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

# ТИМИРЯЗЕВСКИЙ
# БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
# TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

**Том 2. № 4 / 2024**

ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL
**Научно-теоретический сетевой журнал**

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

Том 2. № 4 / 2024

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



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

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

# TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL

## ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Vol. 2(4)/2024

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

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

Vol. 2(4)/2024

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 a nd 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.



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

## СОДЕРЖАНИЕ



## CONTENTS

ГЕНЕТИКА, БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИОХИМИЯ /
GENETICS, BIOTECHNOLOGY, BIOCHEMISTRY

ГЕНЕТИКА

Оригинальная научная статья
УДК 636.52/.58 : 636.084.1 : 591.1
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-6-14

# Молекулярно-генетическая и биохимическая оценка антиоксидантного статуса цыплят-бройлеров (*Gallus gallus domesticus*) при использовании в кормлении разных фитобиотиков

**Марина Ивановна Селионова[1], Артем Юрьевич Загарин[1], Егор Игоревич Куликов[2]**

[1] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
[2] Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства, Сергиев Посад, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Артем Юрьевич Загарин; azagarin@rgau-msha.ru

**Аннотация**
Одной из ключевых проблем птицеводства является борьба со стрессами различной этиологии, объединяемых единым биологическим механизмом – накоплением свободных радикалов и окислительным стрессом. Установлено, что значительную роль в борьбе с оксидантным стрессом играют витагены, транскрипционная активность которых повышается под действием различных алиментарных факторов включая фитобиотики. Исходя из этого цель исследований заключалась в анализе экспрессии генов, связанных с антиоксидантной защитой (АОЗ), у цыплят-бройлеров (Gallus gallus domesticus) при использовании в питании различных фитобиотиков и в сравнении полученных результатов с анализом биохимических параметров АОЗ в сыворотке крови. Был проведен зоотехнический опыт на цыплятах-бройлерах кросса Смена 9, в рамках которого особям контрольной группы скармливали основной рацион, в комбикорма 4 опытных групп вводили растительные экстракты цикория обыкновенного (Cichorium intubus L.), зверобоя продырявленного (Hypericum perforatum L.), левзеи сафлоровидной (Rhaponticum carthamoides L.) и тимьяна ползучего (Thymus serpyllum L.). В возрасте 22 суток отбирали образцы крови для биохимического анализа, в возрасте 26 суток – образцы печени для оценки относительной экспрессии генов SOD1 и PRDX6 методом $2^{-\Delta\Delta CT}$, для чего проводили выделение РНК, обратную транскрипцию и ПЦР-РВ с референсным геном «домашнего хозяйства» ACTB. Результаты исследований свидетельствовали о повышении экспрессии SOD1 в 4,47 раза при использовании экстракта цикория и в 3,53 раза при скармливании экстракта зверобоя. При этом флавоноиды зверобоя проявляли наиболее видимый витагенстимулирующий эффект, что подтверждалось низкой вариабельностью экспрессии SOD1 и снижением значений показателей АОЗ крови, указывая на возможность ограничения использования организмом других физиологических механизмов борьбы со свободными радикалами. Результаты исследований послужат нутригеномным обоснованием при разработке состава новой фитокомбианции.

**Ключевые слова**
нутригеномика животных, экспрессия генов, антиоксидантный статус, фитобиотики, цыплята-бройлеры

**Для цитирования**
Селионова М.И., Загарин А.Ю., Куликов Е.И. Молекулярно-генетическая и биохимическая оценка антиоксидантного статуса цыплят-бройлеров (*Gallus gallus domesticus*) при использовании в кормлении разных фитобиотиков // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 6-14. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-6-14

GENETICS

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-6-14

# Molecular-genetic and biochemical evaluation of the antioxidant status of broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*) using different phytobiotics in the diet

**Marina I. Selionova[1], Artem Yu. Zagarin[1], Egor I. Kulikov[2]**

[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
[2] All-Russian Research and Technological Poultry Institute, Sergiev Posad, Russia

**Corresponding author:** Artem Yu. Zagarin; azagarin@rgau-msha.ru

**Abstract**
One of the key problems of poultry production is the fight against stresses of various etiologies, united by a single biological mechanism – accumulation of free radicals and oxidative stress. It has been established that vitagens play a significant role in the fight against oxidative stress, the transcriptional activity of which is increased under the influence of various nutritional factors, including phytobiotics. Based on this, the aim of the research was to analyze the expression of genes related to antioxidant defence (AOD) in broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*) when different phytobiotics are used in the diet and to compare the results obtained with the analysis of biochemical parameters of AOD in blood serum. A zootechnical experiment was carried out on broiler chickens of the cross Smena 9, in which the control group was fed the main diet and four experimental groups were fed the mixed feed with plant extracts of common chicory (*Cichorium intubus* L.), St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.), safflower (*Rhaponticum carthamoides* L.) and thyme (*Thymus serpyllum* L.). At 22 days of age, blood samples were taken for biochemical analysis, and at 26 days of age, liver samples were taken to assess the relative expression of *SOD1* and *PRDX6* genes by the $2^{-\Delta\Delta CT}$ method, for which RNA isolation, reverse transcription and PCR-RT with the 'housekeeping' reference gene ACTB were performed. The results showed a 4.47-fold increase in *SOD1* expression when chicory extract was used and 3.53-fold increase when St. John's wort extract was used. At the same time, St. John's wort flavonoids showed the most visible vitagen-stimulating effect, which was confirmed by the low variability of *SOD1* expression and a decreased values of blood AOD indicators, indicating the possibility of limiting the use of other physiological mechanisms of free radical control by the organism. The results of the research will serve as a nutrigenomic justification for the development of the composition of a new phytocombination.

**Keywords**
animal nutrigenomics, gene expression, antioxidant status, phytobiotics, broiler chickens

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

**For citation**
Selionova M.I., Zagarin A.Yu., Kulikov E.I. Molecular-genetic and biochemical evaluation of the antioxidant status of broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*) using different phytobiotics in the diet. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):6-14. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-6-14

## Введение
## Introduction

Птицеводство – наиболее интенсивная отрасль животноводства, что обусловливает постоянное сопровождение технологии производства продукции птицеводства стрессами. К их числу относят транспортные, вакцинальные, тепловые, предубойные, в итоге объединяемые единым механизмом – накоплением активных форм кислорода и продуктов перекисного окисления и развитием окислительного стресса [1].

Одним из механизмов борьбы с окислительным стрессом является активация так называемых витагенов – генов, кодирующих белки, связанных с индукцией ответной реакции на стресс. Концепция витагенов нашла свое применение в животноводстве. К числу ключевых витагенов относят гены, в результате экспрессии которых образуются антиоксидантные ферменты (супероксиддисмутаза, глутатионпероксидаза, каталаза), белки теплового шока и тиоредоксиновой системы, сиртуины [2].

Отмечено, что различные биологически активные соединения растений способны активировать витагены, повышая резистентность организма к негативному влиянию свободных радикалов и источникам различных стрессов [3].

Таким образом, фитобиотики – растительные биологически активные добавки, помимо укрепления иммунного статуса животных, повышения

продуктивности, улучшения потребления, переваримости, усвояемости нутриентов корма, нормализации кишечной микробиоты и гомеостаза [4], обладающие также стресспротекторными и антиоксидантными свойствами посредством активации экспрессии витагенов.z

**Цель исследований:** молекулярно-генетическая (нутригеномная) и биохимическая оценка антиоксидантного статуса цыплят-бройлеров (*Gallus gallus domesticus*) при использовании в их питании растительных экстрактов с различными биологически активными веществами.

## Методика исследований
## Research method

Использование животных в данном исследовании одобрено Комиссией по биоэтике ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (протокол № 16 от 30 января 2024 г.).

В соответствии с методикой проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы ВНИТИП [5] в условиях учебно-производственного птичника РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева был проведен научный эксперимент на цыплятах-бройлерах кросса Смена 9. Эксперимент включал в себя весь период выращивания цыплят и составил 35 суток. Инкубация яиц и вакцинация молодняка осуществлялась на базе селекционно-генетического центра «Загорское ЭПХ» (Сергиев Посад, Россия). После транспортировки цыплят методом сбалансированных групп-аналогов было сформировано 5 групп по 36 гол. в каждой. Половое соотношение в группах носило рандомизированный характер. Система содержания цыплят – клеточная, кормление и поение – вволю с использованием вакуумных/ниппельных поилок и бункерных/желобковых кормушек в разные периоды выращивания. Технологические параметры, включая плотность посадки, температурный и влажностный режим, режим освещенности, содержание в комбикормах обменной энергии и питательных веществ, соответствовали руководству по работе с птицей данного кросса [6]. Экспериментально созданные факторы стресса в исследованиях не использовали.

Рацион 1 контрольной группы был представлен полнорационными фазовыми комбикормами: «Старт» – 0-10 суток; «Рост» – 11-22 суток; «Финиш» – 23-35 суток. Птице опытных групп в состав комбикормов дополнительно методом ступенчатого смешивания вводили сухие растительные экстракты в соответствии со схемой (табл. 1).

Экстракт *C. intubus* L. стандартизирован на инулин (концентрация – 90%), служащий пребиотиком – питательным субстратом для развития нормальной микробиоты кишечника птицы. Экстракт *H. perforatum* L. включает в свой состав флавоноиды с концентрацией 7,3% в пересчете на рутин, *T. serpyllum* L. – флавоноиды с концентрацией 3,6% в пересчете на рутин и дубильные вещества с концентрацией 18,4% в пересчете на танины. Названные биологически активные вещества использовали в исследованиях, поскольку известно, что они обладают антиоксидантными, иммуномодулирующими и антимикробными свойствами. Экстракт *R. carthamoides* L. был стандартизирован на фитостероид экдистен с концентрацией 0,505%, функция экдистена заключается в активации биосинтеза белка и, соответственно, интенсификации роста птицы. Все используемые добавки были получены в результате водной экстракции: экстракт цикория обыкновенного – из корневой системы растения на базе биотехнологического предприятия ООО Натуринг (Москва, Россия) в соответствии со стандартами ISO 9001:2015 и 22000:2018, экстракты левзеи сафлоровидной (корневая система), зверобоя продырявленного (побеги) и тимьяна ползучего (побеги) – на биотехнологическом

Таблица 1

**Схема введения растительных экстрактов в комбикорма цыплят-бройлеров**

| Группа | Комбикорм | | |
|---|---|---|---|
| | **Старт (0-10 сут.)** | **Рост (11-22 сут.)** | **Финиш (23-35 сут.)** |
| 1 контроль | – | | |
| 2 опыт | 450 г/т экстракта цикория обыкновенного (*Cichorium intubus* L.) | | 560 г/т экстракта цикория обыкновенного (*Cichorium intubus* L.) |
| 3 опыт | 350 г/т экстракта зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.) | | 430 г/т экстракта зверобоя продырявленного (*Hypericum perforatum* L.) |
| 4 опыт | 170 г/т экстракта левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides* L.) | | 210 г/т экстракта левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides* L.) |
| 5 опыт | 200 г/т экстракта тимьяна ползучего (*Thymus serpyllum* L.) | | 250 г/т экстракта тимьяна ползучего (*Thymus serpyllum* L.) |

Table 1

**Scheme of introduction of plant extracts into mixed feed for broiler chickens**

| Group | Mixed feed | | |
|---|---|---|---|
| | **Starter (0-10 days)** | **Grower (11-22 days)** | **Finisher (23-35 days)** |
| 1st control | – | | |
| 2nd experience | 450 g/t of common chicory extract (*Cichorium intubus* L.) | | 560 g/t of common chicory extract (*Cichorium intubus* L.) |
| 3d experience | 350 g/t of St. John's wort extract (*Hypericum perforatum* L.) | | 430 g/t of St. John's wort extract (*Hypericum perforatum* L.) |
| 4th experience | 170 g/t of lewesia safflower extract (*Rhaponticum carthamoides* L.) | | 210 g/t of lewesia safflower extract (*Rhaponticum carthamoides* L.) |
| 5th experience | 200 g/t of extract thyme (*Thymus serpyllum* L.) | | 250 g/t of extract thyme (*Thymus serpyllum* L.) |

предприятии ООО «Вистерра» (Алтайский край, Россия) в соответствии со стандартом ISO 22000:2005. Экстракты представляют собой сухие мелкодисперсные порошки белого (*C. intubus* L.), светло-коричневого (*H. perforatum* L., *T. serpyllum* L.) и темно-коричневого (*R. carthamoides* L.) цвета.

С целью проведения биохимического мониторинга антиоксидантного статуса цыплят-бройлеров в возрасте 22 суток у 3 цыплят со средней живой массой из каждой группы из подкрыльцовой вены отбирали кровь в пробирки с активатором свертывания, центрифугировали и отделяли сыворотку. Указанный возраст был выбран в связи с окончанием ростовой фазы выращивания цыплят-бройлеров и стабилизацией биохимического состава крови перед последующей сменой рациона.

На базе ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста осуществляли лабораторные исследования сыворотки крови. Для характеристики антиоксидантного статуса птицы определяли такие показатели, как концентрация активных продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-АП), используя при анализе наборы ООО «Агат-Мед» (Россия), ферментативную активность церулоплазмина (ЦП) согласно методу Ревина, суммарную концентрацию водорастворимых антиоксидантов (СКВА) с применением прибора Цвет Яуза-01-АА с детектором (НПО «Химавтоматика», Россия) амперометрическим методом. Дополнительно рассчитывали соотношение ТБК-АП к ЦП.

С целью относительной оценки транскрипционной активности генов, связанных с антиоксидантным профилем птицы, из каждой группы отбирали по 4 особи со средней живой массой по группе. Возраст птицы на момент взятия образцов – 26 суток – был обоснован наиболее интенсивным ростом цыплят в этот период онтогенеза и потенциально более выраженными различиями в транскрипционной активности наиболее функционально значимых генов.

В соответствии с Рекомендацией Коллегии Евразийской экономической комиссии от 14 ноября 2023 г. № 33 «О Руководстве по работе с лабораторными (экспериментальными) животными при проведении доклинических (неклинических) исследований» цыплят подвергали эвтаназии, проводили вскрытие и отбирали образцы тканей печени. С целью предупреждения распада РНК образцы фиксировали с помощью препарата IntactRNA («Евроген», Россия) и хранили до проведения лабораторных исследований при температуре –20°С.

Молекулярные исследования проводили в условиях лаборатории прикладной генетики ФГБНУ ФНЦ «ВНИТИП». В соответствии с принятым протоколом образцы гомогенизировали, проводили лизис клеток и выделяли суммарную РНК с помощью набора RNA Solo («Евроген», Россия). Далее проводили реакцию обратной транскрипции, используя набор Magnus («Евроген», Россия) и амплификатор GeneExplorer GE-96G (Bioer, Китай). Для оценки количества выделенной РНК и синтезированной кДНК использовали флуориметр Fluo-200 (Allsheng, Китай) и набор QuDu ssDNA (Thermo Fisher Scientific, США). Полимеразную цепную реакцию в реальном времени (ПЦР-РВ) осуществляли на амплификаторе QuantStudio 5 (Thermo Fisher Scientific, США), используя в качестве контрольного гена «домашнего хозяйства» *ACTB*. Смесь для ПЦР готовили с применением набора 5X qPCRmix-HS SYBR («Евроген», Россия). Режим амплификации следующий: 3 мин при температуре 95°С (предварительный денатурация); 30 с при 95°С; 30 с при 60°С; 30 с при 72°С (40 циклов). Все этапы молекулярных исследований осуществляли с соблюдением режимов протоколов от производителей наборов реагентов. Для оценки относительной экспрессии генов использовали метод $2^{-\Delta\Delta CT}$ [7]. В таблице 2 представлена нуклеотидная последовательность праймеров, использованных для постановки ПЦР.

Математическая обработка данных была проведена с использованием компьютерной программы Microsoft Excel 2021 с помощью однофакторного дисперсионного анализа и t-критерия Стьюдента. Разность считали достоверной при $p \leq 0,05$.

## Результаты и их обсуждение
## Results and discussion

По результатам выращивания было установлено, что цыплята-бройлеры опытных групп превосходили контроль по сохранности поголовья. Так, значение данного показателя в контрольной группе составило 91,7%, в то время как в опытных группах – 97,2% в группах с включением в комбикорма экстрактов левзеи и тимьяна, 100% – при использовании экстрактов цикория и зверобоя. При скармливании цыплятам экстракта *R. carthamoides* L., стандартизированного на фитостероид экдистен, было установлено превосходство особей опытной группы над контролем на 13,9 и 9,4% в 7 и 14 суток соответственно ($p \leq 0,05$). По результатам заключительного взвешивания не было установлено достоверной разности, однако особи опытной группы имели живую массу на 4,1-7,5% выше, чем при использовании комбикормов без ввода экстрактов. Курочки, получавшие экстракт левзеи, превосходили контрольных на 11,0%. Также следует отметить повышение потребления корма цыплятами опытных групп, что указывает на вероятное удовлетворение вкусовых предпочтений птицы.

В таблице 3 представлены результаты молекулярных исследований по определению транскрипционной активности генов *SOD1* и *PRDX6*.

Известно, что гены семейства *SOD* – ключевые витагены, связанные с антиоксидантной активностью организма, поскольку продукт их экспрессии – фермент супероксиддисмутаза – дисмутирует перекисные радикалы с образованием кислорода и перекиси водорода, которая детоксифицируется в дальнейшем под действием других антиоксидантных ферментов: GSH-Px и CAT [2]. Результаты исследований свидетельствовали о том, что наивысшая экспрессия гена *SOD1* была установлена в тканях печени цыплят-бройлеров 2 опытной группы (экстракт цикория) – в 4,47 раза выше контроля, $p \leq 0,05$. Достоверное повышение транскрипционной активности названного гена было установлено также в 3 опытной группе (экстракт зверобоя) – в 3,53 раза выше контроля, $p \leq 0,01$. Это указывает на витагенстимулирующие свойства растительных экстрактов *C. intubus* L. и *H. perforatum* L., свидетельствуя о возможности их использования в качестве биологически активных добавок с антиоксидантной и стресспротекторной функцией.

Экспрессия гена *PRDX6* в опытных группах относительно контроля несколько повышалась, но изменения не носили достоверного характера. Это может быть связано с низкой чувствительностью экспрессии названного гена по отношению к алиментарным факторам, что определенным образом соответствует гипотезе Han et al. о рассмотрении *PRDX6* в качестве гена «домашнего хозяйства» [9].

Таблица 2

**Нуклеотидная последовательность праймеров**

| Ген | Праймеры | Автор |
|---|---|---|
| *ACTB* (β-актин) | F: CTGTGCCCATCTATGAAGGCTA<br>R: ATTTCTCTCTCGGCTGTGGTG | Лаптев Г.Ю. и др., 2023 [8] |
| *SOD1* (супероксиддисмутаза 1) | F: CGGGCCAGTAAAGGTTACTGGAA<br>R: TGTTGTCTCCAAATTCATGCACATG | |
| *PRDX6* (пероксиредоксин 6) | F: GCATCCGCTTCCACGACTTCCT<br>R: CCGCTCATCCGGGTCCAACAT | |

Table 2

**Nucleotide sequence of primers**

| Gene | Primers | Author |
|---|---|---|
| *ACTB* (β-actin) | F: CTGTGCCCATCTATGAAGGCTA<br>R: ATTTCTCTCTCGGCTGTGGTG | Laptev G. Yu. et al., 2023 [8] |
| *SOD1* (superoxide dismutase 1) | F: CGGGCCAGTAAAGGTTACTGGAA<br>R: TGTTGTCTCCAAATTCATGCACATG | |
| *PRDX6* (peroxiredoxin 6) | F: GCATCCGCTTCCACGACTTCCT<br>R: CCGCTCATCCGGGTCCAACAT | |

Таблица 3

**Тепловая карта экспрессии генов, связанных с антиоксидантной защитой организма, у цыплят-бройлеров, n = 4, 26 сут.**

| Ген | Группа | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 контроль | 2 опыт | 3 опыт | 4 опыт | 5 опыт |
| SOD1 | – | ↑* | ↑** | ↑ | ↑ |
| 2–ΔΔCT, OE | 1,00 | 4,47 | 3,53 | 2,63 | 2,00 |
| Cv, % | – | 54,2 | 23,8 | 51,1 | 80,1 |
| PRDX6 | – | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| 2–ΔΔCT, OE | 1,00 | 2,12 | 1,56 | 8,84 | 2,52 |
| Cv, % | – | 100,2 | 138,0 | 90,8 | 70,9 |

*, ** – Разность достоверна по отношению к контролю при p≤0,05, p≤0,01.

Table 3

**Heat map of expression of genes related to antioxidant defence in broiler chickens, n=4, 26 days old**

| Gene | Group | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1st control | 2nd experience | 3d experience | 4th experience | 5th experience |
| SOD1 | – | ↑* | ↑** | ↑ | ↑ |
| 2–ΔΔCT, OE | 1.00 | 4.47 | 3.53 | 2.63 | 2.00 |
| Cv, % | – | 54.2 | 23.8 | 51.1 | 80.1 |
| PRDX6 | – | ↑ | ↑ | ↑ | ↑ |
| 2–ΔΔCT, OE | 1.00 | 2.12 | 1.56 | 8.84 | 2.52 |
| Cv, % | – | 100.2 | 138.0 | 90.8 | 70.9 |

*, ** – difference is reliable in relation to control at p≤0.05, p≤0.01

Использование в питании цыплят-бройлеров экстрактов левзеи сафлоровидной и тимьяна ползучего не привело к достоверным изменениям транскрипционной активности рассматриваемых витагенов.

Результаты нутригеномного анализа в определенной мере подтверждались итогами биохимического исследования, показатели которого представлены в таблице 4.

Суммарная концентрация водорастворимых антиоксидантов – интегральный показатель, представляющий собой один из наиболее информативных маркеров уровня антиоксидантной защиты и состояния перекисного окисления липидов в сыворотке крови [10]. Церулоплазмин – один из ключевых нейтрализаторов внеклеточных свободных радикалов, обеспечивающий специфическое ингибирование повреждения различных биологических соединений [11]. Медь и железо в составе церулоплазмина способствуют остановке окислительных реакций в организме, предотвращая накопление оксидантов [12]. Несмотря на отсутствие достоверных различий между группами по данным показателям, следует отметить, что в 3 опытной группе, цыплятам которой скармливали экстракт *H. perforatum* L., значения были наименьшими. Вероятно, это может объясняться высокой антиоксидантной активностью печени, установленной по результатам анализа экспрессии гена *SOD*, обусловливающей отсутствие необходимости в дополнительных механизмах антиокислительной защиты организма птицы. На это указывает, в том числе, наименьшая вариабельность показателей АОЗ в 3 группе: Cv (коэффициент вариации) экспрессии *SOD* составил 23,8%, в то время как в других опытных – 51,1-80,1%, Cv по показателю СКВА в 3 группе – 6,8%, при значениях 15,3-40,1% в других, контрольной и опытных, группах.

Таблица 4

**Показатели антиоксидантной защиты сыворотки крови цыплят-бройлеров, n = 3, 22 сут.**

| Показатель | Группа | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 контроль | 2 опыт | 3 опыт | 4 опыт | 5 опыт |
| СКВА, мг/л | 26,0±6,01 | 33,0±5,70 | 20,6±0,81 | 20,7±1,83 | 35,4±6,00 |
| Церулоплазмин, мг/л | 56,0±0,58 | 81,7±18,32 | 49,3±3,18 | 51,7±1,76 | 62,7±4,91 |
| ТБК-АП, мкМоль/л | 2,8±0,10 | 3,3±0,41 | 3,0±0,36 | 3,3±0,39 | 3,1±0,23 |
| ЦП / ТБК-АП | 20,3±0,89 | 24,3±3,09 | 16,6±0,89* | 16,2±1,34 | 20,1±1,94 |

* – разность достоверна по отношению к контролю при p≤0,05; СКВА – суммарная концентрация водорастворимых антиоксидантов; ТБК-АП – активные продукты, реагирующие с тиобарбитуровой кислотой; ЦП / ТБК-АП – отношение концентрации церулоплазмина к содержанию активных продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой.

Table 4

**Indicators of antioxidant defence of blood serum of broiler chickens, n=3, 22 days old**

| Indicator | Group | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1st control | 2nd experience | 3d experience | 4th experience | 5th experience |
| TCWA, mg/l | 26,0±6,01 | 33,0±5,70 | 20,6±0,81 | 20,7±1,83 | 35,4±6,00 |
| Ceruloplasmin, mg/l | 56,0±0,58 | 81,7±18,32 | 49,3±3,18 | 51,7±1,76 | 62,7±4,91 |
| TBA-AP, μMol/L | 2,8±0,10 | 3,3±0,41 | 3,0±0,36 | 3,3±0,39 | 3,1±0,23 |
| CP / TBA-AP | 20,3±0,89 | 24,3±3,09 | 16,6±0,89* | 16,2±1,34 | 20,1±1,94 |

* – difference is reliable in relation to control at p≤0.05; TCWA – total concentration of water-soluble antioxidants; TBA-AP – active products reacting with thiobarbituric acid; CP / TBA-AP – ratio of ceruloplasmin concentration to the content of active products reacting with thiobarbituric acid

Данная гипотеза также определенным образом подтверждается результатами определения концентрации активных продуктов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой, которая в 3 группе была минимальной в сравнении с другими опытными. Реакция с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) используется для оценки состояния перекисного окисления липидов и основана на способности ТБК реагировать с малоновым диальдегидом (МДА) – низкомолекулярным соединением, представляющим промежуточный продукт энзиматического окисления арахидоновой кислоты и конечный продукт окислительной деградации липидов [11]. Рассматривая опытные группы в сравнении, также отметили наименьшую концентрацию ТБК-АП в 3 группе, что указывает на эффективные механизмы борьбы организма птицы со свободными радикалами и перекисным окислением липидов, индуцируемые биологически активными соединениями экстракта *H. perforatum* L. Факт наибольшего содержания ТБК-АП в опытных группах относительно контроля, вероятно, связан с наиболее интенсивным липидным метаболизмом и отложением жира у цыплят, получающих фитобиотики, по сравнению с контрольными аналогами, что было установлено нами ранее [13].

Вышеизложенное подтверждается значением расчетного показателя отношения церулоплазмина к продуктам, реагирующим с тиобарбитуровой кислотой, которое в 3 опытной группе было на 18,2% ниже, чем в контроле (p≤0,05).

Во 2 опытной группе несмотря на то, что экспрессия *SOD* была выше контроля, содержание СКВА и церулоплазмина также увеличивались, в то время как концентрация ТБК-АП была наивысшей. Вероятно, это связано с тем, что активация экспрессии гена *SOD* в этой группе происходила под влиянием микробиоты кишечника, состав которой стабилизировался под действием инулина. Об активации витагенов микроорганизмами ЖКТ сообщалось в исследованиях П.Ф. Сурая [5]. Таким образом, организм птицы 2 группы нуждался как в активности антиоксидантных ферментов, кодируемых описанными

витагенами, так и в действии прочих антиоксидантных соединений. Биологически активные компоненты экстракта *Hypericum perforatum* L. – флавоноиды – действовали на транскрипционную активность *SOD* не опосредованно, а напрямую.

## Выводы
## Conclusions

Таким образом, экстракт зверобоя продырявленного (*H. perforatum* L.), стандартизированный на флавоноиды, проявляет витагенстимулирующий эффект, повышая активность гена *SOD*, позволяя ограничить использование организмом других физиологических механизмов борьбы со свободными радикалами. Экстракт цикория обыкновенного (*C. intubus* L.) также способствовал росту транскрипционной активности гена *SOD*, однако это влияние было менее выраженным и не подтверждалось результатами биохимической оценки антиоксидантного статуса цыплят-бройлеров. Полученные данные могут являться нутригеномным обоснованием при разработке состава новой фитокомбинации, в которой экстракт *H. perforatum* L. будет служить ключевым антиоксидантным компонентом.

## Список источников

1. Мифтахутдинов А.В., Сайфульмулюков Э.Р. Научное обоснование и реализация комплексного подхода к фармакологической профилактике технологических стрессов в промышленном птицеводстве // *Достижения науки и техники АПК*. 2023. Т. 37, № 12. С. 32-38. https://doi.org/ 10.53859/02352451_2023_37_12_32

2. Сурай П.Ф., Кочиш И.И., Фисинин В.И., Грозина А.А. и др. *Молекулярные механизмы поддержания здоровья кишечника птицы*: *роль микробиоты*: Монография. Москва: «Сельскохозяйственные технологии», 2018. 344 с. EDN: YUFGIH

3. Kouvedaki I., Pappas A.C., Surai P.F., Zoidis E. Nutrigenomics of Natural Antioxidants in Broilers. *Antioxidants*. 2024;13:270. https://doi.org/10.3390/antiox13030270

4. Багно О.А., Прохоров О.Н., Шевченко С.А., Шевченко А.И. и др. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53, № 4. С. 687-697. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus

5. Егоров И.А., Манукян В.А., Ленкова Т.Н., Околелова Т.М. и др. *Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы. Молекулярно-генетические методы определения микрофлоры кишечника*: Учебное пособие. Сергиев Посад: Весь Сергиев Посад, 2013. 51 с. EDN: SDOKYP

6. Ефимов Д.Н., Егорова А.В., Емануйлова Ж.В., Иванов А.В. и др. *Руководство по работе с птицей мясного кросса «Смена 9» с аутосексной материнской родительской формой (племенная работа; инкубация яиц; технология выращивания, содержания; кормление; здоровье и биобезопасность)*: Методические указания. Сергиев Посад: Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской академии наук, 2021. 95 с. EDN: AJBTFN

7. Livak K.J., Schmittgen T.D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta CT}$ method. *Methods*. 2001;25(4):402-408. https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262

8. Лаптев Г.Ю., Йылдырым Е.А., Ильина Л.А., Филиппова В.А. и др. Экспрессия генов иммунитета и адаптации и состав микробиома у родительского поголовья

## References

1. Miftakhutdinov A.V., Saifulmulyukov E.R. Scientific substantiation and implementation of an integrated approach to pharmacological prevention of technological stress in industrial poultry farming. *Achievements of Science and Technology in the Agro-Industrial Complex*. 2023;37(12):32-38. (In Russ.) https://doi.org/10.53859/02352451_2023_37_12_32

2. Surai P.F., Kochish I.I., Fisinin V.I. et al. *Molecular mechanisms for maintaining poultry intestinal health*: *the role of the microbiota*: a monograph. Moscow, Russia: Selskohozyaystvennye tekhnologii, 2018:344. (In Russ.)

3. Kouvedaki I., Pappas A.C., Surai P.F. et al. Nutrigenomics of Natural Antioxidants in Broilers. *Antioxidants*. 2024;13:270. https://doi.org/10.3390/antiox13030270

4. Bagno O.A., Prokhorov O.N., Shevchenko S.A. et al. Use of phytobiotics in farm animal feeding. *Agricultural Biology*. 2018;53(4):687-697. (In Russ.) https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus

5. Egorov I.A., Manukyan V.A., Lenkova T.N. et al. *Methodology of scientific and production research on poultry feeding. Molecular-genetic methods of intestinal microflora determination*: a training manual. Sergiev Posad, Russia: Ves' Sergiev Posad, 2013:51. (In Russ.)

6. Efimov D.N., Egorova A.V., Emanuilova Z.V. et al. *Manual on work with poultry of meat cross 'Smena 9' with autosex maternal parental form*: *(breeding work; egg incubation; technology of growing, housing; feeding; health and biosafety)*: methodological guidelines. Sergiev Posad, Russia: Federalniy nauchniy tsentr "Vserossiyskiy nauchno-issledovatelskiy i tekhnologicheskiy institut ptitsevodstva" Rossiyskoy akademii nauk, 2021:95. (In Russ.)

7. Livak K.J., Schmittgen T.D. Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the $2^{-\Delta\Delta CT}$ method. *Methods*. 2001;25(4):402-408. https://doi.org/10.1006/meth.2001.1262

8. Laptev G.Yu., Yildirim E.A., Ilyina L.A. et al. Expression of genes of immune response and adaptation and cecal microbiome composition in males and females of chickens

кур и петухов (*Gallus gallus* L.) линий СМ5 и СМ9 кросса Смена 9 // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58, № 2. С. 313-332. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.313rus

9. Han J.Y., Song K.D., Shin J.H., Han B.K. et al. Identification and Characterization of the Peroxiredoxin Gene Family in Chickens. *Poultry Science*. 2005;84:1432-1438. https://doi.org/10.1093/ps/84.9.1432

10. Боголюбова Н.В. Некоторые аспекты антиоксидантной защиты в организме молодняка крупного рогатого скота // *Аграрная наука*. 2023. Т. 370, № 5. С. 38-41. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-38-41

11. Боголюбова Н.В., Некрасов Р.В., Никанова Д.А. и др. Биохимические и молекулярно-генетические индикаторы антиоксидантной защиты и иммунитета у петушков (*Gallus gallus domesticus*) разных генотипов // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58, № 4. С. 669-684. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.4.669rus

12. Савина А.А., Воронина О.А., Зайцев С.Ю. Сезонные закономерности изменения антиоксидантных и микроэлементных параметров молока коров черно-пестрой породы // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2023. Т. 24, № 5. С. 858-567. https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.858-867

13. Selionova M.I., Trukhachev V.I., Zagarin A.Yu., Kulikov E.I. et al. Expression of Genes Related to Meat Productivity, Metabolic and Morphological Significance of Broiler Chickens with the Use of Nutritional Phytochemicals. *Animals*. 2024;14:2958. https://doi.org/10.3390/ani14202958

(*Gallus gallus* L.) in CM5 and CM9 preparental lines of Smena 9 cross. *Agricultural Biology*. 2023:58(2):313-332. (In Russ.) https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.313rus

9. Han J.Y., Song K.D., Shin J.H. et al. Identification and Characterization of the Peroxiredoxin Gene Family in Chickens. *Poultry Science*. 2005;84:1432-1438. https://doi.org/10.1093/ps/84.9.1432

10. Bogolyubova N.V. Some aspects of antioxidant protection in the body of young cattle. *Agrarian Science*. 2023;370(5):38-41. (In Russ.) https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-370-5-38-41

11. Bogolyubova N.V., Nekrasov R.V., Nikanova D.A. et al. Biochemical and molecular genetic indicators of antioxidant protection and immunity in mail chicks (*Gallus gallus domesticus*) of different genotypes. *Agricultural biology*. 2023;58(4):669-684. (In Russ.) https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.4.669rus

12. Savina A.A., Voronina O.A., Zaitsev S.Yu. Seasonal patterns of changes in antioxidant and microelement parameters of milk from black-and-white cows. *Agrarian Science Euro-North-East*. 2023;24(5):858-567. (In Russ.) https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.858-867

13. Selionova M.I., Trukhachev V.I., Zagarin A.Yu. *et al.* Expression of Genes Related to Meat Productivity, Metabolic and Morphological Significance of Broiler Chickens with the Use of Nutritional Phytochemicals. *Animals*. 2024;14:2958. https://doi.org/10.3390/ani14202958

## Сведения об авторах

**Марина Ивановна Селионова,** проректор по научной работе, профессор кафедры разведения, генетики и биотехнологии животных, доктор биологических наук, профессор РАН, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49; selionova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-9501-8080

**Артем Юрьевич Загарин,** аспирант, ассистент кафедры разведения, генетики и биотехнологии животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49; azagarin@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-3782-3903

**Егор Игоревич Куликов,** аспирант, заведующий лабораторией прикладной генетики, Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства; 141311, Российская Федерация, Сергиев Посад, ул. Птицеградская, 10; kulikovegor33@yandex.ru; https://orcid.org/0000-0001-5553-4454

## Information about the authors

**Marina I. Selionova,** DSc (Bio), Professor of the Russian Academy of Sciences, Vice Rector for Research, Professor at the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: selionova@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-9501-8080

**Artem Yu. Zagarin,** postgraduate student, Assistant at the Department of Animal Breeding, Genetics and Biotechnology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: azagarin@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0002-3782-3903

**Egor I. Kulikov,** postgraduate student, Head of the Laboratory of Applied Genetics, Federal Scientific Center “All-Russian Research and Technological Poultry Institute” (10, Ptitsegradskaya St., Sergiev Posad, 141311, Russian Federation); e-mail: kulikovegor33@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-5553-4454

Статья поступила в редакцию 21.10.2024
Одобрена после рецензирования 10.12.2024
Принята к публикации 20.12.2024

The article was submitted to the editorial office October 21, 2024
Approved after reviewing December 10, 2024
Accepted for publication December 20, 2024

**ГЕНЕТИКА**

Обзорная статья
УДК 602.6:577.34:581.1:62-52:629.78
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-15-29

# Применение генной инженерии для повышения радиоустойчивости растений в условиях космических полетов

**Ирина Викторовна Чувинова, Валерия Владимировна Белова**

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Тамбов, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Валерия Владимировна Белова; vuz.lera@yandex.ru

**Аннотация**
В статье приведено потенциальное решение проблемы повышения радиоустойчивости растений при их взаимодействии с галактической космической радиацией путем переноса прокариотических генов ферментов репарации ДНК и регуляторных генов путей репарации в растения. В частности, рассматривается возможность использования *Deinococcus radiodurans* в качестве донора необходимых генов ввиду высокой радиорезистентности данной бактерии. Нами предлагается применить для этой цели несколько генов *D. radiodurans* (uvrD, irrE и pprM) по причине наличия положительного опыта их использования. Использование гена irrE для трансформации растений уже доказано, тогда как применение генов uvrD и pprM нуждается в дополнительных исследованиях по причине наличия опытов только на прокариотах. Вместе с тем нужно отметить, что среди растительных белков существуют гомологи UvrD-хеликазы *Escherichia coli*, при этом растительные гомологи этого фермента содержат такие же консервативные домены, что и бактериальная UvrD-хеликаза. Это может облегчить работу данного прокариотического белка, который будет синтезироваться в растениях, полученных путем генной инженерии. Ввиду преобладающего негативного влияния космического излучения на растения, использование данного метода является многообещающим и открывает новые возможности для создания устойчивых к данному фактору сортов.

**Ключевые слова**
генная инженерия, горизонтальный перенос генов, Deinococcus radiodurans, Escherichia coli, космическая радиация, радиоустойчивость растений

**Для цитирования**
Чувинова И.В., Белова В.В. Применение генной инженерии для повышения радиоустойчивости растений в условиях космических полетов // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 15-29. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-15-29

**GENETICS**

Review article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-15-29

# Use of genetic engineering to improve radio tolerance of plants under space flight conditions

**Irina V. Chuvinova, Valeria V. Belova**

Derzhavin Tambov State University, Tambov, Russia

**Corresponding author:** Valeria V. Belova; vuz.lera@yandex.ru

**Abstract**
The article presents a potential solution to the problem of increasing the radiation resistance of plants in their interaction with galactic cosmic radiation by transferring prokaryotic genes of DNA repair enzymes and regulatory genes of repair pathways into plants. In particular, the possibility of using *Deinococcus radiodurans* as a donor of the necessary genes is being considered due to the high radioresistance of this bacterium. We propose to apply several *D. radiodurans* genes (uvrD, irrE and pprM) for this purpose due to the positive experience of their use. The use of the irrE gene for plant transformation has already been proven, while the use of the uvrD and pprM genes requires additional research due to the presence of experiments only on prokaryotes. At the same time, it should be noted that among plant proteins there are homologues of Escherichia coli UvrD helicase, while plant homologues of this enzyme contain the same conserved

domains as bacterial UvrD helicase. This can facilitate the work of this prokaryotic protein, which will be synthesized in plants obtained by genetic engineering. Due to the prevailing negative effects of cosmic radiation on plants, the use of this method is promising and opens up new opportunities for creating varieties resistant to this factor.

