaptation to regular strength training, based on the assessment of cardiovascular system indicators, heart rate variability, muscle strength, and subjective load tolerance. The study involved students aged 19-25 from the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy who regularly engage in strength training. The results showed that systematic strength training promotes stable adaptive changes, manifested as increased parasympathetic influence on heart rate, reduced resting heart rate, and enhanced functional reserves of the cardiovascular system. At the level of the musculoskeletal system, an increase in muscle strength and improved neuromuscular coordination were observed. It was established that adequate periodization of strength training and sufficient recovery are key factors in forming positive adaptive responses. The findings confirm that students' physiological adaptation to strength training is systemic and depends on the training intensity, volume, and regularity. The practical significance of the study lies in the potential to use the results for optimizing strength training programs for students, preventing overstrain, and enhancing overall physical performance.

### Keywords

Strength training, adaptation, students, physiology, muscle strength

### For citation

Nikitchenko S.Yu., Sorokin D.V., Musaev I.S.-Kh. Physiological mechanisms of students' adaptation to strength training. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):401. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-4-01>

### Введение

#### Introduction

Современные условия обучения в высших учебных заведениях характеризуются значительным снижением уровня двигательной активности студентов, что негативно отражается на функциональном состоянии организма и уровне физической работоспособности. В то же время включение силовых упражнений в программы физического воспитания рассматривается как эффективное средство повышения мышечной силы, профилактики нарушений опорно-двигательного аппарата и формирования адаптационных резервов организма [1].

Физиологическая адаптация к силовым нагрузкам представляет собой процесс структурно-функциональной перестройки различных систем организма, направленный на повышение устойчивости к повторяющимся нагрузкам. В отличие от аэробных воздействий силовые нагрузки преимущественно активируют анаэробные механизмы энергообеспечения и вызывают выраженные нейромышечные и гормональные реакции [2].

Несмотря на наличие большого количества исследований, посвященных адаптации спортсменов высокой квалификации, физиологические механизмы адаптации именно студентов, как особой социально-возрастной группы, изучены недостаточно. Это обуславливает необходимость комплексного анализа реакций организма на силовые нагрузки в условиях учебного процесса.

**Цель исследований:** анализ физиологических механизмов адаптации организма студентов к регулярным силовым нагрузкам

**Задачи исследований:**

- оценить изменения показателей мышечной силы у студентов в процессе силовой подготовки;
- проанализировать реакции сердечно-сосудистой системы на силовую нагрузку;
- изучить особенности автономной регуляции сердечного ритма;
- определить субъективную переносимость и восстановление после нагрузки.

Современные исследования показывают, что силовые нагрузки вызывают выраженные изменения в нервно-мышечной системе включая повышение рекрутирования моторных единиц

и синхронизацию их активности [3]. Одновременно активируется эндокринная система – в частности, увеличивается секреция тестостерона и гормона роста, что способствует гипертрофии мышечных волокон. Сердечно-сосудистая адаптация проявляется в снижении частоты сердечных сокращений в покое и улучшении показателей вариабельности сердечного ритма [3, 4]. У студентов данные процессы выражены менее стабильно, чем у квалифицированных спортсменов, что обусловлено возрастными и функциональными особенностями [5-7].

## Методика исследований

### Research method

*Организация исследований.* В исследованиях приняли участие 20 студентов (14 мужчин и 6 женщин) в возрасте 19-25 лет, обучающиеся в Российском государственном аграрном университете – МСХА имени К.А. Тимирязева и имеющие стаж занятий силовыми упражнениями не менее года. Все участники дали информированное согласие на участие в исследованиях.

Исследования проводились в течение 10 недель, с 10.03.2025 г. по 19.05.2025 г., в рамках учебных занятий по физической культуре. Частота занятий составляла 2 раза в неделю, продолжительность одного занятия – 60 мин. Силовая нагрузка включала в себя базовые упражнения: приседания со штангой, жим лежа, тяговые упражнения и изометрические удержания.

Интенсивность нагрузки постепенно увеличивалась в течение тренировочного цикла. Начальный этап (1-3 недели): интенсивность – 60-65% от 1ПМ (одноповторный максимум); объем – 3 подхода по 10-12 повторений; пауза отдыха – 90-120 сек. Средний этап (4-7 недели): интенсивность – 65-70% от 1ПМ; объем – 3-4 подхода по 8-10 повторений; пауза отдыха – 90 сек. Заключительный этап (8-10 недели): интенсивность – 70-75% от 1ПМ; объем – 4 подхода по 6-8 повторений; пауза отдыха – 60-90 сек.

Таким образом, за период эксперимента объемом силовой нагрузки увеличился приблизительно на 25-30%, а интенсивность – на 10-15%, что позволило обеспечить постепенную адаптацию студентов к возрастающим силовым воздействиям.

#### *Диагностические методы*

1. Мышечная сила. Измерялась ручным динамометром (максимальная изометрическая сила кисти).

2. Вариабельность сердечного ритма (BCP). Регистрация проводилась с использованием кардиорегистратора Polar H10 с последующей обработкой в программе Kubios HRV.

#### Анализируемые показатели:

– SDNN (Standard Deviation of NN intervals) – стандартное отклонение интервалов RR, отражающее общую вариабельность ритма;

– RMSSD (Root Mean Square of Successive Differences) – квадратный корень из среднеквадратичных разностей соседних RR-интервалов, отражающий парасимпатическую активность.

Изучение BCP проводилось для оценки автономной регуляции и адаптационных резервов организма.

3. Субъективная оценка утомления. Использовалась шкала Борга (RPE – Rating of Perceived Exertion, 6-20 баллов). Показатель применялся для оценки субъективной переносимости нагрузки и динамики центральной регуляции утомления.

*Статистическая обработка.* Оценка мышечной силы: максимальная изометрическая сила мышц верхних конечностей. Показатели сердечно-сосудистой системы: частота сердечных сокращений (ЧСС) в покое и после нагрузки. Вариабельность сердечного ритма (BCP): показатели RMSSD и SDNN в состоянии покоя. Субъективная оценка утомления: шкала Борга (RPE). Полученные данные обрабатывались методами описательной статистики ( $M \pm SD$ ). Достоверность различий оценивалась на основе t-критерия Стьюдента при уровне значимости  $p < 0.05$ .

## Результаты и их обсуждение

### Results and discussion

*Нейромышечная адаптация.* Полученные результаты свидетельствуют о выраженной положительной динамике силовых показателей у студентов. Увеличение максимальной изометрической силы кисти на 14.8% отражает формирование нейромышечной адаптации, которая на ранних этапах силовой подготовки обусловлена преимущественно улучшением нервной регуляции мышечной деятельности (табл. 1). В частности, повышение силы связано с увеличением эффективности рекрутирования моторных единиц, повышением их синхронизации и улучшением межмышечной координации. Подобные изменения характерны для начальных стадий силовой тренировки и могут происходить даже при умеренном увеличении мышечной массы.

Кроме того, постепенное повышение интенсивности тренировочных нагрузок в течение 10-недельного периода способствовало формированию устойчивых адаптационных реакций без признаков функционального перенапряжения.

*Реакции сердечно-сосудистой системы.* Снижение частоты сердечных сокращений в покое с  $76.4 \pm 5.9$  до  $71.2 \pm 5.1$  уд/мин (–6.8%) свидетельствует о повышении экономичности работы сердечно-сосудистой системы. Одновременно было зафиксировано снижение ЧСС после нагрузки на  $9.4$  уд/мин (–5.9%), что отражает улучшение процессов восстановления и более эффективную регуляцию кровообращения при выполнении силовой

работы (табл. 2). Подобная динамика свидетельствует о снижении физиологической стоимости нагрузки и формировании адаптационных механизмов, направленных на поддержание гомеостаза при повторяющихся силовых воздействиях.

**Автономная регуляция.** Рост показателей вариабельности сердечного ритма (SDNN и RMSSD) свидетельствует об усилении парасимпатического влияния и повышении адаптационных резервов организма студентов.

**Субъективная переносимость.** Средние значения RPE снизились с  $15.2 \pm 1.3$  до  $13.6 \pm 1.1$  балла, что указывает на улучшение субъективного восприятия нагрузки и адаптацию центральных механизмов регуляции утомления.

Полученные данные подтверждают, что адаптация студентов к силовым нагрузкам носит системный характер и затрагивает ключевые регуляторные механизмы организма. Увеличение мышечной силы сопровождается оптимизацией

**Таблица 1.** Динамика максимальной изометрической силы кисти.

**Table 1.** Dynamics of maximum isometric hand grip strength.

Показатель <i>Indicator</i>	До эксперимента <i>Before the experiment</i>	После 10 недель <i>After 10 weeks</i>	Δ%	р
Сила кисти, кг <i>Hand grip strength, kg</i>	$42.3 \pm 6.8$	$48.6 \pm 7.1$	+14.8%	<0.05

**Таблица 2.** Динамика частоты сердечных сокращений, уд/мин.

**Table 2.** Heart rate dynamics, beats/min.

Показатель <i>Indicator</i>	До <i>Before</i>	После <i>After</i>	р
ЧСС покоя <i>Resting HR</i>	$76.4 \pm 5.9$	$71.2 \pm 5.1$	<0.05
ЧСС после нагрузки <i>Post-exercise HR</i>	$158.7 \pm 9.4$	$149.3 \pm 8.6$	<0.05

**Таблица 3.** Показатели вариабельности сердечного ритма.

**Table 3.** Heart rate variability indicators.

Показатель <i>Indicator</i>	До <i>Before</i>	После 10 недель <i>After 10 weeks</i>	Δ%	р
SDNN, мс <i>SDNN, ms</i>	$51.6 \pm 12.3$	$58.9 \pm 13.1$	+14.1%	<0.05
RMSSD, мс <i>RMSSD, ms</i>	$34.8 \pm 9.7$	$38.7 \pm 10.2$	+11.2%	<0.05

**Таблица 4.** Динамика субъективной оценки нагрузки.

**Table 4.** Dynamics of Rating of Perceived Exertion.

Показатель <i>Indicator</i>	До <i>Before</i>	После <i>After</i>	р
RPE, баллы <i>RPE, score</i>	$15.2 \pm 1.3$	$13.6 \pm 1.1$	<0.05

сердечно-сосудистой регуляции, что согласуется с данными ранее опубликованных исследований [7-9]. Улучшение показателей variability сердечного ритма указывает на формирование более экономичного режима функционирования организма при выполнении силовой работы.

Особое значение имеет тот факт, что у студентов адаптационные изменения происходят без признаков перенапряжения, при условии дозированного и методически обоснованного применения силовых упражнений. Это подчеркивает необходимость контроля интенсивности и объема нагрузок в образовательной среде.

## Выводы

### Conclusions

Результаты исследований показали, что 10-недельный цикл силовой подготовки, проводимый с постепенным увеличением интенсивности нагрузки с 60-65 до 70-75% от 1ПМ и увеличением тренировочного объема примерно на 25-30%, вызывает достоверные адаптационные изменения в организме студентов.