**Keywords**
genetic engineering, horizontal gene transfer, Deinococcus radiodurans, Escherichia coli, cosmic radiation, radiation resistance of plants

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

**For citation**
Chuvinova I.V., Belova V.V. Use of genetic engineering to improve radio tolerance of plants under space flight conditions. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):15-29. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-15-29

## Введение
## Introduction

Космическая радиация состоит из потока элементарных частиц (электронов, протонов), фотонов (рентгеновское и гамма-излучение), а также ядер атомов [1]. Как известно, гамма-излучение обладает мутагенным действием [2]. Вследствие этого в условиях космических полетов возникает необходимость защиты организмов от его действия. В частности, растения на орбитальных станциях, используемые в пищу космонавтами в целях обогащения рациона витаминами и микроэлементами, также подвергаются воздействию космической радиации. Результатом такого воздействия являются различные генетические нарушения, приводящие к снижению жизнедеятельности [2]. Поэтому повышение радиоустойчивости растений является востребованным решением данной проблемы.

Если в растении отсутствует врожденная склонность к радиоустойчивости, то ее можно «перенести» из другого организма. Это позволяет сделать генная инженерия, благодаря которой можно осуществить горизонтальный перенос генов между организмами, даже далеко отстоящих друг от друга в систематическом отношении.

Из мира микроорганизмов хорошо известна своей радиоустойчивостью бактерия *Deinococcus radiodurans* [3, 4], что позволяет использовать ее в качестве донора необходимых генов. Известны как видоспецифичные, так и консервативные белки репарации *D. radiodurans*, а также кодирующие их гены [3].

К настоящему времени имеются проработанные методы генной инженерии растений, позволяющие, в частности, перенести чужеродные гены прокариот в растительную клетку (рис. 1) [5]. Наиболее распространенными методами являются применение векторов на основе Ti-плазмид агробактерий и биобаллистика [5].


**Рис. 1.** Методы генной инженерии растений

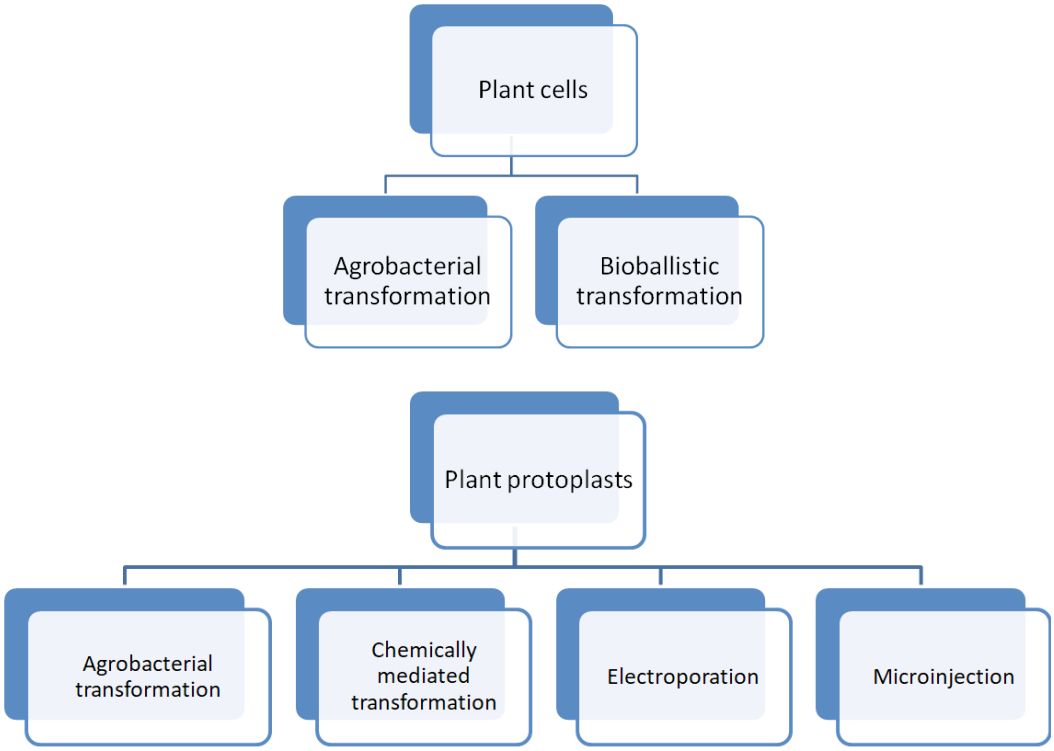



**Fig. 1.** Methods of plant genetic engineering

Об эффективности данных методов свидетельствует доказанная в ходе опытов возможность создания съедобных вакцин [6, 7] путем экспрессии бактериальных антигенов генномодифицированными растениями (табл. 1). Мы остановимся на бактериальных инфекциях (хотя имеются и растительные вакцины против вирусных заболеваний), так как нас интересует считывание генов прокариот в эукариотических организмах.

Можно предположить, что таким же образом удастся перенести прокариотические гены радиоустойчивости в растительную клетку. Это приведет к более высокой выживаемости растений в условиях космических полетов.

**Цель исследований:** обосновать возможность переноса генов ферментов репарации и генов регуляции путей репарации *D. radiodurans* в растения с целью повышения их радиоустойчивости.

Задачи исследования:

1. Собрать данные о переносе генов ферментов репарации и генов регуляции путей репарации *D. radiodurans* в другие организмы.

2. Систематизировать информацию о реакциях растений на космическую радиацию.

Таблица 1

**Пероральные (съедобные) вакцины растительного происхождения**

| № | Возбудитель и заболевание, которое он вызывает | Растительная экспрессионная система | Источник |
|---|---|---|---|
| 1 | *Mycobacterium tuberculosis* (туберкулез) | Резуховидка Таля (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) | [6] |
| | | Салат-латук (*Lactuca sativa* L.) | |
| | | Морковь посевная (*Daucus carota subsp. sativus* (Hoffm.) Schübl. & G. Martens) | |
| 2 | *Clostridium tetani* (столбняк) | Картофель (*Solanum tuberosum* L.) | [7] |
| 3 | *Corynebacterium diphtheria* (дифтерия) | Картофель (*Solanum tuberosum* L.) | [7] |
| 4 | *Escherichia coli* (энтерит) | Картофель *(Solanum tuberosum* L.) | [7] |
| | | Рис посевной (*Oryza sativa* L.) | |
| | | Салат-латук (*Lactuca sativa* L.) | |

Table 1

**Peroral (eatable) vaccines of plant origin**

| № | Pathogen and disease caused by it | Plant expression system | Source |
|---|---|---|---|
| 1 | *Mycobacterium tuberculosis* (tuberculosis) | Arabidopsis (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) | [6] |
| | | Lettuce (*Lactuca sativa* L.) | |
| | | Carrot (*Daucus carota subsp. sativus* (Hoffm.) Schübl. & G. Martens) | |
| 2 | *Clostridium tetani* (tetanus) | Potato (*Solanum tuberosum* L.) | [7] |
| 3 | *Corynebacterium diphtheria* (diphtheria) | Potato (*Solanum tuberosum* L.) | [7] |
| 4 | *Escherichia coli* (enteritis) | Potato (*Solanum tuberosum* L.) | [7] |
| | | Rice (*Oryza sativa* L.) | |
| | | Lettuce (*Lactuca sativa* L.) | |

## Методика исследований
## Research method

Для поиска научной информации по теме исследований использовались 3 базы данных. Среди них к русскоязычным относились eLibrary.ru (https://www/elibrary.ru/defauitx.asp?) и Cyberleninka (https://cyberleninka.ru/), а к англоязычным – PubMed (https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/). Поиск осуществляли по следующим ключевым словосочетаниям: «гены радиоустойчивости микроорганизмов», «гены радиоустойчивости бактерий», «влияние космической радиации на растения в условиях космических полетов», «влияние космической радиации на растения».

*Критериями для отбора* публикаций служили соответствие теме исследований, наличие ключевых слов в тексте публикации, полнота раскрытия нужных для исследований сведений. Не рассматривались тезисы докладов на конференциях, диссертации и их авторефераты, а также публикации без doi.

Ход отбора данных представлен в таблице 2.

По результатам отбора в список литературы было включено 25 публикаций по теме исследований. Среди них 13 публикаций приходилось на eLibrary.ru, 10 публикаций – на PubMed, 2 публикации – на Cyberleninka.

## Результаты и их обсуждение
## Results and discussion

*Deinococcus radiodurans* – это непатогенная мезофильная аэробная грамположительная бактерия, не образующая споры [3]. Клетки кокковидной формы формируют диады и тетрады. Колонии имеют розовый цвет. Была выявлена уникальная способность культуры *D. radiodurans* переносить высокие дозы ионизирующей радиации без гибели клеток. Так, эта бактерия выживает при облучении в дозе 10 000 Гр, что превосходит радиорезистентность культуры клеток *Escherichia coli* в 30 раз, а культуры клеток человека – в 1000 раз. Впервые клетки *D. radiodurans* были выделены из мясных консервов, стерилизованных ионизирующим излучением в дозе 15 000 Гр [4]. Радиоустойчивость клеток D. radiodurans связана с наличием как особых (видоспецифичных) ферментов репарации ДНК, так и классических бактериальных систем репарации (табл. 3) [3, 4]. Было отмечено, что видоспецифичные ферменты репарации повышают стрессоустойчивость клеток *D. radiodurans*, а классические ферменты имеют некоторые отличия.

После открытия этой бактерии появились перспективы встраивания ее уникальных генов радиоустойчивости в другие организмы. Так, в русскоязычных источниках представлена серия опытов по переносу генов ферментов репарации ДНК (recA и uvrD) из *D. radiodurans* в *E. coli*. В случае с транспортом гена recA эксперименты потерпели неудачу.

По данным И.В. Бахлановой с соавт. [8], включенный в плазмидный вектор ген recA *D. radiodurans* не способен полностью заменить собой гомологичный ген recA из *E. coli* по причине сильного ферментативного контроля своей работы. Как предполагают авторы статьи, это объясняется тем, что ген recA *D. radiodurans* имеет отличный от своего гомолога механизм репарации, к которому не приспособлены энзиматические системы *E. coli*. Это подтверждает работа, опубликованная позднее [10].

По данным В.Н. Вербенко с соавт. [9], при переносе плазмид pKS5 и pKSrec30, несущих, соответственно, аллель дикого типа и мутантный аллель гена recA *D. radiodurans* под контролем лактозного промотора в клетки *E. coli* с делецией генов recA и SSB, наблюдается некоторое восстановление радиоустойчивости клеток *E. coli*. Однако радиозащитный эффект этих плазмид

Таблица 2

**Схема отбора данных для исследований**

| Поисковый запрос | Ключевые слова | Период | Общее число результатов | Включено в список источников | Дубликаты |
|---|---|---|---|---|---|
| **Запрос данных в eLibrary.ru** | | | | | |
| № 1 | гены радиоустойчивости микроорганизмов | за все время | 130 | 3 | 0 |
| № 2 | гены радиоустойчивости бактерий | за все время | 153 | 2 | От запроса № 1: 3 |
| № 3 | влияние космической радиации на растения в условиях космических полетов | за все время | 1199 | 7 | 0 |
| № 4 | влияние космической радиации на растения | за все время | 4469 | 1 | От запроса № 3: 6 |
| **Запрос данных в Cyberleninka** | | | | | |
| № 1 | гены радиоустойчивости микроорганизмов | за все время | 3 | 0 | От запроса № 1 и № 2 в eLibrary: 1 |
| № 2 | гены радиоустойчивости бактерий | за все время | 5 | 0 | От запроса № 1 и № 2 в eLibrary: 1 |
| № 3 | влияние космической радиации на растения в условиях космических полетов | за все время | 114 | 2 | От запроса № 3 и № 4 в eLibrary: 2 |
| № 4 | влияние космической радиации на растения | за все время | 836 | 0 | От запроса № 3 в Cyberleninka**:** 1; От запроса № 3 и № 4 в eLibrary: 2 |
| **Запрос данных в PubMed** | | | | | |
| № 1 | genes of radioresistance of microorganisms **Направление:** transfer *of D. radiodurans genes* to other organisms | 2000-2025 | 12 | 1 | 0 |
| № 2 | bacterial radioresistance genes **Направление:** transfer *of D. radiodurans genes* to other organisms | 2000-2025 | 84 | 6 | 0 |
| № 3 | influence of cosmic radiation on plants in space flights | 2000-2025 | 6 | 0 | 0 |
| № 4 | influence of cosmic radiation on plants | 2000-2025 | 58 | 3 | 0 |

Table 2

**Data selection scheme for the research**

| Search query | Keywords | Period | Total number of results | Included in the list of sources | Duplicates |
|---|---|---|---|---|---|
| **Request data in eLibrary.ru** | | | | | |
| No1 | genes of radioresistance of microorganisms | for all time | 130 | 3 | 0 |
| No2 | bacterial radioresistance genes | for all time | 153 | 2 | From request No1: 3 |
| No3 | influence of cosmic radiation on plants in space flights | for all time | 1199 | 7 | 0 |
| No4 | influence of cosmic radiation on plants | for all time | 4469 | 1 | From request No3: 6 |
| **Request data in Cyberleninka** | | | | | |
| No1 | genes of radioresistance of microorganisms | for all time | 3 | 0 | From request No1 and No2 in eLibrary: 1 |
| No2 | bacterial radioresistance genes | for all time | 5 | 0 | From request No1 and No2 in eLibrary: 1 |
| No3 | influence of cosmic radiation on plants in space flights | for all time | 114 | 2 | From request No3 and No4 in eLibrary: 2 |
| No4 | influence of cosmic radiation on plants | for all time | 836 | 0 | From request No3 in Cyberleninka**:** 1; From request No3 and No4 in eLibrary: 2 |
| **Request data in PubMed** | | | | | |
| No1 | genes of radioresistance of microorganisms **Direction:** transfer *of D. radiodurans genes* to other organisms | 2000-2025 | 12 | 1 | 0 |
| No2 | bacterial radioresistance genes **Direction:** transfer *of D. radiodurans genes* to other organisms | 2000-2025 | 84 | 6 | 0 |
| No3 | influence of cosmic radiation on plants in space flights | 2000-2025 | 6 | 0 | 0 |
| No4 | influence of cosmic radiation on plants | 2000-2025 | 58 | 3 | 0 |

не превышал 1.25 при переносе в клетки делеционных мутантов по гену recA и не выходил на уровень дикого типа AB1157. Также низкую восстановительную способность данные плазмиды проявили при встраивании в геном штамма *E. coli* с неправильно функционирующим белком SSB. В этом случае радиозащитный эффект составил только 1.13. В качестве контроля использовалась плазмида pUC19-recA1.1 с геном recA *E. coli*. Радиозащитный эффект этой плазмиды составил 8.17 для делеционных мутантов *E. coli* по гену recA и почти был равен дикому типу. Следовательно, эта плазмида вносила больший вклад в повышение радиоустойчивости по сравнению с остальными, несущими гомологичный ген recA *D. radiodurans*. Таким образом, в проведенном опыте было доказано отсутствие вклада гена RecA *D. radiodurans* в повышение радиоустойчивости *E. coli*.

Вторая серия опытов по переносу гена uvrD дала положительные результаты. Ген uvrD кодирует репаративную ДНК-геликазу II. Как известно, геликаза II участвует в эксцизионной и рекомбинационной репарации, удалении неправильно спаренных оснований, а также в репликации [3, 10]. Этот фермент «сшивает» двунитевые разрывы ДНК путем образования комплементарных пар нуклеотидов, что повышает устойчивость организма к различным мутагенным факторам среды [10].

Результаты эксперимента, приведенного в работе [10], доказали стабильную работу гена uvrD

*D. radiodurans* в *E. coli*. В данном опыте клетки *E. coli* с удаленными генами uvrD, helD и rep, кодирующими, соответственно, репаративную геликазу II, геликазу IV и репликативную геликазу Rep, восстанавливали способность к репарации повреждений ДНК, вызванных ультрафиолетовым светом и гамма-лучами, в случае встраивания в их геном плазмиды pCR2.1-uvrD+, несущий гомологичный ген uvrD *D. radiodurans*. Способность к радиоустойчивости была сопоставима с таковой у дикого типа AB1157 с функционирующим геном uvrD. Следовательно, перенос гена uvrD *D. radiodurans* в клетки *E. coli* является не только осуществимым, но и функционально выгодным.

Обоснование возможности работы в растительном организме гена UvrD-хеликазы, выделенного из бактерий, имеется в работе [11]. В растениях (на примере резуховидки Таля (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.) и риса посевного (*Oryza sativa* L.) были обнаружены гомологи бактериального фермента репарации UvrD, полученного из *Escherichia coli*

Таблица 3

**Белки репарации *D. radiodurans***

| Гомологичные с E. coli белки репарации | Уникальные белки репарации |
|---|---|
| RecA *D. radiodurans* лучше присоединяется к двуцепочечной ДНК, чем к одноцепочечной (в отличие от гомологичного белка в E. coli). Это позволяет успешнее устранить большое число двуцепочечных разрывов ДНК. | RadA – гомолог RecA. Он участвует в гомологичной рекомбинации, однако не может заменять RecA в этом процессе. Повышает устойчивость клеток к ионизирующему излучению. |
| RecJ – экзонуклеаза, укорачивающая 5’-конец ДНК. Делеция гена recJ приводит к гибели клеток D. radiodurans. | RecD2, RecG, DR1572 – хеликазы, функции которых пока достаточно не изучены. |
| UvrD – хеликаза, гомологичная RecQ в E.coli. При повреждении ДНК эта хеликаза расплетает двойную спираль ближе к месту разрыва. В отличие от своего гомолога может работать в двух противоположных направлениях (начиная как от 3’-конца, так и от 5’-конца). Помимо гомологичной репарации, принимает участие в эксцизионной и пострепликативной репарациях. | Pol X активируется в присутствии ионов Mn, которые клетка накапливает при стрессе. Pol X обладает экзонуклеазной активностью, что позволяет удалять участки ДНК, образующие «шпильки» и межцепочечные сшивки. |
| Pol I и Pol III *D. radiodurans* выполняют такую же функцию, что и их гомологи в E.coli. Они участвуют в удалении разрывов ДНК, тем самым уменьшая чувствительность клеток к облучению. Важным отличием является зависимость действия Pol I от ионов Mn, накапливаемых клетками D. radiodurans при стрессе. Работа Pol III также имеет некоторые особенности. Так, на внутренней поверхности двух субъединиц Pol III наблюдается приблизительно равная концентрация положительных и отрицательных аминокислотных остатков, что уменьшает взаимное притяжение двух субъединиц и облегчает скольжение Pol III по ДНК. Комплекс sbcCD удаляет участки ДНК, образующие межцепочечные сшивки и «шпильки». | PprA (ген pprA) устраняет двунитевые разрывы ДНК путем присоединения к концевым участкам двуцепочечной ДНК. |
| MutS1, MutL и UvrD принимают участие в устранении ошибочно спаренных оснований. | DdrA (ген ddrA) участвует в гомологичной рекомбинации ДНК, связывается с одноцепочечной ДНК (присоединяется к ее 3’-концу), препятствуя разрушению ДНК. DdrB (ген ddrB) является SSB-белком, сшивает двунитевые разрывы ДНК, связывается с одноцепочечной ДНК. DdrD (ген ddrD) отвечает за устойчивость к ультрафиолетовому облучению. |
| Белки, кодируемые генами ygiD и yeaZ, участвуют в удалении межцепочечных сшивок благодаря экзонуклеазным и хеликазным свойствам. | |
| | Белок UvsE является эндонуклеазой, активируемой ионами Mn. UvsE принимает участие в эксцизионной репарации. Эта эндонуклеаза устраняет пиримидиновые димеры, возникающие при ультрафиолетовом облучении. |
| | Потеря генов, кодирующих уникальные для *D. radiodurans* белки репарации, хотя и не приводит к гибели клетки, но снижает ее стрессоустойчивость. |

Table 3

**Repair proteins of *D. radiodurans***

| E.coli-homologous repair proteins | Unique repair proteins |
|---|---|
| RecA repair proteins of *D. radiodurans* binds better to double-stranded DNA than to single-stranded DNA (in contrast to the homologous protein in E. coli). This makes it possible to eliminate a large number of double-stranded DNA breaks more successfully. | RadA is a homologue of RecA. It participates in homologous recombination, but cannot replace RecA in this process. It increases cell resistance to ionizing radiation. |
| RecJ is an exonuclease that shortens the 5'end of DNA. Deletion of the RecJ gene recJ leads to the death of D. radiodurans cells. | RecD2, RecG, DR1572 are helicases whose functions have not yet been sufficiently studied. |
| UvrD is a helicase homologous to RecQ in E. coli. When DNA is damaged, this helicase unwinds the double helix closer to the site of the break. Unlike its homologue, it can work in two opposite directions (starting from both the 3 'end and the 5' end). In addition to homologous repair, it also participates in excisional and post-replicative repairs. | Pol X is activated in the presence of Mn ions, which the cell accumulates under stress. Pol X has exonuclease activity, which makes it possible to remove sections of DNA that form "hairpins" and cross-links. |
| Pol I and Pol III of *D. radiodurans* perform the same function as their homologues in *E. coli*. They are involved in the removal of DNA breaks, thereby reducing the sensitivity of cells to radiation.<br>An important difference is the dependence of the action of Pol I on Mn ions, accumulated by *D. radiodurans* cells under stress. The work of Pol III also has some special features. Thus, an approximately equal concentration of positive and negative amino acid residues is observed on the inner surface of two Pol III subunits, which reduces the mutual attraction of the two subunits and facilitates the sliding of Pol III through DNA.<br>The sbcCD complex removes sections of DNA that form inter-stranded cross-links and "hairpins". | PprA (pprA gene) eliminates double-stranded DNA breaks by attaching to the end sections of double-stranded DNA. |
| MutS1, MutL and UvrD take part in the elimination of incorrectly paired bases. | DdrA (ddrA gene) participates in homologous DNA recombination, binds to single-stranded DNA (attaches to its 3' – end), preventing DNA destruction. |
| Proteins encoded by the ygiD and yeaZ genes are involved in the removal of cross-links due to their exonuclease and helicase properties. | DdrB (the ddrB gene) is an SSB protein that cross-links double-stranded DNA breaks and binds to single-stranded DNA. |
| | DdrD (the ddrD gene) is responsible for UV resistance. |
| | The UvsE protein is an endonuclease activated by Mn ions. UvsE takes part in excision repair. This endonuclease eliminates the pyrimidine dimers produced by UV radiation. |
| | The loss of genes encoding repair proteins unique to *D. radiodurans*, although not leading to cell death, reduces its stress resistance. |

и относящегося к хеликазам. Растительные варианты UvrD-хеликазы содержат такие же консервативные домены (4 домена), что и бактериальная UvrD-хеликаза, но отличаются в деталях. Например, молекулярная масса UvrD-хеликазы *E. coli* равна 73 кДа (720 аминокислот), а ее гомологов в *A. thaliana* и *O. sativa* – 129 и 130 кДа (1149 и 1165 аминокислот) соответственно.

В иностранных источниках также отражены результаты опытов по переносу генов *D. radiodurans* в другие организмы. В этом направлении преуспели китайские ученые. Интересно то, что трансформации с равным успехом подвергались не только прокариоты, но и эукариоты.

Рассмотрим первую группу экспериментов по созданию трансгенных прокариот.

В исследовании Zhang Y. et al. [12] было показано положительное влияние экспрессии гена irrE *D. radiodurans* в *Zymomonas mobilis*.

Повышалась устойчивость этой трансгенной бактерии к различным абиотическим стрессам (осмотическому, тепловому, кислотному). Также было отмечено, что данный штамм мог существовать в условиях избытка этанола за счет увеличения активности алкогольдегидрогеназы.

В работе Zhao P. et al. [13] также подтверждалось защитное действие белка IrrE (PprI) *D. radiodurans* при его синтезе в *E. coli*. Этот штамм обладал повышенной солеустойчивостью благодаря активации ряда генов. В частности, в трансгенных организмах была отмечена экспрессия генов реакции на окислительный и осмотический стресс: katE (ответ на повреждение ДНК) и osmBC (ответ на стресс). Также в условиях избытка NaCl в питательной среде начали работать гены, связанные с выработкой трегалозы и глицерина (в частности, ген otsAB), и гены кислотоустойчивости (gadABC и gadWX).

По данным Park S.H. et al. [14], синтез в *E. coli* белка PprM *D. radiodurans* способствует повышению устойчивости данного трансгенного организма к окислительному стрессу. В присутствии перекиси водорода отмечали уменьшение образования такого свободного радикала, как высокоактивный гидроксильный радикал, а также снижение степени карбонилирования белков. Это было достигнуто увеличением активности переносчика марганца (mntH) в 9 раз, что способствовало возрастанию содержания марганца по отношению к железу (значение соотношения Mn/Fe было увеличено в 2 раза).

Таким образом, прокариоты, трансформированные генами *D. radiodurans*, обладали повышенной устойчивостью к различным абиотическим стрессам.

Вторая группа представлена результатами опытов по созданию трансгенных эукариот.

В исследовании Pan J. et al. [15] было доказано, что выработка белка IrrE (PprI) *D. radiodurans* у трансгенных организмов (*E. coli* и *Brassica napus*) позволяет им перенести абиотический стресс различной природы (тепловой, осмотический, окислительный). Так, трансгенные растения *B. napus* способны выживать при содержании в почве 350 мМ NaCl, что для других сельскохозяйственных культур является неосуществимым. Поскольку и дегидратация, и космическая радиация вызывают окислительный стресс, который способны перенести данные трансгенные организмы, можно сделать вывод о том, что условия космических полетов не приведут к снижению жизнеспособности этих организмов.

В работе Shi Y. et al. [16] показано положительное влияние белка PprI *D. radiodurans* на выживаемость клеток эндотелия пупочной вены человека и лабораторных мышей линии BALB/c. Уменьшались показатели апоптоза, возрастала репарационная способность ДНК, увеличивалась выработка антиоксидантов. Также благоприятное воздействие белка PprI было подтверждено в эксперименте с облученными лабораторными мышами: усиливалось деление клеток костного мозга, возрастало количество тромбоцитов и лейкоцитов, уменьшались радиационные повреждения органов, увеличивалась выработка антиоксидантов в тканях.

В работе Wen L. et al. [17] исследовалось влияние белка PprI *D. radiodurans* на выживаемость эпителиальных клеток легких человека BEAS-2B и лабораторных мышей линии BALB/c после облучения. В эпителиальных клетках легких человека BEAS-2B экспрессия белка PprI увеличивала их радиоустойчивость, уменьшала процент апоптоза и предотвращала остановку клеточного цикла на фазе G2/M. У трансгенных лабораторных мышей линии BALB/c повышалась выживаемость после облучения за счет уменьшения радиационного повреждения кроветворной системы, легких, тонкой кишки и репродуктивной системы.

По сведениям Chen T.T. et al. [18], экспрессия гена pprl *D. radiodurans* в организме лабораторных мышей линии BALB/c повышала выживаемость после облучения в дозе 6 Гр, вызывающей гибель в контрольных условиях. Уменьшение смертности объясняется снижением степени апоптоза тимоцитов, а также клеток костного мозга и селезенки. При этом важную роль играет уменьшение времени сокращения содержания лимфоцитов. Полученный эффект радиоустойчивости объясняется образованием белка Rad51 в легких, печени и почках. Белок Rad51 является гомологом белка RecA *D. radiodurans*.

Таким образом, рассмотренные опыты второй группы доказывают возможность эффективной трансформации эукариот генами *D. radiodurans*. Следовательно, придание радиоустойчивости растениям с помощью такого метода подтверждается практикой.

Можно отметить, что ген irrE с успехом используется для трансформации как прокариот, так и эукариот, тогда как гены pprM и uvrD применяются пока только для генной модификации прокариот. Поэтому для трансформации растений более подходящим является ген irrE. Использование генов pprM и uvrD нуждается в дополнительных исследованиях.

Параллельно с этим приведем анализ собранных нами сведений по влиянию космического излучения на растения. В большинстве работ описывается негативное действие этого фактора, однако в единичных случаях говорится либо о его стимулирующем влиянии, либо об отсутствии видимых изменений в растительном организме под его влиянием.

Рассмотрим первую группу суждений.

В работе С.С. Юрова с соавт. [19] исследовалось влияние на семена томата (*Solanum lycopersicum* L.) космической радиации при их хранении на протяжении 6 лет в условиях космического орбитального комплекса «МИР». После нахождения на борту данного космического аппарата семена проращивались в лабораторных условиях в течение 70 суток. Далее рассаду высаживали в открытый грунт под пленку. Семена из экспериментальной группы дольше прорастали (через 14 суток) по сравнению

с контролем (через 5 суток). Также эти семена обладали пониженной всхожестью (выживаемость семян без скрытых и летальных мутаций составляла 26,8%) относительно контрольного варианта (58,3%). Благодаря применению вторичного биогенного излучения удалось добиться прорастания семян со скрытыми мутациями (их всхожесть составила 48,2% от общего количества семян). 25% семян имели летальные мутации и не взошли даже после воздействия вторичного биогенного излучения. При анализе проростков семян со скрытыми мутациями были обнаружены безлистные особи, причем эта мутация создавалась именно космической радиацией, так как в земных условиях не наблюдалось таких изменений как при спонтанном, так и при индуцированном мутагенезе.

В статье Е.И. Шагимардановой с соавт. [20] показано влияние космического излучения на антиоксидантный статус проростков ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Haruna Nijo. Семена ячменя, хранящиеся более 4-х месяцев на Международной космической станции (модуль «Звезда»), проращивали в условиях орбитальной оранжереи «Лада». В ходе эксперимента было отмечено накопление растением ряда ферментов-антиоксидантов (супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионтрансфераза, аскорбатпероксидаза, фенилаланинаммонийлиаза), что указывает на развитие стресса под воздействием космической радиации. Однако космическое излучение не повлияло на всхожесть семян и морфометрические признаки проростков ячменя: энергия прорастания составила более 90%, а высота побегов и время появления кроющего листа не отличались от таковых в «земном» варианте. Это можно объяснить высокой стрессоустойчивостью ячменя: он успешно адаптируется к засухе и засоленной почве. Его мощная антиоксидантная система образовалась как приспособление к длительному обезвоживанию. Поскольку и дегидратация, и космическая радиация вызывают окислительный стресс [4], то эти негативные факторы не будут препятствием для полноценного роста и развития растений ячменя. Однако такое утверждение является верным только в отношении рассмотренного нами вида. В другом случае может наблюдаться иной результат. Следовательно, результаты, полученные в исследовании Е.И. Шагимардановой с соавт., не носят универсального характера.

В работе В.И. Абрашкина с соавт. [21] описано отрицательное влияние космической радиации на морфометрические признаки мелиссы лекарственной (*Melissa officinalis* L.) и расторопши пятнистой (*Silybum marianum* (L.) Geartn). Семена мелиссы лекарственной и плоды расторопши пятнистой были временно размещены на борту космического аппарата «БИОН-М № 1». Позже проводили их проращивание на опытном участке Ботанического сада Самарского государственного университета. Для мелиссы лекарственной были характерны мелколиственность и короткие боковые побеги, что привело к уменьшению накопления фитомассы на 20-25% по сравнению с контролем. У растений расторопши пятнистой наблюдалось появление двух фенотипических групп в первом поколении: преобладали особи без бутонов с отставанием в развитии по морфометрическим признакам приблизительно в 2 раза относительно контрольной группы. Их доля составила 60%, причем было отмечено, что фитомасса этой первой опытной группы также в 2 раза уступает контролю. 40% составляли растения-гиганты, у которых длина цветоноса была меньше контрольных значений. Половина представителей данной опытной группы, как и в первом случае, отставала в морфологическом развитии.

В работе Ю.Н. Горелова с соавт. [22] дается пример неоднозначного влияния космической радиации на прорастание семян некоторых видов растений. Для проведения опыта использовались семена 9 видов растений. Семена находились 30 дней на борту космического аппарата «Бион-М № 1», после чего их высаживали в открытый грунт. В ходе проращивания семена 4-х видов имели низкую всхожесть в сравнении с нормой. Это было характерно для клематиса цельнолистного (*Clematis integrifolia* L.), гвоздики Андржеевского (*Dianthus andrzejowskianus* Kulcz.), синюхи голубой (*Polemonium caeruleum* L.) и прострела раскрытого (*Pulsatilla patens* (L.) Mill.). Семена 3-х видов не дали проростков (астра альпийская (*Aster alpinus* L.), примула крупночашечковая (*Primula macrocalyx* Bunge) и лилия мартагон (*Lilium martagon* L.)). Однако всхожесть для семян льна многолетнего (*Linum perenne* L.) и касатика карликового (*Iris pumila* L.) составила 67 и 78% соответственно, что больше нормы (30-50%). Также среди проростков льна многолетнего и касатика карликового были замечены более крупные всходы, опережающие по своему развитию остальные проростки.

В работе Д.А. Петрашовой и Н.К. Белишевой [23] показано негативное влияние космической радиации на растения. Проростки лука репчатого (*Allium cepa* L.) помещали в парафиновую камеру и подвергали воздействию нейтронов с энергиями < 50 Мэв, которые моделировали нейтронную часть космических лучей. Парафиновая камера использовалась для защиты проростков от прямого облучения данными нейтронами, что позволяет приблизить условия эксперимента к реальному стрессовому воздействию на биологические объекты на протяжении космических миссий. После облучения нейтронами с высокими энергиями происходило увеличение нежелательных цитогенетических эффектов: снижение скорости делений клеток, образование хромосомных перемычек между двумя полюсами клеток в анафазе и телофазе, слипание хромосом, образование клеток с двумя ядрами или микроядрами.

В работе А.В. Зотова с соавт. [2] доказано генотоксичное действие космической радиации на проростки разных сортов лука, выраженное в отставании роста их корней. Для проведения опыта семена лука были временно размещены на космическом аппарате «ФОТОН-М № 4» в 2-х модулях: гипомагнитном и экранированном свинцом. Всего были исследованы 6 сортов лука репчатого

(*Allium cepa* L.) («Шаман», «Серебряный принц», «Карамель», «Стригуновский местный», «Белое перо», «Красный салатный») и 1 сорт лука-шалота (*Allium ascalonicum* L.) («Деликатес»). У проростков 6 сортов было замечено отставание роста корней. Данный эффект не наблюдался только у сорта «Белое перо». Авторы статьи связывают замедление роста корней с уменьшением скорости клеточных делений, что указывает на генотоксический эффект космической радиации.

В другой работе [24] описана неодинаковая реакция различных видов растений по отношению к космической радиации. Семена кизильника черноплодного (*Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex A. Blytt), аморфы кустарниковой (*Amorpha fruticosa* L.) и караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) находились приблизительно в течение 2-х месяцев на орбитальной станции «Фотон М № 4». После этого данные семена проращивали в лабораторных условиях, измеряли энергию прорастания и длину стебля. Было отмечено, что семена кизильника черноплодного и аморфы кустарниковой, выдержанные на борту космического аппарата, не взошли. Однако семена караганы древовидной имели более высокие показатели энергии прорастания по сравнению с контролем: 80% против 50%. Отмечали также увеличение линейных размеров проростков караганы древовидной из экспериментального варианта. Это указывает на неодинаковое действие космической радиации по отношению к различным растениям. Таким образом, среди них можно выделить чувствительные и устойчивые к данному негативному фактору виды.

В работе В.М. Лебедева с соавт. [1] исследовалось влияние смоделированной космической радиации (поток дейтронов с энергией 15.3 МэВ) на прорастание семян и длину корней салата-латука (*Lactuca sativa* L.) сорта Московский парниковый. Было установлено, что данное излучение подавляет энергию прорастания и всхожесть семян (ингибирующее действие было прямо пропорционально поглощенной дозе: 60% – при 65 Гр; 75% – при 0.55 кГр; 90% – при 5.5 кГр). Также было отмечено уменьшение длины корня проростков по сравнению с контролем. Однако при одновременном влиянии радиации и гипомагнитных условий (полноценная модель космического полета) наблюдается стимулирующий эффект на прорастание семян, и частично (при дозе 5.5 кГр) – на рост корней, что входит в противоречие с полученными ранее данными.

В работе В.А. Харченко с соавт. [25] была показана неравномерность реакции разных сортов салата-латука на воздействие космического излучения. Семена в течение года хранились на Международной космической станции. Затем осуществляли их проращивание в теплице. Всего в эксперименте было задействовано 6 сортов салата-латука (Петрович, Синтез, Московский парниковый, Пикник, Кавалер и Букет). Всхожие семена имело большинство сортов (за исключением сортов Кавалер и Букет). Несмотря на это, у 3-х сортов (Петрович, Синтез и Пикник) было отмечено снижение урожайности. Лишь у одного сорта (Московский парниковый) выявили положительный ответ в виде увеличения урожайности. Также только у этого сорта наблюдали возрастание концентрации фотосинтетических пигментов и пролина в ответ на стресс, связанный с пребыванием на Международной космической станции.

Имеются работы, где высказывается противоположная точка зрения (либо отсутствие влияния космической радиации на жизнедеятельность растений, либо стимулирующее воздействие данного излучения), но они представляют собой единичные случаи. Так, М.А. Левинских с соавт. [26] доказывает в своей работе, что растения в условиях космических оранжерей полностью проходят цикл онтогенеза без каких-либо отличий от своего «земного» варианта существования. По результатам наблюдений, выполненных в период с 1990 по 2011 гг. на орбитальных оранжереях «Свет» и «Лада», было доказано отсутствие генетического полиморфизма у растений на протяжении 4-х генераций (поколений).

В эту группу суждений можно частично отнести и результаты исследований, полученные Е.И. Шагимардановой с соавт. [20] и В.М. Лебедевым с соавт. [1]. Так, во второй части эксперимента, проведенного В.М. Лебедевым с соавт., создавалась полноценная модель космического полета путем одновременного воздействия гипомагнитных условий и космической радиации на семена и проростки салата-латука. В этих условиях наблюдалась стимуляция всхожести семян и роста корней. В опыте Е.И. Шагимардановой с соавт. космическое излучение не повлияло на всхожесть семян и морфометрические признаки проростков ячменя, что объясняется адаптивными особенностями этого вида.

В иностранных источниках также опубликованы сведения о влиянии космической радиации на растения, но их результаты противоречивы. Однако и здесь можно увидеть данные, которые доказывают, что чувствительность к космической радиации зависит от вида и сорта растения.

В исследовании Zhang Y. et al. [27] была установлена видоспецифичная реакция растений на космическую радиацию. Опыт моделировал галактическое и солнечное космическое излучение путем использования различных заряженных частиц. Так, протоны, ионы гелия, кислорода, титана, кремния и железа применялись для искусственного создания галактической космической радиации. Степень облучения при этом составляла до 80 сГр. Для моделирования солнечной космической радиации использовались протоны с энергиями 50-150 МэВ/н (при этом сила облучения составляла 200 сГр). В ходе проведения опыта показана прямо пропорциональная зависимость снижения жизнеспособности семян от энергии заряженных частиц и их веса. Большую роль играл режим облучения: жизнеспособность больше всего уменьшалась при остром воздействии, чем при низкой мощности дозы. По результатам эксперимента

мизуна (*Brassica rapa var. japonica*) оказалась более чувствительной к облучению по сравнению с резуховидкой Таля (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.). Также было установлено, что сухие семена более радиоустойчивы по сравнению с гидратированными.

В работе Kuang Q. et al. [28] доказывается стимулирующее действие космической радиации на растения люцерны посевной (*Medicago sativa* L.). Семена люцерны сорта «Дэцинь» были помещены внутрь ракеты «Чанчжэн-5B» и пребывали на околоземном космическом пространстве 3 дня. После этого семена проращивали в земных условиях. Полученные растения затем размножали черенками, которые выращивались в условиях оранжереи. В ходе культивирования данного сорта выяснилось, что воздействие космической радиации на люцерну привело к появлению быстрорастущего мутанта. При помощи транскриптомного и протеомного анализа было доказано, что под влиянием космической радиации наблюдалась экспрессия генов, ответственных за стрессовый ответ (гены, кодирующие рецептор ABA PYL4 и белок, связанный с патогенезом). Анализ метаболома показал изменения в содержании гормонов, которые являются причиной ускоренного роста и быстрого набора биомассы.

Можно предположить, что уровень мутаций в семенах зависит от времени пребывания в космосе. Чем меньше срок, тем меньше количество мутаций, и наоборот. Чем больше накапливается мутаций в ходе длительного полета, тем сильнее снижается жизнеспособность. Стимулирующее влияние космической радиации на семена люцерны объясняется как особенностями вида, так и дозой полученных мутаций. Видимо, малые дозы радиации оказывают стимулирующий эффект, если учитывать короткий срок нахождения семян люцерны на борту ракеты (всего 3 дня).

Таким образом, в ходе ряда исследований, проведенных с целью изучения влияния космической радиации на растения, были получены противоречивые результаты. Реакция растений на данный фактор зависела от вида и сорта. Диапазон ответа варьировал от стимуляции роста и развития до угнетения этих процессов. Преобладающей реакцией было подавление жизнедеятельности растений.

Следовательно, перенос генов *D. radiodurans* в растения является перспективным решением проблемы повышения выживаемости растений в условиях космических полетов. Кроме того, в таких генномодифицированных растениях не будет происходить истощение пути глюкозинолата. Глюкозинолаты участвуют в защите растений от различных повреждающих факторов окружающей среды (преимущественно абиотических). Однако известно, что сильный стресс приводит к снижению содержания глюкозинолатов. Так, в работе Dixit A.R. et al. [29] показано уменьшение образования глюкозинолатов при 40 сГр. Это объясняется тем, что для синтеза большинства глюкозинолатов требуется глутатион, который также является ключевым компонентом антиоксидантной системы. Следовательно, при окислительном стрессе, который может быть вызван ионизирующей радиацией, очень важно поддерживать высокий уровень глутатиона. Поэтому иные пути его использования временно блокируются. То же самое распределение справедливо и для метионина, который является важной частью двух конкурирующих друг с другом путей. Таким образом, в случае трансформации растений генами *D. radiodurans* возможны не только сохранение адаптационного потенциала, но и его увеличение.

## Выводы
## Conclusions

В ходе проведения исследований нами были изучены данные по трансформации клеток прокариот и эукариот генами *D. radiodurans*. Не все рассмотренные эксперименты закончились успехом (в частности, не удалось добиться стабильной работы гена recA *D. radiodurans* в *E. coli*). Однако в большинстве работ доказывается осуществимость данного процесса: использование генов irrE, uvrD и pprM зарекомендовало себя как действенный способ приобретения устойчивости организмами-реципиентами ко многим абиотическим факторам. В будущем это направление исследований может привести к созданию радиоустойчивых форм организмов, полученных путем генной инженерии. К примеру, такие формы могут быть востребованы в условиях космических полетов, когда организм подвергается действию мутагенных факторов. В частности, это касается растений, которые служат одним из элементов системы жизнеобеспечения космонавтов. Можно подчеркнуть, что применение гена irrE для трансформации растений уже доказано на практике.

Нами было выяснено, что реакция растений на космическую радиацию носит разнонаправленный характер, так как зависит от адаптивных возможностей вида и сорта. Однако преобладающим ответом является угнетение роста и развития организма, что является серьезным препятствием для существования растений на орбитальных космических станциях. Вследствие этого методы генной инженерии являются наиболее подходящим путем решения данной проблемы.

Предложенный нами способ приобретения растениями радиоустойчивости путем их трансформации генами *D. radiodurans* может помочь преодолеть снижение урожайности растений под воздействием мутагенных эффектов космической радиации.

В заключение можно отметить, что это направление научных исследований требует дальнейшего развития, так как преодоление негативных реакций растений на «космический» стресс путем генной инженерии открывает новые возможности по адаптации организмов к данным условиям. Считаем, что эта тема будет интересна для специалистов в области радиационной и космической биологии.

**Список источников**

1. Лебедев В.М., Платова Н.Г., Спасский А.В., Труханов К.А. и др. Использование 120 см циклотрона для исследования совместного воздействия ионизирующего излучения и гипомагнитных условий на семена салата // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2020. Т. 84, № 4. С. 487-491. https://doi.org/10.31857/S0367676520040171

2. Зотов А.В., Кавеленова Л.М., Курганская Л.В., Горелов Ю.Н. Влияние экспозиции на борту космического аппарата «ФОТОН-м» № 4 на всхожесть семян и рост корней проростков различных сортов лука // *Вестник молодых ученых и специалистов Самарского государственного университета*. 2015. № 2 (7). С. 69-73. EDN: WHPFNH

3. Агапов А.А., Кульбачинский А.В. Механизмы стрессоустойчивости и регуляция экспрессии генов у радиорезистентной бактерии *Deinococcus radiodurans* (обзор) // *Биохимия*. 2015. Т. 80, № 10. С. 1461-1479. EDN: UYGEYL

4. Кобялко В.О., Пименов Е.П. Действие радиации на микроорганизмы и чувствительность разных таксономических групп к облучению // *Актуальные вопросы сельскохозяйственной радиобиологии*: *Труды Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). Вып. 2* / *Под ред. С.А. Гераськина.* Обнинск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», 2019. С. 119-130. EDN: GTSLAK

5. Михель И.М., Халилуев М.Р. Трансгенные растения томата (*Solanum lycopersicum l.*): прямые методы введения генов и факторы, влияющие на эффективность трансформации (обзор) // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57, № 3. С. 518-541. https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.518rus

6. Татьков С.И., Дейнеко Е.В., Фурман Д.П. Перспективы создания противотуберкулезных вакцин нового поколения // *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2011. Т. 15, № 1. С. 114-129. EDN: NYPUED

7. Монахова Д.Д., Щеголева В.А., Самсонов И.Ю., Романтеева Ю.В. и др. Перспективы создания вакцин на растительной основе // Modern Science. 2022. № 1-1. С. 2015-2021. EDN: ZGWOMU

8. Бахланова И.В., Байтин Д.М. Рекомбиногенный потенциал белков КееЛ: эволюционные возможности и последствия для бактериальной клетки // *Цитология*. 2016. Т. 58, № 11. С. 817-824. EDN: XXRUGZ

9. Вербенко В.Н., Кузнецова Л.В., Крупьян Е.П., Шалгуев В.И. Экспрессия гена recA *Deinococcus radiodurans* в клетках *Escherichia coli* // *Генетика*. 2009. Т. 45, № 10. С. 1353-1360. EDN: KWIRHP

10. Гулевич Е.П., Кузнецова Л.В., Киль Ю.В., Вербенко В.Н. Особенности ДНК-геликазы, кодируемой геном uvrD *Deinococcus radiodurans* R1, выявленные в клетках *Escherichia coli* K-12 // *Молекулярная генетика, микробиология и вирусология*. 2020. Т. 38, № 1. С. 34-39. https://doi.org/10.17116/molgen20203801134

11. Tuteja R., Tuteja N. Analysis of DNA repair helicase UvrD from *Arabidopsis thaliana* and *Oryza sativa*.

**References**

1. Lebedev V.M., Spassky A.V., Zagirdinova E.F., Platova N.G. et al. Study of the simultaneous exposure of lettuce seeds to ionizing radiation and hypomagnetic conditions: application of a 120-cm cyclotron. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya fizicheskaya*. 2020;84(4):373-377. (In Russ.) https://doi.org/10.31857/S0367676520040171

2. Zotov A.V., Kavelenova L.M., Kurganskaya L.V., Gorelov Yu.N. The effect of the exposition on board of the spaceship Foton M № 4 on seed germination and root growth of seedlings from the test object allium seeds. *Vestnik molodykh uchenykh i spetsialistov Samarskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015;2(7):69-73. (In Russ.)

3. Agapov A.A., Kulbachinskiy A.V. Mechanisms of stress resistance and gene regulation in the radioresistant bacterium Deinococcus radiodurans. Biokhimy. 2015;80(10):1461-1779. (In Russ.)

4. Kobyalko V.O., Pimenov E.P. Effect of radiation on microorganisms and sensitivity of different taxonomic groups to radiation. *In*: *Aktualnye voprosy selskokhozyaystvennoy radiobiologii*: *Trudy Federalnogo gosudarstvennogo byudzhetnogo nauchnogo uchrezhdeniya "Vserossiyskiy nauchno-issledovatelskiy institut radiologii i agroekologii" (FGBNU VNIIRAE).* Obninsk, Russia: Russian Institute of Radiology and Agroecology of National Research Centre "Kurchatov Institute", 2019:119-130. (In Russ.)

5. Mikhel I.M., Khaliluev M.R. Transgenic tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.): direct methods of gene transfer and factors affecting transformation efficiency (review). *Agricultural Biology*. 2022;57(3):518-541. (In Russ.) https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.3.518rus

6. Tat'kov S.I., Deineko E.V., Furman D.P. Prospects for designing a new generation of anti-tuberculosis vaccines. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2011;15(1):114-129. (In Russ.)

7. Monakhova D.D., Shchegoleva V.A., Samsonov I.Yu., Romanteeva Yu.V. et al. Prospects for creating plant-based vaccines. *Modern Science*. 2022;1-1:2015-2021. (In Russ.)

8. Bakhlanova I.V., Baitin D.M. Recombinogenic potential of RecA protein: evolutionary opportunities and consequences for bacteria cell. *Tsitologiya*. 2016;58(11):817-824. (In Russ.)

9. Verbenko V.N., Kuznetsova L.V., Krupyan E.P., Shalguev V.I. Expression of recA gene of Deinococcus radiodurans in Escherichia coli cells. Genetica. 2009;45(10):1353-1360. (In Russ.)

10. Gulevich E.P., Kuznetsova L.V., Kil Y.V., Verbenko V.N. Peculiarities of the Deinococcus radiodurans r1 uvrD coded DNA helicase revealed in Escherichia coli k-12 cells. *Molekularnaa Genetika Mikrobiologia i Virusologia.* 2020;35(1):32-37. (In Russ.) https://doi.org/10.17116/molgen20203801134

11. Tuteja R., Tuteja N. Analysis of DNA repair helicase UvrD from *Arabidopsis thaliana* and *Oryza sativa*.

*Plant Physiology and Biochemistry*. 2013;71:254-260. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.07.022

12. Zhang Y., Ma R., Zhao Z., Zhou Z. et al. irrE, an exogenous gene from *Deinococcus radiodurans*, improves the growth of and ethanol production by a *Zymomonas mobilis* strain under ethanol and acid stress. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2010;20(7):1156-1162. https://doi.org/10.4014/jmb.0912.12036

13. Zhao P., Zhou Z., Zhang W., Lin M. et al. Global transcriptional analysis of *Escherichia coli* expressing IrrE, a regulator from *Deinococcus radiodurans*, in response to NaCl shock. *Molecular BioSystems*. 2015;11(4):1165-1171. https://doi.org/10.1039/c5mb00080g

14. Park S.H., Singh H., Appukuttan D., Jeong S. et al. PprM, a Cold Shock Domain-Containing Protein from *Deinococcus radiodurans*, Confers Oxidative Stress Tolerance to *Escherichia coli*. *Frontiers in Microbiology.* 2017;7:2124. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02124

15. Pan J., Wang J., Zhou Z., Yan Y. et al. IrrE, a global regulator of extreme radiation resistance in *Deinococcus radiodurans*, enhances salt tolerance in *Escherichia coli* and *Brassica napus*. *PLoS One*. 2009;4(2): e4422. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004422

16. Shi Y., Wu W., Qiao H., Yue L. et al. The protein PprI provides protection against radiation injury in human and mouse cells. *Scientific Reports*. 2016;6:26664. https://doi.org/10.1038/srep26664

17. Wen L., Yue L., Shi Y., Ren L. et al. *Deinococcus radiodurans* pprI expression enhances the radioresistance of eukaryotes. *Oncotarget*. 2016;7(13):15339-15355. https://doi.org/10.18632/oncotarget.8137

18. Chen T.T., Hua W., Zhang X.Z., Wang B.H. et al. The effects of pprI gene of *Deinococcus radiodurans* R1 on acute radiation injury of mice exposed to 60Co γ-ray radiation. *Oncotarget.* 2017;8(2):2008-2019. https://doi.org/10.18632/oncotarget.13893

19. Юров С.С., Кожокару А.Ф., Дмитриевский И.М., Нечитайло Г.С. Генетико-физиологические и физико-химические исследования *Lycopersicon esculentum* Mill., выращенных из семян, экспонированных в длительном космическом полёте // *Современные проблемы науки и образования*. 2008. № 5. С. 18-24. EDN: JQQCRJ

20. Шагимарданова Е.И., Гусев О.А., Сычев В.Н., Левинских М.А. и др. Экспрессия генов стрессового ответа ячменя *Hordeum vulgare*, выросшего на борту Международной космической станции // *Ученые записки Казанского государственного университета. Серия «Естественные науки».* 2010. Т. 152, № 1. С. 166-173. EDN: LRHYFF

21. Абрашкин В.И., Авдеева Е.В., Куркин В.А., Рыжов В.М. и др. О предварительных результатах космического эксперимента с семенами высших растений на КА «Бион-м» № 1 // *Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия*. 2013. № 9-1 (110). С. 140-150. EDN: QBRFHP

22. Горелов Ю.Н., Кавеленова Л.М., Курганская Л.В., Розно С.А. и др. К начальным результатам космического эксперимента с семенами редких растений природной флоры на космическом аппарате «Бион-М» № 1 // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2015. Т. 17, № 6-1. С. 294-298. EDN: VMFNLH

*Plant Physiology and Biochemistry*. 2013;71:254-260. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.07.022

12. Zhang Y., Ma R., Zhao Z., Zhou Z. et al. irrE, an exogenous gene from *Deinococcus radiodurans*, improves the growth of and ethanol production by a *Zymomonas mobilis* strain under ethanol and acid stress. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2010;20(7):1156-1162. https://doi.org/10.4014/jmb.0912.12036

13. Zhao P., Zhou Z., Zhang W., Lin M. et al. Global transcriptional analysis of *Escherichia coli* expressing IrrE, a regulator from *Deinococcus radiodurans*, in response to NaCl shock. *Molecular BioSystems*. 2015;11(4):1165-1171. https://doi.org/10.1039/c5mb00080g

14. Park S.H., Singh H., Appukuttan D., Jeong S. et al. PprM, a Cold Shock Domain-Containing Protein from *Deinococcus radiodurans*, Confers Oxidative Stress Tolerance to *Escherichia coli*. *Frontiers in Microbiology.* 2017;7:2124. https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02124

15. Pan J., Wang J., Zhou Z., Yan Y. et al. IrrE, a global regulator of extreme radiation resistance in *Deinococcus radiodurans*, enhances salt tolerance in *Escherichia coli* and *Brassica napus*. *PLoS One*. 2009;4(2): e4422. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004422

16. Shi Y., Wu W., Qiao H., Yue L. et al. The protein PprI provides protection against radiation injury in human and mouse cells. *Scientific Reports*. 2016;6:26664. https://doi.org/10.1038/srep26664

17. Wen L., Yue L., Shi Y., Ren L. et al. *Deinococcus radiodurans* pprI expression enhances the radioresistance of eukaryotes. *Oncotarget*. 2016;7(13):15339-15355. https://doi.org/10.18632/oncotarget.8137

18. Chen T.T., Hua W., Zhang X.Z., Wang B.H. et al. The effects of pprI gene of *Deinococcus radiodurans* R1 on acute radiation injury of mice exposed to 60Co γ-ray radiation. *Oncotarget.* 2017;8(2):2008-2019. https://doi.org/10.18632/oncotarget.13893

19. Yurov S.S., Cozhocaru A.F., Dmitrievskiy I.M., Nechitailo G.S. Genetics-physiologal and physico-chemical studies of *Lycopersicon esculentum* Mill., growing from seeds, exposed to irradiation during the cosmic flight. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2008;5:18-24. (In Russ.)

20. Shagimardanova E.I., Gusev O.A., Sychev V.N., Levinskikh M.A. et al. Stress defense genes expression of barley *Hordeum vulgare* grown onboard international space station. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya*: *Estestvennye nauki*. 2010;152(1):166-173. (In Russ.)

21. Abrashkin V.I., Avdeeva E.V., Kurkin V.A., Ryzhov V.M. et al. Sconcerning the primary results of space experiment with the higher plants seeds exposed on spacecraft “Bion-M” № 1. *Bulletin of Samara State University. Natural Science Series*. 2013;9-1(110):140-150. (In Russ.)

22. Gorelov Yu.N, Kavelenova L.M, Kurganskaya L.V, Rozno S.A. et al. To the primary results of space experiment with seeds of natural flora rare plants on the “Bion-M” No 1 spacecraft. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2015;17(6-1):294-298. (In Russ.)

23. Петрашова Д.А., Белишева Н.К. Цитогенетические эффекты высокоэнергетической нейтронной компоненты космических лучей в клетках меристемы *Allium cepa* // *Труды Кольского научного центра РАН*. 2015. № 6 (32). С. 41-49. EDN: VSLZIV

24. Галабурда А.Е., Герич Р.В., Норенко Е.Е., Пашков А.Н. и др. Некоторые аспекты влияния факторов космического полета и космического пространства на высшие растения // *Молодежный инновационный вестник*. 2017. Т. 6, № 2. С. 255-256. EDN: YTOZAH

25. Харченко В.А., Голубкина Н.А., Скрыпник Л.Н., Мурариу О.К. и др. Особенности биохимических показателей и элементного состава сортов салата *Lactuca sativa* L., выращенных из семян после длительного хранения на МКС // *Овощи России*. 2024. № 2. С. 37-42. https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-2-37-42

26. Левинских М.А., Нефедова Е.Л., Сигналова О.Б., Сычев В.Н. и др. Влияние экстремальных условий внешней среды на рост и развитие растений (опыт ГНЦ рф – ИМБП ран по культивированию растений на борту орбитальных космических аппаратов и на антарктической станции «Восток») *// А.Л. Чижевский. Вклад в науку и культуру*: *Материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной сохранению научного наследия и развитию идей А.Л. Чижевского. Калуга, 15-17 февраля 2024 г*. Калуга: ИП Стрельцов И.А. (Эйдос), 2024. С. 93-96. EDN: MFCOYN

27. Zhang Y., Richards J.T., Feiveson A.H., Richards S.E. et al. Response of *Arabidopsis thaliana* and *Mizuna* Mustard Seeds to Simulated Space Radiation Exposures. *Life (Basel, Switzerland)*. 2022;12(2):144. https://doi.org/10.3390/life12020144

28. Kuang Q., He C., Huang H., Jiang H. Multi-omic analysis on the molecular mechanisms of rapid growth in 'Deqin' alfalfa after space mutagenesis. *BMC Plant Biology*. 2025;25(1):34. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06060-5

29. Dixit A.R., Meyers A.D., Richardson B., Richards J.T. et al. Simulated galactic cosmic ray exposure activates dose-dependent DNA repair response and down regulates glucosinolate pathways in arabidopsis seedlings. *Frontiers in Plant Science.* 2023;14:1284529. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1284529

23. Petrashova D.A., Belisheva N.K. The cytogenetic effects of the cosmic rays high-energy neutron component in the *Allium cepa* meristematic cells. *Trudy Kolskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2015;6(32):41-49. (In Russ.)

24. Galaburda A.Ye., Gerich R.V., Norenko Ye.Ye., Pashkov A.N. et al. Some aspects of the influence of space flight and space factors on higher plants. *Molodezhniy innovatsionniy vestnik*. 2017;6(2):255-256. (In Russ.)

25. Kharchenko V.A., Golubkina N.A., Skrypnik L.N., Murariu O.C. et al. Peculiarities of biochemical and mineral composition of lettuce *Lactuca sativa* L. grown from seeds after long-term storage in the international space station. *Vegetable Crops of Russia*. 2024;2:37-42. (In Russ.) https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-2-37-42

26. Levinskikh M.A., Nefedova E.L., Signalova O.B., Sychev V.N. et al. Influence of extreme environmental conditions on plant growth and development (the experience of the scientific research center of the Russian Federation – IMBP RAS on plant cultivation on board orbiting spacecraft and at the Vostok antarctic station). *IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskoaya konferentsiya, posvyashchennaya sokhraneniyu nauchnogo naslediya i razvitiyu idey A.L. Chizhevskogo 'A.L. Chizhevskiy. Vklad v nauku i kul'turu'. February 15-17, 2024.* Kaluga, Russia: IP Streltsov I.A. (Eydos), 2024:93-96. (In Russ.)

27. Zhang Y., Richards J.T., Feiveson A.H., Richards S.E. et al. Response of *Arabidopsis thaliana* and *Mizuna* Mustard Seeds to Simulated Space Radiation Exposures. *Life (Basel, Switzerland)*. 2022;12(2):144. https://doi.org/10.3390/life12020144

28. Kuang Q., He C., Huang H., Jiang H. Multi-omic analysis on the molecular mechanisms of rapid growth in 'Deqin' alfalfa after space mutagenesis. *BMC Plant Biology*. 2025;25(1):34. https://doi.org/10.1186/s12870-025-06060-5

29. Dixit A.R., Meyers A.D., Richardson B., Richards J.T. et al. Simulated galactic cosmic ray exposure activates dose-dependent DNA repair response and down regulates glucosinolate pathways in arabidopsis seedlings. *Frontiers in Plant Science.* 2023;14:1284529. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1284529

## Сведения об авторах

**Ирина Викторовна Чувинова,** кандидат педагогических наук, доцент кафедры медицинской биологии, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина; 392036, Россия, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33; chuvinovair@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0005-2195-6137

**Валерия Владимировна Белова,** старший лаборант кафедры медицинской биологии, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина; 392036, Россия, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33; vuz.lera@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0006-7187-0558

## Information about the authors

**Irina V. Chuvinova,** CSc (Ed), Assistant Professor at the Department of Medical Biology, Derzhavin Tambov State University (33 Internatsionalnaya St., Tambov 392036, Russian Federation); e-mail: chuvinovair@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0005-2195-6137

**Valeria V. Belova,** Senior Laboratory Assistant at the Department of Medical Biology, Derzhavin Tambov State University (33 Internatsionalnaya St., Tambov 392036, Russian Federation); e-mail: vuz.lera@yandex.ru; https://orcid.org/0009-0006-7187-0558

Статья поступила в редакцию 09.12.2024
Одобрена после рецензирования 24.12.2024
Принята к публикации 26.12.2024

The article was submitted to the editorial office December 09, 2024
Approved after reviewing December 24, 2024
Accepted for publication December 26, 2024

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ, ЭКОЛОГИЯ /**
**BIOLOGICAL RESOURCES, ECOLOGY**

**ЭКОЛОГИЯ**

Обзорная статья
УДК 631.41:631.45:502.17(497.11)
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-30-45

# Экогеохимические особенности ампелоценозов как объектов почвенно-экологического мониторинга

**Ирина Викторовна Андреева, Валерия Вячеславовна Габечая, Анри Арменович Пивазян, Дмитрий Владимирович Морев, Иван Иванович Васенев**

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

**Автор, ответственный за переписку:** Андреева Ирина Викторовна; i.andreeva@rgau-msha.ru

**Аннотация**
В статье анализируются отличительные экогеохимические особенности виноградников как объекта почвенно-экологического мониторинга на примере собственных исследований авторов, проведенных в течение 2021-2024 гг. в ряде винодельческих хозяйств юго-западной части Крыма и района Фрушка Гора Автономного края Воеводина Республики Сербия. С учетом выраженного проявления экологических рисков и необходимости применения комплексных методических подходов для системного анализа проблемных экологических ситуаций предлагается дополнить классическую программу почвенно-экологических изысканий экогеохимическими и экотоксикологическими исследованиями с выявлением лимитирующих показателей загрязнения почв ампелоценозов и оценкой рисков миграции загрязняющих веществ в системе «Почва – виноградная лоза – продукция виноградарства и виноделия». В качестве диагностического инструмента раннего выявления негативных изменений в агроэкосистемах виноградников может выступить определение биологической активности почвы по показателям почвенного дыхания и рассчитанных на их основе экофизиологических индексов, демонстрирующих текущий статус почвенного микробиома.

**Ключевые слова**
виноградник, склон, ландшафт, загрязнение, миграция, эрозия, биологическая активность почвы, геохимические исследования, Республика Крым, Воеводина, Республика Сербия

**Для цитирования:**
Андреева И.В., Габечая В.В., Пивазян А.А., Морев Д.В., Васенев И.И. Экогеохимические особенности ампелоценозов как объектов почвенно-экологического мониторинга // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 30-45. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-30-45

**ECOLOGY**

Review article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-30-45

# Ecogeochemical features of ampelocoenoses as objects for soil-ecological monitoring

**Irina V. Andreeva, Valeriya V. Gabechaya, Anri A. Pivazyan, Dmitriy V. Morev, Ivan I. Vasenev**

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

**Corresponding author:** Irina V. Andreeva; i.andreeva@rgau-msha.ru

**Abstract**
The article analyzes the peculiar ecogeochemical features of vineyards as an object of soil-ecological monitoring on the example of the authors' own research, conducted in 2021-2024 in a number of wineries in the south-western part of Crimea and in the Fruška Gora district of the Autonomous Province of Vojvodina, Republic of Serbia. Considering

the pronounced manifestation of environmental risks and the need to apply integrated methodological approaches to systems analysis of problematic environmental situations, it is proposed to supplement the classical program of soil-ecological surveys with ecogeochemical and ecotoxicological studies with the identification of limiting indicators of soil contamination of ampelocoenoses and assessment of risks of migration of pollutants in the system "soil – vine – products of viticulture and wine-making". A diagnostic tool for the early detection of negative changes in vineyard agroecosystems can be the determination of soil biological activity through soil respiration indicators and ecophysiological indices calculated on their basis, demonstrating the current status of the soil microbiome.

**Keywords**
vineyard, slope, landscape, pollution, migration, erosion, soil biological activity, geochemical studies, Republic of Crimea, Vojvodina, Republic of Serbia

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

**For citation:**
Andreeva I.V., Gabechaya V.V., Pivazyan A.A., Morev D.V., Vasenev I.I. Ecogeochemical features of ampelocoenoses as objects for soil-ecological monitoring. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):30-45. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-30-45

## Введение
## Introduction

Ландшафты с виноградниками общепризнанно считаются одними из самых замечательных ландшафтных форм, возникших в результате человеческой деятельности, многие из которых включены в Список всемирного наследия ЮНЕСКО. Виноградники являются важными экономическими, культурными и экологическими системами во многих биомах умеренного климата, предоставляющими обществу многочисленные экономические, экологические и культурные блага, или экосистемные услуги [1-3]. Благодаря продовольственной, культурной и экономической ценности винограда отрасль виноградарства и виноделия традиционно определяет социально-экономическую систему многих винодельческих регионов мира [4-6].

Как и для других агроценозов, для ампелоценозов характерны те же ослабляющие их устойчивость факторы (монокультура, низкое биоразнообразие, ухудшение агрохимических и экотоксикологических показателей почвы и многие другие), но отличие заключается в том, что ни для одной другой сельскохозяйственной культуры сочетание климата, почвы и местных ландшафтных условий не имеет такого решающего воздействия на продуктивность и качество продукции, как для виноградной лозы. Это отличие нашло свое воплощение в понятии «терруар» – совокупности региональных климатических, геоморфологических, педологических факторов вместе с традиционными для данного региона агротехническими приемами возделывания винограда, которые в совокупности определяют уникальные вкусовые характеристики вина конкретного винодельческого региона [7-9].

Вино, полученное в уникальных условиях терруара, называют терруарным, оно имеет защищенное наименование места происхождения. Такие вина хорошо известны и высоко ценятся экспертами рынка и потребителями. В этой связи для агроэкосистем виноградников приобретает особое значение выявление факторов экологического риска, лимитирующих продуктивность лозы и устойчивость производства винодельческой продукции.

Ключевым элементом решения этой задачи выступает системный анализ экологических особенностей конкретного ампелоценоза и выбор оптимальных методических подходов для исследования его проблемной экологической ситуации. Отличительные экогеохимические особенности виноградников как объекта почвенно-экологического мониторинга стали предметом анализа данной статьи – на примере собственных исследований авторов, проведенных в течение 2021-2024 гг. в ряде винодельческих хозяйств Севастопольского района Республики Крым и района Фрушка Гора Автономного края Воеводина Республики Сербия.

## 1. Общие методологические подходы к проведению почвенно-экологического мониторинга ампелоценозов
## 1. General methodological approaches to soil-ecological monitoring of ampelocoenoses

Основная задача почвенно-экологического мониторинга – системный анализ проблемных экологических ситуаций в землепользовании с разработкой рекомендаций по обеспечению сохранности почв, действенному контролю за их состоянием, предотвращению и устранению антропогенных изменений, которые могут нанести ущерб окружающей среде и вред здоровью человека. Особое значение почвенно-экологический мониторинг приобретает в связи с тем, что любые изменения состава и свойств почв отражаются на выполнении ими своих экологических функций и в итоге влияют на устойчивость экосистем и биосферы в целом.

В последние годы в научной литературе часто используется термин «здоровье почвы». Здоровая

почва способна устойчиво функционировать как элемент наземной экосистемы, поддерживая ее биопродуктивность, сохраняя качество окружающей среды и здоровье растений, животных и человека [10].

С экологических позиций виноградники выделяются из всех других отраслей сельскохозяйственного производства повышенной интенсивностью использования сельскохозяйственной техники и агрохимикатов. Вся сельскохозяйственная деятельность связана с экологическими рисками и истощением природных ресурсов, но в плантационно-садовых агроэкосистемах, к которым относятся виноградники, их проявление максимально (табл.) [11, 12].

Экологический мониторинг почв ампелоценозов имеет комплексный характер и включает в себя:

– контроль микробиологического состояния почв, который позволяет быстро выявлять начальные негативные изменения при выполнении почвами своих экологических функций;

– агрохимические исследования динамики содержания и запасов гумуса и элементов питания растений;

– экогеохимические и экотоксикологические исследования с выявлением лимитирующих показателей загрязнения почв ампелоценозов и оценкой рисков миграции загрязняющих веществ в системе «Почва – виноградная лоза – продукция виноградарства и виноделия».

Таблица

**Факторы формирования экологических рисков в ампелоценозах и основные последствия их реализации**

| Факторы формирования экологических рисков | Последствия для экосистем |
|---|---|
| Многолетняя монокультура | Снижение биоразнообразия и биологической активности почв ампелоценозов |
| Расположение на склоновых элементах рельефа | Потери продуктивной влаги, интенсивные эрозионные процессы, физическая и химическая деградация почвенного покрова и сопредельных сред |
| Подверженность культуры атакам со стороны патогенов и насекомых-вредителей | Загрязнение остаточным количеством пестицидов, их метаболитами и тяжелыми металлами, биологическая деградация почв |
| Применение интенсивных агротехнических приемов с использованием механизации | Уплотнение почвы в междурядьях, нарушение естественного сложения и структуры, водно-воздушного режима, повышенная минерализация органического вещества, формирование «плужной подошвы» с активизацией поверхностного стока, эрозии, снижение запасов продуктивной влаги и биологической активности почвы |
| Глобальные изменения климата | Активизация поверхностного стока, эрозии, снижение запасов продуктивной влаги и биологической активности почвы |

Table

**Factors of ecological risk formation in ampelocoenoses and main consequences of their realization**

| Factors of ecological risk formation | Consequences for ecosystems |
|---|---|
| Perennial monoculture | Decrease in biodiversity and biological soil activity of ampelocoenoses |
| Location on sloping terrain element | Loss of productive moisture, intensive erosion processes, physical and chemical degradation of soil cover and adjacent environments |
| Exposure of the crop to attacks from pathogens and insect pests | Pollution by pesticide residues, their metabolites and heavy metals, biological degradation of soils |
| Application of intensive agronomic practices with mechanization | Soil compaction in inter-rows, disturbance of natural composition and structure, water-air regime, increased mineralization of organic matter, formation of “plough sole” with activation of surface runoff, erosion, reduction of productive moisture reserves and biological soil activity |
| Global climate change | Activation of surface runoff, erosion, reduction of productive moisture reserves and biological soil activity |

Методология экогеохимического мониторинга включает в себя сопряженный анализ основных компонентов элементарных и каскадных ландшафтно-геохимических систем, изучение миграции в них химических элементов с учетом роли локальных геохимических барьеров.

Главным преимуществом экогеохимического подхода при мониторинге почв виноградников является то, что он позволяет провести анализ вертикальной и горизонтальной геохимической структуры ландшафта (R-, L-анализ). Экогеохимический мониторинг подразумевает также анализ фоновой геохимической структуры ландшафта, необходимой для сравнительной оценки геохимического состояния и ответных реакций агроландшафта на внешнее воздействие.

Правильно спланированный и организованный почвенно-экологический мониторинг ампелоценозов должен обеспечить выявление различных видов неблагоприятных изменений состояния почв в результате агрогенной и антропогенной деятельности с учетом специфических природных условий, усиливающих негативные последствия данных воздействий. В случае, когда объектом почвенного экологического мониторинга выступает виноградник, залогом успеха становится всесторонний комплексный анализ потенциальных проблемных экологических ситуаций, характерных для ампелоценозов, как правило, расположенных в условиях склонового ландшафта.

## 2. Особенности ампелоценозов как объекта мониторинга
## 2. Features of ampelocoenoses as a monitoring object

Виноградники являются специфическим объектом экологических исследований. Сложность их исследований определяется многокомпонентной геохимической структурой агроландшафтов, занятых виноградниками, повышенной неоднородностью их почвенного покрова, разнонаправленным влиянием комплекса внешних региональных и локальных факторов на процессы в базовых компонентах данного типа агроэкосистем.

Существенно усложняют сравнительный анализ экологического состояния исследуемых ампелоценозов и различные организационно-правовые формы виноградарских хозяйств. С одной стороны, это могут быть небольшие, принадлежащие частным винодельням участки прямоугольной, трапециевидной или неправильной форм, соседствующие друг с другом или разделенные зелеными изгородями, плодовыми насаждениями или луговыми фитоценозами и придающие ландшафту специфический мозаичный рисунок.

С другой стороны, так называемые промышленные виноградники, которыми владеют крупные винодельческие предприятия, как правило, имеют правильную форму и могут занимать обширные территории. Экономическая и организационно-правовая форма винодельческого предприятия в контексте проведения почвенно-экологического мониторинга влияет прежде всего на интенсивность применяемых в хозяйстве агротехнологий выращивания винограда и их системность. Под последней подразумевается следование при закладке и эксплуатации виноградников региональным технологическим картам, разработанным для богарных, орошаемых, равнинных участков и склонов определенного региона возделывания.

Приступая к изучению почв винодельческих предприятий разного размера и форм собственности, мы исходили из того, что интенсивные технологии выращивания несут заведомо большую агрогенную нагрузку на компоненты агроэкосистем виноградников и сопредельные среды. Однако исследования показали, что другие факторы, например, длительность возделывания виноградника на данной территории, схема применения пестицидов и морфологические характеристики склонов, могут сильно скорректировать ожидаемый результат. В этой связи из всех исследованных индикаторов мониторинга наиболее показательными оказались микробиологические, самые низкие значения которых были обнаружены в почве виноградников, возделываемых по интенсивным технологиям.

В региональном масштабе виноградарский ландшафт представляет собой комплекс иерархически структурированных элементов, объединенных функциональными связями. На микрорегиональном уровне каждый их этих элементов вносит свой индивидуальный вклад в формирование специфики места и региональной идентичности.

В качестве конструктивных компонентов таких ландшафтов выступают:

– точечные элементы (бетонные, металлические или деревянные столбы для поддержки проводов, к которым крепятся лозы);

– линейные элементы (ряды шпалер и находящиеся между ними междурядья, засеянные травянистой растительностью или представляющие собой черные пары, а также технологические проезды для сельскохозяйственной техники);

– инфраструктурные элементы (здания для переработки, хранения и продажи винодельческой продукции в виде виноделен, погребов, технических помещений и т.д.).

Разное сочетание локальных элементов формирует неповторимый для каждой местности рисунок, отражающий регионально-типологические особенности ампелоценоза, который подлежит тщательному изучению перед составлением программы почвенно-экологического мониторинга.

В целом на подготовительном этапе перед проведением полевых работ необходимо собрать из открытых источников и архивных материалов, а также путем опроса специалистов винодельческого хозяйства необходимую исходную информацию:

– климатические условия, агроклиматические ресурсы территории, частота и характер неблагоприятных погодных явлений, особенности

региональных проявлений глобальных климатических изменений;

– характеристика зональной растительности;

– тип, подтип почвы, гранулометрический состав, почвообразующая порода, наличие и уровень эродированности;

– рельеф местности, геохимические особенности территории (например, наличие природных биогеохимических провинций), характеристика соседних ландшафтов, наличие поблизости водных источников;

– при расположении изучаемого виноградника на склоне – характеристика склона (экспозиция, крутизна, протяженность, форма (прямая, вогнутая, выпуклая, сложная);

– история землепользования (характер землепользования за многолетний период, начало эксплуатации земельного фонда, динамика уровней химизации и т.п.);

– возраст исследуемого виноградника, сорт винограда, урожайность (желательно в динамике), технологическая характеристика ягод (кислотность, сахаристость), метод ведения куста;

– особенности применяемых агротехнологий: содержание междурядий (черный пар или залужение), механизированные приемы обработки почвы и ухода за кустами, способы обрезки кустов и утилизации органических остатков, применение орошения и т.д.;

– перечень наиболее распространенных болезней и вредителей;

– уровень заболеваемости и степень повреждения растений;

– схема применения средств защиты растений (перечень, частота, время обработки, дозы);

– схема применения минеральных и органических удобрений (перечень, частота и время внесения, дозы);

– наличие локальных и региональных факторов экогеохимического риска, которые могут повлиять на содержание загрязняющих веществ в почве и растениях винограда.

При необходимости учета специфических местных условий данный список может быть расширен. Помимо вышеперечисленной информации, много полезных данных можно получить, подобрав картографический материал исследуемой территории, в том числе в динамике за разные годы. Полученную на подготовительном этапе информацию обрабатывают, сопоставляют со справочными материалами и тщательно анализируют.

Рассмотрим примеры влияния перечисленных выше природных и агрогенных факторов на программу агроэкологического мониторинга, анализ и интерпретацию его результатов, а также на выбор индикаторов мониторинга, которые отражают экологическое состояние почв ампелоценозов, их взаимосвязь с сопредельными средами и устойчивость агроэкосистемы виноградника в целом на примере наших исследований в Севастопольском районе Республики Крым и Автономном крае Воеводина Республики Сербия.

## 3. Примеры учета факторов экологического риска при проведении почвенно-экологического мониторинга в ампелоценозах

## 3. Examples of consideration of environmental risk factors in soil-ecological monitoring in ampelocoenoses

### *3.1. Почвенно-климатическая зона и региональные проявления глобальных климатических изменений*

### *3.1. Soil-climatic zone and regional manifestations of global climate change*

Большинство винодельческих хозяйств мира расположено в умеренных климатических зонах: в Европе сконцентрированы между 40 и 50° широты, в Америке и в Южном полушарии – между 30 и 40° широты. Это способствует оптимальному накоплению и соотношению содержания сахаров и кислот в ягодах винограда, необходимого для создания наиболее качественных вин. В этих широтах виноградная лоза набирает необходимую сумму активных температур, особенно если виноградники располагаются на склонах, примыкающих к речным артериям, что позволяет получать дополнительную инсоляцию.

Однако территории, входящие в обозначенный винный пояс, могут существенно различаться по количеству выпадающих за сезон осадков. Влажность почвы, особенно в средиземноморском типе климата, часто выступает главным лимитирующим фактором, снижающим биологическую активность почвы, ограничивающим продуктивность винограда и значительно влияющим на качество виноматериалов.