Установлено статистически значимое увеличение максимальной изометрической силы кисти на 14.8% ( $p < 0.05$ ), что свидетельствует о формировании нейромышечной адаптации и повышении эффективности рекрутирования моторных единиц.

Адаптация сопровождается повышением автономной регуляции сердечного ритма (рост SDNN и RMSSD) и снижением физиологической

стоимости нагрузки (уменьшение ЧСС покоя и после нагрузки). Улучшается субъективная переносимость силовой работы и ускоряется восстановление (снижение RPE).

С учетом полученных в исследованиях результатов практическое применение данных заключается в научно обоснованной оптимизации силовых занятий в условиях вуза. Выявленный рост показателей силы на фоне улучшения параметров variability сердечного ритма (SDNN, RMSSD) и снижения ЧСС покоя подтверждает возможность безопасного повышения силовой подготовленности при условии контролируемой нагрузки. Полученные данные позволяют рекомендовать поэтапное увеличение объема и интенсивности силовых упражнений с обязательным мониторингом функционального состояния студентов (ЧСС, HRV, субъективная оценка нагрузки). Установленные различия в скорости восстановления и характере вегетативной регуляции у обучающихся с разным уровнем подготовленности обосновывают необходимость дифференцированного подхода при формировании учебных групп. Практическая ценность результатов также заключается в возможности раннего выявления признаков переутомления через снижение показателей HRV и замедление восстановления ЧСС.

Таким образом, внедрение функционального мониторинга и индивидуализация силовых программ в образовательном процессе позволяют повысить эффективность занятий, снизить риск дезадаптации и обеспечить устойчивый рост физической работоспособности студентов.

### Список источников

1. Addleman J.S., Lackey N.S., DeBlauw J.A., Hajduczuk A.G. Heart rate variability applications in strength and conditioning: a narrative review. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2024;9(2):93-104. <https://doi.org/10.3390/jfmk9020093>
2. Lecce E., Amoroso P., Felici F., Bazzucchi I. Resistance training-induced adaptations in the neuromuscular system: Physiological mechanisms and implications for human performance. *The Journal of Physiology*. 2026;604(1):81-115. <https://doi.org/10.1113/JP289716>
3. Li R., Yan R., Cheng W., Ren H. Effect of resistance training on heart rate variability of anxious female college students. *Frontiers in Public Health*. 2022;10:1050469. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1050469>
4. Shaffer F., Ginsberg J.P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*. 2017;5:258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>

### References

1. Addleman J.S., Lackey N.S., DeBlauw J.A., Hajduczuk A.G. Heart rate variability applications in strength and conditioning: a narrative review. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*. 2024;9(2):93-104. <https://doi.org/10.3390/jfmk9020093>
2. Lecce E., Amoroso P., Felici F., Bazzucchi I. Resistance training-induced adaptations in the neuromuscular system: Physiological mechanisms and implications for human performance. *The Journal of Physiology*. 2026;604(1):81-115. <https://doi.org/10.1113/JP289716>
3. Li R., Yan R., Cheng W., Ren H. Effect of resistance training on heart rate variability of anxious female college students. *Frontiers in Public Health*. 2022;10:1050469. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1050469>
4. Shaffer F., Ginsberg J.P. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*. 2017;5:258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>

5. Алпатов С.П., Коновалов И.В., Дибирова Г.И. и др. Биохимические индикаторы спортивных достижений у борцов высокой квалификации. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2021;11(2):5-11. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.2.1>
6. Исаева Е.Е., Тупиневич Г.С., Даутова А.З., Шамратова В.Г. Оценка компонентов кислородтранспортной системы и вклада гормонального звена в обеспечение физической выносливости у спортсменов различных видов спорта. *Спортивная физиология и морфология*. 2023;11(3):22-29. <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2023-11-3-22-29>
7. Никитченко С.Ю. Физиологические основы адаптации студентов к физическим нагрузкам. *Теория и практика физической культуры*. 2021;(6):45-48.
8. Питкин В.А., Кудымов М.М. Адаптация организма к физическим нагрузкам у студентов. *Наука. Техника. Технологии (Политехнический вестник)*. 2022;(1):252-254.
9. Сырова С.В., Селитреникова Т.А. К вопросу физиологической адаптации высококвалифицированных спортсменов. *Вестник Тамбовского Университета. Серия: Гуманитарные Науки*. 2019;24(183):85-90. <https://doi.org/10.20310/1810-0201-2019-24-183-85-90>
5. Alpatov S.P., Kononov I.V., Dibirova G.O. et al. Biochemical indicators of sports achievements in highly qualified wrestlers. *Sports Medicine: Research and Practice*. 2021;11(2):5-11. (In Russ.) <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2021.2.1>
6. Isaeva E.E., Tupinevich G.S., Dautova A.Z., Shamratova V.G. Assessment of the components of the oxygen transport system and the contribution of the hormonal link to provision of physical endurance in athletes of various sports. *Sportivnaya fiziologiya i morfologiya*. 2023;11(3):22-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.36028/2308-8826-2023-11-3-22-29>
7. Nikitchenko S.Yu. Physiological foundations of students' adaptation to physical loads. *Teoriya i praktika fizicheskoy kultury*. 2021;(6):45-48. (In Russ.)
8. Pitkin V.A., Kudymov M.M. Adaptation of the body healthy to physical exertion in students. *Nauka. Tekhnika. Tekhnologii (Politekhicheskiy vestnik)*. 2022;(1):252-254. (In Russ.)
9. Syrova S.V., Selitrenikova T.A. On the issue of highly skilled athletes physiological adaptation. *Tambov University Review: Series Humanities*. 2019;24(183):85-90. <https://doi.org/10.20310/1810-0201-2019-24-183-85-90>

## Сведения об авторах

**Сергей Юрьевич Никитченко**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; [sernik@rgau-msha.ru](mailto:sernik@rgau-msha.ru)

**Денис Викторович Сорокин**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; [d.sorokin@rgau-msha.ru](mailto:d.sorokin@rgau-msha.ru)

**Исмаил Саид-Хасанович Мусаев**, старший преподаватель кафедры физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; [musaev@rgau-msha.ru](mailto:musaev@rgau-msha.ru)

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 15.01.2026  
Одобрена после рецензирования 17.03.2026  
Принята к публикации 17.03.2026

## Information about the authors

**Sergey Yu. Nikitchenko**, CSc (Ag), Associate Professor at the Department of Physical Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; [sernik@rgau-msha.ru](mailto:sernik@rgau-msha.ru)

**Denis V. Sorokin**, CSc (Ed), Associate Professor at the Department of Physical Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; [d.sorokin@rgau-msha.ru](mailto:d.sorokin@rgau-msha.ru)

**Ismail S.-Kh. Musaev**, Senior Lecturer at the Department of Physical Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; [musaev@rgau-msha.ru](mailto:musaev@rgau-msha.ru)

## Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office January 15, 2026  
Approved after reviewing March 17, 2026  
Accepted for publication March 17, 2026

## ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Научная статья

УДК: 796.015.3: 612.8: 612.17 6

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-4-02>



### Влияние занятий разными видами двигательной деятельности на биоэлектрическую активность миокарда у студентов

Ольга Николаевна Никифорова, Эдуард Васильевич Маркин

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

Автор, ответственный за переписку: Ольга Николаевна Никифорова,  
[nikiforova@rgau-msha.ru](mailto:nikiforova@rgau-msha.ru)

#### Аннотация

Цель исследований – выявление особенностей биоэлектрической активности миокарда студентов аграрного вуза в зависимости от характера двигательной активности на разных этапах обучения в вузе. Изучение биоэлектрической активности миокарда у студентов аграрного вуза осуществлялось по результатам расшифровки электрокардиограмм на протяжении первого и второго курсов в группах специализации по армрестлингу, волейболу и общей физической подготовке. На основе проведенных исследований наиболее информативными показателями биоэлектрической активности миокарда у студентов на разных этапах обучения являлись: степень выраженности синусовой аритмии ( $\Delta R-R = 0.25-0.50$  с) характеристика интервалов RR, QT и амплитуды зубцов P, R, T, и суммарного вольтажа зубцов R в стандартных отведениях электрокардиограммы. Результаты выявленной динамики биоэлектрической активности миокарда у студентов позволили установить, что на 1 курсе наиболее эффективна программа занятий общей физической подготовкой по сравнению с занятиями в группах специализаций по армрестлингу или спортивным играм. К концу 2 курса было отмечено улучшение биоэлектрической активности и метаболических процессов в миокарде у студентов, занимающихся в группах спортивных специализаций.

#### Ключевые слова

Студенты, группы спортивной специализации, миокард, электрокардиограмма, биоэлектрическая активность

#### Для цитирования

Никифорова О.Н., Маркин Э.В. Влияние занятий разными видами двигательной деятельности на биоэлектрическую активность миокарда у студентов. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):402. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-4-02>

## ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-4-02>



### Effect of different motor performance on myocardium bioelectric activity in students

Olga N. Nikiforova, Eduard V. Markin

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

Corresponding author: Olga N. Nikiforova, [nikiforova@rgau-msha.ru](mailto:nikiforova@rgau-msha.ru)

#### Abstract

The study aims to identify the characteristics of myocardium bioelectric activity in students of an agricultural university, depending on the nature of physical activity at different stages of their university studies. Myocardium bioelectric activity was assessed based on electrocardiogram (ECG) interpretation during the first and second years of study, in groups specializing in arm wrestling, volleyball, and general physical training. Based on the study, the most informative indicators of myocardium bioelectric activity at different stages of study were: the degree of sinus arrhythmia ( $\Delta R-R=0.25-0.50$  s), characteristics

of the RR and QT intervals, amplitudes of the P, R, and T waves, and total voltage of the R waves in standard ECG leads. Analysis of the dynamics of myocardium bioelectric activity revealed that in the first year, the general physical training program proved to be more effective than specialized training in arm wrestling or team sports. By the end of the second year, an improvement in the bioelectric activity and metabolic processes in the myocardium was observed among students engaged in specialized sports.

### Keywords

Students, sports specialization groups, myocardium, electrocardiogram, bioelectric activity

### For citation

Nikiforova O.N., Markin E.V. Effect of different motor performance on myocardium bioelectric activity in students. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):402. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-4-02>

## Введение

### Introduction

Одним из направлений современной спортивной науки является изучение проблемы развития адаптации и совершенствования физиологических функций для оптимального уровня работоспособности организма при различных условиях двигательной активности.

В многочисленных работах отечественных и зарубежных авторов представлены основные теоретические направления в исследовании приспособления, расширения диапазона компенсаторных возможностей и повышения уровня функциональных резервов организма студентов на разных этапах жизнедеятельности [3, 16, 17].

Современное студенчество представляет собой особую группу, характеризующуюся своеобразными специфическими условиями жизни, труда, быта, уровнем физических и эмоциональных нагрузок. Интенсификация научно-технического прогресса, когда увеличивается объем информации, повышается уровень цифровизации и интенсификации учебного процесса в высшей школе, от студентов требуется максимальная мобилизация умственных и физических возможностей. Особенно важным является начальный этап обучения на 1-2 курсах, который характеризуется сложным периодом адаптации учащихся к новым вузовским условиям [10]. Одним из условий успешности адаптационных перестроек является организация оптимального двигательного режима, способствующего повышению функциональных возможностей основных систем организма студентов [8, 9].

С повышением уровня тренированности студентов развиваются мощные холинергические реакции, одними из последствий которых являются отрицательные хронотропные воздействия, вызывающие замедление сердечного ритма [1, 2]. Вследствие увеличения тонуса центров вагусной иннервации у студентов-спортсменов наблюдается брадикардия. У тренированных лиц во время физической нагрузки отмечается изотоническая гиперфункция сердца, возникающая за счет увеличения минутного объема кровообращения и амплитуды

сердечных сокращений. Умеренная гипертрофия миокарда в сочетании с некоторой дилатацией полостей сердца энергетически является наиболее экономной, так как способствует повышению эффективности работы сердца. Такая гиперфункция (значит, и гипертрофия) характеризуется как «физиологическая» [4, 12, 15].

Изучению динамики показателей биоэлектрической активности миокарда студентов в процессе программных занятий по физической культуре, а также в условиях различного двигательного режима за время обучения в вузе должного внимания в последние десятилетия не уделялось.

**Цель исследований:** выявление особенностей биоэлектрической активности миокарда студентов аграрного вуза в зависимости от характера двигательной активности на разных этапах обучения в вузе.

### Методика исследований

#### Research method

Динамические исследования проводились в условиях отделения функциональной диагностики клиники № 1 ФМБЦ им А.И. Бурназяна во время ежегодного углубленного медицинского осмотра студентов аграрного вуза в 3 этапа: на 1, 2 (начальный этап обучения) и 4 курсах. В исследованиях на 1 и 2 курсах приняли участие студенты трех групп разной спортивной специализации: 1 группа – юноши, занимающиеся общей физической подготовкой (66 чел.), 2 группа – студенты, специализирующиеся по армрестлингу (47 чел.), 3 группа – студенты, занимающиеся волейболом (27 чел.). На занятиях в 1 группе большое внимание уделялось упражнениям циклического характера, развивающим выносливость. Во 2 и 3 группах применялись упражнения ациклического характера, способствующие развитию быстроты реакции, силовых и скоростно-силовых качеств.

Для оценки биоэлектрической активности миокарда использовался метод электрокардиографии (ЭКГ) с помощью аппарата Schiller CARDIOVIT AT-102plus. Исследования проводились в относительно стандартных условиях: в первой

половине дня, температура в медицинском кабинете составляла 18-25°C, относительная влажность воздуха – 40-60%, барометрическое давление – 720-735 мм рт.ст.

Запись ЭКГ производилась в 12 стандартных отведениях (I, II, III – усиленные однополюсные отведения от конечностей aVR, aVL, aVF, однополюсные грудные отведения по Вильсону V<sub>1</sub>–V<sub>6</sub>).

Изучение биоэлектрической активности миокарда у студентов аграрного вуза осуществлялось по результатам общепринятой методики расшифровки электрокардиограмм включая определение ритма сердечных сокращений, положение электрической оси и электрической позиции сердца, амплитуды, формы и направления зубцов P, Q, R, S, T, продолжительность интервалов PQ, QRS, QT и обобщенное медицинское заключение на протяжении первого курса (I этап) и второго курса (II этап) в группах специализации по армрестлингу, спортивным играм и общей физической подготовке (ОФП). Регистрация всех показателей на каждом этапе исследований осуществлялась трижды: в состоянии покоя, после дозированной физической нагрузки и в период восстановления.

В качестве субмаксимальной дозированной нагрузки использовалась двухмоментная проба «Степ-тест» на ступеньку высотой 40 см по методике Я.С. Вайнбаума [14]. Использование степэргометрии позволило оценить степень адекватности реакций изучаемых ЭКГ-показателей после физической работы и определить уровень физической работоспособности организма при различных видах двигательной активности.

Все полученные данные функционального исследования обрабатывались по методу вариационной статистики с вычислением средней арифметической, ошибки средней арифметической. Установление достоверности различий средних величин исследуемых показателей осуществлялось с помощью параметрического критерия Стьюдента (t-распределение). Различия считались статистически достоверными при 1- и 5%-ном уровнях значимости ( $p \leq 0.01$ ,  $p \leq 0.05$ ).

## Результаты и их обсуждение

### Results and discussion

При анализе ЭКГ-показателей было выявлено, что в среднем как интервальные, так и амплитудные данные у большинства обследуемых студентов на начальном периоде обучения в вузе соответствовали физиологическим нормам [6, 7]. Анализ продолжительности сердечного цикла (интервал RR) при одном обследовании в состоянии покоя показал, что во всех исследуемых группах существенной разницы не наблюдалось, о чем свидетельствуют данные таблиц 1-3.

Индивидуальный анализ показал, что в большинстве случаев (65%) отмечалась умеренная степень синусовой аритмии ( $\Delta RR = 0.11-0.20$  с), в 24.3% случаев наблюдалась средняя степень синусовой аритмии ( $\Delta RR = 0.21-0.35$  с) и в 9.3% – выраженная степень синусовой аритмии ( $\Delta RR = 0.36-0.50$  с). В единичных случаях (1.4%) отмечалась резко выраженная степень синусовой аритмии ( $\Delta RR \geq 0.50$  с). Выявленные различные степени синусовой аритмии носили функциональный характер [8, 11, 15].

Продолжительность сердечного цикла в состоянии покоя к концу второго года обучения претерпела определенные изменения во всех исследуемых группах в пользу удлинения. Наиболее выраженное и достоверное удлинение интервала RR наблюдалось в группе студентов, занимающихся по программе ОФП, у которых отмечалась явная тенденция развития брадикардии по сравнению с другими группами. Это, по-видимому, обусловлено тем, что у представителей данной группы занятия по физической культуре имели специальную направленность, обеспечивающую совершенствование функции главного звена транспорта кислорода и, как следствие, более усиленное воздействие ваготонии на водителя ритма [2, 14].

Изучение и сравнение продолжительности сердечного цикла у студентов, специализирующихся в группах армрестлинга и волейбола, а также проведенный индивидуальный анализ показали, что к концу второго курса у них все же отмечалось некоторое увеличение случаев перехода от умеренной к выраженной степени синусовой аритмии (в среднем от 64/4 до 76/7%) и что наряду с повышением уровня их физического развития и работоспособности положительно разворачивались функциональные резервы сердца.

При первом обследовании после физической нагрузки произошли одновременные сдвиги продолжительности сердечного цикла во всех исследуемых группах – укорочение интервала RR. При повторном обследовании прослеживались аналогичные изменения в группах, но наиболее благоприятная динамика этого показателя была в группе ОФП. Восстановительный период как при первом, так и при втором обследовании характеризовался некоторым недовосстановлением продолжительности интервала RR до исходных данных у всех исследуемых.

Анализ продолжительности предсердно-желудочковой проводимости – интервал PQ – показал, что у обследуемых во всех группах специализаций в состоянии покоя как при первичном, так и при повторном исследовании существенных различий этого показателя не выявлено, в среднем колебания составили от 0.15-0.16 с.

**Таблица 1.** Интервальные ЭКГ-показатели студентов, занимающихся в группе ОФП. Среднее арифметическое ± стандартное отклонение.

**Table 1.** Interval ECG parameters in students engaged in general physical training. Arithmetic mean ± standard deviation.

Показатели <i>Parameters</i>		Этапы обследования <i>Examination stages</i>	I курс – I этап (n = 66) <i>1-st year – Stage I (n = 66)</i>	II курс – II этап (n = 66) <i>2-d year – Stage II (n = 66)</i>	p
RR		Покой / <i>Rest</i>	0.81±0.03	0.90±0.02	0.012
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.46±0.02	0.53±0.02	0.012
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.70±0.02	0.71±0.02	0.69
ЧСС <i>HR</i>		Покой / <i>Rest</i>	76.6±2.55	67.4±1.92	0.004
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	133.8±4.02	113.2±3.46	0.001
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	87.7±2.79	85.9±1.93	0.62
PQ		Покой / <i>Rest</i>	0.15±0.004	0.16±0.009	0.32
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.13±0.003	0.14±0.005	0.09
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.14±0.004	0.15±0.005	0.11
QRS		Покой / <i>Rest</i>	0.08±0.003	0.09±0.002	0.005
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.08±0.004	0.09±0.002	0.03
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.08±0.002	0.09±0.002	0.001
QT	Фактическое <i>Actual</i>	Покой / <i>Rest</i>	0.34±0.006	0.36±0.005	0.009
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.29±0.005	0.30±0.014	0.48
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.34±0.004	0.36±0.007	0.012
	Должное <i>Estimated</i>	Покой / <i>Rest</i>	0.33±0.006	0.35±0.004	0.005
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.27±0.005	0.29±0.004	0.002
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.32±0.004	0.34±0.004	0.001
$L_{\infty}QRS$		Покой / <i>Rest</i>	67.6±3.30	72.3±4.18	0.42
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	73.4±3.27	79.3±4.44	0.27
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	69.1±3.25	74.5±3.85	0.27

**Таблица 2.** Интервальные ЭКГ-показатели студентов, занимающихся в группе специализации по армрестлингу. Среднее арифметическое  $\pm$  стандартное отклонение.

**Table 2.** Interval ECG parameters in students specializing in arm wrestling. Arithmetic mean  $\pm$  standard deviation.