Для проведения почвенно-экологического мониторинга были выбраны два исторических винодельческих региона: Севастопольский район Республики Крым и регион Национального парка Фрушка Гора Автономного края Воеводина Республики Сербия (около г. Сремски Карловци), расположенных в горном ландшафте. Оба региона исследования находятся практически на одинаковой широте (рис. 1), что предопределило схожий температурный режим. Однако разная удаленность от океана и внутренних морей повлияла на то, что климат Севастопольской зоны виноделия относится к субтропическому средиземноморского типа, тогда как в г. Сремски Карловци – умеренно-континентальный с элементами субгумидного и мезотермического климата.

Рассчитанные тепловой индекс Уинклера (сумма активных температур, превышающих 10°С, в течение вегетационного периода) и гелиотермический индекс Хуглина, характеризующего тепловой и инсоляционный потенциал территории, показали, что исследуемые районы обладают достаточно высоким уровнем теплообеспеченности с некоторым превышением данного показателя в Автономном крае

Воеводина [13] и благоприятны по данному показателю для культивирования виноградной лозы.

Выбор данных регионов интересен тем, что при весьма близких параметрах температурного режима количество осадков на их территории существенно отличается (рис. 2). Лето на территории Севастопольской зоны виноделия жаркое и засушливое, среднегодовое количество осадков изменяется от 300 до 400 мм


**Рис. 1.** Расположение регионов исследования относительно 45-й параллели северной широты

**Fig. 1.** Location of the study regions relative to the 45th parallel of northern latitude

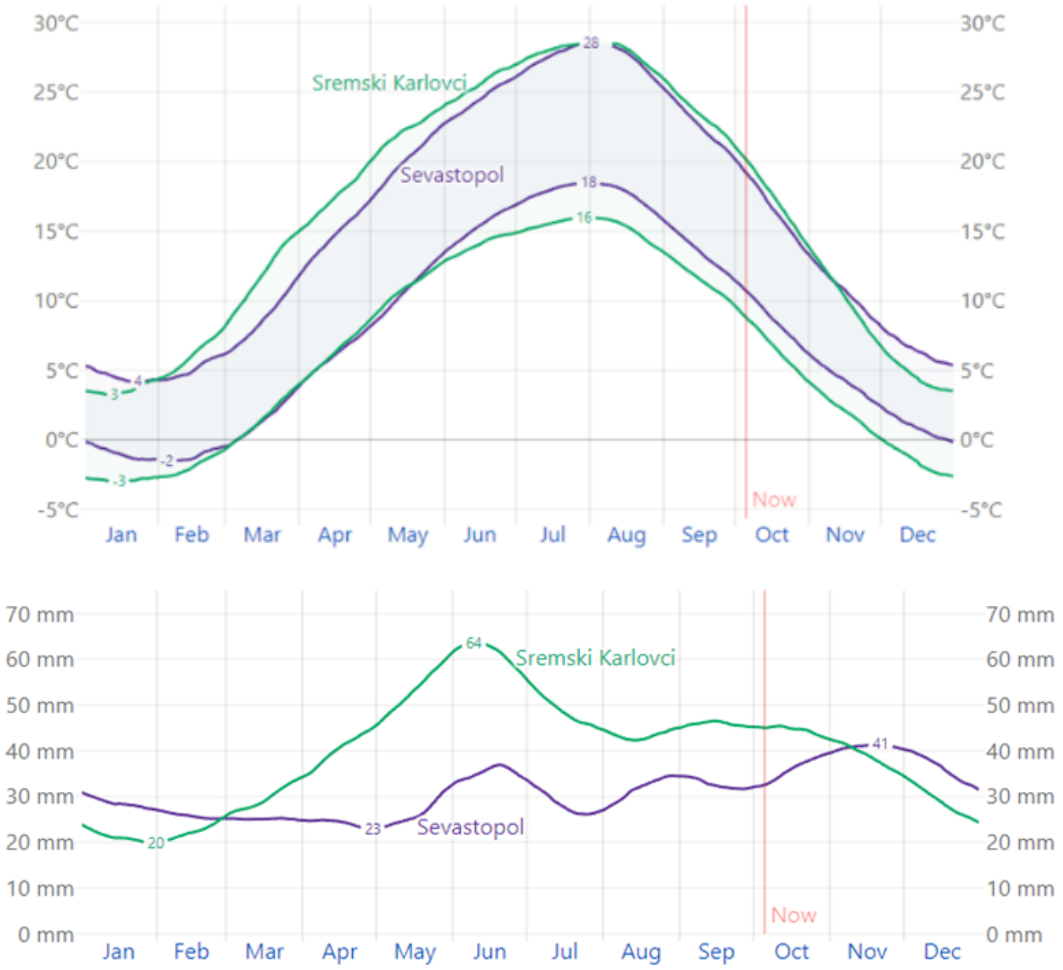



**Рис. 2.** Сравнительная динамика среднемесячных температур и среднемесячного количества осадков в г. Севастополе и г. Сремски Карловци (https://weatherspark.com)

**Fig. 2.** Comparative dynamics of average monthly temperatures and average monthly precipitation in Sevastopol and Sremski Karlovci (https://weatherspark.com)

в год, в то время как в г. Сремски Карловци данный показатель вдвое выше и составляет порядка 760 мм.

Контрастность регионов исследования демонстрируют рассчитанные нами показатели коэффициента увлажнения Иванова-Высоцкого (1,13 против 0,39) и гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова (0,86 против 0,54 в г. Сремски Карловци и г. Севастополе соответственно). Месячные суммы осадков осенне-зимнего периода в Севастопольском регионе существенно выше их среднегодовых значений, а весенне-летнего – значительно ниже, поэтому количество осадков выступает в качестве лимитирующего экологического фактора растениеводства.

Культура винограда относительно устойчива к засушливым условиям, однако при орошении ее продуктивность заметно повышается. В контексте почвенных характеристик различные условия увлажнения отражаются в первую очередь на биологической активности почвы, степени выраженности эрозионных процессов и интенсивности миграции мобильных веществ в сопряженных элементах мезорельефа. Так, наши исследования показали, что величина базального дыхания почв ампелоценозов Автономного края Воеводина Республики Сербия оказалась в 6-11 раз выше (!), чем в почвах ампелоценозов юго-западной части Крыма.

Разное количество осадков оказывает прямое влияние и на применяемые в винодельческих хозяйствах агротехнические приемы. В условиях недостатка почвенной влаги в летние месяцы виноградари практикуют подавление в междурядьях сорных растений, составляющих конкуренцию виноградной лозе за воду и питательные вещества, посредством культивации междурядий и пестицидных обработок [14].

Между тем данные агротехнические приемы приводят к повышенной минерализации органического вещества в почвах виноградников, снижению почвенного плодородия, развитию эрозионных процессов, особенно на склоновых формах рельефа, уплотнению почвы и снижению ее биологической активности.

В связи с этим обязательными индикаторами почвенно-экологического мониторинга в ампелоценозах являются показатели почвенного плодородия. Много полезной информации с целью раннего выявления факторов риска для агроэкосистем виноградников можно получить и при анализе состояния микробного сообщества почвы [15].

### *3.2. Рельеф местности, геохимические особенности ландшафта*
### *3.2. Terrain relief, geochemical features of the landscape*

Ампелоценозы нередко размещают в горных или холмистых районах, где они соседствуют как с пахотными землями и другими многолетними культурными насаждениями, так и с природными экосистемами: лесами, кустарниками, водными источниками.

Вследствие геохимического сопряжения элементарных ландшафтов склонов наблюдаются активные процессы латерального перемещения веществ в виде их механической миграции и растворов с поверхностным (рис. 3) и внутрипочвенным стоком в нижележащие элементы рельефа и соседние ландшафты [16].

**Рис. 3.** Наносы почвы в нижней части склона под виноградником около сельского поселения Добриловац Автономного края Воеводина Республики Сербия (фото И.В. Андреевой)

**Fig. 3.** Soil deposits in the lower part of the slope under the vineyard near the rural settlement of Dobrilovac in the Autonomous Province of Vojvodina, Republic of Serbia (photo by I.V. Andreeva)

В целях корректного проведения мониторинговых исследований важно понимать, что накопление влаги, водорастворимых солей и твердых веществ, которые перемещаются по склону вместе с водными потоками под действием силы тяжести, происходит наиболее интенсивно в нижних частях склонов, в междурядьях винограда, особенно расположенных вдоль склона и не занятых растительностью, а также в пределах технологических дорог, по которым перемещается техника для проведения уходовых процедур за виноградом (рис. 4, 5).

Эрозионные процессы на склоновых почвах под виноградниками могут усиливать высокое среднегодовое количество осадков [18], повышение частоты экстремальных осадков, собирающие и выпуклые формы склонов, легкий гранулометрический состав почв с невысоким содержанием органического вещества, расположение рядов винограда вдоль склона, отсутствие почвопокровных культур в междурядьях и их интенсивную культивацию [19-21].

Особую тревогу вызывает отмечаемая в научной литературе для почв ампелоценозов миграция по склону органического вещества, элементов питания растений и тяжелых металлов, что способствует усилению пространственной неоднородности агроэкологического качества почв ампелоценозов [22]. Так, наши исследования в склоновых ландшафтах горной гряды Фрушка гора Автономного края Воеводины показали, что в винодельческом хозяйстве с интенсивной системой выращивания винограда наиболее низкое содержание органического вещества обнаружено в верхней части склона со значениями от 1,02 до 1,36% в зависимости от горизонта, тогда как в почве средней и нижней частей склона данный показатель был существенно выше и находился в диапазоне от 2,70 до 3,33%.

**Рис. 4.** Развитие эрозионных процессов на виноградниках (источник: Pijl et al., 2021 [17])

**Fig. 4.** Development of erosion processes in vineyards (source: Pijl et al., 2021 [17])

**Рис. 5.** Мелкоструйчатый размыв почвы в пределах технологической колеи виноградника в Автономном крае Воеводина Республики Сербия после продолжительных ливневых осадков (фото И.В. Андреевой)

**Fig. 5.** Fine jet erosion of soil within the technological track of a vineyard in the Autonomous Province of Vojvodina, Republic of Serbia, after prolonged heavy rainfall (photo by I.V. Andreeva)

Отмеченную тенденцию повторял и показатель скорости базального дыхания, который в поверхностном горизонте 0-5 см последовательно возрастал от верхней части склона к нижней. Кроме того, наши исследования подтвердили тесную корреляционную связь содержания органического вещества и меди, которая накапливается в поверхностных горизонтах виноградников вследствие интенсивного использования медьсодержащих пестицидов для контроля грибковых заболеваний. Как следствие, медь мигрировала по склону в составе комплексов с органическим веществом, в результате чего происходило накопление элемента в средней или нижней части склона в зависимости от параметров его мезо- и микрорельефа.

### *3.3. История землепользования и возраст насаждений*
### *3.3. History of land use and age of plantations*

В системе почвенно-экологического мониторинга виноградников необходимо учитывать как возраст текущих насаждений, так и по возможности – историю землепользования на участке. Это важно не только с точки зрения оценки влияния применявшихся агротехнологических приемов, но и в связи с распространенной мировой практикой широкого использования в системе защиты винограда медьсодержащих фунгицидов [23].

Хорошо известна эффективность данных препаратов для контроля оидиума, милдью и серой гнили – заболеваний, наносящих наибольший экономический ущерб виноградарям во всем мире. История применения, например, бордоской жидкости насчитывает, как минимум, полторы сотни лет, что связано с относительно высокой токсичностью для патогенов, дешевизной, малой токсичностью для теплокровных животных и человека, а также со способностью в течение длительного времени оставаться на поверхности растений после проведения обработки.

В результате одной из наиболее серьезных экологических проблем для почв виноградников стало накопление меди в верхних горизонтах почвы, содержание которой существенно выше в почве винодельческих регионов с длительной историей виноградарства и виноделия [24-26]. К таким регионам относятся, например, старейшие виноградники Бургундии и Шампани во Франции, Пьемонта и Ломбардии в Италии, Токай в Венгрии и т.д.

Наши исследования также проводились в исторических центрах виноделия. Первые виноградники на склонах Фрушки Горы Автономного края Воеводина Республики Сербия появились еще во времена правления римских императоров. В результате проведенного нами анализа данных на примере разновозрастных (от 15 до 200 лет) ампелоценозов с применением методов непараметрической статистики удалось установить решающую роль длительности возделывания винограда в накоплении и распределении меди в почве по сравнению с другими агрогенными и геогенными факторами. При этом уровень накопления и пространственное варьирование в почве других тяжелых металлов (марганца, хрома и кобальта) были связаны главным образом с условиями мезо- и микрорельефа (крутизной, протяженностью и формой склонов).

Ввиду длительной истории применения медьсодержащих фунгицидов особый интерес представляют мониторинговые исследования накопления и миграции меди в экосистемах виноградников возрастом более 100 лет [27]. Например, в результате подобных исследований на обогащенных медью почвах выявлены признаки ее фитотоксичности для виноградных растений и почвенной биоты, изменение формы и биодоступности меди в ризосфере растений, снижение скорости разложения органического вещества и даже изменение минералогического состава и геохимических свойств обогащенных медью почв, что рассматривают как один из факторов их деградации и источник экологического риска для соседних ландшафтов [28, 29].

Почвенно-экологический мониторинг на территории виноградников желательно сочетать с элементами фонового мониторинга, который предоставляет ценную информацию об эталонах окружающей среды с целью выявления тенденций их изменения на исследуемых территориях.

В современных условиях общепланетарного загрязнения фоновые территории определяются не как зоны отсутствия антропогенного воздействия, а как территории, в наименьшей мере подверженные локальному и региональному загрязнению. Однако в исторических винодельческих регионах могут возникнуть трудности с подбором фонового участка. Так, в почвенном профиле 0-140 см выбранного нами в качестве фонового участка с естественной луговой растительностью, расположенного недалеко от исследуемых виноградных насаждений на склонах Фрушки Горы, содержание меди колебалось в относительно узком диапазоне от 49,2 до 57,8 мг/кг до глубины 0-80 см. Лишь начиная с глубины 80 см содержание элемента последовательно снижалось и достигало средней величины 18,5 мг/кг. Низкое содержание меди в почвообразующей породе указывало на наличие антропогенных или скорее агрогенных источников обогащения медью верхней части почвенного профиля. Аналогичную картину внутрипрофильного распределения меди в том же районе исследования обнаружили Ninkov et al. (2012) для залежной почвы, на которой виноград культивировался порядка 50 лет назад [30]. Поэтому вполне вероятно, что ранее данный участок использовался для выращивания винограда, и в мониторинговых исследованиях его можно рассматривать как условно фоновый.

Чаще всего в статьях с результатами мониторинга ампелоценозов в качестве фоновой территории

используются лесные участки или лесополосы, которые расположены в непосредственной близости от территории виноградника. Отмечается, что такие участки гарантированно порядка 200 лет не использовались для культивирования винограда, и потому результаты, полученные на таких участках, пригодны в качестве фоновых для оценки степени агрогенной трансформации почв виноградников.

Крым в этом отношении представляет собой еще более проблемную территорию, поскольку является древнеземледельческим районом. Считается, что первые лозы появились здесь еще во времена античных греческих колоний примерно в V-VI вв. до н.э. Культурные слои и наличие большого количества старопахотных почв, сохранивших признаки прежних земледельческих нагрузок, сильно осложняют подбор фонового участка [31]. Кроме того, на динамику площадей под виноградниками на данной территории сильное влияние оказывали периодические эпифитотии заболеваний (например, филлоксерой), социально-экономический спад 90-х гг. XX в., климатические катаклизмы, антиалкогольная кампания 1985-1988 гг. В результате средний возраст виноградных насаждений Крыма на настоящий момент составляет около 25 лет. Значительная пространственная неоднородность почв и присутствие артефактов затрудняют интерпретацию данных и оценку влияния отдельных факторов на результаты исследований.

Еще одним важным методическим аспектом, связанным с историей землепользования, является устойчивая тенденция перепрофилирования виноградников. Так, в Австралии и в некоторых европейских странах главным образом по экономическим причинам часть земель под виноградниками переводят под выращивание других культур, тогда как в Республике Крым наблюдается обратная тенденция: активное вовлечение залежных земель в сельскохозяйственный оборот под закладку виноградников. Это вызывает большой исследовательский интерес со стороны научного сообщества, связанный с изучением изменений физико-химических и биологических показателей почвы в результате смены землепользования [32, 33]. Например, установлено, что накопленная в результате длительного выращивания винограда медь в верхних горизонтах почвы оказывала фитотоксическое действие на растения пшеницы [34].

Наши исследования в Крыму показали, что за три года с момента восстановления постагрогенной почвы под закладку виноградников в ней снизилось содержание органического вещества, а валовое содержание меди, цинка и подвижной серы, напротив, возросло. Кроме того, на почвах залежей, на которых ранее около 40-60 лет выращивались виноградники с применением химической защиты растений, установлены низкие показатели микробной биомассы, дыхательной активности почвы и выходящие за пределы оптимальных значений экофизиологические индексы, что указывает на неблагоприятные условия функционирования микробного сообщества этих почв, несмотря на общее накопление органического вещества [35].

### *3.4. Тип землепользования и агротехнические приемы выращивания*
### *3.4. Land use type and agronomic practices for cultivation*

При всем многообразии подходов к управлению виноградниками в целом они сводятся к трем системам: традиционной, органической и биодинамической. В традиционном виноделии используется широкий спектр химических препаратов различных классов и степени опасности как для профилактических обработок, так и для лечения растений винограда. Интерес к альтернативному виноградарству и виноделию в последние годы возрос в связи с вниманием общества к проблемам охраны окружающей среды и снижению темпов деградации почв и повышением спроса на экологически безопасную продукцию.

Органическое земледелие представляет собой системный подход, направленный на поддержание здоровья агроэкосистемы в целом, и почвы – в частности, активное использование биологического метода при удобрении и контроле вредных организмов [36]. Для некоторых европейских стран, где рынок органической продукции хорошо сформирован, вино составляет важную часть этого рынка с долей более 10% от общего объема винодельческой продукции [37].

Основная идея биодинамического земледелия заключается в том, что каждый обрабатываемый участок рассматривается как живая, сложная, саморегулируемая экосистема, неразрывно связанная с космосом и являющаяся его частью [38]. Несмотря на то, что биодинамические стандарты похожи на принципы органического сельского хозяйства, они отличаются использованием специально разработанных биодинамических препаратов для растений, почвы и компостов. Кроме того, в отличие от органической биодинамическая система находится вне сферы государственного регулирования, и доля такой продукции на рынке невелика.

В свою очередь, традиционные системы выращивания характеризуются большим разнообразием способов расположения виноградников на местности, обработки почвы и ухода за виноградными лозами. Уровень агротехники и применяемые агротехнологии зависят от размера хозяйств, финансовых возможностей предприятия и уровня компетентности специалистов, почвенно-климатических условий и ландшафтных особенностей территории, на которых располагаются виноградники, и прочих факторов.

Влиянию агрогенных факторов в отдельности и их сочетания на продуктивность винограда и компоненты окружающей среды в хозяйствах с разными системами землепользования посвящено множество научных исследований [39]. Большинство авторов

сходятся во мнении о том, что почвы органических винодельческих хозяйств имеют более благоприятные физико-химические и микробиологические показатели по сравнению с традиционными [40]. Аналогичный вывод был сделан по результатам наших исследований, проведенных под Севастополем [35].

В то же время необходимо учитывать тот факт, что медьсодержащие фунгициды разрешены к использованию, в том числе в органических хозяйствах, где они являются подчас единственным эффективным средством для борьбы с болезнями виноградной лозы. Поэтому проблема меди в органических хозяйствах не только не снимается, но и зачастую стоит более остро за счет того, что альтернативы в виде органических пестицидов для таких хозяйств не существует [41].

Даже в заброшенных 100-летних виноградниках, на которых медьсодержащие препараты не применялись в течение последних 40 лет, мы наблюдали эффект их последействия, который заключался не только в накоплении меди в почве выше установленных нормативных значений, но в ряде случаев и в опасных количествах – в ягодах винограда [42].

Этот факт необходимо учитывать при переводе виноградников с традиционной на органическую систему земледелия, а также при введении в сельскохозяйственный оборот залежных почв после длительного возделывания на них виноградных насаждений ранее.

Наши исследования выявили и заметно большее содержание подвижной серы в почвах хозяйств с органической системой землепользования, что также связано с разрешенным применением данного элемента при производстве органической продукции в составе фунгицидов, акарицидов и репеллентов.

Система ведения куста и расположение виноградника на склонах не только влияют на условия инсоляции и продуваемости кустов, но и имеют определенные экологические последствия. Так, в наших исследованиях на виноградниках интенсивного типа в Воеводине показано, что расположение рядов винограда (вертикальная шпалера) вдоль склона крутизной 5-13° способствовало активному развитию эрозионных процессов, что усугублялось неоднократной культивацией междурядий в течение вегетационного периода.

Вопрос о необходимости междурядных обработок винограда также остается дискуссионным и широко обсуждается в научных периодических изданиях. При проведении почвенно-экологического мониторинга и анализе результатов исследований обязательно нужно учитывать применяемую в винодельческом хозяйстве систему управления междурядьями.

Преимуществом системы черного пара является снижение конкуренции со стороны сорных растений за воду, особенно в регионах с недостаточным количеством атмосферной влаги, создание условий для лучшего проникновения и сохранения влаги в почве, облегчения контроля за численностью возбудителей заболеваний и вредителей [14].

Сторонники сохранения междурядной растительности, особенно с бобовым компонентом в ее составе, наоборот, аргументируют это улучшением физических и биологических свойств почвы, созданием более благоприятных микроклиматических условий для растений винограда, повышением их устойчивости к болезням и вредителям [43].

Система ведения междурядий может оказать существенное влияние на плотность почвы, ее биологическую активность, темпы минерализации органического вещества, его количественные и качественные характеристики, скорость и степень развития эрозионных процессов, мощность плодородного слоя и т.д. [44].

Широко применяемая в виноградниках механическая обработка почвы (сезонная глубокая вспашка, чизелевание, разноглубинные культивации и периодическое обновление плантажа) могут изменить картину накопления и внутрипрофильного распределения меди и других тяжелых металлов в почве ампелоценозов.

Необходимо учитывать и ежегодно практикуемое в определенных климатических зонах укрытие кустов земляным валом (перемещение почвы из междурядий к рядам с растениями) с последующей отпашкой укрывных валов в весенний период. Вал высотой 20-25 см призван обеспечить надежную защиту кустов от морозов.

Возможно, перемешивание почвы в результате ее постоянного перемещения из междурядий к кустам и обратно является причиной отсутствия достоверных различий в содержании меди в почве, отобранной в рядах винограда и междурядьях, отмеченной в исследованиях (в том числе в наших), несмотря на обработку химическими средствами защиты растений в рядах [30]. Для виноградников с обрабатываемыми междурядьями это позволяет сократить программу мониторинговых исследований и сэкономить ресурсы. В то же время механические, физико-химические и микробиологические показатели почвы в междурядьях с постоянным задернением могут иметь существенные отличия от почвы, отобранной непосредственно в рядах [45].

Глубокая вспашка и чизелевание почвы проводятся осенью на глубину до 30-35 см, периодическое обновление плантажа – один раз в 3-4 года на глубину до 70 см. Производимое при этом вертикальное перемещение верхних слоев почвы способствует проникновению меди и других загрязняющих веществ в глубь почвенного профиля и ее распределению в нем, что и наблюдалось в залежной почве после длительного культивирования винограда в регионе Фрушка Гора согласно приведенному выше описанию. Поэтому при проведении почвенно-экологических исследований на виноградниках целесообразно не ограничиваться горизонтом 0-30 см и отбирать образцы из более глубоких слоев почвы для большей информативности и лучшего понимания происходящих процессов миграции токсикантов. Для культуры винограда это

имеет особое значение, так как корни виноградного растения могут распространяться на глубину в несколько метров в поисках влаги, что особенно отчетливо проявляется в условиях засушливого климата.

Глубокая механическая обработка почвы виноградников, плантажная вспашка при перезакладке виноградника и обновлении плантажа приводят к коренным изменениям генетического сложения почвы со взаимным перемещением слоев и горизонтов в вертикальном направлении. Перемешивание пахотного и подпахотного горизонтов почвы может привести к неравномерному распределению органического вещества по профилю с пиком в нижележащих слоях почвы вследствие сбрасывания вниз обогащенного гумусом верхнего слоя. Эти особенности агротехнологических приемов на почвах ампелоценозов также необходимо учитывать при проведении анализа показателей почвенного плодородия, биологической активности почвы, латерального и радиального распределения валового содержания и содержания подвижных форм тяжелых металлов, содержания остаточных количеств пестицидов и т.д.

В ампелоценозах агрогенные факторы тесно переплетаются с локальными особенностями ландшафтов. Применяемые агротехнологические приемы выращивания винограда в каждом винодельческом хозяйстве имеют свою специфику: они могут усилить или, напротив, ослабить проявление ландшафтных характеристик местности. Например, в регионе Фрушка Гора в Воеводине мы исследовали небольшой частный виноградник, который в течение порядка 200 лет культивировался по архаичной технологии в виде штамбов – отдельно стоящих кустов винограда без опор, равномерно расположенных по всему выровненному, постоянно задерненному естественной луговой растительностью склону крутизной 10°. Характер распределения меди, марганца, хрома и кобальта показал преобладание их радиальной миграции над латеральной, возможно, в связи с их закреплением в корнеобитаемой зоне почвы и активным выносом луговой растительностью. Тем не менее была установлена и выраженная латеральная миграция меди с зоной аккумуляции в нижней части склона со значениями коэффициента латеральной дифференциации в горизонте 15-30 см, достигающими 4,00 и 5,57 в периметре кроны кустов и между кустами соответственно. Необходимо отметить, что в условиях отсутствия механической обработки содержание органического вещества в почве подчинялось его классическому профильному распределению с максимумом в поверхностном горизонте 0-5 см.

## Выводы
## Conclusions

Почвенно-экологический мониторинг ампелоценозов предоставляет заинтересованным лицам всю необходимую актуальную информацию, позволяющую принимать агроэкологически обоснованные решения по управлению виноградниками в целях предоставления ими экосистемных услуг и сохранения качества окружающей природной среды. В статье рассмотрены лишь некоторые аспекты, которые необходимо принимать во внимание при подготовке и проведении почвенно-экологического мониторинга в условиях агроэкосистем виноградников, с которыми пришлось столкнуться авторам при проведении подобных исследований в Крыму и Республике Сербии. Однако они наглядно демонстрируют сложность и многогранность данного объекта исследований, что в свою очередь предопределяет комплексность методических подходов к мониторингу и его агроэкологической оценке.

Каждый виноградник – это уникальный результат взаимодействия локальных климатических, топографических, эдафических и агрогенных факторов, который в виноделии принято считать терруаром. Наложение этих факторов друг на друга в сочетании с воздействием различных техногенных источников может приводить к неоднозначным изменениям компонентов окружающей среды в пределах виноградника и сопряженных территорий, не характерных для природных ландшафтов.

В частности, могут значительно меняться состав и интенсивность геохимических потоков техногенных веществ через агроэкосистемы с формированием зон аккумуляции и рассеивания, характер накопления и перераспределения по профилю органического вещества и его качественный состав, усиливаться поверхностный сток на эрозионно опасных участках, охватывающих в первую очередь междурядья и магистральные дороги виноградников, расположенных в горном ландшафте.

Перечисленные и прочие аспекты вызывают необходимость тщательного изучения в рамках агроэкологического мониторинга локальных особенностей взаимодействия природных, агрогенных и техногенных факторов, а также всесторонней оценки комбинаторики производимого ими экологического эффекта – как положительного, так и отрицательного.

Результаты проведенных исследований показали, что классическое определение показателей состояния почв в случае с ампелоценозами необходимо дополнять экогеохимическими исследованиями, особенно в части уровней накопления и миграции соединений меди и подвижной серы с учетом ландшафтных особенностей территории, а также показателями биологической активности почвы, которые выступают ранними индикаторами происходящих негативных изменений в агроэкосистеме виноградников. В последнем случае в качестве информативного и полезного инструмента системного анализа проблемных экологических ситуаций выступают экофизиологические индексы, демонстрирующие актуальный статус почвенного микробиома.

**Список источников**

1. Candiago S., Winkler K., Giombini V. et al. An ecosystem service approach to the study of vineyard landscapes in the context of climate change: a review. *Sustainability Science*. 2022;18(4):1-17. https://doi.org/10.1007/s11625-022-01223-x

2. Giffard B., Winter S., Guidoni S., Nicolai A. et al. Vineyard Management and Its Impacts on Soil Biodiversity, Functions, and Ecosystem Services. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2022;10:850272. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.850272

3. Oliveira M., Ribeiro J. The cultural landscape paradigm: conservation approaches and tools – the case of the Pico Island vineyard culture, Azores Portugal. *The International Journal of Design in Society*. 2013;6(3):129-147. https://doi.org/10.18848/2325-1328/CGP/v06i03/38511

4. Fraga H., Malheiro A.C., Moutinho-Pereira J. et al. An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food and Energy Security*. 2012;1(2):94-110. https://doi.org/10.1002/fes3.14

5. Azorín P.R., García J.G. The productive, economic, and social efficiency of vineyards using combined drought-tolerant rootstocks and efficient low water volume deficit irrigation techniques under Mediterranean semiarid conditions. *Sustainability*. 2020;12(5):1930. https://doi.org/10.3390/su12051930

6. Marlowe B., Bauman M. Terroir Tourism: Experiences in Organic Vineyards. *Beverages*. 2019;5(2):30. https://doi.org/10.3390/beverages5020030

7. Cross R., Plantinga A., Stavins R. Terroir in the New World: Hedonic Estimation of Vineyard Sale Prices in California. *Journal of Wine Economics*. 2017;12(3):282-301. https://doi.org/10.1017/jwe.2017.27

8. Cruz-Silva A., Laureano G., Pereira M., Dias R. et al. A New Perspective for Vineyard Terroirs Identity: Looking for Microbial Indicator Species. *Microorganisms*. 2023;11(3):672. https://doi.org/10.3390/microorganisms11030672

9. Schmidtke L., Bastian S., Bindon K., Bonada M. et al. Exploring Interactions Between Vineyard Performance, Grape and Wine Composition and Subregional Boundaries – The Terroir of Barossa Shiraz. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2024;1:2622516. https://doi.org/10.1155/ajgw/2622516

10. Visconti F., López R., Olego M.Á. The Health of Vineyard Soils: Towards a Sustainable Viticulture. *Horticulturae*. 2024;10(2):154. https://doi.org/10.3390/horticulturae10020154

11. Andrés P., Doblas-Miranda E., Silva-Sanchez A., Mattana S. Physical, Chemical, and Biological Indicators of Soil Quality in Mediterranean Vineyards under Contrasting Farming Schemes. *Agronomy*. 2022;12(11). https://doi.org/10.3390/agronomy12112643

12. Pham N., Babcsanyi I., Farsang A. Soil contamination and ecological risk of heavy metals in alkaline vineyard soil. *Conference*: *EGU General Assembly. May 4 – May 8, 2020.* Vienna, Austria: EGU2020-1587, 2020. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-1587

13. Габечая В.В., Андреева И.В., Морев Д.В. Сравнительный анализ лимитирующих функционирование почвенного микробиома факторов при культивировании винограда в условиях Южного берега Крыма и Автономного края Воеводина Республики Сербия // *АгроЭкоИнфо*. 2023. № 6 (60). https://doi.org/10.51419/202136628

**References**

1. Candiago S., Winkler K., Giombini V. et al. An ecosystem service approach to the study of vineyard landscapes in the context of climate change: a review. *Sustainability Science*. 2022;18(4):1-17. https://doi.org/10.1007/s11625-022-01223-x

2. Giffard B., Winter S., Guidoni S., Nicolai A. et al. Vineyard Management and Its Impacts on Soil Biodiversity, Functions, and Ecosystem Services. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2022;10:850272. https://doi.org/10.3389/fevo.2022.850272

3. Oliveira M., Ribeiro J. The cultural landscape paradigm: conservation approaches and tools – the case of the Pico Island vineyard culture, Azores Portugal. *The International Journal of Design in Society*. 2013;6(3):129-147. https://doi.org/10.18848/2325-1328/CGP/v06i03/38511

4. Fraga H., Malheiro A.C., Moutinho-Pereira J. et al. An overview of climate change impacts on European viticulture. *Food and Energy Security*. 2012;1(2):94-110. https://doi.org/10.1002/fes3.14

5. Azorín P.R., García J.G. The productive, economic, and social efficiency of vineyards using combined drought-tolerant rootstocks and efficient low water volume deficit irrigation techniques under Mediterranean semiarid conditions. *Sustainability*. 2020;12(5):1930. https://doi.org/10.3390/su12051930

6. Marlowe B., Bauman M. Terroir Tourism: Experiences in Organic Vineyards. *Beverages*. 2019;5(2):30. https://doi.org/10.3390/beverages5020030

7. Cross R., Plantinga A., Stavins R. Terroir in the New World: Hedonic Estimation of Vineyard Sale Prices in California. *Journal of Wine Economics*. 2017;12(3):282-301. https://doi.org/10.1017/jwe.2017.27

8. Cruz-Silva A., Laureano G., Pereira M., Dias R. et al. A New Perspective for Vineyard Terroirs Identity: Looking for Microbial Indicator Species. *Microorganisms*. 2023;11(3):672. https://doi.org/10.3390/microorganisms11030672

9. Schmidtke L., Bastian S., Bindon K., Bonada M. et al. Exploring Interactions Between Vineyard Performance, Grape and Wine Composition and Subregional Boundaries – The Terroir of Barossa Shiraz. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 2024;1:2622516. https://doi.org/10.1155/ajgw/2622516

10. Visconti F., López R., Olego M.Á. The Health of Vineyard Soils: Towards a Sustainable Viticulture. *Horticulturae*. 2024;10(2):154. https://doi.org/10.3390/horticulturae10020154

11. Andrés P., Doblas-Miranda E., Silva-Sanchez A., Mattana S. Physical, Chemical, and Biological Indicators of Soil Quality in Mediterranean Vineyards under Contrasting Farming Schemes. *Agronomy*. 2022;12(11). https://doi.org/10.3390/agronomy12112643

12. Pham N., Babcsanyi I., Farsang A. Soil contamination and ecological risk of heavy metals in alkaline vineyard soil. *Conference*: *EGU General Assembly. May 4 – May 8, 2020.* Vienna, Austria: EGU2020-1587, 2020. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-1587

13. Gabechaya V.V., Andreeva I.V., Morev D.V. Comparative analysis of factors limiting the functioning of the soil microbiome during grape cultivation under the conditions of the Southern coast of Crimea and the Autonomous Province of Vojvodina, Republic of Serbia. *AgroEcoInfo.* 2023;6(60). (In Russ.) https://doi.org/10.51419/202136628

14. Sharma P., Singh A., Kahlon C.S., Brar A.S. et al. The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture – a review paper. American Journal of Plant Sciences. 2018;9:1935-1951. https://doi.org/10.4236/ajps.2018.99140

15. Rawnsley B. Assessment of soil health in vineyards. *Acta Horticulturae*. 2014;1018:417-423. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1018.45

16. Kenderessy P., Lieskovsky J. Impact of the soil erosion on soil properties along a slope catena-case study Horný Ohaj Vineyards, Slovakia. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2014;9:143-152.

17. Pijl A., Wang W., Straffelini E., Tarolli P. Soil and water conservation in terraced and non-terraced cultivations a massive comparison of 50 vineyards. *Land Degradation & Development*. 2021;33:596-610. https://doi.org/10.1002/ldr.4170

18. Faucher M., Grellier S., Chaudron C., Jean-Louis J. et al. Mediterranean vineyard soil seed bank characterization along a slope/disturbance gradient: opportunities for land sharing. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2024;361:108821. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108821

19. Bortoluzzi E.C., Korchagin J., Moterle D.F., Rheinheimer dos Santos D. et al. Accumulation and precipitation of Cu and Zn in a centenarian vineyard. Soil *Science Society of America Journal*. 2019:83:492-502. https://doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0328

20. Prosdocimi M., Cerdà A., Tarolli P. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. *Catena*. 2016;141:1-21. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.010

21. Ha Nhung P.T., Viet N.Q. Assessing the Impact of Erosion and Farming Practices on the Spatial Distribution of Topsoil Characteristics in a Sloping Vineyard Using an Open-source QGIS Software. *VNU Journal of Science*: *Earth and Environmental Sciences*. 2023;39(4):91-101. https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5016

22. Jurisio A., Ivica K., Zgorelec Z., Kvaternjak I. Influence of water erosion on copper and sulphur distribution in vineyard soils. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2012;13:880-889.

23. Rocha G., Lini R., Barbosa F., Batista B. et al. Exposure to heavy metals due to pesticide use by vineyard farmers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2014;88:875-880. https://doi.org/10.1007/s00420-014-1010-1

24. Lorenzoni P., Valboa G., Papini R., Paone R. et al. Soil Copper and Zinc Accumulation and Bioavailability under a Long Term Vineyard Cultivation in South Italy. *Italian Journal of Agronomy*. 2007;2(1):31-39. https://doi.org/10.4081/IJA.2007.31

25. Brunetto G., Ferreira P., Melo G., Ceretta C. et al. Heavy metals in vineyards and orchard soils. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2017;39(2):263. https://doi.org/10.1590/0100-29452017 263

26. Romic M., Filipović L., Bakić H., Romić D. Copper Accumulation in Vineyard Soils: Distribution, Fractionation and Bioavailability Assessment. In: *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*. 2014. https://doi.org/10.5772/57266

27. Rodrigo-Comino J., Brings C., Iserloh T., Casper M.C. et al. Temporal changes in soil water erosion on sloping vineyards in the Ruwer-Mosel Valley. The impact of age and plantation works in young and old vines. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2017;65(4):402-409. https://doi.org/10.1515/johh-2017-0022

14. Sharma P., Singh A., Kahlon C.S., Brar A.S. et al. The role of cover crops towards sustainable soil health and agriculture – a review paper. *American Journal of Plant Sciences.* 2018;9:1935-1951. https://doi.org/10.4236/ajps.2018.99140

15. Rawnsley B. Assessment of soil health in vineyards. *Acta Horticulturae*. 2014;1018:417-423. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1018.45

16. Kenderessy P., Lieskovsky J. Impact of the soil erosion on soil properties along a slope catena-case study Horný Ohaj Vineyards, Slovakia. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2014;9:143-152.

17. Pijl A., Wang W., Straffelini E., Tarolli P. Soil and water conservation in terraced and non-terraced cultivations a massive comparison of 50 vineyards. *Land Degradation & Development*. 2021;33:596-610. https://doi.org/10.1002/ldr.4170

18. Faucher M., Grellier S., Chaudron C., Jean-Louis J. et al. Mediterranean vineyard soil seed bank characterization along a slope/disturbance gradient: opportunities for land sharing. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2024;361:108821. https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108821

19. Bortoluzzi E.C., Korchagin J., Moterle D.F., Rheinheimer dos Santos D. et al. Accumulation and precipitation of Cu and Zn in a centenarian vineyard. Soil *Science Society of America Journal*. 2019:83:492-502. https://doi.org/10.2136/sssaj2018.09.0328

20. Prosdocimi M., Cerdà A., Tarolli P. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review. *Catena*. 2016;141:1-21. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.010

21. Ha Nhung P.T., Viet N.Q. Assessing the Impact of Erosion and Farming Practices on the Spatial Distribution of Topsoil Characteristics in a Sloping Vineyard Using an Open-source QGIS Software. *VNU Journal of Science*: *Earth and Environmental Sciences*. 2023;39(4):91-101. https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5016

22. Jurisio A., Ivica K., Zgorelec Z., Kvaternjak I. Influence of water erosion on copper and sulphur distribution in vineyard soils. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2012;13:880-889.