Показатели <i>Parameters</i>		Этапы обследования <i>Examination stages</i>	I курс – I этап (n = 66) <i>1-st year – Stage I (n = 66)</i>	II курс – II этап (n = 66) <i>2-d year – Stage II (n = 66)</i>	p
RR		Покой / <i>Rest</i>	0.84 $\pm$ 0.03	0.87 $\pm$ 0.02	0.43
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.50 $\pm$ 0.02	0.51 $\pm$ 0.02	0.69
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.70 $\pm$ 0.02	0.69 $\pm$ 0.02	0.69
ЧСС <i>HR</i>		Покой / <i>Rest</i>	73.4 $\pm$ 2.71	69.6 $\pm$ 2.53	0.32
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	120.8 $\pm$ 3.06	118.5 $\pm$ 2.70	0.55
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	84.3 $\pm$ 2.29	83.1 $\pm$ 2.91	0.76
PQ		Покой / <i>Rest</i>	0.15 $\pm$ 0.003	0.15 $\pm$ 0.002	<0.001
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.14 $\pm$ 0.004	0.15 $\pm$ 0.018	0.62
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.15 $\pm$ 0.002	0.15 $\pm$ 0.002	<0.001
QRS		Покой / <i>Rest</i>	0.09 $\pm$ 0.003	0.09 $\pm$ 0.002	<0.001
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.09 $\pm$ 0.004	0.09 $\pm$ 0.004	<0.001
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.09 $\pm$ 0.005	0.09 $\pm$ 0.002	<0.001
QT	Фактическое <i>Actual</i>	Покой / <i>Rest</i>	0.34 $\pm$ 0.007	0.36 $\pm$ 0.007	0.05
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.31 $\pm$ 0.006	0.32 $\pm$ 0.008	0.05
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.33 $\pm$ 0.005	0.35 $\pm$ 0.007	0.03
	Должное <i>Estimated</i>	Покой / <i>Rest</i>	0.32 $\pm$ 0.006	0.36 $\pm$ 0.005	0.001
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.28 $\pm$ 0.004	0.29 $\pm$ 0.004	0.08
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.30 $\pm$ 0.003	0.32 $\pm$ 0.005	0.001
$L_{\infty}QRS$		Покой / <i>Rest</i>	63.6 $\pm$ 4.80	69.4 $\pm$ 4.21	0.37
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	69.0 $\pm$ 4.62	72.5 $\pm$ 3.73	0.55
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	64.7 $\pm$ 4.97	71.1 $\pm$ 3.65	0.32

**Таблица 3.** Интервальные ЭКГ-показатели студентов, занимающихся в группе специализации по волейболу. Среднее арифметическое  $\pm$  стандартное отклонение.

**Table 3.** Interval ECG parameters in students specializing in volleyball. Arithmetic mean  $\pm$  standard deviation.

Показатели <i>Parameters</i>		Этапы обследования <i>Examination stages</i>	I курс – I этап (n = 66) <i>1-st year – Stage I (n = 66)</i>	II курс – II этап (n = 66) <i>2-d year – Stage II (n = 66)</i>	p
RR		Покой / <i>Rest</i>	0.79 $\pm$ 0.03	0.85 $\pm$ 0.05	0.32
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.48 $\pm$ 0.03	0.50 $\pm$ 0.03	0.62
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.69 $\pm$ 0.02	0.69 $\pm$ 0.03	<0.001
ЧСС <i>HR</i>		Покой / <i>Rest</i>	77.5 $\pm$ 3.12	73.3 $\pm$ 3.15	0.37
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	128.6 $\pm$ 3.36	121.1 $\pm$ 4.43	0.20
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	86.7 $\pm$ 2.25	87.0 $\pm$ 3.37	0.92
PQ		Покой / <i>Rest</i>	0.15 $\pm$ 0.005	0.15 $\pm$ 0.005	<0.001
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.14 $\pm$ 0.004	0.15 $\pm$ 0.005	0.12
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.15 $\pm$ 0.005	0.15 $\pm$ 0.005	<0.001
QRS		Покой / <i>Rest</i>	0.09 $\pm$ 0.004	0.09 $\pm$ 0.002	<0.001
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.09 $\pm$ 0.005	0.09 $\pm$ 0.004	<0.001
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.09 $\pm$ 0.004	0.09 $\pm$ 0.002	<0.001
QT	Фактическое <i>Actual</i>	Покой / <i>Rest</i>	0.35 $\pm$ 0.009	0.36 $\pm$ 0.010	0.49
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.30 $\pm$ 0.008	0.32 $\pm$ 0.009	0.1
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.34 $\pm$ 0.006	0.35 $\pm$ 0.009	0.37
	Должное <i>Estimated</i>	Покой / <i>Rest</i>	0.32 $\pm$ 0.007	0.37 $\pm$ 0.004	0.001
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	0.27 $\pm$ 0.006	0.28 $\pm$ 0.007	0.28
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	0.31 $\pm$ 0.005	0.33 $\pm$ 0.007	0.03
L $\infty$ QRS		Покой / <i>Rest</i>	66.8 $\pm$ 6.10	70.7 $\pm$ 5.87	0.62
		Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	71.2 $\pm$ 8.14	73.3 $\pm$ 5.25	0.84
		Восстановительный период <i>Recovery period</i>	69.3 $\pm$ 6.32	72.0 $\pm$ 4.53	0.69

После дозированной субмаксимальной физической нагрузки наряду с учащением ЧСС у всех обследуемых студентов отмечалась тенденция физиологического укорочения интервала PQ, о чем свидетельствовали представленные в таблицах данные. При этом статистически достоверной разницы по сравнению с состоянием покоя не обнаружено. В восстановительном периоде величины показателей предсердно-желудочковой проводимости были аналогичны данным покоя во всех группах.

Показатели внутрижелудочковой проводимости (интервал QRS) отличались наименьшими колебаниями в исследуемых группах студентов как в состоянии покоя и в процессе выполнения дозированных физических нагрузок, так и по этапам обследований. При этом полученные данные находились в пределах физиологических норм (0.06-0.10 с).

Фактическая длительность электрической систолы (интервал QT) в абсолютном большинстве случаев (91.4%) в состоянии покоя не превышала допустимых значений должных величин. При этом систолический показатель электрической систолы был в пределах  $\pm 5\%$  к должной величине. В единичных случаях (8.6%) отмечалось превышение систолического показателя электрической систолы над должной величиной от 7 до 12%. При этом у таких студентов диагностировались ЭКГ-признаки перенапряжения сердца I-II степени на фоне сопутствующих обострений из очагов хронической инфекции (тонзиллиты, отиты и др.). В процессе занятий физической культурой и спортом к концу второго года обучения в состоянии покоя отмечалось некоторое увеличение интервала QT наряду с урежением ЧСС во всех исследуемых группах студентов.

После физических нагрузок и в восстановительном периоде у студентов как при первом, так и повторном исследовании наблюдалась характерная физиологическая реакция, выраженная параллелизмом изменений длительности сердечного цикла и электрической систолы, а именно при учащении ЧСС отмечалось укорочение электрической систолы, не превышающее должных значений.

Определение положения электрической оси сердца ( $L\infty$ QRS) показало, что у большинства обследуемых студентов во всех группах показатель соответствовал нормальному положению электрической оси как при первом, так и повторном обследованиях. Однако индивидуальный анализ выявил в 64.3% случаях сдвиги электрической силы (ЭДС) электрической оси вправо от  $+93$  до  $+98^\circ$ , что, вероятно, было обусловлено конституциональными особенностями обследуемых. Субмаксимальная физическая нагрузка вызвала почти у всех студентов относительные сдвиги электрической оси

на  $6-10^\circ$  в большей степени влево, но колебания оказались статистически недостоверными.

Электрическая позиция не претерпевала существенных изменений и в большинстве случаев (75.7%) по этапам обследований определялась как полувертикальная и вертикальная. В других случаях отмечались как горизонтальная, полугоризонтальная и промежуточные позиции сердца, что чаще было обусловлено конституциональными особенностями обследуемых студентов.

Амплитудные ЭКГ-показатели студентов по группам специализаций и по этапам обследования представлены в таблицах 4-6. Исследования показали, что ко второму году обучения во всех группах в состоянии покоя отмечались незначительные положительные сдвиги этих показателей, характеризующие некоторое улучшение биоэлектрической активности миокарда. При этом в состоянии покоя после двухгодичных занятий физической культурой и спортом отмечалась тенденция снижения средних величин зубцов  $R_{II}$ , в большей степени в группе ОФП ( $p = 0.09$ ), а также прирост амплитуды зубцов  $R_{II}$  – более выраженный в группе ОФП ( $p = 0.04$ ) и нарастание средних величин суммарного вольтажа зубцов R в стандартных отведениях на 2.2-3.0 мм. Физическая нагрузка вызывала некоторое увеличение амплитуды зубцов  $R_{II}$ ,  $R_{III}$  и  $\Sigma R$  во всех отведениях на всех этапах обследования. Через 5-6 мин после нагрузки наблюдалось относительное восстановление этих величин.

Анализ амплитуды зубцов  $S_{II}$  и  $T_{II}$  в состоянии покоя показал некоторые колебания этих показателей во всех группах в процессе занятий физической культурой и спортом на I-II курсах. При этом за период двухлетнего наблюдения у большинства студентов отмечались незначительное уменьшение амплитуды зубцов  $S_{II}$  и возрастание амплитуды зубцов  $T_{II}$ , особенно выраженные у студентов в группах ОФП и волейбола.

Амплитуда зубцов  $TV_2$  и  $TV_5$  в состоянии покоя во всех группах в процессе двухгодичных исследований претерпела некоторые изменения, характеризующиеся увеличением ее в правых грудных отведениях и относительной стабилизацией в левых отведениях. После физической нагрузки амплитуда зубцов  $TV_2$  увеличилась по сравнению с данными покоя, а амплитуда зубцов  $TV_5$  несколько снизилась. В периоде восстановления амплитуда зубцов  $TV_2$  была близка данным покоя, а амплитуда зубцов  $TV_5$  все же оставалась несколько меньше исходной величины. Указанные сдвиги в динамике зубцов T электрокардиограмм у студентов, обследуемых в процессе двух лет занятий физической культурой и спортом, связаны с улучшением метаболических процессов в миокарде [8, 11, 13].

**Таблица 4.** Амплитудные ЭКГ-показатели студентов, занимающихся в группе ОФП. Среднее арифметическое  $\pm$  стандартное отклонение.

**Table 4.** Amplitude ECG parameters in students engaged in general physical training. Arithmetic mean  $\pm$  standard deviation.

Показатели <i>Parameters</i>	Этапы обследования <i>Examination stages</i>	I курс – I этап (n = 66) <i>1-st year – Stage I (n = 66)</i>	II курс – II этап (n = 66) <i>2-d year – Stage II (n = 66)</i>	p
<i>P<sub>II</sub></i>	Покой / <i>Rest</i>	1.52 $\pm$ 0.07	1.30 $\pm$ 0.11	0.09
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	2.51 $\pm$ 0.12	1.92 $\pm$ 0.13	0.001
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	1.79 $\pm$ 0.12	1.57 $\pm$ 0.11	0.16
<i>R<sub>II</sub></i>	Покой / <i>Rest</i>	9.62 $\pm$ 0.87	11.87 $\pm$ 0.63	0.04
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	11.97 $\pm$ 0.81	13.35 $\pm$ 0.80	0.23
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	10.32 $\pm$ 0.88	11.98 $\pm$ 0.66	0.13
$\Sigma R$	Покой / <i>Rest</i>	23.2 $\pm$ 1.33	26.2 $\pm$ 1.51	0.23
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	26.4 $\pm$ 1.56	28.0 $\pm$ 1.3	0.42
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	24.8 $\pm$ 1.40	26.9 $\pm$ 1.73	0.37
<i>S<sub>II</sub></i>	Покой / <i>Rest</i>	1.38 $\pm$ 0.27	1.12 $\pm$ 0.19	0.42
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	1.85 $\pm$ 0.26	2.07 $\pm$ 0.28	0.55
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	1.49 $\pm$ 0.28	1.85 $\pm$ 0.28	0.37
<i>T<sub>II</sub></i>	Покой / <i>Rest</i>	3.58 $\pm$ 0.30	4.61 $\pm$ 0.24	0.007
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	4.13 $\pm$ 0.26	4.85 $\pm$ 0.27	0.06
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	3.38 $\pm$ 0.25	4.47 $\pm$ 0.26	0.003
<i>TV<sub>2</sub></i>	Покой / <i>Rest</i>	2.56 $\pm$ 0.31	3.51 $\pm$ 0.37	0.05
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	2.64 $\pm$ 0.40	3.57 $\pm$ 0.37	0.09
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	3.02 $\pm$ 0.42	3.44 $\pm$ 0.38	0.48
<i>TV<sub>5</sub></i>	Покой / <i>Rest</i>	6.21 $\pm$ 0.37	6.19 $\pm$ 0.42	0.92
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	5.27 $\pm$ 0.31	5.32 $\pm$ 0.30	0.92
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	4.27 $\pm$ 0.28	4.41 $\pm$ 0.41	0.76

**Таблица 5.** Амплитудные ЭКГ-показатели студентов, занимающихся в группе специализации по армрестлингу. Среднее арифметическое  $\pm$  стандартное отклонение.