23. Rocha G., Lini R., Barbosa F., Batista B. et al. Exposure to heavy metals due to pesticide use by vineyard farmers. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2014;88:875-880. https://doi.org/10.1007/s00420-014-1010-1

24. Lorenzoni P., Valboa G., Papini R., Paone R. et al. Soil Copper and Zinc Accumulation and Bioavailability under a Long Term Vineyard Cultivation in South Italy. *Italian Journal of Agronomy*. 2007;2(1):31-39. https://doi.org/10.4081/IJA.2007.31

25. Brunetto G., Ferreira P., Melo G., Ceretta C. et al. Heavy metals in vineyards and orchard soils. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2017;39(2):263. https://doi.org/10.1590/0100-29452017 263

26. Romic M., Filipović L., Bakić H., Romić D. Copper Accumulation in Vineyard Soils: Distribution, Fractionation and Bioavailability Assessment. In: *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*. 2014. https://doi.org/10.5772/57266

27. Rodrigo-Comino J., Brings C., Iserloh T., Casper M.C. et al. Temporal changes in soil water erosion on sloping vineyards in the Ruwer-Mosel Valley. The impact of age and plantation works in young and old vines. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2017;65(4):402-409. https://doi.org/10.1515/johh-2017-0022

28. Kopittke P.M., Blamey F.P.C., Menzies N.W. Toxicities of soluble Al, Cu, and La include ruptures to rhizodermal and root cortical cells of cowpea. *Plant and Soil*. 2007;303:217-227. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9500-5

29. Majzlan J., Zittlau A.H., Grevel K.-D., Schliesser J. et al. Thermodynamic properties and phase equilibria of the secondary copper minerals libethenite, olivenite, pseudomalachite, kröhnkite, cyanochroite, and devilline. *The Canadian Mineral*. 2015;53:937-960. https://doi.org/10.3749/canmin.1400066

30. Ninkov J., Paprić Đ., Sekulić P., Zeremski-ŠkorićInstitute T. et al. Copper content of vineyard soils at Sremski Karlovci (Vojvodina Province, Serbia) as affected by the use of copper-based fungicides. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2012;92(5):592-600. http://dx.doi.org/10.1080/03067310903428743

31. Лисецкий Ф.Н. Геохимические особенности старопахотных почв в районах античного землепользования Крыма (на примере окрестностей Евпатории) // *Доклады Всероссийской научной конференции «Геохимия ландшафтов (к 100-летию А.И. Перельмана)»*. Москва: Географический факультет, 2016. С. 326-329.

32. Wightwick A.M., Mollah M.R., Partington D.L., Allinson G. Copper fungicide residues in Australian vineyard soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56:2457-2464. https://doi.org/10.1021/jf0727950

33. Peralta E., Perez G., Ojeda G., Alcañiz J.M. et al. Heavy metal availability assessment using portable X-ray fluorescence and single extraction procedures on former vineyard polluted soils. *Science of The Total Environment*. 2020;726:138670. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138670

34. Michaud A., Bravin M., Galleguillos M., Hinsinger P. Copper uptake and phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (Triticum turgidum durum L.) cultivated in Cu-contaminated, former vineyard soils. *Plant and Soil*. 2007;298:99-111. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9343-0

35. Gabechaya V., Andreeva I., Morev D., Yaroslavtsev A. et al. Exploring the Influence of Diverse Viticultural Systems on Soil Health Metrics in the Northern Black Sea Region. *Soil Systems*. 2023;7(3):73. https://doi.org/10.3390/soilsystems7030073

36. Colautti A., Civilini M., Contin M., Celotti E. et al. Organic vs. conventional: impact of cultivation treatments on the soil microbiota in the vineyard. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14. https://doi.org/14.10.3389/fmicb.2023.1242267

37. Castellini A., Mauracher C., Troiano S. An overview of the biodynamic wine sector. *International Journal of Wine Research*. 2017;9:1-11. https://doi.org/10.2147/IJWR.S69126.06

38. Botelho R., Roberti R., Tessarin P., Garcia-Mina J.M. et al. Physiological responses of grapevines to biodynamic management. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2015;1:1-12. https://doi.org/10.1017/S1742170515000320

39. Milićević T., Aničić Urošević M., Relic D., Jovanovićet G. et al. Environmental pollution influence to soil- plant-air system in organic vineyard: bioavailability, environmental, and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28:3361-3374. https://doi.org/10.1007/s11356-020-10649-8

40. Hendgen M., Döring J., Stöhrer V. et al. Spatial Differentiation of Physical and Chemical Soil Parameters

28. Kopittke P.M., Blamey F.P.C., Menzies N.W. Toxicities of soluble Al, Cu, and La include ruptures to rhizodermal and root cortical cells of cowpea. *Plant and Soil*. 2007;303:217-227. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9500-5

29. Majzlan J., Zittlau A.H., Grevel K.-D., Schliesser J. et al. Thermodynamic properties and phase equilibria of the secondary copper minerals libethenite, olivenite, pseudomalachite, kröhnkite, cyanochroite, and devilline. *The Canadian Mineral*. 2015;53:937-960. https://doi.org/10.3749/canmin.1400066

30. Ninkov J., Paprić Đ., Sekulić P., Zeremski-ŠkorićInstitute T. et al. Copper content of vineyard soils at Sremski Karlovci (Vojvodina Province, Serbia) as affected by the use of copper-based fungicides. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2012;92(5):592-600. http://dx.doi.org/10.1080/03067310903428743

31. Lisetskiy F.N. Geochemical features of old-arable soils in the areas of ancient land use of Crimea (on the example of the environs of Evpatoria). *Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya "Geokhimiya landshaftov (k 100-letiyu A.I. Perelmana)"*. Moscow, Russia: Geograficheskiy fakultet, 2016:326-329. (In Russ.)

32. Wightwick A.M., Mollah M.R., Partington D.L., Allinson G. Copper fungicide residues in Australian vineyard soils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56:2457-2464. https://doi.org/10.1021/jf0727950

33. Peralta E., Perez G., Ojeda G., Alcañiz J.M. et al. Heavy metal availability assessment using portable X-ray fluorescence and single extraction procedures on former vineyard polluted soils. *Science of the Total Environment*. 2020;726:138670. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138670

34. Michaud A., Bravin M., Galleguillos M., Hinsinger P. Copper uptake and phytotoxicity as assessed in situ for durum wheat (Triticum turgidum durum L.) cultivated in Cu-contaminated, former vineyard soils. *Plant and Soil*. 2007;298:99-111. https://doi.org/10.1007/s11104-007-9343-0

35. Gabechaya V., Andreeva I., Morev D., Yaroslavtsev A. et al. Exploring the Influence of Diverse Viticultural Systems on Soil Health Metrics in the Northern Black Sea Region. *Soil Systems*. 2023;7(3):73. https://doi.org/10.3390/soilsystems7030073

36. Colautti A., Civilini M., Contin M., Celotti E. et al. Organic vs. conventional: impact of cultivation treatments on the soil microbiota in the vineyard. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14. https://doi.org/14.10.3389/fmicb.2023.1242267

37. Castellini A., Mauracher C., Troiano S. An overview of the biodynamic wine sector. *International Journal of Wine Research*. 2017;9:1-11. https://doi.org/10.2147/IJWR.S69126.06

38. Botelho R., Roberti R., Tessarin P., Garcia-Mina J.M. et al. Physiological responses of grapevines to biodynamic management. *Renewable Agriculture and Food Systems*. 2015;1:1-12. https://doi.org/10.1017/S1742170515000320

39. Milićević T., Aničić Urošević M., Relic D., Jovanovićet G. et al. Environmental pollution influence to soil- plant-air system in organic vineyard: bioavailability, environmental, and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28:3361-3374. https://doi.org/10.1007/s11356-020-10649-8

40. Hendgen M., Döring J., Stöhrer V. et al. Spatial Differentiation of Physical and Chemical Soil Parameters

under Integrated, Organic, and Biodynamic Viticulture. *Plants*. 2020;9:1361. https://doi.org/10.3390/plants9101361

41. Beni C., Rossi G. Conventional and organic farming: estimation of some effects on soil, copper accumulation and wine in Central Italy vineyard. *Agrochimica – Pisa*. 2009;53:145-159.

42. Андреева И.В., Габечая В.В., Морев Д.В., Таллер Е.Б. Эколого-геохимическая оценка накопления тяжелых металлов в почве разновозрастных ампелоценозов в условиях склонового ландшафта горной гряды Фрушка гора Республики Сербия // *Тимирязевский биологический журнал*. 2023. № 1 (3). С. 13-28. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28

43. Finney D.M., Buyer J.S., Kaye J.P. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2017;724:361-373. https://doi.org/10.2489/jswc.72.4.361

44. Linares R., de la Fuente M., Junquera P., Lissarrague J.R. et al. Effects of Soil Management in Vineyard on Soil Physical and Chemical Characteristics. *BIO Web Conference.* 2014;3(4):01008. https://doi.org/10.1051/bioconf/20140301008

45. Bernaschina Y., Fresia P., Garaycochea S., Leoni C. Permanent cover crop as a strategy to promote soil health and vineyard performance. *Environmental Sustainability*. 2023;6:243-258. https://doi.org/10.1007/s42398-023-00271-y

under Integrated, Organic, and Biodynamic Viticulture. *Plants*. 2020;9:1361. https://doi.org/10.3390/plants9101361

41. Beni C., Rossi G. Conventional and organic farming: estimation of some effects on soil, copper accumulation and wine in Central Italy vineyard. *Agrochimica – Pisa*. 2009;53:145-159.

42. Andreeva I.V., Gabechaya V.V., Morev D.V., Taller E.B. Ecological and Geochemical Assessment of Heavy Metal Accumulation in Soil of Different-Aged Ampelocoenoses in the Slope Landscape of the Fruška Gora Mountain Range, Republic of Serbia. *Timiryazev Biological Journal.* 2023;1(3):13-28. (In Russ.) https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-13-28

43. Finney D.M., Buyer J.S., Kaye J.P. Living cover crops have immediate impacts on soil microbial community structure and function. *Journal of Soil and Water Conservation*. 2017;724:361-373. https://doi.org/10.2489/jswc.72.4.361

44. Linares R., de la Fuente M., Junquera P., Lissarrague J.R. et al. Effects of Soil Management in Vineyard on Soil Physical and Chemical Characteristics. *BIO Web Conference.* 2014;3(4):01008. https://doi.org/10.1051/bioconf/20140301008

45. Bernaschina Y., Fresia P., Garaycochea S., Leoni C. Permanent cover crop as a strategy to promote soil health and vineyard performance. *Environmental Sustainability*. 2023;6:243-258. https://doi.org/10.1007/s42398-023-00271-y

## Сведения об авторах

**Ирина Викторовна Андреева,** доцент кафедры экологии, кандидат биологических наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: i.andreeva@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-0760-665X

**Валерия Вячеславовна Габечая,** ассистент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: lera.gabechaya@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-5621-6308

**Анри Арменович Пивазян,** студент 4 курса кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: pivazyan.03@yandex.ru

**Дмитрий Владимирович Морев,** доцент кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: dmorev@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-2482-1949

**Иван Иванович Васенев,** профессор кафедры экологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: vasenev@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-9127-9569

## Information about the authors

**Irina V. Andreeva,** CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: i.andreeva@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-0760-665X

**Valeriya V. Gabechaya,** Assistant at the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: lera.gabechaya@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-5621-6308

**Anri A. Pivazyan,** 4th year student of the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: pivazyan.03@yandex.ru

**Dmitriy V. Morev,** CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: dmorev@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-2482-1949

**Ivan I. Vasenev,** DSc (Bio), Professor, Professor at the Department of Ecology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: vasenev@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0001-9127-9569

Статья поступила в редакцию 09.10.2024
Одобрена после рецензирования 09.12.2024
Принята к публикации 10.12.2024

The article was submitted to the editorial office October 09, 2024
Approved after reviewing December 09, 2024
Accepted for publication December 10, 2024

**ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ**

Оригинальная научная статья
УДК 633.34:661.152.5:631.8
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-46-51

# Эффективность жидких борных микроудобрений в технологии возделывания сои

**Марина Федоровна Крылова, Вадим Александрович Крылов,**
**Ольга Гавриловна Волобуева, Сергей Леонидович Белопухов**

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

**Автор, ответственный за переписку:** Вадим Александрович Крылов; kryloff.vadim2015@yandex.ru

**Аннотация**
В настоящее время соя приобретает большое значение как высокопродуктивная белковая и маржинальная культура. Посевные площади под соей в нашей стране ежегодно увеличиваются. Решающую роль в получении стабильных и качественных урожаев сои играют применяемые агротехнологии. Исследования проводили с целью определения эффективности жидких борных микроудобрений Изагри Бор и Лебозол Бор в технологии возделывания сои сорта Бирюза. В результате проведенного производственного опыта в условиях Орловской области на темно-серой лесной почве установлена положительная роль борных микроудобрений на продуктивность сои. Некорневая обработка микроудобрениями сои в фазу бутонизации способствовала изменению структуры урожая, повышению количества бобов на одно растение и массы 1000 семян. Выявлено влияние жидких борных микроудобрений на урожайность сои в результате проведения механизированной уборки культуры. Отмечается увеличение урожайности сои на 3,6-3,8 ц/га по отношение к контролю. В опытах под влиянием листовых удобрений улучшилось качество продукции. Инструментальные методы анализа помогли установить, что применение Изагри Бор и Лебозол Бор способствовало увеличению содержания белка и жира в зерне сои на 1,5-2,5% по отношению к варианту без обработки.

**Ключевые слова**
соя, бор, жидкие микроудобрения, урожайность, качество продукции, некорневая обработка, возделывание сои, применение микроудобрений в возделывании сои

**Для цитирования**
Крылова М.Ф., Крылов В.А., Волобуева О.Г., Белопухов С.Л. Биологическая эффективность жидких борных микроудобрений в технологии возделывания сои // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 46-51. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-46-51

**PLANT PHYSIOLOGY AND PHYTOCHEMISTRY**

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-46-51

# Efficiency of liquid boron microfertilizers in soybean cultivation technology

**Marina F. Krylova, Vadim A. Krylov, Olga G. Volobueva, Sergey L. Belopukhov**

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

**Corresponding author:** Vadim A. Krylov; kryloff.vadim2015@yandex.ru

**Abstract**
Nowadays, soybean is gaining great importance as a high-yielding protein and margin crop. The soybean area in our country is increasing every year. The applied agro-technologies play a crucial role in obtaining stable and high quality soybean yields. Studies were conducted to determine the effectiveness of liquid boron microfertilizers Izagri Bor and Lebozol Bor in the technology of soybean cultivation of Biryuza variety. The results of the conducted production experiment on dark gray forest soil in the conditions of the Oryol Region established the positive role of boron microfertilizers on the soybean productivity of soybeans. The foliar treatment of soybean with microfertilizers in the budding phase contributed to the change in the yield structure, increase in the number of beans per plant and Thousand Seed Weight. The effect of liquid boron microfertilizers on soybean yield as a result of mechanized harvesting of the crop was revealed. An increase

in soybean yield by 3.6-3.8 c/ha over the control was observed. In the experiments with foliar fertilizers, the quality of the products improved. Instrumental analysis showed that the use of Izagri Bor and Lebozol Bor contributed to an increase of 1.5-2.5% in the protein and fat content of the soybean grain compared to the non-treated variety.

**Keywords**
soybean, boron, liquid microfertilizers, yield, product quality, foliar treatment, soybean cultivation, use of microfertilizers in soybean cultivation

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

**For citation**
Krylova M.F., Krylov V.A., Volobueva O.G., Belopukhov S.L. Efficiency of liquid boron microfertilizers in soybean cultivation technology. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):46-51. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-46-51

## Введение
## Introduction

Соя (Glycine max (L.) Merrill) – одна из основных сельскохозяйственных культур в мире, которая имеет популярность благодаря высокому содержанию белка. В среднем содержание белка в зерне сои изменяется в пределах 35-45%. Ее возделывают в качестве пищевой, кормой и технической культур [1, 2].

Посевные площади под соей в РФ из года в год увеличиваются. Так, общая посевная площадь под данную культуру в 2015 г. составила 2,1 млн га, в 2020 г. – 2,9 млн га, в 2024 г. – 4,3 млн га, и по предварительным данным, посевы в 2025 г. прогнозируются на уровне чуть более 5 млн га. Стоит отметить, что география сои на сегодняшний день достаточно широка, и если раньше ведущие позиции по объему площадей занимал Дальний Восток, в частности, Амурская область, то теперь фокус сместился в Центрально-Черноземную зону – более 1,5 млн га. Орловская область является не исключением в этом отношении. В 2024 г. посевные площади в Орловской области под сою составили 197 тыс. га, или на 30% больше по сравнению с предыдущим годом[1].

Значительная роль в управлении продуктивностью сои отводится агротехнологиям. Научно обоснованное и адаптивное применение различных сортов, средств химических средств растений, удобрений, рострегулирующих веществ, обработки почв и т.д. позволяет минимизировать риски, связанные с неблагоприятными факторами, и получить наибольший выход продукции с единицы площади с высоким содержанием белка [3-6]. Поскольку соя относится к бобовым культурам, она предъявляет особые требования к элементам питания, которые принимают участие в азотном обмене [7-9]. Одним из таких элементов является бор. Он играет существенную роль в процессах оплодотворения, прорастания пыльцы, оттока ассимилянтов, образования клубеньков. Однако усвоение бора соей из почвы не всегда происходит должным образом.

**Цель исследований:** определение эффективности жидких борных микроудобрений Изагри Бор и Лебозол Бор в технологии возделывания сои сорта Бирюза.

## Методика исследований
## Research method

Изучение эффективности жидких борных микроудобрений на сое проводилось в условиях Орловской области Орловского района, д. Козлы, на базе ГК(Ф)ХИП Кулешов Юрий Николаевич (координаты участка: 52.781054, 36.008663). Агрометеорологические условия в сезоне 2024 г. складывались благоприятно для роста и развития сои. Количество выпавших осадков с июня по сентябрь составило 249,1 мм, что характерно для среднемноголетних показателей. Наибольшее количество осадков выпало в III декаде июня и II декаде июля. Наименьшее количество осадков отмечалось в августе. В мае температура атмосферного воздуха была выше на 4 °С по сравнению со среднемноголетней температурой. В остальные месяцы весовые отклонения в температуре атмосферного воздуха не выявлены.

Почва участка – темно-серая лесная среднесуглинистая. Почвообразующие и подстилающие породы – оглеенные покровные суглинки (пятна оглеения встречаются с глубины 75 см). Склон – юго-западной экспозиции крутизной 0-3°. Рельеф участка выровненный. Агрохимические характеристики почвы: pH солевой вытяжки – 5,6-5,8; гидролитическая кислотность – 2,2 мг-экв/100 г почвы, гумуса – 3,8%; содержание элементов питания в почве, мг/кг почвы: среднее содержание легкогидролизуемого азота – 42,9; повышенное содержание (по Чирикову) подвижного фосфора – 127,7, обменного калия – 155,5.

Агротехника опытного участка типична для данного региона. Дата сева культуры – 18.05.2024 г. Норма высева – 700 тыс/га. Глубина заделки семян – 3-4 см. В опыте использовался сорт сои Бирюза. Предшественником являлась озимая пшеница. Обработка почвы включала в себя осеннее лущение стерни и боронование почвы весной с последующей предпосевной культивацией. При посеве вносились удобрения азофоска марки

[1] Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2024 году (предварительные данные): Бюллетень. https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277.

16:16:16 в дозе $N_{24}P_{24}K_{24}$. В качестве защитных мероприятий от вредных организмов была проведена гербицидная обработка смесью препаратов Нексус, ВР + Трейсер, КЭ. Уборка культура проведена механизированным способом при помощи комбайна ACROS585.

Обработка жидкими борными удобрениями культуры проводилась в фазу бутонизации. В опыте использовался прицепной опрыскиватель Amazone UX 5200 Super. Удобрения вносились отдельно от пестицидных обработок. Норма рабочего раствора составила 200 л/га. В качестве борных удобрений были выбраны продукты компаний ООО «Изагри» и ООО «Лебозол». Норма применения микроудобрений – 1 л/га. Тип опыта – производственный, размер опытной делянки составлял 0,5 га. Закладка опыта и проведение учетов выполнялись согласно общепринятым методикам [10, 11]. Для определения структуры урожая сои на каждом варианте опыта были отобраны растительные образцы с 1 м$^2$ в 5-кратной повторности. Качественные показатели зерна определяли при помощи инфракрасного анализатора марки Spectra Star ™XT. Результаты исследований обработаны при помощи программного пакета Microsoft Office Excel.

## Результаты и их обсуждение
## Results and discussion

Анализ полученных данных помог установить, что применение жидких борных микроудобрений оказало положительное влияние на структуру урожая сои (табл. 1).

Число бобов на одном растении увеличивалось в сравнении с контролем на варианте Изагри Бор на 10%, а Лебозол Бор – 14%. Число зерен в бобе существенно не изменялось по вариантам опыта, значения находились на уровне 2 шт. Фолиарная обработка удобрениями сои повлияла на массу 1000 семян. На контрольном участке масса семян составила 141,2 г, в то время как на опытных вариантах масса 1000 семян была выше и составила 149,8-151,5 г. Учет биологической урожайности сои перед уборкой культуры позволил выявить, что наименьшая урожайность в опыте отмечалась на варианте без обработки – 28,73 ц/га. Одновременно с этим на вариантах с применением борных микроудобрений биологическая урожайность увеличилась на 3,3-4,0 ц/га по сравнению с контрольным участком.

Проведение листовых обработок микроудобрениями повлияло на урожайность

Таблица 1

**Структура урожая сои в зависимости от применения жидких борных микроудобрений**

| Вариант | Число бобов на 1 растении, шт. | Число зерен в бобе, шт. | Масса 1000 семян, г | Биологическая урожайность, ц/га |
|---|---|---|---|---|
| Контроль (без обработки) | 20,91 | 2,10 | 141,2 | 28,73 |
| Изагри Бор | 23,03 | 2,17 | 151,5 | 32,03 |
| Лебозол Бор | 23,86 | 2,12 | 149,8 | 32,77 |
| НСР05 | 1,63 | 0,18 | 5,3 | 1,15 |

Table 1

**Soybean yield structure depending on the application of liquid boron microfertilizers**

| Option | Number of beans per plant, pcs. | Number of grains in a bean, pcs. | Thousand Seed Weight, gr | Biological yield, c/ha |
|---|---|---|---|---|
| Control (without treatment) | 20.91 | 2.10 | 141.2 | 28.73 |
| Izagri Bor | 23.03 | 2.17 | 151.5 | 32.03 |
| Lebozol Bor | 23.86 | 2.12 | 149.8 | 32.77 |
| LSD05 | 1.63 | 0.18 | 5.3 | 1.15 |

сои. На варианте без обработки урожайность сои зафиксирована на уровне 26,8 ц/га. Применение борных микроудобрений Изагри Бор и Лебозол Бор достоверно повысило урожайность культуры (табл. 2). В опытных вариантах урожайность сои повысилась в среднем на 3,7 ц/га, или на 13,8%. Между опытными вариантами разница в урожайности не отмечалась.

Применение борсодержащих микроудобрений оказало положительное влияние на улучшение качественных показателей зерна сои (табл. 3).

Отмечено увеличение содержания протеина на 2,5%, жира – на 1,5-2% от применения Изагри Бор и Лебозол Бор. Показатели содержания клетчатки (5,8-6,2%) и золы (6,2-6,4) изменялись незначительно по всем вариантам опыта.

Таблица 2

**Влияние жидких борных микроудобрений на урожайность сои**

| Вариант | Урожайность, ц/га | Прибавка к контролю, ц/га | Прибавка к контролю, % |
|---|---|---|---|
| Контроль (без обработки) | 26,8 | – | – |
| Изагри Бор | 30,6 | 3,8 | 14,2 |
| Лебозол Бор | 30,4 | 3,6 | 13,4 |
| НСР05 | 1,2 | – | |

Table 2

**Effect of liquid boron microfertilizers on soybean yields**

| Option | Yield, c/ha | Increase to the control, c/ha | Increase to the control, % |
|---|---|---|---|
| Control (without treatment) | 26.8 | – | – |
| Izagri Bor | 30.6 | 3.8 | 14.2 |
| Lebozol Bor | 30.4 | 3.6 | 13.4 |
| LSD05 | 1.2 | – | |

Таблица 3

**Влияние жидких борных микроудобрений на качественные показатели зерна сои**

| Вариант | Белок, % | Клетчатка, % | Жир, % | Зола, % |
|---|---|---|---|---|
| Контроль (без обработки) | 38,15±0,62 | 6,23±0,34 | 19,15±0,37 | 6,43±0,42 |
| Изагри Бор | 40,66±0,35 | 5,81±0,42 | 19,15±0,37 | 6,15±0,35 |
| Лебозол Бор | 40,53±0,51 | 5,75±0,29 | 19,15±0,36 | 6,21±0,38 |

Table 3

**Effect of liquid boron microfertilizers on quality indicators of soybean grain**

| Option | Protein, % | Fiber, % | Fat, % | Ash, % |
|---|---|---|---|---|
| Control (without treatment) | 38.15±0.62 | 6.23±0.34 | 19.15±0.37 | 6.43±0.42 |
| Izagri Bor | 40.66±0.35 | 5.81±0.42 | 19.15±0.37 | 6.15±0.35 |
| Lebozol Bor | 40.53±0.51 | 5.75±0.29 | 19.15±0.36 | 6.21±0.38 |

## Выводы
## Conclusions

Результаты испытаний жидких борных микроудобрений показали, что однократная обработка сои в фазу бутонизации является эффективным приемом. Использование коммерческих микроудобрений Изагри Бор и Лебозол Бор способствовало повышению общей урожайности до 3,8 ц/га относительно контрольных значений. Помимо количественных показателей, использование борных микроудобрений оказало влияние на качественные показатели сои, увеличилось содержание белка (около 2,5%) и жира (около 2%). Таким образом, для реализации генетической продуктивности сои рекомендуется проведение листовых обработок растений жидкими борными микроудобрениями Изагри Бор и Лебозол Бор.

## Список источников

1. Малашонок А.А., Пашина Л.Л. *Стратегия развития соевого подкомплекса Амурской области*: Монография / ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои. Ижевск: ООО «ПРИНТ». 2022. 161 с. EDN: OKERBA

2. Нагорный В.Д., Ляшко М.У. *Биология и агротехника сои*: Монография. М.: Библио-Глобус, 2018. 418 с. https://doi.org/10.18334/9785907063075

3. Волобуева О.Г. Повышение эффективности бобово-ризобиального симбиоза при участии биопрепарата и регуляторов роста // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2022. № 3 (43). С. 26-32. https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-3-26-32

4. Лыгин А.В., Белов Д.А., Крылов В.А., Крылова М.Ф. Влияние фунгицидных протравителей и инокулянта на продуктивность сои в условиях производственного опыта // *Земледелие*. 2023. № 4. С. 44-47. https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-4-44-47

5. Савенков В.П. Условия минерального питания сои в плодосменном севообороте при различных приемах и системах основной обработки почвы лесостепи ЦФО России // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2022. № 1 (57). С. 64-69. https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-1-64-69

6. Тишков Н.М., Махонин В.Л., Носов В.В. Урожайность и качество урожая сои в зависимости от способов и доз применения удобрений // *Масличные культуры*. 2019. № 4 (180). С. 53-60. https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-53-60

## References

1. Malashonok A.A., Pashina L.L. *Strategy for the development of the soybean subcomplex of the Amur Region*: a monograph. Izhevsk, Russia: OOO PRINT, 2022:161. (In Russ.)

2. Nagorniy V.D., Lyashko M.U. *Biology and agricultural technology of soybeans*: a monograph. Moscow, Russia: Biblio-Globus, 2018:418. (In Russ.) https://doi.org/10.18334/9785907063075

3. Volobueva O.G. Improving the efficiency of legume-rhizobium symbiosis with the participation of a biological product and growth regulators. *Legumes and Groat Crops.* 2022;3(43):26-32. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-3-26-32

4. Lygin A.V., Belov D.A., Krylov V.A., Krylova M.F. Influence of fungicidal protectants and inoculant on soybean productivity under the conditions of a production experiment. *Zemledelie.* 2023;4:44-47. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-4-44-47

5. Savenkov V.P. The conditions of soybean mineral nutrition in crop rotations in case of different methods and systems of primary soil tillage in the forest-steppe of the Centre of Russia. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy.* 2022;1(57):64-69. (In Russ.) https://doi.org/10.18286/1816-4501-2022-1-64-69

6. Tishkov N.M., Makhonin V.L., Nosov V.V. Soybean seed yield and yield quality depending on the fertilizers doses and application methods. *Oil Crops.* 2019;4(180):53-60. (In Russ.) https://doi.org/10.25230/2412-608X-2019-4-180-53-60

7. Крылова М.Ф., Волобуева О.Г., Белопухов С.Л., Крылов В.А. Эффективность сочетаний различных видов удобрений в технологии возделывания нута (ОБЗОР) // *Агрохимический вестник*. 2024. № 4. С. 85-90. https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-4-016

8. Синеговская В.Т., Ануфриева И.В., Урюпина А.А. Влияние обеспеченности растений минеральным азотом на развитие симбиотического аппарата и урожайность сои // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34, № 6. С. 28-32. https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10605

9. Спицына С.Ф., Третьяков М.А. Влияние фосфора, калия, азота и микроэлементов на урожайность сои // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2004. Т. 16, № 2. С. 112-116. EDN: PFAHPH

10. Лукомец В.М., Тишков Н.М., Семеренко С.А. *Методика агротехнических исследований в опытах с основными полевыми культурами*: Монография. Краснодар: Просвещение-Юг, 2022. 538 с. EDN: KGEQYQ

11. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*: Учебник. 5-е изд. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. EDN: ZJQBUD

7. Krylova M.F. Volobueva O.G., Belopukhov S.L., Krylov V.A. Efficiency of different types of fertilizers in chickpea cultivation technology. *Agrochemical Herald.* 2024;4:85-90. (In Russ.) https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-4-016

8. Sinegovskaya V.T., Anufrieva I.V., Uryupina A.A. The influence of the provision of plants with mineral nitrogen on the development of the symbiotic apparatus and soybean yield. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex.* 2020;34(6):28-32. (In Russ.) https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10605

9. Spitsyna S.F., Tretyakov M.A. Influence of phosphorus, potassium, nitrogen and microelements on soybean yield. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta.* 2004;2(16):112-116. (In Russ.)

10. Lukomets V.M., Tishkov N.M., Semerenko S.A. *Methodology of agrotechnical research in experiments with pine field crops.* Krasnodar, Russia: Prosveshchenie-Yug, 2022:538. (In Russ.)

11. Dospekhov B.A. *Methods of field experiment.* 5th ed. Moscow, Russia: Agropromizdat, 1985:351. (In Russ.)

**Сведения об авторах**

**Марина Федоровна Крылова,** аспирант кафедры микробиологии и иммунологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127343, Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: mari-masalova@yandex.ru

**Вадим Александрович Крылов,** кандидат биологических наук, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, кафедры микробиологии и иммунологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127343, Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: kryloff.vadim2015@yandex.ru

**Ольга Гавриловна Волобуева,** доктор с.-х. наук, профессор кафедры микробиологии и иммунологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127343, Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: ovolobueva@rgau-msha.ru

**Сергей Леонидович Белопухов,** доктор с.-х. наук, профессор кафедры химии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127343, Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: SBelopuhov@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-4473-4466

**Information about the authors**

**Marina F. Krylova,** Postgraduate Student of the Department of Microbiology and Immunology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: mari-masalova@yandex.ru

**Vadim A. Krylov,** CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Department of Microbiology and Immunology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: kryloff.vadim2015@yandex.ru

**Olga G. Volobueva,** DSc (Ag), Professor at the Department of Microbiology and Immunology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: ovolobueva@rgau-msha.ru

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

Статья поступила в редакцию 19.11.2024
Одобрена после рецензирования 23.12.2024
Принята к публикации 26.12.2024

The article was submitted to the editorial office November 19, 2024
Approved after reviewing December 23, 2024
Accepted for publication December 26, 2024

БОТАНИКА, ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ /
BOTANY, PLANT PHYSIOLOGY

БОТАНИКА

Оригинальная научная статья
УДК 581.9:712.41(470.317)
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-52-66

# Ботанико-географический анализ дендрофлоры ландшафтов усадеб биосферного резервата «Кологривский лес»

**Александр Вячеславович Лебедев**[1,2]

[1] Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
[2] Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Синицына, Кологрив, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Александр Вячеславович Лебедев; alebedev@rgau-msha.ru

**Аннотация**
Исследования дендрофлоры усадеб являются актуальными и позволяют выявлять наиболее устойчивые к местным условиям виды, их биолого-экологические особенности, разрабатывать практические рекомендации по охране и восстановлению исторических ландшафтов. Цель исследований – проведение ботанико-географического анализа дендрофлоры в системе озеленения старинных усадеб, расположенных в зоне сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» (Костромская область). Объектом исследований являются 14 дворянских усадеб, расположенных в границах зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес». Материалами для исследования послужили данные натурных обследований, проводившихся в 2022-2024 гг., и сведения о пространственно-планировочных особенностях усадеб, представленные в источниках литературы. Все собранные материалы о высаживаемых ранее деревьях и кустарниках систематизировались, а отнесение видов к флористическим комплексам и типам ареалов выполнялось с использованием данных из открытых электронных ресурсов. Проведенные исследования показали, что дендрофлора дворянских усадеб зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» включает в себя 43 вида и гибрида, относящихся к 15 семействам. Наибольшее количество видов включают в себя такие семейства, как *Rosaceae* (11 видов), *Pinaceae* (5 видов) и *Salicaceae* (5 видов и гибридов). Более половины видов (58%) относится к адвентивным (неофиты), аборигенные виды составляют 28%, культурные – 9%, гибридные – 5%. На искусственный отбор древесных видов из аборигенной флоры, обладающих высокими декоративными свойствами или имеющими пищевое значение, указывает большая доля неморальной группы (33%). Из адвентивных в озеленении использовались преимущественно виды (более 2/3), для которых естественный ареал ограничивается: 1) Европой; 2) Европой и Сибирью; 3) Европой и Азией или их отдельными ботанико-географическими зонами. Таким образом, дендрофлора усадеб имеет признаки сильной антропогенной трансформации.

**Ключевые слова**
Костромская область, дворянские усадьбы, деревья, кустарники, широтная группа, долготная группа, анализ дендрофлоры, Кологривский лес

**Для цитирования**
Лебедев А.В. Ботанико-географический анализ дендрофлоры в системе озеленения усадеб биосферного резервата «Кологривский лес» // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 52-66. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-52-66

**BOTANY**

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-52-66

# Botanical and geographical analysis of the dendroflora in the landscapes of the estates of the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve

**Aleksandr V. Lebedev**[1, 2]

[1] Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia
[2] Kologrivsky Forest Nature Reserve, Kologriv, Russia

**Corresponding author:** Aleksandr V. Lebedev; alebedev@rgau-msha.ru

**Abstract**
Studies of the dendroflora of estates are relevant and allow to identify the species most resistant to local conditions, their biological and ecological features, and to develop practical recommendations for the protection and restoration of historical landscapes. The aim of the study is to carry out botanical and geographical analysis of the dendroflora in the landscapes of old estates located in the cooperation zone of the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve (Kostroma Region). The objects of the study are 14 noble estates located within the boundaries of the cooperation zone of the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve. The materials for the study were data from field surveys conducted in 2022-2024 and information on the spatial planning features of the estates presented in literary sources. All the collected materials on previously planted trees and shrubs were systematized, and the assignment of species to floristic complexes and habitat types was carried out using data from open electronic resources. The conducted study showed that the dendroflora of the noble estates of the cooperation zone of the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve includes 43 species and hybrids belonging to 15 families. The largest number of species belongs to such families as *Rosaceae* (11 species), *Pinaceae* (five species) and *Salicaceae* (five species and hybrids). More than half of the species (58%) are adventitious (neophytes), of which 28% are native, 9% are cultivated and 5% are hybrids. The large share of the nemoral group (33%) indicates the artificial selection of tree species from the native flora, which have high decorative properties or having food value. Among the adventitious species used in landscaping there are mainly species (more than 2/3) whose natural range is limited to Europe (1), Europe and Siberia (2), Europe and Asia (3) or their individual botanical and geographical zones. Thus, the dendroflora of the estates shows signs of strong anthropogenic transformation.

**Keywords**
Kostroma region, noble estates, trees, shrubs, latitudinal group, longitudinal group, analysis of the dendroflora, Kologrivsky Forest

**Conflict of interests**
The author declare no relevant conflict of interests.

**For citation**
Lebedev A.V. Botanical and geographical analysis of the dendroflora in the landscapes of the estates of the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):52-66. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-52-66

## Введение
## Introduction

В настоящее время многие усадебные парки находятся в состоянии упадка и деградации, что способствует утрате сформировавшихся в дореволюционной России традиций паркостроения и ландшафтно-архитектурного обустройства территорий [1]. К наиболее изученным относятся крупные усадебные комплексы, связанные с именами выдающихся государственных деятелей, ученых, писателей, художников и т.д., например: усадьба Михалково в Москве [2], парк-усадьба Волконских в Воронежской области [3], усадьбы Извара [4], Белогорка [5] в Ленинградской области, усадьба Ясная поляна в Тульской области [6], усадьба Щелыково в Костромской области [7] и многие другие. Вместе с тем в последние десятилетия стал возрастать интерес к провинциальным усадьбам, которые определяют национальный облик и аутентичность русских культурных традиций [8-11]. Большинство усадеб в современных границах Костромской области были мелкопоместными, а парковые и аллейные структуры в них являлись своеобразными «визитными карточками». Начиная с 2000-х гг. в регионе проводятся исследования по изучению провинциальных усадеб [12-17], однако многие из них, особенно в северо-восточной части области, продолжают оставаться в забвении.

Инвентаризация всех элементов биоты в усадебных комплексах является важной задачей, поскольку старовозрастные деревья, многие из которых часто являются интродуцентами, формируют особый фитоклимат и разнообразные спектры местообитаний [18]. Старинные усадьбы выполняют образовательную, рекреационную, санитарно-гигиеническую, экологическую функции, а также способствуют повышению туристического потенциала регионов [19-21]. Исследование растительного покрова усадеб позволяет выявлять и поддерживать биологическое разнообразие, сохранять культурно-историческое наследие, оценивать воздействие антропогенных и климатических факторов на состояние биоценозов [22]. Результаты изучения дендрофлоры усадебных территорий позволяют выявлять наиболее устойчивые к местным условиям виды, их биолого-экологические особенности, разрабатывать практические рекомендации по охране и восстановлению исторических ландшафтов [23-26].

**Цель исследований:** ботанико-географический анализ дендрофлоры в системе озеленения старинных усадеб, расположенных в зоне сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» (Костромская область).

## Методика исследований
## Research method

Объектом исследований являются 14 дворянских усадеб, расположенных в границах зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес», большая часть из которой находится на территории бывшего Кологривского уезда Костромской губернии (рис. 1). В соответствии с административно-территориальным устройством Костромской области две усадьбы находятся в Мантуровском муниципальном округе (Отрада и Шевяки), четыре – в Чухломском муниципальном районе (Введенское, Колотилово, Клусеево, Острожниково), восемь – в Кологривском округе (Екимцево, Жураново, Ивановское, Корабли, Лучкино, Пашнево, Шаево, Шоргутово). Они характеризуются разной степенью сохранности древесных насаждений: например, парковые структуры просматриваются в усадьбах Ивановское, Отрада, Клусеево, Корабли, Екимцево (фрагменты усадебного парка и структуры парка, обустроенного в конце XIX – начале XX вв. при организации Низшего сельскохозяйственного училища имени Ф.В. Чижова) и др., аллейные структуры – в усадьбах Шевяки, Жураново; единичные деревья сохранились в местах усадеб Шоргутово, Пашнево; полностью утрачена усадьба Лучкино.