**Table 5.** Amplitude ECG parameters in students specializing in arm wrestling. Arithmetic mean  $\pm$  standard deviation.

Показатели <i>Parameters</i>	Этапы обследования <i>Examination stages</i>	I курс – I этап (n = 66) <i>1-st year – Stage I (n = 66)</i>	II курс – II этап (n = 66) <i>2-d year – Stage II (n = 66)</i>	p
$P_{II}$	Покой / <i>Rest</i>	1.50 $\pm$ 0.13	1.38 $\pm$ 0.12	0.48
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	2.38 $\pm$ 0.18	2.03 $\pm$ 0.16	0.14
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	1.64 $\pm$ 0.14	1.54 $\pm$ 0.11	0.55
$R_{II}$	Покой / <i>Rest</i>	10.08 $\pm$ 0.71	11.32 $\pm$ 0.63	0.20
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	12.69 $\pm$ 0.95	13.02 $\pm$ 0.71	0.76
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	10.84 $\pm$ 0.77	11.93 $\pm$ 0.76	0.32
$\Sigma R$	Покой / <i>Rest</i>	23.5 $\pm$ 1.51	25.7 $\pm$ 1.56	0.32
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	25.7 $\pm$ 1.60	26.8 $\pm$ 1.59	0.62
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	23.9 $\pm$ 1.47	26.0 $\pm$ 1.62	0.32
$S_{II}$	Покой / <i>Rest</i>	1.22 $\pm$ 0.43	1.08 $\pm$ 0.37	0.84
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	1.90 $\pm$ 0.55	1.94 $\pm$ 0.54	0.92
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	1.37 $\pm$ 0.62	1.73 $\pm$ 0.40	0.62
$T_{II}$	Покой / <i>Rest</i>	3.83 $\pm$ 0.28	4.40 $\pm$ 0.23	0.11
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	4.05 $\pm$ 0.30	4.59 $\pm$ 0.22	0.14
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	3.77 $\pm$ 0.28	4.26 $\pm$ 0.29	0.23
$TV_2$	Покой / <i>Rest</i>	2.83 $\pm$ 0.69	3.30 $\pm$ 0.58	0.62
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	3.00 $\pm$ 0.62	3.34 $\pm$ 0.66	0.69
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	2.93 $\pm$ 0.54	3.36 $\pm$ 0.60	0.62
$TV_5$	Покой / <i>Rest</i>	5.31 $\pm$ 0.51	6.04 $\pm$ 0.65	0.37
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	5.33 $\pm$ 0.45	5.44 $\pm$ 0.41	0.84
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	5.56 $\pm$ 0.31	5.36 $\pm$ 0.33	0.69

**Таблица 6.** Амплитудные ЭКГ-показатели студентов, занимающихся в группе специализации по волейболу. Среднее арифметическое  $\pm$  стандартное отклонение.

**Table 6.** Amplitude ECG parameters in students specializing in volleyball. Arithmetic mean  $\pm$  standard deviation.

Показатели <i>Parameters</i>	Этапы обследования <i>Examination stages</i>	I курс – I этап (n = 66) <i>1-st year – Stage I (n = 66)</i>	II курс – II этап (n = 66) <i>2-d year – Stage II (n = 66)</i>	p
$P_{II}$	Покой / <i>Rest</i>	1.59 $\pm$ 0.10	1.42 $\pm$ 0.13	0.32
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	2.30 $\pm$ 0.19	2.12 $\pm$ 0.14	0.43
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	1.75 $\pm$ 0.13	1.69 $\pm$ 0.14	0.76
$R_{II}$	Покой / <i>Rest</i>	10.13 $\pm$ 0.74	11.42 $\pm$ 0.86	0.28
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	11.85 $\pm$ 0.98	12.90 $\pm$ 0.73	0.37
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	11.43 $\pm$ 0.94	12.57 $\pm$ 0.89	0.37
$\Sigma R$	Покой / <i>Rest</i>	23.8 $\pm$ 1.58	26.8 $\pm$ 1.63	0.20
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	25.5 $\pm$ 1.77	27.7 $\pm$ 1.75	0.37
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	26.0 $\pm$ 1.63	27.6 $\pm$ 1.72	0.49
$S_{II}$	Покой / <i>Rest</i>	1.34 $\pm$ 0.31	1.05 $\pm$ 0.34	0.55
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	1.70 $\pm$ 0.41	1.87 $\pm$ 0.38	0.76
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	1.50 $\pm$ 0.33	1.48 $\pm$ 0.31	0.92
$T_{II}$	Покой / <i>Rest</i>	3.29 $\pm$ 0.27	4.22 $\pm$ 0.20	0.009
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	3.75 $\pm$ 0.48	4.43 $\pm$ 0.49	0.32
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	3.35 $\pm$ 0.29	4.40 $\pm$ 0.22	0.007
$TV_2$	Покой / <i>Rest</i>	2.48 $\pm$ 0.44	3.16 $\pm$ 0.41	0.28
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	2.70 $\pm$ 0.38	3.28 $\pm$ 0.53	0.37
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	2.57 $\pm$ 0.42	3.01 $\pm$ 0.44	0.32
$TV_5$	Покой / <i>Rest</i>	5.86 $\pm$ 0.43	5.48 $\pm$ 0.49	0.55
	Физическая нагрузка / <i>Physical activity</i>	5.05 $\pm$ 0.41	5.24 $\pm$ 0.28	0.69
	Восстановительный период <i>Recovery period</i>	5.35 $\pm$ 0.41	5.45 $\pm$ 0.39	0.84

## Выводы

## Conclusions

Анализ данных электрокардиографии показал, что в состоянии покоя исходные ЭКГ-показатели, как интервальные, так и амплитудные, в среднем у большинства обследованных студентов соответствовали физиологическим нормам, в 65% случаев отмечались случаи синусовой аритмии ( $\Delta RR = 0.11-0.20$  с).

Через два года занятий физической культурой и спортом на ЭКГ наряду с удлинением интервала RR в состоянии покоя у студентов во всех группах отмечалось некоторое увеличение интервала QT, а также тенденция снижения средних величин зубцов P<sub>II</sub>, прирост амплитуды зубцов R<sub>II</sub> и величины суммарного вольтажа зубцов R в стандартных

отведениях. При этом последние сдвиги имели более выраженный характер у студентов группы ОФП. Динамика изменения зубцов T электрокардиограмм обследованных студентов, выявленная к концу II курса, указывала на некоторое улучшение биоэлектрической активности и метаболических процессов в миокарде.

Таким образом, информативными показателями оценки биоэлектрической активности миокарда студентов при разном характере двигательной активности на разных этапах обучения являются: степень выраженности синусовой аритмии ( $\Delta RR = 0.25-0.50$  с), характеристика интервалов RR, QT и амплитуды зубцов P<sub>II</sub>, R<sub>II</sub>, T<sub>II</sub> и суммарного вольтажа зубцов R в стандартных отведениях электрокардиограмм.

## Список источников

1. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2001;(3)108-127.
2. Богданова Е.В., Белоцерковский З.Б., Любина Б.Г., Борисова Ю.А. Динамика сердечной деятельности при изометрических нагрузках у спортсменов. *Физиология человека*. 2000;(1):70-76.
3. Ванюшин Ю.С., Ванюшин М.Ю. Адаптация кардиореспираторной системы спортсменов. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2004;90(8):512-513.
4. Гаврилова Е.А. *Сердце спортсмена. Актуальные проблемы спортивной кардиологии*. Москва: Спорт, 2022:430.
5. Дембо А.Г., Земцовский Э.В. *Спортивная кардиология*. Ленинград: Медицина, Ленинградское отделение, 1989:460.
6. Иорданская Ф.А. Мобильные технологии в оперативной диагностике оценки адаптации к нагрузкам и срочного восстановления работоспособности в условиях тренировочных мероприятий. *Вестник спортивной науки*. 2022;(2)54-63.
7. Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. *Тестирование в спортивной медицине*. Москва: Физкультура и спорт, 1988:206.
8. Макарова Г.А., Гуревич Т.С., Ачкасов Е.Е., Юрьев С.Ю. *Электрокардиограмма спортсмена: норма, патология и потенциально опасная зона*. Москва: Спорт, Человек, 2018:254.
9. 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):40-42.
10. Никифорова О.Н., Маркин Э.В., Фёдоров И.Г., Никитченко С.Ю. Изменение показателей физической работоспособности студентов

## References

1. Bayevsky R.M., Ivanov G.G. Cardiac rhythm variability: the theoretical aspects and the opportunities of clinical application (lecture). *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2001;(3)108-127. (In Russ.)
2. Bogdanova E.V., Belotserkovsky Z.B., Lyubina B.G., Borisova Yu.A. Dynamics of cardiac activity under isometric loads in athletes. *Fiziologiya cheloveka*. 2000;(1):70-76. (In Russ.)
3. Vanyushin Yu.S., Vanyushin M.Yu. Adaptation of athletes' cardiorespiratory system. *Russian Journal of Physiology*. 2004;90(8):512-513. (In Russ.)
4. Gavrilo E.A. *The heart of an athlete. Actual problems of sports cardiology*. Moscow, Russia: Sport, 2022:243. (In Russ.)
5. Dembo A.G., Zemtsovsky E.V. *Sports cardiology*. Leningrad, USSR: Meditsina, Leningradskoe otdelenie, 1989:460. (In Russ.)
6. Iordanskaya F.A. Mobile technologies in operational diagnostics of adaptation assessment to loads and urgent recovery in terms of training events. *Vestnik sportivnoy nauki*. 2022;(2)54-63. (In Russ.)
7. Karpman V.L., Belotserkovsky Z.B., Gudkov I.A. *Testing in sports medicine*. Moscow, USSR: Fizkultura i sport, 1988:206. (In Russ.)
8. Makarova G.A., Gurevich T.S., Achkasov E.E., Yuryev S.Yu. *Athlete's electrocardiogram: norm, pathology and potentially dangerous zone*. Moscow, Russia: Sport, Chelovek, 2018:254. (In Russ.)
9. 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 praktika fizicheskoy kultury*. 2021;(9):40-42. (In Russ.)
10. Nikiforova O.N., Markin E.V., Fedorov I.G., Nikitchenko S.Yu. Changes in indicators of physical performance of students of an agricultural university

аграрного вуза при различной двигательной активности. *Теория и практика физической культуры*. 2024;(1):51-53.

11. Павлов В.И., Орджоникидзе З.Г., Дружинин А.Е., Иванова Ю.М. Особенности ЭКГ спортсмена. *Функциональная диагностика*. 2005;(4):65-74.
12. Перхуров А.М. Анализ электрокардиограммы спортсменов. Москва: Медпрактика, 2016:76.
13. Чумакова О.С., Исаева М.Ю., Королева О.С., Затеишчиков Д.А. Место электрокардиографии в диагностике кардиомиопатий и спортивного сердца. *Российский кардиологический журнал*. 2020;25(3S):4023. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4023>
14. Шлык Н.И. *Вариабельность сердечного ритма и методы ее определения у спортсменов в тренировочном процессе*. Ижевск: Удмуртский государственный университет, 2022:80.
15. Шувалова Н.В., Драндров Г.Л., Леженина С.В. и др. Некоторые физиологические особенности показателей ЭКГ у спортсменов в подростковом возрасте. *Современные проблемы науки и образования*. 2020;(3):81.
16. Maron B.J., Pelliccia A. The heart of trained athletes cardiac remodeling and the risks of sports, including sudden death circulation. *Circulation*. 2006;114(15):1633-1644. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.613562>
17. Pelliccia A., Di Paolo F.M., Quattrini F.M. et al. Outcomes in athletes with marked ECG repolarization abnormalities. *The New England Journal of Medicine*. 2008;358(2):152-161. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa060781>

## Сведения об авторах

**Ольга Николаевна Никифорова**, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; [nikiforova@rgau-msha.ru](mailto:nikiforova@rgau-msha.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, Россия, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; [markin.ev@rgau-msha.ru](mailto:markin.ev@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7143-7531>

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 15.01.2026  
Одобрена после рецензирования 30.03.2026  
Принята к публикации 30.03.2026

with various physical activities. *Teoriya i praktika fizicheskoy kultury*. 2024;(1):51-53. (In Russ.)

11. Pavlov V.I., Ordzhonikidze Z.G., Druzhinin A.E., Ivanova Yu.M. *Features of an athlete's ECG. Funktsionalnaya diagnostika*. 2005;(4):65-74. (In Russ.)
12. Perkhurov AM. *Analysis of electrocardiogram of athletes*. Moscow, Russia: Medpraktika, 2016:76. (In Russ.)
13. Chumakova O.S., Isaeva M.Yu., Koroleva O.S., Zateishchikov D.A. Contribution of electrocardiography to the diagnosis of cardiomyopathies and athletic heart syndrome. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(3S):4023. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2020-4023>
14. Shlyk N.I. *Heart rate variability and methods of its determination in athletes in the training process*. Izhevsk, Russia: Udmurt State University, 2022:80. (In Russ.)
15. Shuvalova N.V., Drandrov G.L., Lezhenina S.V. et al. Some physiological features of electrocardiogram indicators in athletes in adolescence. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2020;(3):81. (In Russ.)
16. Maron B.J., Pelliccia A. The heart of trained athletes cardiac remodeling and the risks of sports, including sudden death circulation. *Circulation*. 2006;114(15):1633-1644. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.613562>
17. Pelliccia A., Di Paolo F.M., Quattrini F.M. et al. Outcomes in athletes with marked ECG repolarization abnormalities. *The New England Journal of Medicine*. 2008;358(2):152-161. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa060781>

## 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; 127434, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49; [nikiforova@rgau-msha.ru](mailto:nikiforova@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-1079-2983>

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

## Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office January 15, 2026  
Approved after reviewing March 30, 2026  
Accepted for publication March 30, 2026

## ЗООЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Научная статья

УДК 599.742.1: 574 (470-25)

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-4-03>



### Обогащение среды кустарниковых собак (*Speothos venaticus* Lund, 1842) в Московском зоопарке

Дмитрий Сергеевич Черников<sup>1</sup>, Михаил Александрович Брагин<sup>1</sup>,  
Наталья Александровна Веселова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский зоологический парк, Москва, Россия

<sup>2</sup> Государственный биологический музей имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Наталья Александровна Веселова,  
[veselova\\_n.a@mail.ru](mailto:veselova_n.a@mail.ru)

#### Аннотация

Поддержание высокого уровня благополучия животных при их содержании в искусственных условиях является актуальной задачей современных зоопарков. Одним из важнейших способов повышения благополучия животных считается применение различных методик обогащения среды их обитания. В исследованиях выполнена оценка эффективности различных видов обогащения среды (пищевое, сенсорное, физическое) для группы кустарниковых собак (*Speothos venaticus*) в Московском зоопарке. Результаты показали, что пищевые стимулы вызывают статистически значимо ( $p < 0.001$ ) более высокую вовлеченность животных по сравнению с сенсорными и физическими видами обогащения. Выявлены половые различия: самцы демонстрируют большую заинтересованность в исследовании новых запахов ( $p < 0.01$ ). Пищевое обогащение среды признано наиболее эффективным инструментом для стимуляции естественного поведения кустарниковых собак в условиях неволи.

#### Ключевые слова

Обогащение среды, кустарниковая собака, *Speothos venaticus*, зоопарк, благополучие животных, поведение

#### Для цитирования

Черников Д.С., Брагин М.А., Веселова Н.А. Обогащение среды кустарниковых собак (*Speothos venaticus* Lund, 1842) в Московском зоопарке. *Тимирязевский биологический журнал*. 2026;4(1):403. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-4-03>

## ZOOLOGY, HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Original article

<https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-4-03>



### Environmental enrichment for bush dogs (*Speothos venaticus* Lund, 1842) at the Moscow Zoo

Dmitriy S. Chernikov<sup>1</sup>, Mikhail A. Bragin<sup>1</sup>, Natalya A. Veselova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow Zoo, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Timiryazev State Biological Museum, Moscow, Russia

Corresponding author: Natalya A. Veselova, [veselova\\_n.a@mail.ru](mailto:veselova_n.a@mail.ru)

#### Abstract

Ensuring a high level of animal welfare in captivity is a key challenge for modern zoos. One of the most important methods to improve animal welfare is the application of various environmental enrichment techniques. The study assessed the effectiveness of different types of environmental enrichment (nutritional, sensory, physical) for a group of bush dogs (*Speothos venaticus*) at the Moscow Zoo. The results showed that food-based stimuli elicit statistically significantly higher levels of animal engagement compared to sensory and physical enrichment types ( $p < 0.001$ ). Sex-related differences were also identified: males displayed greater interest in exploring new

scents ( $p < 0.01$ ). Nutritional enrichment was found to be the most effective tool for stimulating natural behaviors in captive bush dogs.

### Keywords

Environmental enrichment, bush dog, *Speothos venaticus*, zoo, animal welfare, behavior

### For citation

Chernikov D.S., Bragin M.A., Veselova N.A. Environmental enrichment for bush dogs (*Speothos venaticus* Lund, 1842) at the Moscow Zoo. *Timiryazev Biological Journal*. 2026;4(1):403. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2026-4-1-4-03>

## Введение

### Introduction

Кустарниковые собаки (*Speothos venaticus* Lund, 1842) – южноамериканский вид из семейства псовых (Canidae), характеризующийся стайным образом жизни, в основе которого лежат строгая иерархия и сложное социальное поведение. Изучение этологических особенностей этих животных возможно во многом благодаря наблюдениям в искусственных условиях [1].

При этом в современной зоологической практике содержание диких животных в искусственных условиях вышло за рамки простого обеспечения их базовых физиологических потребностей. Ключевым элементом современного подхода к содержанию животных является концепция обогащения среды, направленная на повышение благополучия животных через стимуляцию их естественного поведения [2].

Обогащение среды животных – это комплексный подход к модификации условий обитания, направленный на усиление сенсорной, когнитивной и двигательной стимуляции [3]. Это научно обоснованный процесс, целью которого является улучшение качества жизни животного в неволе. Он позволяет животному проявлять характерное для него видоспецифичное поведение, реализовывать когнитивные и физические потребности и тем самым повышает уровень его благополучия [4-6]. В научной и практической литературе принято выделять 5 основных типов обогащения среды, которые часто используются в комбинации для достижения максимального эффекта: пищевое, физическое, сенсорное, когнитивное и социальное [3, 7].

**Цель исследований:** сравнение реакции кустарниковых собак (*Speothos venaticus*) на разные типы обогащения среды в условиях Московского зоопарка.

### Методика исследований

#### Research method

Исследования проводили на группе кустарниковых собак (*Speothos venaticus*), содержащихся в Московском зоопарке. Фокальная группа состояла из 16 половозрелых особей: 11 самцов (условное обозначение M1–M11) и 5 самок (условное

обозначение F1–F5). Наблюдения осуществляли в период с июня по сентябрь 2023 г.

Для оценки эффективности различных видов стимуляции были применены 3 типа обогащения среды: пищевое, сенсорное (ольфакторное) и физическое.

Пищевое обогащение было реализовано в нескольких вариантах:

- рассредоточение корма (кусочки мяса) по всей площади вольера;
- размещение корма (рыба (горбуша), тушки перепелов) на устойчивой плавучей платформе, установленной в центре бассейна;
- сокрытие кормовых стимулов (тыквы, заполненные кормом);
- подвешивание крупного кормового объекта (говяжья нога) в доступном для животных месте.

Сенсорное (ольфакторное) обогащение заключалось во внесении в вольер объектов, несущих запахи тех видов животных, с которыми кустарниковые собаки потенциально взаимодействуют в естественной среде обитания:

- запах равнинного тапира (*Tapirus terrestris* Linnaeus, 1758) – использовалась подстилка из его вольера;
- запах капибары (*Hydrochoerus hydrochaeris* Linnaeus, 1766) – использовался помет животного;
- запах морских свинок (*Cavia porcellus* Linnaeus, 1758) – использовалась сенная подстилка из их вольера.

Физическое обогащение проводили путем размещения в бассейне вольера натуральных деревянных объектов (пни, бревна).

Для исключения привыкания и получения репрезентативных данных каждый тип обогащения среды вносили в трехкратной повторности с интервалом между внесениями одного и того же типа обогащения среды не менее 72 ч. Все манипуляции проводили в 17:00, после чего в течение последующих 1.5 ч осуществляли наблюдение за поведением животных.