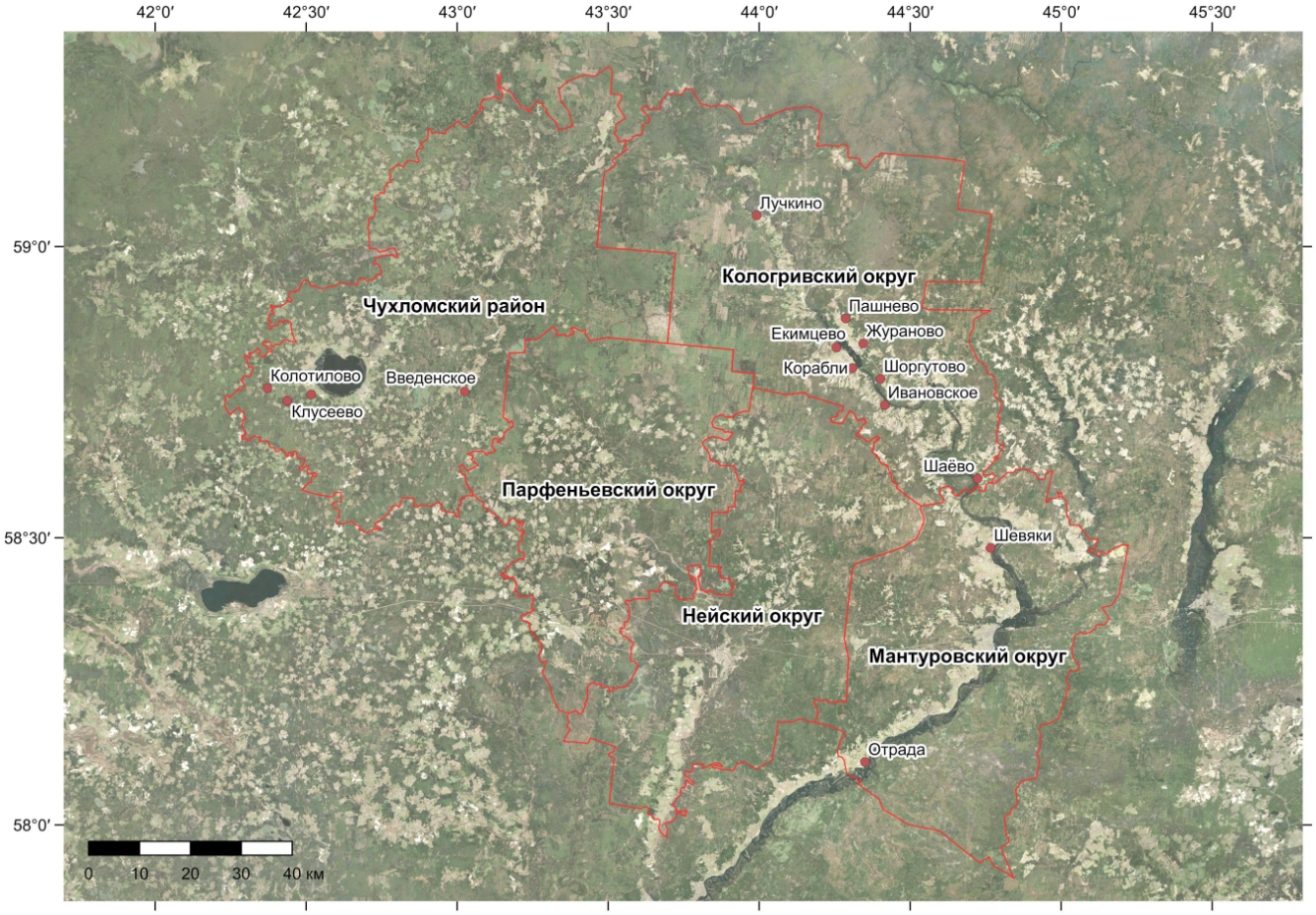



**Рис. 1.** Расположение объектов исследований (по данным автора)

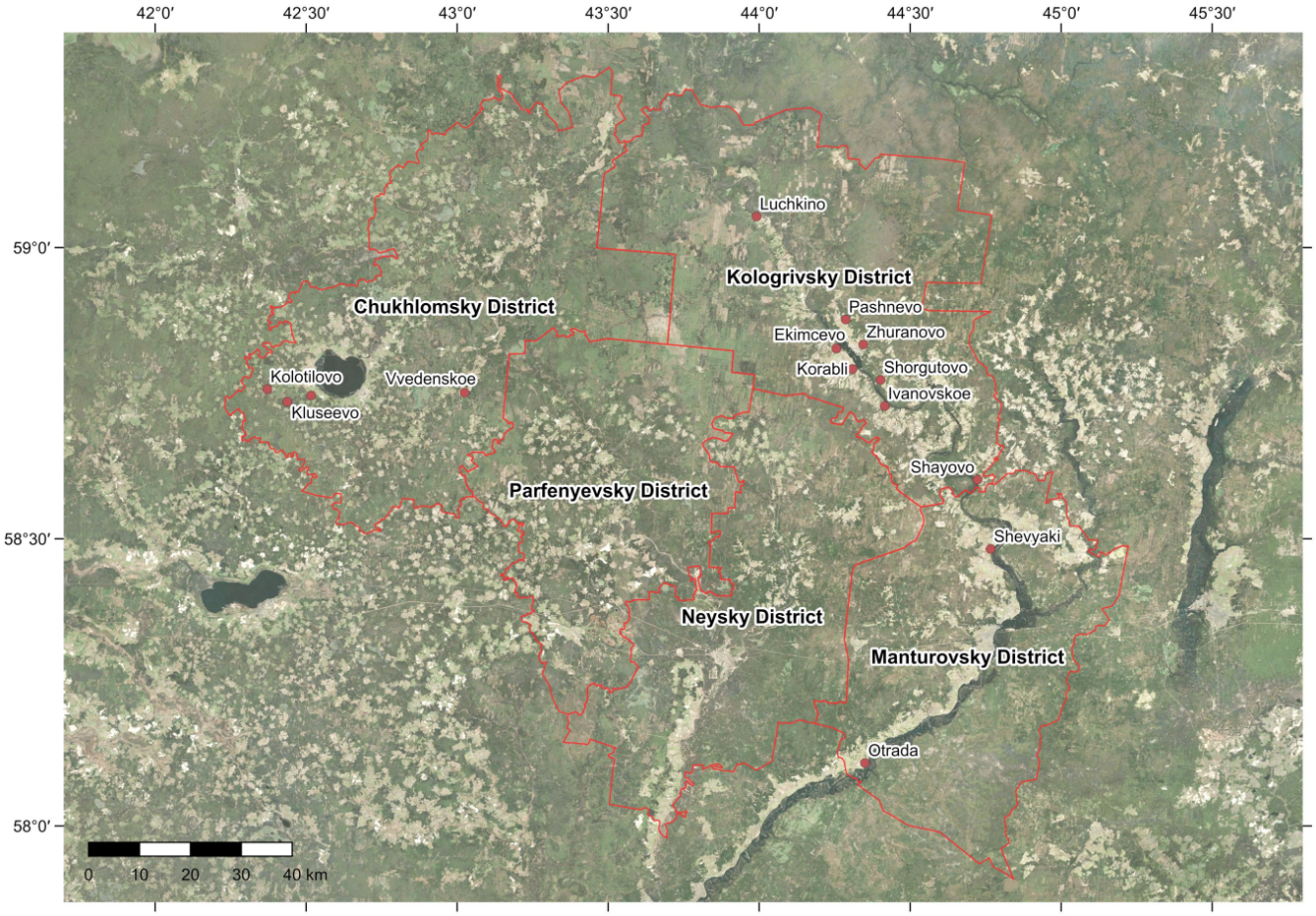



**Fig. 1.** Location of research objects
[according to the author]

Материалами для исследований послужили данные натурных обследований, проводившихся в 2022-2024 г., и сведения о пространственно-планировочных особенностях усадеб, представленные в источниках литературы[1-4]. В ходе полевых работ для определения видовой принадлежности древесных и кустарниковых растений использовались определители и справочные издания[2] [27, 28]. Все материалы о видах высаживаемых ранее деревьев и кустарников систематизировались. Семейства и входящие в них виды приведены по системе APG IV [29]. Отнесение видов к флористическим комплексам и типам ареалов выполнялось с использованием данных из открытых электронных ресурсов: GBIF (https://www.gbif.org), POWO (https://powo.science.kew.org), INaturalist (https://www.inaturalist.org/), EuForGen (https://www.euforgen.org). Вопрос отнесения видов к широтным и долготным группам часто является дискуссионным и может по-разному решаться региональными флористами [30].

[1] Йенсен Т.В., Кондратьева И.Ю., Ойнас Д.Б., Сорокин А.И. *Костромская усадьба. Кострома*: Линия График, 2005. 597 с.

[2] Чепик Ф.А. *Определитель деревьев и кустарников*. М.: Агропромиздат, 1985. 232 с.

## Результаты и их обсуждение
## Results and discussion

Ботанико-географические показатели дендрофлоры усадеб зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» представлены в таблице. По сравнению с ранее опубликованным перечнем древесных и кустарниковых видов, встречающихся в бывших усадьбах [25], добавился один вид (*Sambucus racemosa* L., урочище Корабли). Таким образом, дендрофлора представлена 43 видами и гибридами, относящимися к 15 семействам (*Pinaceae* Lindley, *Berberidaceae* Juss., *Betulaceae* Gray, *Fabaceae* Lindl., *Fagaceae* Dumort., *Ulmaceae* Mirb., *Hydrangeaceae* Dumort., *Caprifoliaceae* Juss., *Salicaceae* Mirb., *Viburnaceae* Raf., *Cornaceae* Bercht. & J. Presl, *Malvaceae* Juss., *Oleaceae* Hoffmanns. & Link, *Rosaceae* Juss., *Sapindaceae* Juss.). Наибольшее количество видов имеют такие семейства, как *Rosaceae* (11 видов), *Pinaceae* (5 видов) и *Salicaceae* (5 видов и гибридов).

Большинство представленных видов применялось для озеленения территорий усадеб. Из них можно выделить наиболее часто встречающиеся: *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* Roth, *Picea abies (L.)* H. Karst., *Pinus sylvestris* L., *Larix sibirica* Ledeb., *Caragana arborescens* Lam., *Syringa vulgaris* L., *Ulmus laevis* Pall. Часть видов (*Malus domestica* (Suckow) Borkh., *Prunus*

*domestica* L., *Pyrus communis* L., *Prunus cerasus* L., *Ribes uva-crispa* L., *R. rubrum* L., *R. nigrum* L., *Rubus idaeus* L.) имеет пищевое значение, и они формировали зону плодового сада (не сохранились до настоящего времени ни в одной из усадеб).

Распределение деревьев и кустарников, выявленных в усадьбах на территории зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес», по отношению к флоре Костромской области и способу возникновения показано на рисунке 2. Более половины видов (58%) относится к адвентивным (по времени появления все неофиты). Аборигенные виды составляют 28%, культурные (*Prunus cerasus* L., *Pyrus communis* L., *Prunus domestica* L., *Malus domestica* (Suckow) Borkh.) – 9%, а гибридные (*Salix* × *fragilis* L., *Populus* × *sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov) – 5%. При создании системы озеленения усадеб в прошлом (главным образом, начиная со второй половины XIX в.) активно использовались виды, нехарактерные для местной флоры. Доля адвентивных, культурных и гибридных видов в дендрофлоре усадеб составляет 72%.

В распределении аборигенных видов по флористическим комплексам (рис. 3) преобладают таежная (*Abies sibirica* Ledeb., *Pinus sylvestris* L., *Cornus alba* L., *Ribes nigrum* L.) и неморальная (*Corylus avellana* L., *Quercus robur* L., *Ulmus laevis* Pall., *Tilia cordata* Mill.) группы, составляя по 33%. Виды из подтаежной (*Picea abies (L.)* H. Karst., *Alnus incana (L.)* Moench) и плюризональной (*Betula*

Таблица

**Ботанико-географическая структура дендрофлоры усадеб зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес»** (по данным исследований автора)

| Вид | Происхождение | Флористический комплекс | Тип ареала |
|---|---|---|---|
| 1. Отдел голосеменные (*Gymnospermae*) | | | |
| 1.1. Семейство сосновые (*Pinaceae* Lindley) | | | |
| Ель европейская (*Picea abies (L.)* H. Karst.) | Аборигенный вид | Подтаежный | Европейский |
| Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) | Адвентивный, неофит | Таежный | Восточноевропейско-сибирский |
| Пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.) | Аборигенный вид | Таежный | Восточноевропейско-сибирский |
| Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour) | Адвентивный, неофит | Таежный | Восточноевропейско-сибирский |
| Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) | Аборигенный вид | Таежный | Евразийский |
| 2. Отдел покрытосеменные (*Magnoliophyta*) | | | |
| 2.1. Семейство барбарисовые (*Berberidaceae* Juss.) | | | |
| Барбарис обыкновенный (*Berberis vulgaris* L.) | Адвентивный, неофит | – | Южноевропейский |
| 2.2. Семейство березовые (*Betulaceae* Gray) | | | |
| Береза повислая (*Betula pendula* Roth) | Аборигенный вид | Плюризональный | Европейско-сибирский |
| Лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.) | Аборигенный вид | Неморальный | Европейский |
| Ольха серая (*Alnus incana (L.)* Moench) | Аборигенный вид | Подтаежный | Европейско-сибирский |
| 2.3. Семейство бобовые (*Fabaceae* Lindl.) | | | |
| Карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.) | Адвентивный, неофит | – | Западносибирский |
| Карагана кустарниковая (*Caragana frutex* (L.) K. Koch) | Адвентивный, неофит | – | Восточноевропейско-западносибирский |

Продолжение табл.

| Вид | Происхождение | Флористический комплекс | Тип ареала |
|---|---|---|---|
| 2.4. Семейство буковые (*Fagaceae* Dumort.) | | | |
| Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) | Аборигенный вид | Неморальный | Европейский |
| 2.5. Семейство вязовые (*Ulmaceae* Mirb.) | | | |
| Вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.) | Аборигенный вид | Неморальный | Европейский |
| 2.6. Семейство гортензиевые (*Hydrangeaceae* Dumort.) | | | |
| Чубушник обыкновенный (*Philadelphus coronarius* L.) | Адвентивный, неофит | – | Южноевропейско-югозападноазиатский |
| 2.7. Семейство жимолостные (*Caprifoliaceae* Juss.) | | | |
| Жимолость татарская (*Lonicera tatarica* L.) | Адвентивный, неофит | | Восточноевропейско-сибирский |
| 2.8. Семейство ивовые (*Salicaceae* Mirb.) | | | |
| Ива ломкая (*Salix* × *fragilis* L.) | Гибрид | – | – |
| Тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) | Адвентивный, неофит | – | Североамериканский |
| Тополь белый (*Populus alba* L.) | Адвентивный, неофит | – | Европейско-западноазиатский |
| Тополь Максимовича (*Populus maximowiczii* A. Henry) | Адвентивный, неофит | – | Дальневосточный |
| Тополь сибирский (*Populus* × *sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov) | Гибрид | – | – |
| 2.9. Семейство калиновые (*Viburnaceae* Raf.) | | | |
| Бузина красная (*Sambucus racemosa* L.) | Адвентивный, неофит | – | Европейский |
| 2.10. Семейство кизиловые (*Cornaceae* Bercht. & J. Presl) | | | |
| Дерен белый (*Cornus alba* L.) | Аборигенный вид | Таежный | Восточноевропейско-азиатский |
| Кизильник блестящий (Cotoneaster lucidus *Schltdl.*) | Адвентивный, неофит | – | Азиатский |
| 2.11. Семейство крыжовниковые (*Grossularia* Mill.) | | | |
| Крыжовник обыкновенный (*Ribes uva-crispa* L.) | Адвентивный, неофит | – | Западноевропейский |
| Смородина альпийская (*Ribes alpinum* L.) | Адвентивный, неофит | – | Европейский |

Окончание табл.

| Вид | Происхождение | Флористический комплекс | Тип ареала |
|---|---|---|---|
| Смородина красная (*Ribes rubrum* L.) | Адвентивный, неофит | – | Западноевропейский |
| Смородина черная (*Ribes nigrum* L.) | Аборигенный вид | Таежный | Евразийский |
| 2.12. Семейство мальвовые (*Malvaceae* Juss.) | | | |
| Липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.) | Аборигенный вид | Неморальный | Европейско-западноазиатский |
| 2.13. Семейство маслиновые (*Oleaceae* Hoffmanns. & Link) | | | |
| Сирень венгерская (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.) | Адвентивный, неофит | – | Южноевропейский |
| Сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.) | Адвентивный, неофит | – | Западноевропейский |
| Ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.) | Адвентивный, неофит | – | Европейский |
| 2.14. Семейство розовые (*Rosaceae* Juss.) | | | |
| Боярышник кроваво-красный (*Crataegus sanguinea* Pall.) | Адвентивный, неофит | – | Восточноевропейско-сибирский |
| Боярышник черный (*Crataegus nigra* Waldst. & Kit.) | Адвентивный, неофит | – | Западноевропейский |
| Вишня домашняя (*Prunus cerasus* L.) | Культурное | – | – |
| Груша домашняя (*Pyrus communis* L.) | Культурное | – | – |
| Ирга колосистая (*Amelanchier* × *spicata* (Lam.) K. Koch) | Адвентивный, неофит | – | Североамериканский |
| Малина обыкновенная (*Rubus idaeus* L.) | Аборигенный вид | Плюризональный | Европейско-сибирский |
| Слива домашняя (*Prunus domestica* L.) | Культурное | – | – |
| Спирея дубравколистная (*Spiraea chamaedryfolia* L.) | Адвентивный, неофит | – | Восточноевропейско-западноазиатский |
| Спирея иволистная (*Spiraea salicifolia* L.) | Адвентивный, неофит | – | Дальневосточный |
| Спирея средняя (*Spiraea media* Schmidt) | Адвентивный, неофит | – | Восточноевропейско-западноазаитский |
| Яблоня домашняя (*Malus domestica* (Suckow) Borkh.) | Культурное | – | Европейский |
| 2.15. Семейство сапиндовые (*Sapindaceae* Juss.) | | | |
| Клен татарский (*Acer tataricum* L.) | Адвентивный, неофит | – | Восточноевропейский |

Table

**Botanical and geographical structure of the dendroflora of estates of the cooperation zone of the Kologrivsky Forest Biosphere Reserve** [according to the author's research]

| Plant species | Occurrence | Floristic complex | Type of habitat |
|---|---|---|---|
| 1. Gymnosperm order (*Gymnospermae*) | | | |
| 1.1. Pine family (*Pinaceae* Lindley) | | | |
| Norway spruce (*Picea abies (L.)* H. Karst.) | Native species | Boreal-nemoral | European |
| Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) | Adventitious, neophyte | Boreal | East European-Siberian |
| Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.) | Native species | Boreal | East European-Siberian |
| Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour) | Adventitious, neophyte | Boreal | East European-Siberian |
| Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) | Native species | Boreal | Eurasian |
| 2. Angiospermous plants (*Magnoliophyta*) | | | |
| 2.1. Barberry family (*Berberidaceae* Juss.) | | | |
| Common barberry (*Berberis vulgaris* L.) | Adventitious, neophyte | – | Southern European |
| 2.2. Birch family (*Betulaceae* Gray) | | | |
| Silver birch (*Betula pendula* Roth) | Native species | Plurizonal | European-Siberian |
| Common hazel (*Corylus avellana* L.) | Native species | Nemoral | European |
| Grey alder (*Alnus incana (L.)* Moench) | Native species | Boreal-nemoral | European-Siberian |
| 2.3. Bean family (*Fabaceae* Lindl.) | | | |
| Siberian peashrub (*Caragana arborescens* Lam.) | Adventitious, neophyte | – | West Siberian |
| Russian peashrub (*Caragana frutex* (L.) K. Koch) | Adventitious, neophyte | – | East European-West Siberian |
| 2.4. Fagus family (*Fagaceae* Dumort.) | | | |
| English oak (*Quercus robur* L.) | Native species | Nemoral | European |
| 2.5. Elm family (*Ulmaceae* Mirb.) | | | |
| European white elm (*Ulmus laevis* Pall.) | Native species | Nemoral | European |
| 2.6. Hortensia family (*Hydrangeaceae* Dumort.) | | | |
| English dogwood (*Philadelphus coronarius* L.) | Adventitious, neophyte | – | Southern European-Southwest Asian |
| 2.7. Honeysuckle family (*Caprifoliaceae* Juss.) | | | |
| Tatarian honeysuckle (*Lonicera tatarica* L.) | Adventitious, neophyte | – | East European-Siberian |

Table continued

| Plant species | Occurrence | Floristic complex | Type of habitat |
|---|---|---|---|
| 2.8. Willow family (*Salicaceae* Mirb.) | | | |
| Crack willow (*Salix × fragilis* L.) | Hybrid species | – | – |
| Balsam poplar (*Populus balsamifera* L.) | Adventitious, neophyte | – | North American |
| Silver poplar (*Populus alba* L.) | Adventitious, neophyte | – | European-West Asian |
| Japanese poplar (*Populus maximowiczii* A. Henry) | Adventitious, neophyte | – | Far Eastern |
| Siberian poplar (*Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov) | Hybrid species | – | – |
| 2.9. Moschatel family (*Viburnaceae* Raf.) | | | |
| Red elderberry (*Sambucus racemosa* L.) | Adventitious, neophyte | – | European |
| 2.10. Cornel family (*Cornaceae* Bercht. & J. Presl) | | | |
| Siberian dogwood (*Cornus alba* L.) | Native species | Boreal | East European-Asian |
| Shiny cotoneaster (Cotoneaster lucidus *Schltdl.)* | Adventitious, neophyte | – | Asian |
| 2.11. Gooseberries family (*Grossularia* Mill.) | | | |
| European gooseberry (*Ribes uva-crispa* L.) | Adventitious, neophyte | – | Western European |
| Mountain currant (*Ribes alpinum* L.) | Adventitious, neophyte | – | European |
| Red currant (*Ribes rubrum* L.) | Adventitious, neophyte | – | Western European |
| Black currant (*Ribes nigrum* L.) | Native species | Boreal | Eurasian |
| 2.12. Mallow family (*Malvaceae* Juss.) | | | |
| Small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) | Native species | Nemoral | European-West Asian |
| 2.13. Olive family (*Oleaceae* Hoffmanns. & Link) | | | |
| Hungarian lilac (*Syringa josikaea* J. Jacq. ex Rchb.) | Adventitious, neophyte | – | Southern European |
| Common lilac (*Syringa vulgaris* L.) | Adventitious, neophyte | – | Western European |
| European ash (*Fraxinus excelsior* L.) | Adventitious, neophyte | – | European |

Table finished

| Plant species | Occurrence | Floristic complex | Type of habitat |
|---|---|---|---|
| 2.14. Rose family (*Rosaceae* Juss.) | | | |
| Siberian hawthorn (*Crataegus sanguinea* Pall.) | Adventitious, neophyte | – | East European-Siberian |
| Hungarian thorn (*Crataegus nigra* Waldst. & Kit.) | Adventitious, neophyte | – | Western European |
| Sour cherry (*Prunus cerasus* L.) | Cultivated species | – | – |
| Common pear (*Pyrus communis* L.) | Cultivated species | – | – |
| Low juneberry (*Amelanchier* × *spicata* (Lam.) K. Koch) | Adventitious, neophyte | – | North American |
| Red raspberry (*Rubus idaeus* L.) | Native species | Plurizonal | European-Siberian |
| Plum (*Prunus domestica* L.) | Cultivated species | – | – |
| Germander meadowsweet (*Spiraea chamaedryfolia* L.) | Adventitious, neophyte | – | Eastern European-West Asian |
| Willow-leaved meadowsweet (*Spiraea salicifolia* L.) | Adventitious, neophyte | – | Far Eastern |
| Russian spiraea (*Spiraea media* Schmidt) | Adventitious, neophyte | – | Eastern European-West Asian |
| Apple (*Malus domestica* (Suckow) Borkh.) | Cultivated species | – | European |
| 2.15. Soapberry family (*Sapindaceae* Juss.) | | | |
| Tatarian maple (*Acer tataricum* L.) | Adventitious, neophyte | – | East European |

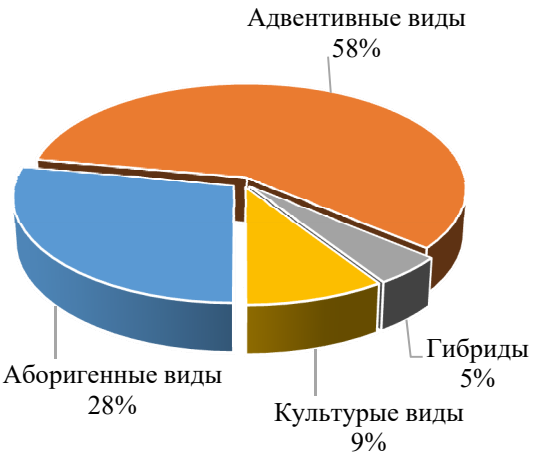



**Рис. 2.** Распределение видов по отношению к флоре Костромской области и способу возникновения (расчеты автора по данным таблицы)

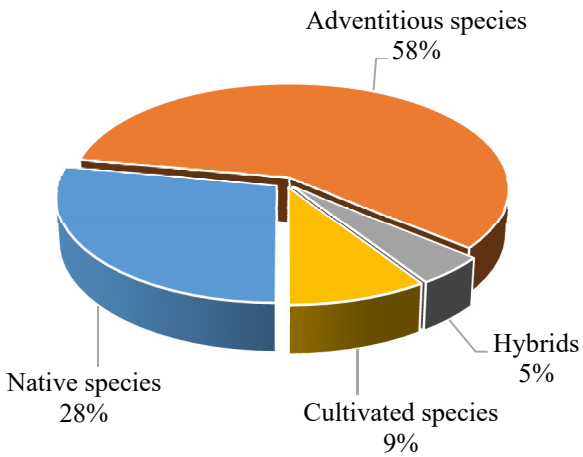



**Fig. 2.** Distribution of species in relation to the flora of the Kostroma Region and the mode of occurrence [author calculations based on data from Table]

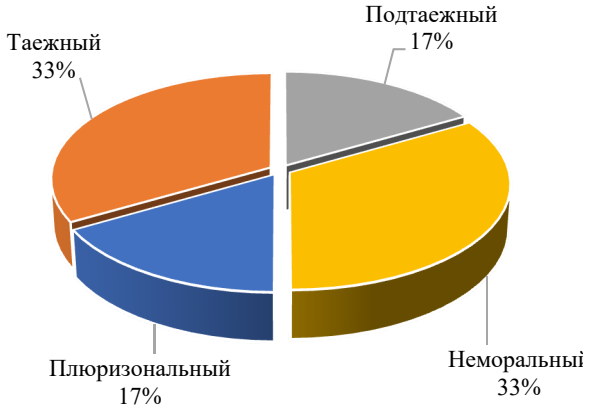



**Рис. 3.** Распределение аборигенных видов по флористическим комплексам (расчеты автора по данным таблицы)

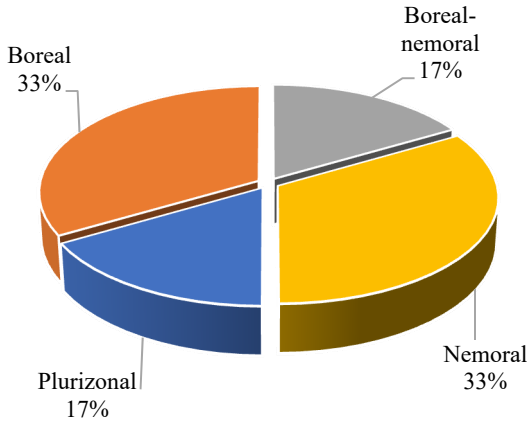



**Fig. 3.** Distribution of species among floristic complexes [author calculations based on data from Table]

*pendula* Roth, *Rubus idaeus* L.) групп имеют по 17%. На искусственный отбор древесных видов из местной флоры, обладающих высокими декоративными свойствами или имеющими пищевое значение, указывает большая доля неморальных видов. Например, во флоре заповедника «Кологривский лес» неморальные виды составляют только 5%, а преобладающими являются плюризональные (47%) и таежные (28%) [31, 32].

Распределение адвентивных видов по типам ареалов показано на рисунке 4. Наиболее представленными типами ареалов являются восточноевропейско-сибирский (16%), европейский (12%) и западноевропейский (12%). Суммарно к ним относится 40% видов. По 8% видов имеют такие группы, как североамериканская, дальневосточная, западносибирская, южноевропейская и восточноевропейско-западноазиатская. В целом на виды, происходящие только из Европы (восточноевропейский, европейский, западноевропейский, южноевропейский типы ареалов), приходится 36%, из Европы и Азии (восточноевропейско-западноазиатский, южноевропейско-югозападноазиатский, европейско-западноазиатский типы ареалов) – 16%, из Европы и Сибири (восточноевропейско-западносибирский, восточноевропейско-сибирский типы ареалов) – 20%, из Сибири – 8%, из Азии – 4%, с Дальнего Востока – 8%, из Северной Америки – 8%. Таким образом, в озеленении использовались преимущественно виды (более 2/3 от всех адвентивных), для которых естественный ареал ограничивается: 1) Европой; 2) Европой и Сибирью; 3) Европой и Азией или их отдельными ботанико-географическими зонами.

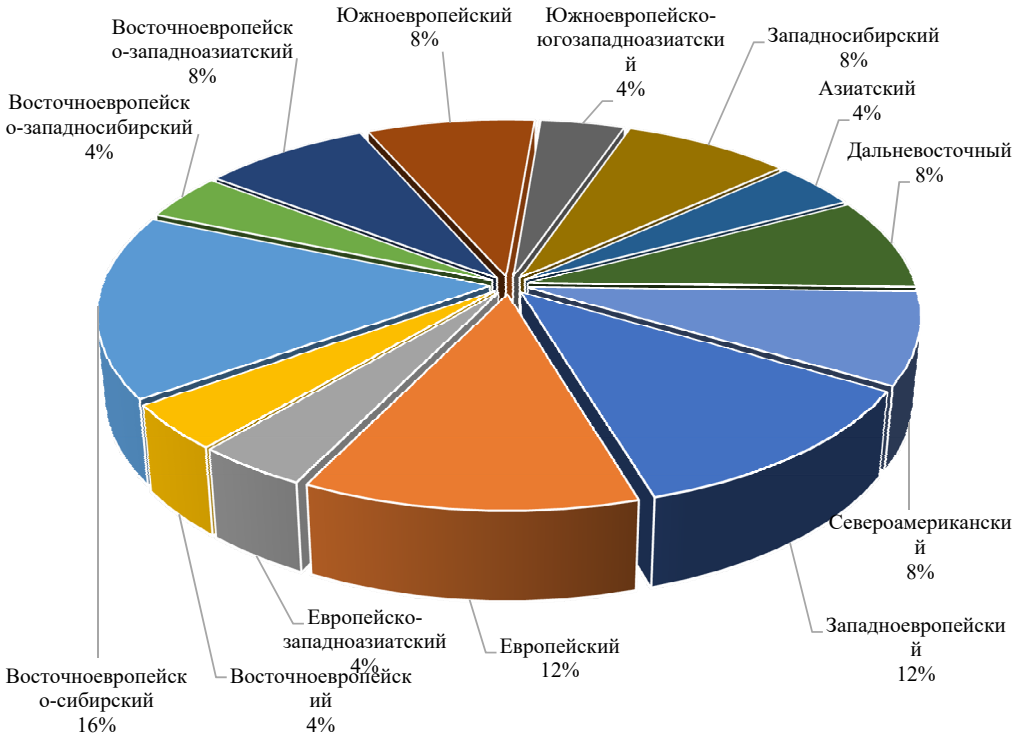



**Рис. 4.** Распределение адвентивных видов по типам ареалов (расчеты автора по данным таблицы)

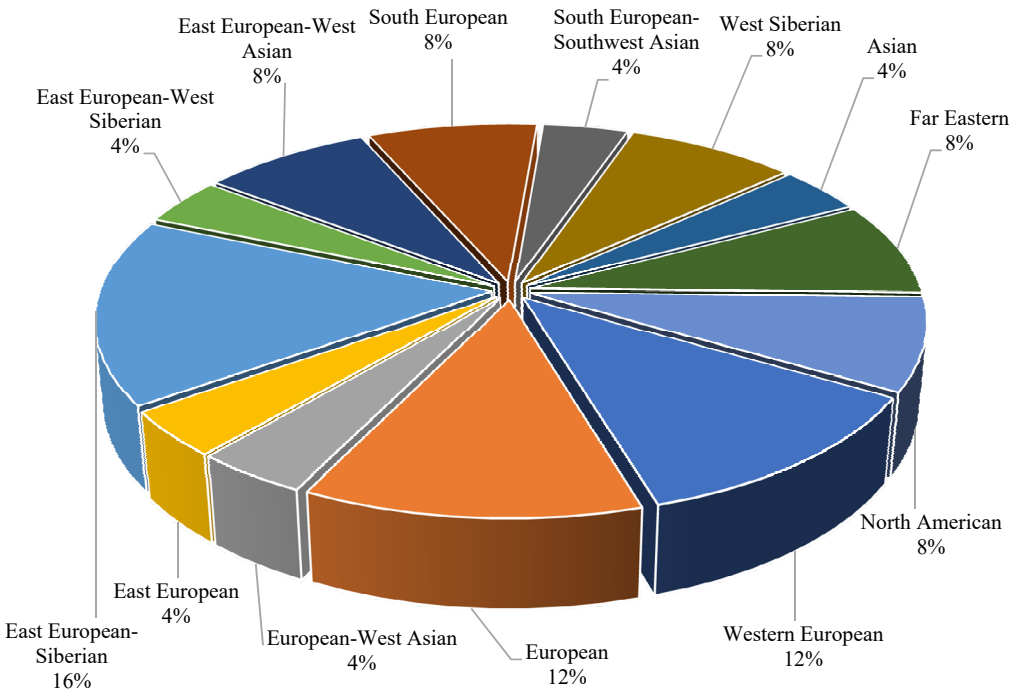



**Fig. 4.** Distribution of adventitious species by habitat types
[author calculations based on data from Table]

Перечень выявленных видов не отражает всего многообразия древесных растений, использовавшихся для создания усадебных ландшафтов. Он содержит только сведения о сохранившихся до настоящего времени старовозрастных деревьях и адаптировавшихся к местным условиям кустарниках, а также упоминания о видах, которые приводятся в источниках литературы, часто базирующихся на документах из архивов, дореволюционных фотографиях, воспоминаниях очевидцев. Наиболее полным ассортиментом растений усадьбы обладали в период своего расцвета. С момента национализации дворянской собственности прошло более 100 лет, поэтому информация о многих видах является безвозвратно утраченной. Несмотря на это, исследование показало, что дендрофлора усадеб продолжает иметь признаки сильной антропогенной трансформации.

Аналогично другим исследованиям [22] проведение ботанико-географического анализа дендрофлоры усадеб зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» имеет значительную научную и практическую ценность. Соотношение между типами ареалов адвентивных видов отражает историко-ботаническую динамику ландшафтов, способствует пониманию влияния торговых и культурных связей на флористическое разнообразие. Сведения о видовом составе деревьев и кустарников могут быть использованы при разработке региональной стратегии сохранения биологического разнообразия, а сохранившиеся интродуценты являются ценным источником получения акклиматизированного посадочного материала. Результаты исследований могут использоваться в образовательной и просветительской деятельности, способствовать привлечению внимания общественности к необходимости сохранения культурного наследия региона. Именно с таких объектов, как провинциальные дворянские усадьбы, должно начинаться формирование чувства любви к Родине, общности по отношению к истории и культуре страны в целом [11].

## Выводы
## Conclusions

Проведенные исследования показали, что дендрофлора дворянских усадеб зоны сотрудничества биосферного резервата «Кологривский лес» включает в себя 43 вида и гибрида, относящихся к 15 семействам. Наибольшее количество видов включают в себя такие семейства, как *Rosaceae* (15 видов), *Pinaceae* (5 видов) и *Salicaceae* (5 видов и гибридов). Более половины видов (58%) относится к адвентивным (неофиты), аборигенные виды составляют 28%, культурные – 9%, гибридные – 5%. На искусственный отбор древесных видов из аборигенной флоры, обладающих высокими декоративными свойствами или имеющими пищевое значение, указывает большая доля неморальной группы (33%). Из адвентивных в озеленении использовались преимущественно виды (более 2/3), для которых естественный ареал ограничивается: 1) Европой; 2) Европой и Сибирью; 3) Европой и Азией или их отдельными ботанико-географическими зонами. Таким образом, дендрофлора усадеб имеет признаки сильной антропогенной трансформации.

**Список источников**

1. Громов Н.П., Данилов Д.А. Историко-архивное исследование усадебно-паркового комплекса «Белогорка» // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2024. № 249. С. 127-151. https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.249.127-151

2. Беляева Е.Л., Маркина И.А., Могинов Б.Г. Методология, методика, опыт работ по сохранению для современного использования парка усадьбы Михалково. Ч. 1 // *Academia. Архитектура и строительство*. 2020. № 1. С. 78-84. https://doi.org/10.22337/2077-9038-2020-1-78-84

3. Завидовская Т.С. К характеристике парка-усадьбы Волконских – уникального природного и культурного объекта и перспективной ООПТ // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. 2019. Т. 23, № 2. С. 133-140. https://doi.org/10.18698/2542-1468-2019-2-133-140

4. Данилов Д.А., Нерубацкий С.В., Салямова М.А., Иванов А.*А.* Состояние лиственных деревьев парка музея-усадьбы Н.К. Рериха, Д. Извара, Ленинградская область // *Материалы Всероссийской национальной конференции, посвященной 20-летию кафедры ландшафтной архитектуры и почвоведения*. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2024. С. 44-47. https://doi.org/10.58168/LANDSCAPE2024_44-47

5. Громов Н.П. Ландшафтный анализ усадебно-паркового комплекса «Белогорка» // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2024. № 66. С. 258-260. EDN: WZIDCK

6. Попова Н.*Н*. Бриофлора государственного мемориального и природного заповедника «Музей-усадьба Л.Н. Толстого Ясная Поляна» (Тульская область, Центральная Россия) // *Arctoa*. 2017. Т. 26, № 1. С. 98-104. https://doi.org/10.15298/arctoa.26.10

7. Фатеева И.М., Травина О.*А*. Музей-заповедник «Щелыково» в XXI веке // *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2022. № 1 (5). С. 43-50. https://doi.org/10.52025/2712-8679_2022_01_43

8. Лебедев А.В., Кочнев Я.В. Современное состояние насаждений парковой части дворянской усадьбы Н.Н. Григорьева (Костромская область) // *Природообустройство*. 2023. № 2. С. 124-130. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-2-124-130

9. Городнова Л.Е. Взаимодействие дворянской и крестьянской культур в пространстве провинциальной усадьбы // *Аналитика культурологии*. 2009. № 2 (14). С. 236-241. EDN: QZARMT

10. Гончарова Е.В. Садово-парковый комплекс в пространстве провинциальной усадьбы второй половины XVIII века (на примере Псковской губернии) // *Ученые записки Орловского государственного университета*. 2022. № 1 (94). С. 15-18. EDN: PTRRDD

11. Петрова З.К., Долгова В.О. Процесс возрождения сельских поселений и культурный ландшафт // *Academia. Архитектура и строительство*. 2019. № 1. С. 70-77. https://doi.org/10.22337/2077-9038-2019-1-70-77

12. Леонова В.А., Фролова А.В. Законодательство и управление объектом культурного наследия на примере усадьбы «Быково» Костромской области // *Современные*

**References**

1. Gromov N.P., Danilov D.A. Historical and archival study of the estate-park complex “Belogorka”. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*. 2024;249:127-151. (In Russ.) https://doi.org/10.21266/2079-4304.2024.249.127-151

2. Belyaeva E.L., Markina I.A., Moginov B.G. Methodology, methods, and experience in preserving the park of the Mikhalkovo grange in Moscow. Part 1. *Academia. Architecture and Construction.* 2020;1:78-84. (In Russ.) https://doi.org/10.22337/2077-9038-2020-1-78-84

3. Zavidovskaya T.S. Characteristics of Volkonsky estate park as a unique natural and cultural site and perspective specially protected natural area. *Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin.* 2019;23(2):133-140. (In Russ.) https://doi.org/10.18698/2542-1468-2019-2-133-140

4. Danilov D., Nerubatsky S., Salyamova M., Ivanov A. Condition of leaved trees in the park museum-estate of N.K. Roerich, village of Izvara, Leningrad Region. *Vserossiyskaya natsionalnaya konferentsiya, posvyashchennaya 20-letiyu kafedry landshaftnoy arkhitektury i pochvovedeniya ‘Landshaftnaya arkhitektura – ot istoka k innovatsiyam’. May 22, 2024.* Voronezh, Russia: Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, 2024:44-47. (In Russ.) https://doi.org/10.58168/LANDSCAPE2024_44-47

5. Gromov N.P. Landscape analysis of the estate and park complex “Belogorka”. *Aktualnye problemy lesnogo kompleksa.* 2024;66:258-260. (In Russ.)