Для оценки поведенческих реакций животных на стимулы применяли метод свободного наблюдения, широко используемый при исследованиях в зоопарках [8]. Степень вовлеченности животных в каждый тип обогащения среды оценивали, исходя из адаптированной 8-балльной шкалы [9] (табл. 1).

**Таблица 1.** Оценка вовлеченности животного в программу обогащения среды.

**Table 1.** Assessment of animal engagement in the environmental enrichment program.

<b>Балльная оценка</b> <i>Grading score</i>	<b>Поведение животного</b> <i>Animal behavior</i>
<b>0 баллов</b> <i>0 points</i>	Животное вне поля зрения наблюдателя <i>The animal is out of the observer's field of vision</i>
<b>1 балл</b> <i>1 point</i>	Животное избегает объекта обогащения среды, проявляет по отношению к нему страх, агрессию, уходит или убегает от объекта обогащения среды в укрытие <i>The animal avoids the environmental enrichment object, shows fear and aggression towards it, leaves or runs away from the environmental enrichment object to the shelter</i>
<b>2 балла</b> <i>2 points</i>	Животное находится в одном вольере с объектом обогащения среды, но не проявляет по отношению к нему внимания <i>The animal is kept in the same enclosure as the environmental enrichment object, but does not pay any attention to it</i>
<b>3 балла</b> <i>3 points</i>	Животное отмечает факт присутствия объекта обогащения, смотрит на него, но не подходит к нему. Страх не проявляет <i>The animal notes the presence of the environmental enrichment object, looks at it, but does not approach it. It does not show fear</i>
<b>4 балла</b> <i>4 points</i>	Животное кратковременно нюхает объект обогащения среды и больше не обращает на него внимания <i>The animal briefly sniffs the environmental enrichment object and no longer pays attention to it</i>
<b>5 баллов</b> <i>5 points</i>	Животное нюхает объект обогащения среды, пытается его погрызть. Время взаимодействия составляет менее 5 мин <i>The animal sniffs the environmental enrichment object and attempts to chew on it. The interaction lasts less than five minutes</i>
<b>6 баллов</b> <i>6 points</i>	Животное взаимодействует с объектом обогащения среды резко, быстро, подбегает и отбегает. Отмечаются акты взаимодействия с объектом продолжительностью менее 1 мин <i>The animal interacts with the environmental enrichment object abruptly and quickly, running toward and away. Interactions with the object lasting less than one minute are observed</i>
<b>7 баллов</b> <i>7 points</i>	Животное взаимодействует с объектом обогащения среды более 5 мин подряд, но особого ущерба ему не наносит <i>The animal interacts with the environmental enrichment object for more than five minutes in a row, but does not cause any significant damage to it</i>
<b>8 баллов</b> <i>8 points</i>	Животное активно взаимодействует с объектом обогащения среды, разрывает или разбирает его. В случае с пищевым обогащением среды животное съедает объект <i>The animal actively interacts with the environmental enrichment object, tearing it apart or disassembling it. In the case of nutritional enrichment, the animal consumes the object</i>

Для каждого животного и каждого типа обогащения среды фиксировали индивидуальный балл вовлеченности. Полученные данные были систематизированы и подвергнуты сравнительному анализу для выявления наиболее и наименее эффективных типов обогащения среды, а также для

оценки влияния пола животных на поведенческие реакции.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы «Statistica 12.0». Для оценки достоверности различий в степени вовлеченности животных в зависимости от типа

обогащения среды был применен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Для парного сравнения групп использовали апостериорный тест Тьюки (Tukey HSD-test). Поскольку гипотеза о нормальности распределения выборок была отклонена, для оценки различий между самцами и самками в степени вовлеченности в обогащение среды применяли непараметрический U-критерий Манна-Уитни (Mann-Whitney U-test). Различия считали статистически значимыми при  $p < 0.05$ . Результаты описательной статистики (среднее арифметическое  $\pm$  стандартное отклонение) для каждого типа обогащения представлены ниже.

## Результаты и их обсуждение Results and discussion

Результаты предварительных наблюдений за кустарниковыми собаками показали, что у этих животных нет как таковых пиков активности. В отсутствие беспокоящих внешних факторов (зоотехнические мероприятия, резкие изменения погодных условий и т.п.) они одинаково активны в течение дня. Поэтому в исследованиях мы проводили наблюдения только при внесении обогащения среды.

Исследуемые животные позитивно реагировали на все вносимые типы обогащения среды (табл. 2).

**Таблица 2.** Оценка вовлеченности животных в обогащение среды, баллы.

**Table 2.** Assessment of animal engagement in environmental enrichment, points.

Животное <i>Animal</i>	Тип обогащения среды <i>Type of environmental enrichment</i>															Итого <i>Total</i>	
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	F1	F2	F3	F4	F5	
Рыба (горбуша) на плотике <i>Fish (pink salmon) on the raft</i>	7.7	8.0	8.0	7.7	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	7.7	7.3	8.0	8.0	8.0	126.3
Запах тапира <i>Tapir smell</i>	5.7	6.0	7.7	7.0	8.0	4.3	4.0	3.0	6.0	5.7	7.3	2.7	2.0	5.3	4.0	3.3	82.0
Перепелки на плотике <i>Quail on the raft</i>	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	128.0
Запах капибары на бревнах <i>Capybara smell on logs</i>	4.3	6.7	5.0	6.3	8.0	5.7	5.0	6.7	6.3	7.0	6.7	3.0	4.7	4.0	5.3	2.7	87.3
Тыквы с кусочками говядины <i>Pumpkins with pieces of beef</i>	8.0	7.3	8.0	8.0	8.0	7.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	6.7	8.0	8.0	7.3	124.3
Подвешенная говяжья нога <i>Hanging beef leg</i>	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	128.0
Распределение кусочков говядины по вольеру <i>Beef pieces distributed around the enclosure</i>	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	128.0
Предметы в бассейне <i>Objects in the pool</i>	3.7	5.0	7.3	7.7	7.7	7.3	7.7	5.7	4.3	5.7	7.0	3.0	2.3	6.7	5.3	2.0	88.3
Запах морских свинок <i>Guinea pig smell</i>	7.0	4.3	5.0	7.3	7.7	5.7	5.3	6.0	6.0	7.3	5.7	3.0	2.7	4.0	3.0	2.7	82.7

Было выявлено наличие достоверных различий между средними значениями вовлеченности при разных типах обогащения среды (ANOVA  $\chi^2 = 222.8$ ;  $N = 144$ ;  $df = 8$ ;  $p < 0.001$ ).

Попарное сравнение с помощью пост-хок теста Тьюки показало, что степень вовлеченности животных во все виды пищевого обогащения среды статистически значимо ( $p < 0.001$ ) отличалась от реакции кустарниковых собак на все виды как сенсорного, так и физического обогащения среды. При этом достоверных различий между степенью вовлеченности животных в разные виды и пищевого, и сенсорного обогащения среды выявлено не было ( $p > 0.05$ ). Между степенью вовлеченности кустарниковых собак в сенсорное и физическое обогащение среды также не было обнаружено статистически значимой разницы.

Анализ половых различий в степени вовлеченности кустарниковых собак в обогащение среды выявил статистически значимую разницу только

в реакции животных на внесение запахов. Средний балл вовлеченности самцов ( $6.00 \pm 1.12$ ) при этом был достоверно выше ( $U = 214.5$ ;  $p < 0.01$ ), чем у самок ( $3.27 \pm 1.83$ ) (табл. 3).

Показано, что различные виды пищевого обогащения среды в целом являются наиболее эффективными для стимуляции активности кустарниковых собак, в то время как сенсорные и физические виды обогащения среды вызывают значительно менее выраженную вовлеченность животных. При этом самцы оказались более склонными к вовлеченности в исследование новых запаховых стимулов.

На основе полученных данных был проведен анализ индивидуальных поведенческих профилей 16 кустарниковых собак (11 самцов, 5 самок) по их реакциям на 9 типов обогащения среды. Для каждого животного были рассчитаны средний балл вовлеченности (по 8-балльной шкале) и стандартное отклонение (SD) как мера вариабельности реакций (табл. 4).

**Таблица 3.** Оценка вовлеченности животных в обогащение среды в зависимости от пола, баллы.

**Table 3.** Assessment of animal engagement in environmental enrichment depending on gender, points.

Тип обогащения среды <i>Type of environmental enrichment</i>	Пол <i>Sex</i>	Средняя $\pm$ стандартная ошибка <i>Mean <math>\pm</math> Standard Error</i>	SD	min–max
Рыба (горбуша) на плотике <i>Fish (pink salmon) on the raft</i>	м/м	$7.9 \pm 0.1$	0.1	7.7-8.0
	ж/ф	$7.8 \pm 0.1$	0.3	7.3-8.0
Запах тапира <i>Tapir smell</i>	м/м	$6.0 \pm 0.4$	1.3	3.0-8.0
	ж/ф	$3.5 \pm 0.6$	1.3	2.0-5.3
Перепелки на плотике <i>Quail on the raft</i>	м/м	$8.0 \pm 0$	0	8.0-8.0
	ж/ф	$8.0 \pm 0$	0	8.0-8.0
Запах капибары на бревнах <i>Capybara smell on logs</i>	м/м	$6.2 \pm 0.3$	1.1	4.3-8.0
	ж/ф	$3.9 \pm 0.5$	1.1	2.7-5.3
Тыквы с кусочками говядины <i>Pumpkins with pieces of beef</i>	м/м	$7.9 \pm 0.1$	0.2	7.3-8.0
	ж/ф	$7.6 \pm 0.3$	0.7	6.7-8.0
Подвешенная говяжья нога <i>Hanging beef leg</i>	м/м	$8.0 \pm 0$	0	8.0-8.0
	ж/ф	$8.0 \pm 0$	0	8.0-8.0
Распределение кусочков говядины по вольеру <i>Beef pieces distributed around the enclosure</i>	м/м	$8.0 \pm 0$	0	8.0-8.0
	ж/ф	$8.0 \pm 0$	0	8.0-8.0
Предметы в бассейне <i>Objects in the pool</i>	м/м	$6.2 \pm 0.4$	1.4	3.7-7.7
	ж/ф	$3.9 \pm 0.8$	1.8	2.0-6.7
Запах морских свинок <i>Guinea pig smell</i>	м/м	$6.1 \pm 0.4$	1.2	4.3-7.7
	ж/ф	$3.1 \pm 0.4$	0.9	2.0-4.0

**Таблица 4.** Индивидуальные поведенческие профили кустарниковых собак, баллы.

**Table 4.** Individual behavioral profiles of bush dogs, points.

Группа <i>Group</i>	Животное <i>Animal</i>	Пол <i>Sex</i>	Средний балл <i>Average point</i>	SD
Группа 1. Высокоактивные стабильные <i>Group 1. Highly active stable</i>	M3	м/м	7.9	0.08
	M4	м/м	7.9	0.08
	M5	м/м	8.0	0
	M10	м/м	7.9	0.08
	M11	м/м	7.9	0.08
Группа 2. Высокоактивные переменные <i>Group 2. Highly active variable</i>	M8	м/м	7.3	1.80
Группа 3. Низкоактивные стабильные <i>Group 3. Low-active stable</i>	M2	м/м	6.7	0.19
	M6	м/м	6.7	0.19
	M7	м/м	6.7	0.19
	M9	м/м	6.7	0.19
Группа 4. Низкоактивные переменные <i>Group 4. Low-active variable</i>	M1	м/м	6.3	1.50
	F1	ж/ф	5.0	1.41
	F2	м/м	5.0	1.41
	F3	м/м	6.0	1.41
	F4	м/м	6.0	1.41
	F5	м/м	5.0	1.41

Классификация основана на медианных значениях общего уровня вовлеченности (7.0) и вариабельности реакций (SD = 1.6). Распределение полов по группам оказалось статистически значимым (точный тест Фишера,  $p < 0.05$ ).

Самцы демонстрировали более предсказуемые и ярко выраженные реакции на обогащение среды, особенно на пищевые стимулы. Самки проявляли избирательность: их вовлеченность сильно зависела от типа стимула, что, возможно, указывает на проявление индивидуальных предпочтений животных.

Наиболее универсальными стимулами являлись пищевые (они получили высокие оценки у всех групп), тогда как запаховые и физические стимулы вызывали противоположные реакции у животных с переменными профилями. Эти результаты согласуются с данными, известными

из литературы. Так, два самца кустарниковой собаки в Зооботаническом парке Белу-Оризонти (Бразилия) также демонстрировали наибольший интерес к обогащению среды путем внесения двух тычков с базиликом и кусочками мяса по сравнению с внесением шерсти верблюда и костей КРС [10].

Вместе с тем результаты исследования по обогащению среды кустарниковых собак, проведенного в зоопарке Эдинбурга (Великобритания), в ходе которого применяли пищевое обогащение среды путем сокрытия кусочков мяса в кучах веток деревьев и в прочих подходящих частях вольера, не выявили статистически значимой разницы между уровнем исследовательской и поисковой активности самцов (5 особей) и самок (5 особей). Однако было показано, что в целом применение такого обогащения среды привело к достоверному повышению уровня поискового поведения животных ( $p < 0.001$ ) [11].

## Выводы

## Conclusions

1. Пищевое обогащение среды является наиболее эффективным стимулом для кустарниковых собак ( $p < 0.001$ ) и обеспечивает стабильно высокий уровень вовлеченности (7.8-8.0 балла) у всех особей.

2. Сенсорные и физические стимулы вызывают значительно меньшую и вариабельную реакцию (3.1-6.2 балла).

3. Самцы статистически значимо более активны при взаимодействии с запаховыми стимулами, чем самки (6.0 балла против 3.3 балла,  $p < 0.01$ ), что свидетельствует о половой специфичности исследовательского поведения.

4. Выделены 4 поведенческих профиля кустарниковых собак, отражающие индивидуальные стратегии реагирования животных

на обогащение среды: высокоактивные стабильные; высокоактивные вариабельные; низкоактивные стабильные; низкоактивные вариабельные. Распределение по профилям достоверно связано с полом ( $p < 0.05$ ).

Таким образом, можно заключить, что при составлении программ обогащения среды кустарниковых собак необходимо учитывать как полове, так и индивидуальные особенности животных – в частности, использовать пищевые объекты для стимуляции групповой активности и сенсорные для адресной работы с особями, проявляющими исследовательское поведение. Проведенные исследования подтверждают, что дифференцированный подход к обогащению среды способствует повышению благополучия кустарниковых собак в условиях зоопарка, стимулируя проявление у них естественного видоспецифичного поведения.

## Список источников

1. Баринаова А.М., Брагин М.А., Веселова Н.А. Социальное поведение кустарниковых собак, *Speothos venaticus* (Lund, 1842) в искусственных условиях. *Тимирязевский биологический журнал*. 2023;1(2):49-58. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-2-49-58>
2. Добрякова М.А., Брагин М.А., Веселова Н.А. Опыт обогащения среды евразийских рысей, *Lynx lynx* (Linnaeus, 1758) в искусственных условиях. *Тимирязевский биологический журнал*. 2025;3(2):202532403. <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-2-4-03>
3. Блохин Г.И., Веселова Н.А., Соловьёв А.А. Этолого-физиологические изменения при обогащении среды кошачьих. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2017;(5):74-88. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2017-5-74-88>
4. Newberry R.C. Environmental enrichment: Increasing the biological relevance of captive environments. *Applied Animal Behaviour Science*. 1995;44(2-4):229-243. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(95\)00616-Z](https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)00616-Z)
5. Shepherdson D.J. Environmental enrichment: past, present and future. *International Zoo Yearbook*. 2003;38(1):118-124. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1090.2003.tb02071.x>
6. Ксенофонтова А.А., Веселова Н.А., Кулагина Е.К. Оценка уровня благополучия байкальских нерп *Pusa sibirica* (Gmelin, 1788) в условиях океанариума. *Иппология и ветеринария*. 2025;(1(55)):106-117. <https://doi.org/10.52419/2225-1537/2025.1.106-117>
7. Веселова Н.А., Галуза О.А. Анализ влияния кормового обогащения среды на поведение буроголовых тамаринов *Leontocebus fuscicollis* (Spix, 1823) в искусственных

## References

1. Barinova A.M., Bragin M.A., Veselova N.A. Social behaviour of bush dogs, *Speothos venaticus* (Lund, 1842) in captivity. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;(2):49-58. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-2-49-58>
2. Dobryakova M.A., Bragin M.A., Veselova N.A. Environmental enrichment strategies for Eurasian Lynxes, *Lynx lynx* (Linnaeus, 1758) in captivity environments. *Timiryazev Biological Journal*. 2025;3(2):202532403. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2949-4710-2025-3-2-4-03>
3. Blokhin G.I., Veselova N.A., Soloviev A.A. Ethological and physiological changes under the enrichment of the Feline's environment. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2017;(5):74-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2017-5-74-88>
4. Newberry R.C. Environmental enrichment: Increasing the biological relevance of captive environments. *Applied Animal Behaviour Science*. 1995;44(2-4):229-243. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(95\)00616-Z](https://doi.org/10.1016/0168-1591(95)00616-Z)
5. Shepherdson D.J. Environmental enrichment: past, present and future. *International Zoo Yearbook*. 2003;38(1):118-124. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1090.2003.tb02071.x>
6. Ksenofontova A.A., Veselova N.A., Kulagina E.K. Assessment of the welfare level of Baikal seals *Pusa sibirica* (Gmelin, 1788) in the oceanarium. *Ippologiya i veterinariya*. 2025;(1(55)):106-117. (In Russ.) <https://doi.org/10.52419/2225-1537.2025.1.106-117>
7. Veselova N.A., Galuza O.A. Analysis of the influence of feed environmental enrichment on the behavior of the brown-mantled tamarins *Leontocebus fuscicollis* (Spix, 1823) in captivity. *Aktualnye voprosy*

- условиях. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2020;(1 (45)):3-8. <https://doi.org/10.24411/2074-5036-2020-00001>
8. Евразийская региональная ассоциация зоопарков и аквариумов, Московский зоологический парк. *Руководство по исследованиям в зоопарках*. Москва: Московский зоопарк, 2008:165.
9. Mellen J., MacPhee M.S. Philosophy of environmental enrichment: Past, present, and future. *Zoo Biology*. 2001;20(3):211-226. <https://doi.org/10.1002/zoo.1021>
10. de Carvalho T.S., Zangeronimo M.G., do Prado Saad C.E. et al. The behavioural study of the bush dog (*Speothos venaticus*) in captivity with environmental enrichment. *Bioscience Journal*. 2017;33(2):349-353. <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n2-32915>
11. Ings R., Waran N.K., Young R.J. Effect of wood-pile feeders on the behaviour of captive bush dogs (*Speothos venaticus*). *Animal Welfare*. 1997;6(2):145-152. <https://doi.org/10.1017/S0962728600019618>
- veterinarnoy biologii*. 2020;(1(45)):3-8. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2074-5036-2020-00001>
8. Eurasian Regional Association of Zoos and Aquariums, Moscow Zoo. *Guide to Zoo Research*. Moscow, Russia: Moscow Zoo, 2008:165. (In Russ.)
9. Mellen J., MacPhee M.S. Philosophy of environmental enrichment: Past, present, and future. *Zoo Biology*. 2001;20(3):211-226. <https://doi.org/10.1002/zoo.1021>
10. de Carvalho T.S., Zangeronimo M.G., do Prado Saad C.E. et al. The behavioural study of the bush dog (*Speothos venaticus*) in captivity with environmental enrichment. *Bioscience Journal*. 2017;33(2):349-353. <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n2-32915>
11. Ings R., Waran N.K., Young R.J. Effect of wood-pile feeders on the behaviour of captive bush dogs (*Speothos venaticus*). *Animal Welfare*. 1997;6(2):145-152. <https://doi.org/10.1017/S0962728600019618>

#### Сведения об авторах

**Дмитрий Сергеевич Черников**, рабочий по уходу за животными, ГАУ «Московский зоологический парк»; 123242, Россия, г. Москва, ул. Большая Грузинская, 1; reptilis-palustris@yandex.ru

**Михаил Александрович Брагин**, заведующий отделом «Млекопитающие», ГАУ «Московский зоологический парк»; 123242, Россия, г. Москва, ул. Большая Грузинская, 1; mabragin1981@yandex.ru

**Наталья Александровна Веселова**, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник музея, ГБУК г. Москвы «Государственный биологический музей имени К.А. Тимирязева»; 123242, Россия, г. Москва, ул. Малая Грузинская, 15; veselova\_n.a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9679-2329>

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.12.2025  
Одобрена после рецензирования 14.02.2026  
Принята к публикации 14.02.2026

#### Information about the authors

**Dmitriy S. Chernikov**, Animal Keeper, Moscow Zoo; 123242, Russian Federation, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya St., 1; reptilis-palustris@yandex.ru

**Mikhail A. Bragin**, Head of department "Mammals", Moscow Zoo; 123242, Russian Federation, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya St., 1; mabragin1981@yandex.ru

**Natalya A. Veselova**, Csc (Bio), Associate Professor, Senior Research Associate, Timiryazev State Biological Museum; 123242, Russian Federation, Moscow, Malaya Gruzinskaya St., 15; veselova\_n.a@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9679-2329>

#### Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests.

The article was submitted to the editorial office December 01, 2025  
Approved after reviewing February 14, 2026  
Accepted for publication February 14, 2026

**ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ / TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL**

e-mail: [izvestiya\\_bio@rgau-msha.ru](mailto:izvestiya_bio@rgau-msha.ru)  
тел.: +7 (499) 976-07-48 добавочный 2

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

---

Принято в печать 05.05.2026 г. Формат 60×84/8 6,75 печ. л.  
Гарнитура шрифта «Times New Roman»

---