6. Popova N.N. The bryoflora of the State memorial and natural preserve “Museumestate of Leo Tolstoy Yasnaya Polyana” (Tula Region, Central Russia). *Arctoa.* 2017:26(1):98-104. (In Russ.) https://doi.org/10.15298/arctoa.26.10

7. Fateeva I.M., Travina O.A. Museum-reserve “Shchelykovo” in the XXI century. *Agrarian Bulletin of the Non-Chernozem Area.* 2022;1(5):43-50. (In Russ.) https://doi.org/10.52025/2712-8679_2022_01_43

8. Lebedev A.V., Kochnev Ya.V. The current state of the plantations of the park part of the noble estate of N.N. Grigoiev (Kostroma Region). *Prirodoobustrojstvo.* 2023;2:124-130. (In Russ.) https://doi.org/10.26897/1997-6011-2023-2-124-130

9. Gorodnova L.E. Interaction of noble and peasant cultures in the space of a provincial estate. *Analitika kulturologii.* 2009;2(14):236-241. (In Russ.)

10. Goncharova E.V. A garden and park complex in the space of a provincial noble estate the second half of the XVIII century (on the example of Pskov province). *Scientific Notes of Orel State University.* 2022;1(94):15-18. (In Russ.)

11. Petrova Z.K., Dolgova V.O. The revival of rural settlements and cultural landscape. *Academia. Architecture and Construction.* 2019;1:70-77. (In Russ.) https://doi.org/10.22337/2077-9038-2019-1-70-77

12. Leonova V.A., Frolova A.V. Legislation and management of a cultural heritage site using the example of the Bykovo estate in the Kostroma Region. *Sovremennye*

*тенденции развития науки и технологий*. 2016. № 12-6. С. 127-131. EDN: XHQPOT

13. Леонова В.А., Каленикова А.А. Особенности пейзажной части парка усадьбы Быково Галичского района Костромской области // *Вестник ландшафтной архитектуры*. 2018. № 13. С. 51-56. EDN: URBHQI

14. Леонова В.А., Куликова А.И., Тарасова Л.*А.* Состояние природных ландшафтов крестьянской усадьбы в деревне Асташово Костромской области и перспективы их развития // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. 2021. Т. 25, № 5. С. 74-84. https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-5-74-84

15. Лебедев А.В., Кочнев Я.В. Усадьба Виц-Григорьевых (Костромская область): история создания и современное состояние // *Лесной вестник. Forestry Bulletin.* 2023. Т. 27, № 4. С. 104-116. https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-4-104-116

16. Лебедев А.В. Усадьба Жураново (Кологривский округ Костромской области): история и современное состояние // *Научные труды государственного природного заповедника «Кологривский лес»*: *Сборник научных трудов. Кологрив*: *Государственный природный заповедник «Кологривский лес» им. М.Г. Синицына*. 2023. С. 201-218. EDN: MTPMJS

17. Лебедев А.В. Забытое наследие Павла Катенина: кологривская усадьба Шаёво // *Вестник Костромского государственного университета*. 2023. Т. 29, № 2. С. 57-61. https://doi.org/10.34216/1998-0817-2023-29-2-57-61

18. Попова Н.Н. Бриофлора старинных усадебных парков Липецкой области // *Вестник Тверского государственного университета. Серия «Биология и экология»*. 2023. № 1 (69). С. 216-249. https://doi.org/10.26456/vtbio299

19. Дружинин Н.А., Дружинин Ф.Н., Корякина Д.М., Цыпилев С.В. и др. Результаты и оценка многолетней интродукции на особо охраняемых природных территориях южно-таежного района // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал.* 2020. № 6 (378). С. 74-87. https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-74-87

20. Борздыко Е.В., Анищенко Л.Н., Авраменко М.В. Оценка и учет современного биоразнообразия флоры парка усадьбы «Вьюнки» Н.Д. Сапожкова (Клинцовский район) // *Ежегодник НИИ фундаментальных и прикладных исследований*. 2019. № 1 (11). С. 18-23. EDN: WODQJO

21. Фадеева И.А. Биоразнообразие древесной флоры парка усадьбы графа А.Д. Шереметьева в Новодугинском районе Смоленской области // *Биологические науки в школе и вузе*. 2017. № 18. С. 83-88. EDN: ZQPRVP.

22. Яковенко Н.В., Рудницких А.А. Ботанико-географический анализ флоры старинных усадеб Воронежской области // *Лесотехнический журнал*. 2024. Т. 14, № 4 (56). С. 111-124. https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/8

23. Борисова Е.А. Флора Гридинского усадебного парка Ивановской области // *Самарский научный вестник*. 2015. № 2 (11). С. 21-24. EDN: VIJCVN

24. Чигрин Н.А., Блох В.Г. Формирование, современное состояние и проблемы сохранения усадебно-паркового комплекса «Заполье» // *Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук*. 2019. № 1. С. 43-49. EDN: EANLBH

*tendentsii razvitiya nauki i tekhnologiy.* 2016;12-6:127-131. (In Russ.)

13. Leonova V.A., Kalenikova A.A. Features of the landscape part of the park of the Bykovo estate in the Galich district of the Kostroma Region. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury.* 2018;13:51-56. (In Russ.)

14. Leonova V.A., Kulikova A.I., Tarasova L.A. Natural landscapes state of peasant manor in Astashovo village (Kostroma Region) and prospects of their development. *Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin.* 2021;25(5):74-84. (In Russ.) https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-5-74-84

15. Lebedev A.V., Kochnev Ya.V. Noble estate of Vits-Grigoryevs (Kostroma Region): history of creation and current state. *Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin.* 2023;27(4):104-116. (In Russ.) https://doi.org/10.18698/2542-1468-2023-4-104-116

16. Lebedev A.V. Zhuranovo noble estate (Kologrivsky district, Kostroma Region): history and current status. *In*: *Scientific works of the State Nature Reserve "Kologrivsky forest" named after M.G. Sinitsyn*: collection of scientific works. Kologriv, Russia: State Nature Reserve "Kologrivsky Forest", 2023;2:201-218. (In Russ.)

17. Lebedev A.V. The forgotten legacy of Pavel Katenin: Shayovo noble estate near Kologriv. *Vestnik of Kostroma State University.* 2023;29(2):57-61. (In Russ.) https://doi.org/10.34216/1998-0817-2023-29-2-57-61

18. Popova N.N. Bryoflora of ancient residential parks of the Lipetsk Region. *Herald of Tver State University. Series*: *Biology and Ecology.* 2023;1(69):216-249. (In Russ.) https://doi.org/10.26456/vtbio299

19. Druzhinin N.A., Druzhinin F.N., Koryakina D.M., Tsypilev S.V., Chukhina O.V. Results and assessment of long-term introduction to specially protected natural areas of the south taiga zone. *Russian Forestry Journal.* 2020;6(378):74-87. (In Russ.) https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-6-74-87

20. Borzdyko E.V., Anishchenko L.N., Avramenko M.V. Evaluation and accounting of modern biodiversity of flora of the villa burning park N.D. Sapozhkova (Klintsovsky district). *Ezhegodnik NII fundamentalnykh i prikladnykh issledovaniy.* 2019;1(11):18-23. (In Russ.)

21. Fadeeva I.A. Biodiversity of wood flora in the park of count A.D. Sheremet'yev's mansion in the Novoduginskiy district of the Smolensk Region. *Biologicheskie nauki v shkole i vuze.* 2017;18:83-88. (In Russ.)

22. Yakovenko N.V., Rudnitskikh A.A. Botanical and geographical analysis of the old estates' flora in the Voronezh Region. *Forestry Engineering Journal.* 2024;4(56):111-124. (In Russ.) https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/8

23. Borisova E.A. Flora of the Ivanovo Region farmstead park "Gridino". *Samara Journal of Science.* 2015;2(11):21-24. (In Russ.)

24. Tschigrin N.A., Blokh V.G. Formation, modern condition and problems of preserving the manor-park complex "Zapolie". *Vestnik Polesskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya prirodovedcheskikh nauk.* 2019;1:43-49. (In Russ.)

25. Лебедев А.В. Ассортимент и устойчивость древесных растений в системе озеленения дворянских усадеб биосферного резервата «Кологривский лес» // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. 2024. Т. 28, № 4. С. 91-102. https://doi.org/10.18698/2542-1468-2024-4-91-102

26. Елисеенко Е.П. Роль усадебных парков в повышении биоразнообразия региона // *Вестник Брянского государственного университета*. 2015. № 2. С. 398-402. EDN: UYYOBV.

27. Киселева К.В., Майоров С.Р., Новиков В.С. *Определитель деревьев и кустарников средней полосы России*. Москва: Фитон XXI, 2020. 228 с.

28. Бялт В.В., Фирсов Г.А., Бялт А.В., Орлова Л.В. и др. *Иллюстрированный конспект культурной флоры Санкт-Петербурга (Россия)*. Санкт-Петербург: Электронное научное и справочное издание, 2024. 503 с.

29. Chase M.W., Christenhusz M.J.M., Fay M.F., Byng J.W. et al. The Angiosperm Phylogeny Group an update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV // *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016. 181;1:1-20. https://doi.org/10.1111/boj.12385

30. Лебедев А.В., Криницын И.Г., Гостев В.В., Гостева Д.Ю. Ботанико-географический анализ флоры государственного заповедника «Кологривский лес» // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. № 2. С. 6-15. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-2-6-15

31. Лебедев А.В., Криницын И.Г., Гостев В.В. *Флора заповедника «Кологривский лес»*. Кологрив: Государственный природный заповедник «Кологривский лес», 2025. 224 с.

32. Багаев Е.С., Макаров С.С., Багаев С.С., Чудецкий А.И. *Береза карельская в Центральной России*: *биологические особенности и перспективы воспроизводства*. Пушкино: Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, 2022. 125 с. EDN PYZLBA

25. Lebedev A.V. Woody plants variety and sustainability in noble estates landscapes in Kologrivsky Forest Biosphere Reserve. *Lesnoy Vestnik. Forestry Bulletin.* 2024;28(4):91-102. (In Russ.) https://doi.org/10.18698/2542-1468-2024-4-91-102

26. Evseenko E.P. The role of manor parks in enhancing regional biodiversity. *The Bryansk State University Herald.* 2015;2:398-402. (In Russ.)

27. Kiseleva K.V., Mayorov S.R., Novikov V.S. *Identifier of trees and shrubs of central Russia.* Moscow, Russia: Fiton XXI, 2020:228. (In Russ.)

28. Byalt V.V., Firsov G.A., Byalt A.V., Orlova L.V., Egorov A.A. *Illustrated summary of the cultural flora of St. Petersburg (Russia).* St. Petersburg, Russia: Elektronnoe nauchnoe i spravochnoe izdanie, 2024:503. (In Russ.)

29. Chase M.W., Christenhusz M.J.M., Fay M.F., Byng J.W. et al. The Angiosperm Phylogeny Group an update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016;181(1):1-20. https://doi.org/10.1111/boj.12385

30. Lebedev A.V., Krinitsyn I.G., Gostev V.V., Gosteva D.Yu. Botanical and geographical analysis of flora of the Kologrivsky Forest Nature Reserve. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(2):6-15. (In Russ.) https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-2-6-15

31. Lebedev A.V., Krinitsyn I.G., Gostev V.V. *Flora of the Kologrivsky Forest Reserve.* Kologriv, Russia: Kologrivsky Forest Nature Reserve. 2025:224. (In Russ.)

32. Bagaev E.S., Makarov S.S., Bagaev S.S., Chudetsky A.I. *Karelian birch in Central Russia*: *biological features and prospects of reproduction*. Pushkino: All-Russian Research Institute of Forestry and Mechanization of Forestry. 2022:125. (In Russ.)

## Сведения об авторе

**Лебедев Александр Вячеславович,** доктор сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры землеустройства и лесоводства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; научный сотрудник, Государственный природный заповедник «Кологривский лес» имени М.Г. Синицына; 157440, Россия, Костромская обл., г. Кологрив, ул. Некрасова, 48; e-mail: alebedev@rgau-msha.ru; http://orcid.org/0000-0002-8939-942X

## Information about the author

**Aleksandr V. Lebedev,** DSc (Agr), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Land Organization and Forestry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); Research Associate, Kologrivsky Forest Nature Reserve (48 Nekrasova St., Kologriv, Kostroma Region, 157440, Russian Federation); e-mail: alebedev@rgau-msha.ru, http://orcid.org/0000-0002-8939-942X

Статья поступила в редакцию 12.11.2024
Одобрена после рецензирования 20.12.2024
Принята к публикации 26.12.2024

The article was submitted to the editorial office November 12, 2024
Approved after reviewing December 20, 2024
Accepted for publication December 26, 2024

**БОТАНИКА**

Оригинальная научная статья
УДК 582.766.5:581.543(470-25)
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-67-77

# Оценка декоративных качеств некоторых видов рода бересклет (*Euonymus* L.) при интродукции в Московском регионе с учетом сезонных особенностей

**Надежда Владиславовна Коршунова, Иван Алексеевич Савинов**

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

**Автор, ответственный за переписку:** Надежда Владиславовна Коршунова; nkkorshunova96@gmail.com

**Аннотация**
Исследования проводили с целью анализа характеристик и признаков разных видов бересклетов (*Euonymus* L.), оценки их декоративных свойств. Рассмотрены 10 видов бересклетов, выращиваемых в Московском регионе на территории Дендрологического сада им. Шредера Российского государственного аграрного университета имени К.А. Тимирязева, и некоторые другие, наиболее распространенные в озеленении виды. Для оценки декоративности бересклетов авторами адаптирована шкала градаций признаков декоративности древесных растений в течение года с учетом сезонных особенностей. При оценке декоративности учитывали цветовую гамму листвы, форму, размеры и текстуру листьев, декоративность плодов, которые придают растениям дополнительную привлекательность в разные сезоны. Полученные результаты позволяют рекомендовать к широкому использованию те виды бересклетов, которые, по итогам проведенной оценки, обладают наибольшим количеством декоративных свойств в изученный период года. Это следующие виды: *Euonymus latifolius* Mill., *Euonymus japonicus* Thunb., *Euonymus europeus* L. и *Euonymus macropterus* Rupr.

**Ключевые слова**
*Euonymus, Celastraceae,* декоративность, декоративные свойства бересклетов, ландшафтный дизайн, Дендрологический сад им. Шредера Российского государственного аграрного университета имени К.А. Тимирязева

**Для цитирования**
Коршунова Н.В., Савинов И.А. Оценка декоративных качеств некоторых видов рода бересклет (*Euonymus* L.) при интродукции в Московском регионе с учетом сезонных особенностей // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 67-77. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-67-77

**BOTANY**

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-67-77

# Assessment of decorative qualities of some species of the spindle-tree (*Euonymus* L.) during introduction in the Moscow region taking into account seasonal features

**Nadezhda V. Korshunova, Ivan A. Savinov**

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

**Corresponding author:** Nadezhda V. Korshunova; nkkorshunova96@gmail.com

**Abstract**
The research was conducted to analyze the characteristics and features of different species of the spindle-tree (*Euonymus* L.) and to assess their decorative properties. In the research, 10 species of the genus grown in the Moscow region on the territory of the Dendrological Garden named after R.I. Schroeder of the Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy were studied, as well as some other most common species used in landscaping. To assess the decorativeness of the spindle-trees (*Euonymus* L.), the authors adapted a gradation scale of the decorativeness of woody plants throughout the year, taking into account seasonal features. Decorativeness was assessed taking into account the range of foliage colors, shape, size and texture of leaves, as well as the decorativeness of fruits, which give additional attractiveness to plants in different seasons. The results obtained allow to recommend for wide use those species which, according

to the assessment, have the greatest number of decorative properties. These are the following species: *Euonymus latifolius* Mill., *Euonymus japonicus* Thunb., *Euonymus europeus* L. and *Euonymus macropterus* Rupr.

**Keywords**
*Euonymus, Celastraceae,* decorativeness, decorative properties of the spindle-tree, landscape design, Dendrological Garden named after R.I. Schroeder of the Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy

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

**For citation**
Korshunova N.V., Savinov I.A. Assessment of decorative qualities of the spindle-tree (*Euonymus* L.) during introduction in the Moscow region taking into account seasonal features. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):67-77. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-67-77

## Введение
## Introduction

Семейство бересклетовых (*Celastraceae*) включает в себя около 99 родов и 1376 видов [1], преимущественно кустарников и небольших деревьев. Это семейство распространено в тропических и субтропических регионах, хотя некоторые виды встречаются и в умеренных зонах. Один из широко распространенных родов этого семейства – бересклет.

До недавнего времени бересклет не пользовался большой популярностью в ландшафтной архитектуре, однако в настоящее время данное декоративное древесно-кустарниковое растение все чаще применяется дизайнерами. Подтверждением этого может служить большое количество проектов, в которых используется бересклет и которые нередко рассматриваются современными авторами. Например, в работе Антоновой и Голуб [2] отражена выполненная оценка насаждений парка-памятника «Острая могила», по итогам которой авторы рекомендуют заменить сухостой и поросль на новые теневыносливые кустарники, в числе которых – *Euonymus fortunei*, сорта – «*Emerald and Gold*» и «*Harlequin*».

В настоящее время бересклет привлекает внимание многих ученых. Так, морфологические признаки дальневосточных видов бересклета описаны в работе [3]. Авторы выявили морфологические признаки 11 видов бересклета и разработали ключ для их полевого определения, уделив особое внимание признакам формы плодов-коробочек. Для достижения цели данной работы большой интерес представляет *Euonymus pauciflorus* Maxim. в связи с особенностями декоративных свойств и доступностью для изучения, так как данный вид имеется в коллекции Дендрологического сада имени Шредера, что упрощает изучение вида.

Стоит отметить, что советские ученые также внесли значительный вклад в изучение бересклетов. Так, в книгах Е.И. Шиманович [4] и Т.Г. Леоновой [5] описаны различные его виды на территории бывшего СССР.

Современные ученые также говорят о способности некоторых видов бересклетов снижать количество твердых частиц в воздухе [6]. При этом корни, стебли и листья кустарника обладают высокой способностью к обогащению тяжелыми металлами, что делает их ценным видом в озеленении городов [7], однако сами растения подвержены заболеваниям. Поэтому целый ряд трудов посвящен болезням растения [8-10].

Декоративные свойства растения отмечены авторами [11], по мнению которых, растение обладает особой привлекательностью и особо подчеркивается красота осенней окраски.

Красоту бересклетов отмечают и современные исследователи. Так, в статье [12] говорится о создании ландшафтных композиций, включающих в себя вечнозеленые кустарники. В статье выделяется род *Euonymus*, рассматриваются его особенности, в том числе декоративные признаки. Отмечено также [13], что вопреки распространенному мнению о том, что вечнозеленые растения, применяемые в озеленении, – это, как правило, хвойные, современные дизайнеры имеют достаточно богатый ассортимент травянистых и древесно-декоративных растений из группы лиственных – в частности, бересклетов.

Бересклеты варьируются по размерам, структуре кроны и окраске листьев, что позволяет использовать их в различных ландшафтных композициях. Однако декоративные качества бересклета, как и у многих других растений, зависят от ряда внешних признаков и изменяются на протяжении жизненного цикла. В этой связи важно рассмотреть, как совокупность этих характеристик формирует общую декоративность растений в целом.

В целом декоративность – понятие эстетическое, означающее, что оно субъективно. Общая декоративность растений определяется комплексом внешних характеристик. Тем не менее в настоящее время разработан ряд методик оценки декоративности растений, которые в свою очередь содержат шкалы оценки. Так, в статье О.Ю. Емельяновой описана универсальная методика комплексной оценки степени декоративности древесных растений с учетом динамики изменения декоративных качеств, шкала градаций признаков и коэффициенты значимости [14]. Оценка осуществляется ежемесячно по 6 критериям с применением 5-балльной шкалы. Полученные

результаты позволяют строить графики, наглядно демонстрирующие изменения в уровне декоративности различных видов (форм и сортов) на протяжении всего года.

Существует также методика Н.В. Котеловой и О.Н. Виноградовой [15], включающая в себя ежемесячную оценку по 5 критериям: архитектура растения, форма и цвет листьев, размер и цвет цветков и плодов, а также фактура и цвет коры. Оценка проводится по 5-балльной шкале на протяжении всего года. Полученные баллы по каждому критерию умножаются на коэффициент значимости, после чего результаты суммируются и делятся на общую сумму коэффициентов. Значение коэффициента значимости колеблется от 1 до 4 в зависимости от конкретного признака. Для каждого месяца вычисляется средняя весомость, что позволяет создать график сезонной декоративности. Суммирование оценок за месяц дает возможность определить общую годовую оценку (Р), которая используется для сравнения уровня декоративности различных видов и сортов.

Одним из интересных признаков декоративности является раскрытая коробочка плода. В зависимости от вида она будет сильно отличаться как по цвету, так и по форме, что и привлекает различных авторов [16, 17]. В первой работе описаны и иллюстрированы плоды и семена 30 широко культивируемых видов, встречающихся в коллекциях растений Центральной Европы, во второй статье приведены результаты детального исследования структуры плодов и семян 10 видов бересклетов подрода *Kalonymus*. Результаты второй работы также были отражены в рисунках.

**Цель исследований:** анализ характеристик и признаков видов рода бересклет (*Euonymus* L.) и оценка их декоративных свойств с учетом сезонных особенностей.

## Методика исследований
## Research method

Видовые характеристики были составлены на основании изученной литературы и практического наблюдения, их описания адаптированы под цели работы. Наблюдения над живыми растениями проводили осенью 2024 г. в Дендрологическом саду имени Р.И. Шредера Российского государственного аграрного университета имени К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева). В исследованиях использованы такие виды, как *Euonymus europaeus* L. [18] (рис. 1), *Euonymus latifolius* (L.) Mill. [4], *Euonymus fortunei* Hand. – Mazz., известный также как *E. radicans* Sieb. ex Miq., или *E. gracilis* Sieb. [11], *Euonymus macropterus* Rupr. [5] (рис. 2), *Euonymus pauciflorus* Maxim. [5], *Euonymus sacrosanctus* Koidz. [4] (рис. 3), *Euonymus verrucosus* Scop. [18], *Euonymus japonicus* Thunb. [4], *Euonymus alatus* (Thunb.) Siebold [11] (рис. 4), *Euonymus nanus* M. Bieb. [11] (рис. 5).

**Рис. 1.** *Euonymus europaeus* L. из коллекции Дендрологического сада им. Шредера (фото авторов)
**Fig. 1.** *Euonymus europaeus* L. from the collection of the Dendrological Garden named after R.I. Schroeder [photo by the authors]

**Рис. 2.** *Euonymus macropterus* Rupr. из коллекции Дендрологического сада им. Шредера (фото авторов)
**Fig. 2.** *Euonymus macropterus* Rupr. from the collection of the Dendrological Garden named after R.I. Schroeder [photos by the authors]

Шкала оценки декоративности была разработана авторами на основе шкалы градаций признаков для комплексной оценки декоративности древесных растений в течение года [14] и адаптирована с учетом особенностей территории произрастания и сезона года (осень).

## Результаты
## Results

Для оценки декоративных качеств *Euonymus* L. в осенний период были учтены следующие признаки (табл. 1):

- окраска листвы в период вегетации;
- осенняя окраска листьев;
- декоративность плодов-коробочек;
- декоративность раскрытых плодов-коробочек;
- длина листа;
- ширина листа.

Эти характеристики отражают основные видовые особенности растения и разнообразие декоративных свойств в осенний период года.

Чтобы оценить декоративные качества максимально корректно, составим шкалу оценки, в которой будет подробно описано, за что присуждается каждый балл. Особое внимание следует обратить на цветовую гамму листвы, форму и текстуру листьев, а также на декоративность плодов, которые придают растениям дополнительную привлекательность в разные сезоны.

Шкала оценки:

1. Окраска листьев в период вегетации (0-2 балла)
– 0 – непримечательная (например, бледно-зеленая)
– 1 – обычная
– 2 – яркая (например, неоднородная)
2. Осенняя окраска листьев (0-2 балла)
– 0 – непримечательная (например, бледно-желтая)
– 1 – обычная (например, желтая)
– 2 – яркая (например, красная, ярко-красная)
3. Декоративность плодов (0-1 балл)
– 0 – непримечательные
– 1 – средняя
4. Длина листа (0-2 балла)
– 0 – до 5 см
– 1-5-7 см
– 2 – более 7 см

Промежуточные значения для данной характеристики будут обусловлены тем, что отдельные виды имеют листья различных размеров, которые подойдут под несколько пунктов сразу.

5. Ширина листа (0-1 балл)
– 0 – до 4 см
– 1 – от 4 см и более

**Рис. 3.** *Euonymus sacrosanctus* Koidz. из коллекции Дендрологического сада им. Шредера и парка музея К.Э. Циолковского, г. Калуга (фото авторов)

**Fig. 3.** *Euonymus sacrosanctus* Koidz. on the territory of the Schroeder Arboretum and on the territory of park of the K.I. Tsiolkovsky Museum in Kaluga [photo by the authors]

Промежуточные значения для данной характеристики будут обусловлены тем, что отдельные виды имеют листья различных размеров, которые подойдут под несколько пунктов сразу.

6. Раскрытая коробочка плода (0-2 балла)

– 0 – коробочка в раскрытом виде выглядит неаккуратно

– 1 – коробочка в раскрытом виде имеет приятный вид, но ничем не выделяется

– 2 – раскрытая коробочка крайне декоративна, имеет необычную и привлекательную форму

Максимальная сумма по указанным признакам составляет 10 баллов. Эта система позволяет комплексно оценить декоративные качества бересклета, учитывая как визуальные, так и структурные характеристики (табл. 2).

Наибольшую сумму баллов получили *Euonymus latifolius* Mill., *Euonymus japonicus* Thunb., *Euonymus europeus* L. и *Euonymus macropterus* Rupr. Исходя из этого, можно считать, что данные виды обладают наиболее декоративными особенностями в осенний период года, а *Euonymus nanus* M. Bieb., *Euonymus verrucosus* Scop. и *Euonymus sacrosanctus* Koidz. – наименее декоративными.

**Рис. 4.** *Euonymus alatus* (Thunb.) Siebold из коллекции Дендрологического сада им. Шредера (фото авторов)

**Fig. 4.** *Euonymus alatus* (Thunb.) Siebold from the collection of the Dendrological Garden named after R.I. Schroeder [photo by the authors]

**Рис. 5.** *Euonymus nanus* M. Bieb. из коллекции Дендрологического сада им. Шредера и на территории частного сада (фото авторов)

**Fig. 5.** *Euonymus nanus* M. Bieb. from the collection of the Dendrological Garden named after R.I. Schroeder and on the territory of the private garden [photo by the authors]

Таблица 1

**Декоративные качества видов *Euonymus* L. из коллекции Дендрологического сада им. Шредера РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева в осенний период**
(составлено авторами)

| Вид | Высота, см | Окраска листьев в период вегетации | Жизненная форма | Осенняя окраска листьев | Декоративность плодов | Длина листа, см | Ширина листа, см |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Euonymus europaeus* L. | 500-700 | Зеленая | Кустарник или небольшое дерево | Красная | От бледно-розовых до малиновых и ярко-красных | 3,5-12 | 1-5,5 |
| *Euonymus fortunei* Hand.-Mazz. | 30-60 | Темно-зеленая | Вечнозеленый ползучий кустарник | Красно-розовая | Яркие красные | 3-5 | 2-4 |
| *Euonymus latifolius* (L.) Mill. | 200-800 | Зеленая | Небольшое деревце или кустарник | Красная | Пурпурово- или карминово-красная | 5-14 | 2-9 |
| *Euonymus macropterus* Rupr. | 200-900 | Темно-зеленая | Дерево или раскидистый кустарник | Красно-розовая | Малиновые или карминово-красные | 1,5-8 | 1,5-8 |
| *Euonymus pauciflorus* Maxim. | 60-800 | Темно-зеленая | Кустарник, реже деревце | Красная | Розово-красные, реже желтоватые с пурпуровыми полосками | 2,5-13 | 1,5-5,5 |
| *Euonymus sacrosanctus* Koidz. | 150-200 | Светло-зеленая | Кустарник, реже небольшое деревце | Ярко-красная | Темно-бордово-красные | 3-8 | 1,5-4 |
| *Euonymus verrucosus* Scop. | 100-600 | Светло-зеленая | Кустарник | Розово-красная | Беловато-розовая или розово-красная | 1,5-10 | 0,7-5,5 |
| *Euonymus japonicus* Thunb. | 200-900 | Темно-зеленая | Кустовидное дерево | Ярко-красная | Розоватая | 2,5-9 | 1-5 |
| *Euonymus alatus* (Thunb.) Siebold | 50-400 | Темно-зеленая | Кустарник | Ярко-красная | Ярко-красные | 2,5-7 | 1-3 |
| *Euonymus nanus* M. Bieb. | 20-100 | Темно-зеленая | Кустарник | Коричнево-красная | Розоватые | 2-5 | 1-2 |

Table 1

**Decorative qualities of individual species of *Euonymus* from the collection of the Dendrological Garden named after R.I. Schroeder of the Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy in the fall season**
[compiled by the authors]

| Species | Height, cm | Leaf coloration during the growing season | Life form | Fall leaf coloration | Decorativeness of fruits | Length of the leaf, cm | Width of the leaf, cm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Euonymus europaeus* L. | 500-700 | Green | Shrub or a small tree | Red | From pale pink to crimson and bright red | 3.5-12 | 1-5.5 |
| *Euonymus fortunei* Hand.-Mazz. | 30-60 | Dark green | Evergreen creeping shrub | Red-pink | Bright red | 3-5 | 2-4 |
| *Euonymus latifolius* (L.) Mill. | 200-800 | Green | Small tree or a shrub | Red | Purple- or carmine-red | 5-14 | 2-9 |
| *Euonymus macropterus* Rupr. | 200-900 | Dark green | Small tree or a sprawling shrub | Red-pink | Crimson or carmine-red | 1.5-8 | 1.5-8 |
| *Euonymus pauciflorus* Maxim. | 60-800 | Dark green | Shrub, rarely a tree | Red | Pinkish-red, rarely yellowish with purple stripes | 2.5-13 | 1.5-5.5 |
| *Euonymus sacrosanctus* Koidz. | 150-200 | Light green | Shrub, rarely a small tree | Bright red | Maroon-red | 3-8 | 1.5-4 |
| *Euonymus verrucosus* Scop. | 100-600 | Light green | Shrub | Pink-red | Whitish pink or pink-red | 1.5-10 | 0.7-5.5 |
| *Euonymus japonicus* Thunb. | 200-900 | Dark green | Bush-like tree | Bright red | Pinkish | 2.5-9 | 1-5 |
| *Euonymus alatus* (Thunb.) Siebold | 50-400 | Dark green | Shrub | Bright red | Bright red | 2.5-7 | 1-3 |
| *Euonymus nanus* M. Bieb. | 20-100 | Dark green | Shrub | Brown-red | Pink | 2-5 | 1-2 |

Таблица 2

**Оценка декоративности отдельных видов бересклета из коллекции Дендрологического сада им. Шредера РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева в осенний период, баллы** (составлено авторами)

| Вид | Окраска листьев в период вегетации | Осенняя окраска | Декоративность плодов | Длина листа, см | Ширина листа, см | Раскрытая коробочка плода | Сумма баллов |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Euonymus europaeus* L. | 1 | 2 | 1 | 1,5 | 0,5 | 1 | 7 |
| *Euonymus fortunei* Hand.-Mazz. | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 6 |
| *Euonymus latifolius* (L.) Mill. | 1 | 2 | 1 | 1,5 | 1 | 1 | 7,5 |
| *Euonymus macropterus* Rupr. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 7 |
| *Euonymus pauciflorus* Maxim. | 1 | 1 | 0 | 1,5 | 0,5 | 2 | 6 |
| *Euonymus sacrosanctus* Koidz. | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| *Euonymus verrucosus* Scop. | 1 | 1 | 0 | 1,5 | 0 | 1 | 4,5 |
| *Euonymus japonicus* Thunb. | 2 | 2 | 0 | 1 | 0,5 | 2 | 7,5 |
| *Euonymus alatus* (Thunb.) Siebold | 1 | 2 | 1 | 0,5 | 0 | 1 | 5,5 |
| *Euonymus nanus* M. Bieb. | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 |

Table 2

**Evaluation of decorativeness of individual species of *Euonymus* from the collection of the Dendrological Garden named after R.I. Schroeder of the Russian State Agrarian University – Timiryazev Agricultural Academy in the fall season, points** [compiled by the authors]

| Species | Leaf coloration during the growing season | Fall leaf coloration | Decorativeness of fruits | Length of the leaf | Width of the leaf | Disclosed fruit box | Total score |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Euonymus europaeus* L. | 1 | 2 | 1 | 1.5 | 0.5 | 1 | 7 |
| *Euonymus fortunei* Hand.-Mazz. | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 2 | 6 |
| *Euonymus latifolius* (L.) Mill. | 1 | 2 | 1 | 1.5 | 1 | 1 | 7.5 |
| *Euonymus macropterus* Rupr. | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 7 |
| *Euonymus pauciflorus* Maxim. | 1 | 1 | 0 | 1.5 | 0.5 | 2 | 6 |
| *Euonymus sacrosanctus* Koidz. | 1 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 |
| *Euonymus verrucosus* Scop. | 1 | 1 | 0 | 1.5 | 0 | 1 | 4.5 |
| *Euonymus japonicus* Thunb. | 2 | 2 | 0 | 1 | 0.5 | 2 | 7.5 |
| *Euonymus alatus* (Thunb.) Siebold | 1 | 2 | 1 | 0.5 | 0 | 1 | 5.5 |
| *Euonymus nanus* M. Bieb. | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 |

Проведенное исследование различных видов бересклета показало, что каждый из них обладает уникальными характеристиками, которые могут быть успешно использованы в ландшафтном дизайне и озеленении. Так, *Euonymus latifolius* Mill., *Euonymus europeus* L., *Euonymus alatus* (Thunb.) Siebold, *Euonymus sacrosanctus* Koidz. и *Euonymus macroptera* Rupr. могут являться центром ландшафтной композиции; *Euonymus japonica, Euonymus verrucosa* Scop., *Euonymus fortunei* Hand. – Mazz., *Euonymus pauciflora* Maxim., *Euonymus latifolia* Mill. и *Euonymus nanus* M. Bieb. могут выступать в качестве сопутствующих видов; *Euonymus japonicus* Thunb., *Euonymus fortunei* Hand. – Mazz., *Euonymus verrucosa* Scop., *Euonymus macroptera* Rupr. и *Euonymus nanus* M. Bieb. подойдут для создания живой изгороди. *Euonymus japonicus* Thunb., *Euonymus fortunei* Hand. – Mazz. и *Euonymus nanus* M. Bieb. являются вечнозелеными и почвопокровными и могут быть использованы как «нижний ярус» ландшафтной композиции.

## Выводы
## Conclusions

Выявленные виды – такие, как *Euonymus latifolius* Mill., *Euonymus japonicus* Thunb., *Euonymus europeus* L. и *Euonymus macropterus* Rupr., продемонстрировали свою высокую декоративность, что делает их перспективными для использования в городском озеленении. Рекомендуется дальнейшее изучение этих видов в остальные сезоны года и выявление их потенциала для применения в различных климатических условиях и ландшафтных проектах.

## Список источников

1. Chase M.W., Christenhusz M.J.M., Fay M.F, Byng J.W. et al. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016;181(1):1-20. https://doi.org/10.1111/boj.12385

2. Кузьмина Н.М. Роль и особенности произрастания декоративных древесных растений в городских зонах рекреации // *Известия вузов Северо-Кавказского региона. Естественные науки.* 2024. № 4-1. С. 125-133. https://doi.org/10.18522/1026-2237-2024-4-1-125-133

3. Savinov I.A., Trusov N.A. Far Eastern species of *Euonymus* L. (Celastraceae): additional data on diagnostic characters and distribution. *Botanica Pacifica*: *a journal of plant science and conservation*. 2018;7(2):41-46. https://doi.org/10.17581/bp.2018.07209

4. Шиманович Е.И. *Бересклет*. Москва: Агропромиздат, 1987. 64 с.

5. Леонова Т.Г. *Бересклеты СССР и сопредельных стран*. Ленинград: Наука, 1975. 132 с.

6. Zhang T., Bai Y., Hong X., Sun L. et al. Particulate matter and heavy metal deposition on the leaves of *Euonymus japonicus* during the East Asian monsoon in Beijing, China. *PLoS ONE.* 2017;12(6):0179840. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179840

7. Shi H.W., Yang L.F., Ding Z.Q., Tu J.H. Characteristics of absorption and enrichment of heavy metal in *Photinia serrulata* and *Euonymus japonicus* planted in sewage sludge substrates. *North. Hortic.* 2010;3:70-74. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179840

8. Lin L., Pan M., Gao H., Tian C. et al. The Potential Fungal Pathogens of *Euonymus japonicus* in Beijing, China. *Journal of Fungi.* 2023;9(2):271. https://doi.org/10.3390/jof9020271

9. Sastry K.S., Mandal B., Hammond J., Scott S.W. et al. *Encyclopedia of Plant Viruses and Viroids*. SpringerLink. Published online. 2019. https://doi.org/10.1007-978-81-322-3912-3

10. Ahanger R.A., Qazi N.A., Bhat H.A. et al. Management of powdery mildew of *Euonymus japonicus*

## References

1. Chase M.W., Christenhusz M.J.M., Fay M.F, Byng J.W. et al. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016;181(1):1-20. https://doi.org/10.1111/boj.12385

2. Kuzmina N.M. Role and features of growing ornamental woody plants in urban recreational areas. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya*: *Estestvennye nauki.* 2024;4-1:125-133. (In Russ.) https://doi.org/10.18522/1026-2237-2024-4-1-125-133

3. Savinov I.A., Trusov N.A. Far Eastern species of *Euonymus* L. (Celastraceae): additional data on diagnostic characters and distribution. *Botanica Pacifica*: *a Journal of Plant Science and Conservation*. 2018;7(2):41-46. https://doi.org/10.17581/bp.2018.07209

4. Shimanovich E.I. *Euonymus*. Moscow, USSR: Agropromizdat, 1987:64. (In Russ.)

5. Leonova T.G. *Euonymus of the USSR and adjacent countries*. Leningrad, USSR: Nauka, 1975:132. (In Russ.)

6. Zhang T., Bai Y., Hong X., Sun L. et al. Particulate matter and heavy metal deposition on the leaves of *Euonymus japonicus* during the East Asian monsoon in Beijing, China. *PLoS ONE.* 2017;12(6):0179840. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179840

7. Shi H.W., Yang L.F., Ding Z.Q., Tu J.H. Characteristics of absorption and enrichment of heavy metal in *Photinia serrulata* and *Euonymus japonicus* planted in sewage sludge substrates. *North. Hortic.* 2010;3:70-74. (In Chinese) https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179840

8. Lin L., Pan M., Gao H., Tian C. et al. The Potential Fungal Pathogens of *Euonymus japonicus* in Beijing, China. *Journal of Fungi.* 2023;9(2):271. https://doi.org/10.3390/jof9020271

9. Sastry K.S., Mandal B., Hammond J., Scott S.W. et al. *Encyclopedia of Plant Viruses and Viroids*. SpringerLink. Published online. 2019. https://doi.org/10.1007-978-81-322-3912-3

10. Ahanger R.A., Qazi N.A., Bhat H.A. et al. Management of powdery mildew of *Euonymus japonicus*

in Kashmir Valley. *Indian Phytopathology.* 2018;71:377-384. https://doi.org/10.1007/s42360-018-0041-z

11. Аксенов Е.С., Аксенова Н.А. *Декоративные растения. Т. 1 (Деревья и кустарники)*. Изд. 2-е, испр. Энциклопедия природы России. Москва: АБФ/ABF, 2000. 560 с.

12. Turgunboevna K.N. Creating Landscape Compositions on the Basis of Permanent Green Bushes. *Miasto Przyszłości.* 2022;25:314-317. https://miastoprzyszlosci.com.pl/index.php/mp/article/view/383

13. Mandă M., Ilie D. Possibilities of using evergreen species in exterior décor. *Annals of The University Of Craiova, Biology, Horticulture, Food products processing technology, Environmental engineering.* 2023;28(64):275-280. https://doi.org/10.52846/bihpt.v28i64.101

14. Емельянова О.Ю. К методике комплексной оценки декоративности древесных растений. *Современное садоводство.* 2016. № 3 (19). С. 54-74. EDN: WKBMUJ

15. Котелова Н.В., Виноградова О.Н. Оценка декоративности деревьев и кустарников по сезонам года. *Физиология и селекция растений, и озеленение городов.* Москва: МЛТИ, 1974. С. 37-44.

16. Schulz B. Studien zu den Früchten und Semen ausgewählter Euonymus – Arten. *Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft*. 2006;91:127-145. (In Germ.).

17. Савинов И.А., Соломонова Е.В., Трусов Н.А., Ноздрина Т.Д. Структура коробочек с крыловидными выростами видов подрода *Kalonymus* рода *Euonymus* (Celastraceae). *Turczaninowia.* 2020. № 1. С. 41-56. https://doi.org/10.14258/turczaninowia.23.1.5

18. Гордеева А.П., Сачивко Т.В., Наумов М.В. *Декоративные и лекарственные растения (открытый грунт). Каталог Ботанического сада Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2013. 308 с. EDN: DHROAH

in Kashmir Valley. *Indian Phytopathology.* 2018;71:377-384. https://doi.org/10.1007/s42360-018-0041-z

11. Aksenov E.S., Aksenova N.A. *Ornamental plants. Vol. 1 (Trees and shrubs)*. 2d ed., rev. Encyclopedia of Russia's Nature. Moscow, Russia: ABF, 2000:560. (In Russ.)

12. Turgunboevna K.N. Creating Landscape Compositions on the Basis of Permanent Green Bushes. *Miasto Przyszłości.* 2022;25:314-317.

13. Mandă M., Ilie D. Possibilities of using evergreen species in exterior décor. *Annals of the University of Craiova, Biology, Horticulture, Food products processing technology, Environmental engineering.* 2023;28(64):275-280. https://doi.org/10.52846/bihpt.v28i64.101

14. Emelyanova O.Yu. For method of complex assessment of woody plants decorativeness. *Contemporary Horticulture.* 2016;3(19):54-74. (In Russ.)

15. Kotelova N.V., Vinogradova O.N. Assessment of the decorativeness of trees and shrubs by seasons of the year. *Fiziologiya i selektsiya rasteniy, i ozelenenie gorodov*. Moscow, USSR: MLTI, 1974:37-44. (In Russ.)

16. Schulz B. Studien zu den Früchten und Semen ausgewählter Euonymus – Arten. *Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft*. 2006;91:127-145. (In Germ.).

17. Savinov I.A., Solomonova E.V., Trusov N.A., Nozdrina T.D. Structure of capsules with with winged appendages in the species of *Euonymus* subgenus *Kalonymus* (Celastraceae). *Turczaninowia.* 2020;1:41-56. https://doi.org/10.14258/turczaninowia.23.1.5 (In Russ.)

18. Gordeeva A.P., Sachivko T.V., Naumov M.V. *Ornamental and medicinal plants (open ground). Catalog of the Botanical Garden of the Belarusian State Agricultural Academy.* Gorki, Belarus: Belarusian State Agricultural Academy, 2013:308. (In Russ.)

## Сведения об авторах

**Надежда Владиславовна Коршунова,** студент 1-го курса бакалавриата Института садоводства и ландшафтной архитектуры, кафедра ландшафтной архитектуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия; e-mail: nkkorshunova96@gmail.com.

**Иван Алексеевич Савинов,** профессор кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений, д-р биол. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия; e-mail: i.savinov@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0001-8673-0052.

## Information about the authors

**Nadezhda V. Korshunova,** 1st year undergraduate student of the Institute of Horticulture and Landscape Architecture, Department of Landscape Architecture, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation); nkkorshunova96@gmail.com

**Ivan A. Savinov,** DSc (Bio), Associate Professor, Professor at the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Horticultural Crops, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation); e-mail: i.savinov@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-8673-0052

Статья поступила в редакцию 14.11.2024
Одобрена после рецензирования 20.12.2024
Принята к публикации 26.12.2024

The article was submitted to the editorial office November 14, 2024
Approved after reviewing December 20, 2024
Accepted for publication December 26, 2024

**МИКРОБИОЛОГИЯ, МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ / MICROBIOLOGY, MOLECULAR BIOLOGY**

**МИКРОБИОЛОГИЯ**

Оригинальная научная статья
УДК 637.54:637.075
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-78-82

# Возможность использования подложек MICROFAST® SALMONELLA COUNT PLATE (SAL) для обнаружения сальмонелл в мясе птицы

**Козак Юлия Александровна, Козак Сергей Степанович, Сычёва Ирина Николаевна**

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

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

**Аннотация**
Сальмонеллы являются, как и прежде, основной причиной возникновения токсикоинфекций при употреблении продуктов животного происхождения. Птица, в том числе сельскохозяйственная, может быть сальмонеллоносителем без проявления клинических признаков, поэтому мясу птицы отводится особая роль в возникновении токсикоинфекций. В цехе убоя, при переработке такой птицы, поверхность тушек может обсеменяться сальмонеллами: за счет их смывания с загрязненных ног и перьевого покрова; при разрыве кишечника, зоба и попадании их содержимого на тушки; на операциях снятия оперения и охлаждения (особенно водяного). Поэтому контролю наличия сальмонелл в продуктах из мяса птицы уделяется особое внимание. На рынок РФ ввиду санкций в связи с проведением специальной военной операции ряд питательных сред, используемых для выявления сальмонелл, в настоящее время не поставляется. Однако появились поставщики питательных сред и диагностических систем из дружественных стран, которые могут использоваться в микробиологических исследованиях при выявлении сальмонелл из пищевых продуктов. Одной из таких сред является Подложка MicroFast® Salmonella Count Plate (SAL) (П-SAL). П-SAL – это готовая питательная гелеобразная среда, содержащая в качестве индикатора трифенилтетразолий хлорид. В данных исследованиях изучали возможность использования П-SAL для выделения сальмонелл в мясе птицы. При выполнении исследований в качестве модельных образцов использовали фарш, полученный из грудок цыплят-бройлеров, свободный от посторонней микрофлоры. При проведении исследований было сформировано две группы образцов (по 25 каждой): опытные образцы – контаминированный фарш (25 г фарша содержало 30-50±0,08 КОЕ S.enteritidis); контрольные образцы – фарш, не контаминированный S.enteritidis. Сравнительные испытания П-SAL и Висмут-сульфитного агара (BCA) проводили после селективного обогащения проб. Установили, что использование для обнаружения сальмонелл в фарше BCA по ГОСТ 31468-2012 и П-SAL позволяет получить сопоставимые результаты. Результаты исследований свидетельствуют о возможности использовании П-SAL для выявления сальмонелл в мясе птицы, что позволит обеспечить возможность выбора и доступности питательных сред при проведении исследований по выявлению сальмонелл.

**Ключевые слова**
фарш, сальмонеллы, питательные среды, подложка MICROFAST® SALMONELLA COUNT PLATE (SAL), сопоставимые результаты, обнаружение сальмонелл в мясе птицы

**Для цитирования**
Козак Ю.А., Козак С.С., Сычёва И.Н. Возможность использования подложек MICROFAST® SALMONELLA COUNT PLATE (SAL) для обнаружения сальмонелл в мясе // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 78-82. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-78-82

MICROBIOLOGY

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-78-82

# Possibility of using MICROFAST® SALMONELLA COUNT PLATE (SAL) for the detection of Salmonella in poultry meat

**Yulia A. Kozak, Sergey S. Kozak, Irina N. Sycheva**

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

**Corresponding author:** Yulia A. Kozak; e-mail: kozak@rgau-msha.ru

**Abstract**
Salmonella remains the main cause of toxic infections associated with the consumption of products of animal origin. Poultry, including farm poultry, can be a carrier of Salmonella without clinical signs, therefore poultry meat plays a special role in the occurrence of toxic infections. In the slaughterhouse, when processing such poultry, the surface of the carcasses can be seeded with Salmonella: by washing them off contaminated legs and feathers; by getting the contents of ruptured intestines, crops on carcasses; during the operations of removing feathers and cooling (especially water cooling). Therefore, special attention is paid to the control of the presence of Salmonella in poultry products. A number of nutrient media used for the detection of Salmonella are currently not supplied to the Russian market due to sanctions in connection with the special military operation. However, there are suppliers of nutrient media and diagnostic systems from friendly countries that can be used in microbiological studies to detect Salmonella in food. One such medium is the MicroFast® Salmonella Count Plate (SAL) (P-SAL). P-SAL is a ready-to-use nutrient gel medium containing triphenyltetrazolium chloride as an indicator. In this research, we investigated the possibility of using P-SAL to isolate Salmonella in poultry meat. Minced meat from broiler chicken breasts free of foreign microflora was used as a model sample. During the research, two groups of 25 samples were formed: test samples – contaminated minced meat (25 g of minced meat contained 30-50±0.08 CFU of S.enteritidis); control samples – minced meat not contaminated with S.enteritidis.. Comparative tests of P-SAL and Bismuth Sulfite Agar (BSA) were conducted after selective enrichment of samples. It was found that the use of BSA according to GOST 31468-2012 and P-SAL for the detection of Salmonella in minced meat allows to obtain comparable results. The results of the studies indicate the possibility of using P-SAL to detect Salmonella in poultry meat, which will ensure the possibility of choice and availability of nutrient media when conducting studies on the detection of Salmonella.

**Keywords**
minced meat, Salmonella, nutrient media, MICROFAST® SALMONELLA COUNT PLATE (SAL), comparable results, detection of Salmonella in poultry meat

**For citation**
Kozak Yu.A., Kozak S.S., Sycheva I.N. Possibility of using MICROFAST® SALMONELLA COUNT PLATE (SAL) for the detection of Salmonella in poultry meat. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):78-82. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-78-82

## Введение
## Introduction

Сальмонеллы, как и прежде, являются основной причиной возникновения токсикоинфекций при употреблении продуктов животного происхождения. Птица, в том числе сельскохозяйственная, может быть сальмонеллоносителем без проявления клинических признаков, поэтому многие исследователи отводят мясу птицы особую роль в возникновении токсикоинфекций [1, 2].

В цехе убоя, при переработке такой птицы, поверхность тушек может обсеменяться сальмонеллами: за счет их смывания с загрязненных ног и перьевого покрова; при разрыве кишечника, зоба и попадании их содержимого на тушки; на операциях снятия оперения и охлаждения (особенно водяного) [3, 4].

Сальмонеллы могут нанести ущерб экономической стабильности птицеводческой отрасли в процессе производства в случае заражения и последующего заболевания людей. Эти случаи могут привести к судебным разбирательствам, а медицинские расходы, которые могут возникнуть у потребителей, вызывают серьезную озабоченность. Кроме того, неспособность должным образом идентифицировать патогенные микроорганизмы пищевого происхождения, такие, как сальмонеллы, в продуктах из мяса птицы часто приводит к экономическим потерям по причине отзыва продукции и общего снижения выхода продукции. Поэтому контролю наличия сальмонелл в продуктах из мяса птицы уделяется особое внимание [5, 6].

В настоящее время в РФ микробиологический контроль субпродуктов, мяса птицы и продуктов на его основе при выявлении сальмонелл проводят согласно

ГОСТ Р 57480-2017[1], в котором предусматривается использование тест-пластин [7]. На рынок РФ ввиду санкций в связи с проведением специальной военной операции ряд питательных сред, в том числе тест-пластин, используемых для выявления сальмонелл, в настоящее время не поставляется. Однако появились поставщики питательных сред и диагностических систем из дружественных стран, которые могут использоваться в микробиологических исследованиях при выявлении сальмонелл из пищевых продуктов. Одной из таких сред является Подложка MicroFast® Salmonella Count Plate (SAL) (П-SAL). В этой связи представлял интерес исследование возможности использования П-SAL для выделения сальмонелл в мясе птицы.

**Цель исследований**: выявление возможности использования П-SAL для выявления сальмонелл в мясе птицы.

## Методика исследований
## Research method

В работе в качестве тест-штамма использовали S. enteritidis шт. 5765 (S. enteritidis).

В качестве модельных образцов использовали фарш, полученный из грудок цыплят-бройлеров. Для получения фарша использовали грудки (с кожей) цыплят-бройлеров (далее – фарш), свободный от сальмонелл. Инактивацию сальмонелл в фарше обеспечивали 2-кратным его автоклавированием (1 ч) через 24 ч. Было сформировано две группы образцов. В качестве опытных образцов был фарш, содержащий 20-50±0,08 КОЕ/25 г S.enteritidis; контрольные образцы – фарш, не контаминированный S.enteritidis. Образцы расфасовывали в пластиковые емкости, которые герметизировали с использованием парафина, идентифицировали и хранили при (0±0,5) ºС.

При выполнении исследований руководствовались действующей НД ГОСТ[2,3].

## Результаты
## Results

Пробы фарша контрольных и опытных групп массой (25±0,1) г для предварительного обогащения инокулировали в неселективную среду – забуференную пептонную воду. После инкубации культуры пересевали в среду селективного обогащения – бульон Раппапорта-Вассилиадиса (RVS).

После селективного обогащения проб проводили сравнительные испытания П-SAL и Висмут-сульфитного агара (BCA).

При проведении исследований П-SAL применяли согласно инструкции производителя. После термостатирования посевов при (36±1,0) °С в течение (24±2) ч проводили учет результатов. На П-SAL отмечали наличие розовых колоний разной интенсивности окраски и размеров, которые, согласно инструкции производителя, являются типичными для бактерий рода Salmonella. Культуральные свойства S. enteritidis на П-SAL представлены на рисунке.

При отсутствии роста типичных колоний на П-SAL конечный результат принимали как отсутствие сальмонелл в анализируемой пробе.

При использовании BCA учет результатов проводили в два этапа: предварительный – через (24±3)

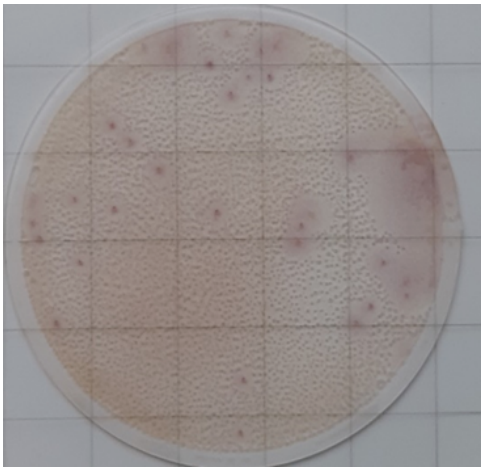


**Рис.** Культуральные свойства S. enteritidis на П-SAL
**Fig.** Cultural properties of S. enteritidis on P-SAL

[1] ГОСТ Р 57480-2017. Продукты убоя птицы, продукция из мяса птицы и объекты окружающей производственной среды. Метод выявления сальмонелл ускоренным способом: введ. 2018-01-07. М.: Стандартинформ, 2018. 6 с.

[2] ГОСТ 7702.2.0-2016. Продукты убоя птицы, полуфабрикаты из мяса птицы и объекты окружающей производственной среды. Методы отбора проб и подготовка к микробиологическим исследованиям: введ. 2018-01-01. М.: Стандартинформ, 2016. 25 с.

[3] ГОСТ 31468-2012. Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Метод выявления сальмонелл: введ. 2013-01-07. М.: Стандартинформ, 2019. 10 с.

ч, окончательный – через (48±3) ч. На ВСА отмечали наличие темных колоний с металлическим блеском и с почернением питательной среды под ними, которые, согласно инструкции производителя, являются типичными для бактерий рода Salmonella.

Идентификации и учет результатов, полученных при использовании П-SAL и ВСАЮ производили по ГОСТ 31468-2012.

Были выполнена сравнительная оценка П-SAL и ВСА по ГОСТ 31468-2012 для выявления сальмонелл в тестируемых образцах фарша. Результаты представлены в таблице.

Из данных таблицы следует, что использование для обнаружения сальмонелл в тестируемых образцах фарша ВСА по ГОСТ 31468-2012 и П-SAL позволяет получать сопоставимые результаты.

Согласно результатам исследований все тестируемые образцы после этапа селективного обогащения, как «контрольные», так и «опытные», были правильно распознаны с помощью подложек SAL. При использовании обоих методов 25 опытных образцов были идентифицированы как «Обнаружено», 25 контрольных образцов – как «Не обнаружено.

Таблица

**Сравнительная оценка ВСА и П-SAL для выявления сальмонелл (n = 25)**

| Образцы | Наименование сред | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ВСА | | П-SAL | |
| | Выявление сальмонелл | | | |
| | Обнаружены | Не обнаружены | Обнаружены | Не обнаружены |
| Контрольные | 0 | 25 | 0 | 25 |
| Опытные | 25 | 0 | 25 | 0 |

Table

**Comparative evaluation of BSA and P-SAL for the detection of Salmonella (n=25)**

| Samples | Name of differential diagnostic environments | | | |
|---|---|---|---|---|
| | BSA | | S-SAL | |
| | Detection of Salmonella | | | |
| | Discovered | Not found | Discovered | Not found |
| Control | 0 | 25 | 0 | 25 |
| Test | 25 | 0 | 25 | 0 |

## Выводы
## Conclusions

Использование для выявления сальмонелл в фарше, полученного из грудок (с кожей) цыплят-бройлеров, ВСА по ГОСТ 31468-2012 и подложек SAL позволяет получить сопоставимые результаты. Результаты исследований свидетельствуют о возможности использования подложки SAL для выявления сальмонелл в мясе птицы, что обеспечит возможность выбора и доступности питательных сред при проведении исследований по выявлению сальмонелл.

### Список источников

1. Tsen H-Y., Shih C-M., Teng P-H., Chen H-Y. et al. Detection of Salmonella in chicken meat by insulated isothermal PCR. *Journal of Food Protection.* 2013 Aug;76(8):1322-9. https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-553

2. Серегин И.Г., Козак Ю.А., Семенов В.Г., Козак С.С. и др. Основные проблемы производственного ветеринарно-санитарного контроля на предприятиях

### References

1. Tsen H-Y., Shih C-M., Teng P-H., Chen H-Y. et al. Detection of Salmonella in chicken meat by insulated isothermal PCR. *Journal of Food Protection*. 2013 Aug;76(8):1322-9. https://doi.org/ 10.4315/0362-028X.JFP-12-553

2. Seregin I.G., Kozak Yu.A., Semenov V.G. et al. Main problems of production veterinary and sanitary control at agro-industrial enterprises. *Uchenye zapiski*

АПК. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана*. 2021. Т. 246, № 2. С. 202-210. https://doi.org/10.31588/2413-201-1883-2462-202-210

3. Александрова Я.Р., Козак С.С., Боровков М.Ф., Баранович Е.С. и др. Выявление сальмонелл в биологическом материале животных, птицы и животноводческой продукции. *Вестник Чувашского государственного аграрного университета*. 2023. № 1 (24). С. 45-49. https://doi.org/10.48612/vch/859n-x394-vdea

4. Козак С.С., Баранович Е.С., Козак Ю.А. Заболеваемость сельскохозяйственных животных и птицы сальмонеллезом. *Тимирязевский биологический журнал*. 2023. № 3. С. 71-77. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-71-77

5. Курмакаева Т.В., Козак С.С., Баранович Е.С. К вопросу о заболеваемости отдельными бактериальными болезнями и обеспечении биобезопасности. *Ветеринария сегодня*. 2024. Т. 13, № 2. С. 171-176. https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-2-171-176

6. Козак С.С. К вопросу использования питательных сред для выявления Staphylococcus aureus в продуктах убоя птицы. *Вестник Чувашского государственного аграрного университета*. 2024. № 3 (30). С. 101-106. https://doi.org/10.48612/vch/2tna-t5ff-trgg

7. Козак С.С. Использование Подложек MICROFAST SAL для обнаружения сальмонелл в продуктах убоя птицы на примере мяса мехобвалки. *Птица и птицепродукты*. 2024. № 4. С. 25-27. https://doi.org/10.30975/2073-4999-2024-26-4-25-27

*Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny imeni N.E. Baumana.* 2021;246(2):202-210. (In Russ.) https://doi.org/10.31588/2413-201-1883-2462-202-210

3. Aleksandrova Ya.R., Kozak S.S., Borovkov M.F. et al. Detection of Salmonella in biological material of animals, poultry and livestock products. *Vestnik Chuvash State Agrarian University.* 2023;1(24):45-49. (In Russ.) https://doi.org/10.48612/vch/859n-x394-vdea

4. Kozak S.S., Baranovich E.S., Kozak Yu.A. Salmonellosis incidence in farm animals and poultry. *Timiryazev Biological Journal*. 2023;1(3):71-77. (In Russ.) https://doi.org/10.26897/2949-4710-2023-3-71-77

5. Kurmakaeva T.V., Kozak S.S., Baranovich E.S. On occurrence of some avian bacterial diseases and biosafety provision. *Veterinary Science Today*. 2024;13(2):171-176. (In Russ.) https://doi.org/10.29326/2304-196X-2024-13-2-171-176

6. Kozak S.S. On the use of nutrient media for the detection of Staphylococcus aureus in poultry slaughter products. *Vestnik Chuvash State Agrarian University.* 2024;3(30):101-106. (In Russ.) https://doi.org/10.48612/vch/2tna-t5ff-trgg

7. Kozak S.S. MicroFast® Salmonella Count Plate meat pads usage for Salmonella detection in poultry slaughtering products using mechanically separated meat as an example. *Poultry & Chicken Products.* 2024;4:25-27. (In Russ.) https://doi.org/10.30975/2073-4999-2024-26-4-25-27

## Сведения об авторах

**Юлия Александровна Козак,** кандидат ветеринарных наук, старший преподаватель кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы Института зоотехнии и биологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: kozak@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-2050-0905

**Сергей Степанович Козак,** доктор биологических наук, профессор кафедры морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы Института зоотехнии и биологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: kozakss@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0001-7823-7719

**Ирина Николаевна Сычева,** кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры частной зоотехнии Института зоотехнии и биологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: sycheva@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-3784-0508

## Information about the authors

**Yulia A. Kozak,** CSc (Vet), Senior Lecturer at the Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: kozak@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-2050-0905

**Sergey S. Kozak,** DSc (Bio), Professor at the Department of Morphology and Veterinary and Sanitary Examination, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: kozakss@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-7823-7719

**Irina N. Sycheva,** CSc (Ag), Associate Professor at the Department of Specific Animal Science, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: sycheva@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-3784-0508

Статья поступила в редакцию 24.11.2024
Одобрена после рецензирования 06.12.2024
Принята к публикации 13.12.2024.

The article was submitted to the editorial office 24 November 2024
Approved after reviewing 06 December 2024
Accepted for publication 13 December 2024

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

ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ

Оригинальная научная статья
УДК 004.032.26: 597.2/5: 639.3:
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-83-93

# Использование искусственной нейронной сети для распознавания клеток крови осетровых рыб на микроскопических снимках

**Анна Владимировна Уколова, Денис Витальевич Быков,**
**Магдалина Алексеевна Акимушкина, Андрей Николаевич Карасев,**
**Дат Ван Чан, Баярма Шагдаровна Дашиева, Александр Евгеньевич Ульянкин**

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

**Автор, ответственный за переписку:** Денис Витальевич Быков; bykovdv@rgau-msha.ru

**Аннотация**
В статье рассматривается проблема трудоемкости процесса определения лейкоцитарной формулы крови рыб при ее одновременной высокой значимости и необходимости с точки зрения мониторинга здоровья особей. Авторами представлен подход к автоматизации составления лейкоцитарной формулы крови рыб (на примере осетровых) с использованием модели сверточной нейронной сети, способной обнаруживать и идентифицировать клетки на микроскопическом снимке крови. Рассматриваются общая схема гемопоэза, нормативы гематологических показателей осетровых рыб. Описывается процедура подготовки изображений для обучения модели искусственной нейронной сети на основе разметки. Приводится описание программных инструментов для взаимодействия с изображениями и с моделями искусственных нейронных сетей. В результате исследований подготовлено 14 микроскопических снимков клеток крови рыб на основе разметки, обучена модель сверточной нейронной сети, общая средняя точность идентификации (MAP, Mean Average Precision) которой составила 0,33. При этом общая точность обнаружения клеток на отдельных снимках в среднем составила 0,92, точность распознавания эритроцитов – 0,94. Результаты исследований могут служить основой дальнейшего изучения, разработки и использования сверточных нейронных сетей для автоматизации составления лейкоцитарной формулы на основе высокоточного распознавания клеток крови рыб на микроскопических снимках.

**Ключевые слова**
лейкограмма, клетки крови, осетровые, рыбы, искусственные нейронные сети, распознавание образов, искусственный интеллект в биологии, ИИ в биологии, использование ИИ для распознавания снимков, распознавание клеток крови с помощью ИИ

**Для цитирования**
Уколова А.В., Быков Д.В., Акимушкина М.А., Карасев А.Н., Чан Д.В., Дашиева Б.Ш., Ульянкин А.Е. Использование искусственной нейронной сети для распознавания клеток крови осетровых рыб на микроскопических снимках // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 83-93. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-83-93

HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-83-93

# Using an artificial neural network to recognize sturgeon blood cells in microscopic images

**Anna V. Ukolova, Denis V. Bykov, Magdalina A. Akimushkina, Andrey N. Karasev, Dat V. Tran, Bayarma Sh. Dashieva, Aleksandr E. Ulianckin**

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

**Corresponding author:** Denis V. Bykov; bykovdv@rgau-msha.ru

**Abstract**
The article considers the labor intensity of the process of determining the white blood cell count of fish, which is simultaneously being highly significant and necessary in terms of monitoring the health of individuals. The authors present an approach to automating the compilation of the white blood cell count of fish (using sturgeon as an example) using a convolutional neural network model capable of recognizing and identifying cells in a microscopic blood image. The general scheme of hematopoiesis and standards for hematological parameters of sturgeon are considered. The procedure for preparing images for training a markup-based artificial neural network model is described. Software tools for interaction with images and artificial neural network models are described. As a result of the research, 14 microscopic images of fish blood cells based on markup were prepared, a convolutional neural network model was trained, the overall mean average precision (MAP) of which was 0.33. At the same time, the overall accuracy of cell recognition in individual images was 0.92, and the rate of red blood cell recognition was 0.94. The research results can serve as a basis for further study, development and application of convolutional neural networks for automating white blood cell count compilation based on high-precision recognition of fish blood cells in microscopic images.

**Keywords**
Leukogram, blood cells, sturgeon, fish, artificial neural networks, pattern recognition, artificial intelligence in biology, AI in biology, using AI for image recognition, blood cell recognition using AI

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

**For citation**
Ukolova A.V., Bykov D.V., Akimushkina M.A., Karasev A.N., Tran D.V., Dashieva B.Sh., Ulianckin A.E. Using an artificial neural network to recognize sturgeon blood cells in microscopic images. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):83-93. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-83-93

## Введение
## Introduction

При выращивании, воспроизводстве, а также селекции рыб необходимо определение гематологических параметров для физиологического мониторинга и ранней диагностики болезней. Составление эритроцитарной и лейкоцитарной формул крови осетровых крайне важно, так как в большинстве случаев они выращиваются в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ) в условиях высокой плотности посадки, а значит, увеличиваются скорость распространения инфекций и производственные риски. Однако процесс составления таких формул является достаточно длительным, трудоемким, требующим привлечения высококвалифицированных специалистов-физиологов, что обусловливает актуальность его автоматизации, осуществить которую можно с использованием технологий искусственных нейронных сетей. Актуальность автоматизации данного процесса подтверждается в связи с необходимостью цифровизации сельского хозяйства [1, 2].

В рамках проводившихся ранее исследований обученная модель сверточной нейронной сети, разработанная с использованием языка программирования Python и специализированной библиотеки TensorFlow, показала итоговую точность распознавания (accuracy) 0,71 и 0,75 по обучающему и валидационному набору изображений соответственно [3]. Однако такая модель не была способна обнаруживать клетки на снимке крови, а также учитывать размер клеток, что повлияло на недостаточно высокую точность. Для достижения высоких метрик качества требуются применение более комплексных моделей и иной подход к подготовке изображений на основе разметки.

**Цель исследований:** разработка методики для оценки физиологического состояния осетровых

рыб в аквакультуре на основе лейкограммы крови с использованием искусственных нейронных сетей.

Задачи исследований включают в себя: подготовку микроскопических снимков клеток крови осетровых рыб на основе разметки для обучения модели сверточной нейронной сети; построение, обучение и применение модели сверточной нейронной сети для обнаружения и идентификации клеток крови на изображении; автоматизацию процесса подсчета клеток крови на обработанном моделью изображении.

## Методика исследований
## Research method

Диагностика состояния животных начинается со сбора образцов крови из хвостовой вены, подготовки препаратов для микроскопического исследования. Далее проводится оценка формы и количества различных типов лейкоцитов (рис. 1), что при осуществлении вручную может занимать до нескольких часов.

Состав и процентное соотношение форменных элементов (табл. 1) свидетельствуют о наличии или отсутствии патологий в организме. Отклонение от нормы происходит вследствие заболеваний различной природы, неблагоприятных условий окружающей среды, стресса.

Применение искусственного интеллекта позволяет получить результаты анализа крови мгновенно после загрузки фотографий мазков. При этом точность распознавания клеток крови моделями искусственных нейронных сетей равна и даже превышает точность работы квалифицированного специалиста [6, 7].

Основой базы данных стали 335 снимков крови осетровых рыб: стерляди, ленского, русского осетра, – полученные с помощью цифрового микроскопа Биолаб 11 Люм при увеличении 600, окраска по Паппенгейму.

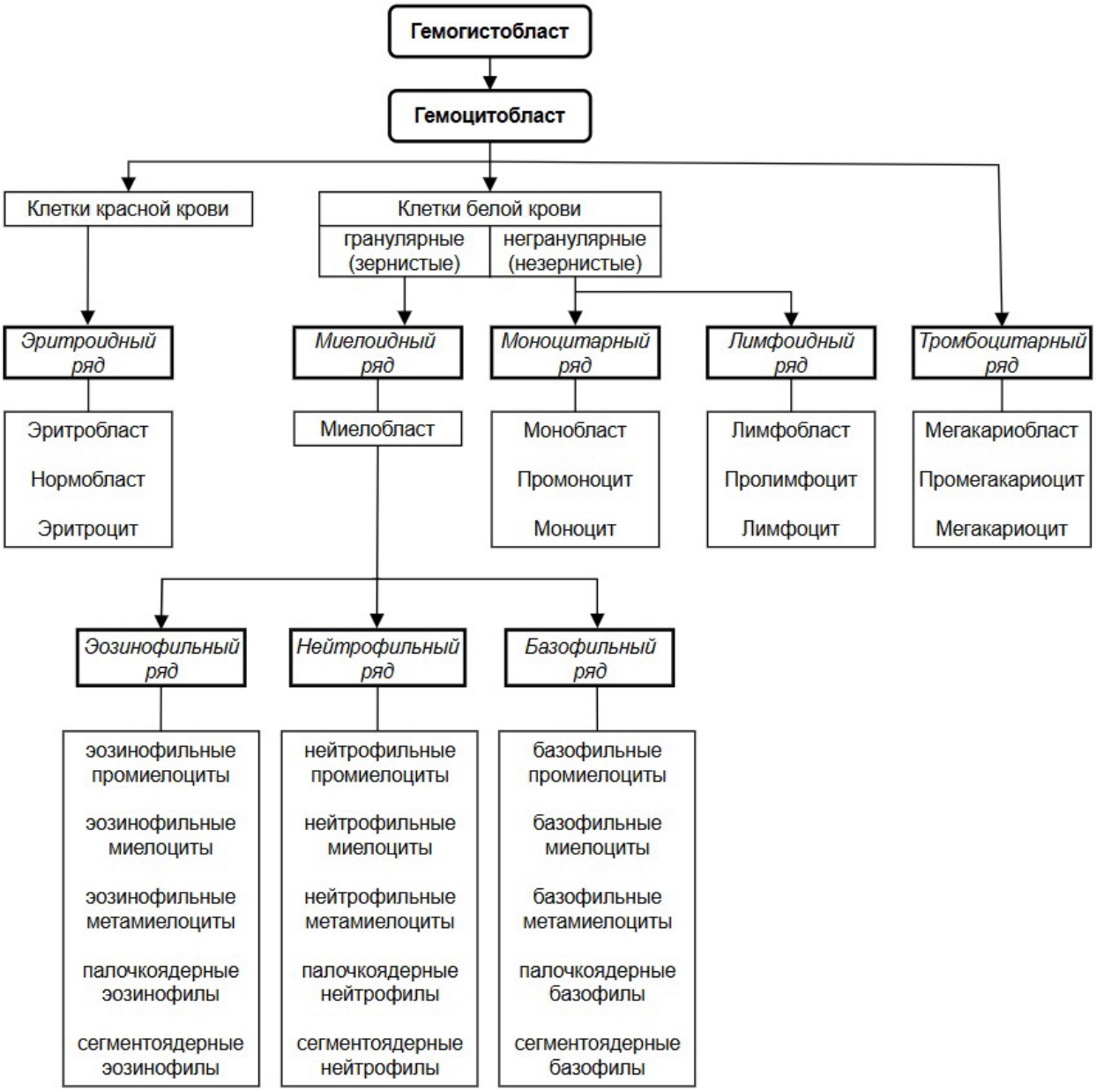



**Рис. 1.** Схема гемопоэза (составлено авторами на основе [4])

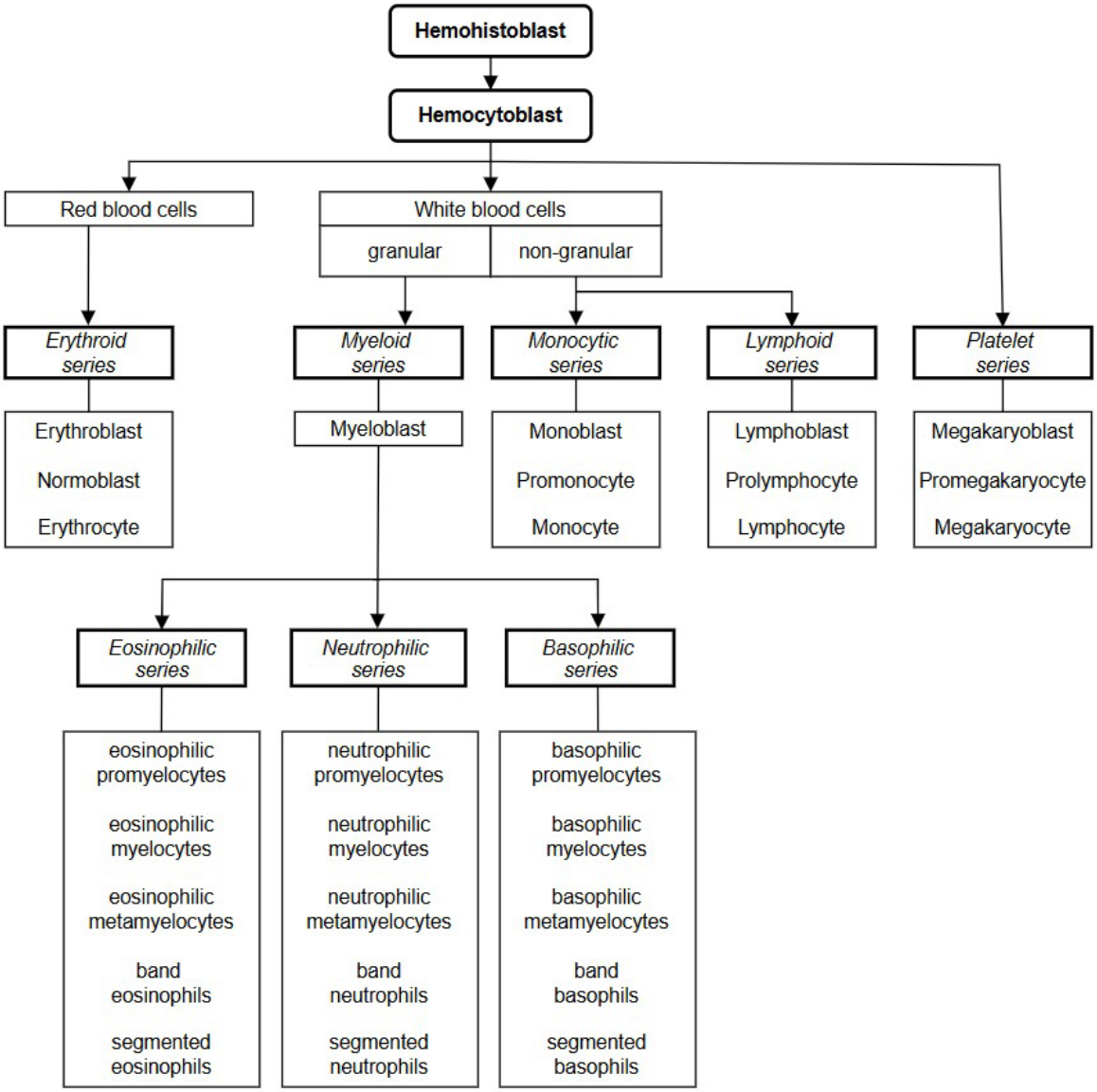



**Fig. 1.** Scheme of hematopoiesis (compiled by the authors based on [4])

Таблица 1

**Нормативы гематологических показателей осетровых рыб**
(составлено авторами на основе [5])

| Нейтрофилы | | Эозинофилы | Базофилы | Лимфоциты | Моноциты |
|---|---|---|---|---|---|
| Палочкоядерные | Сегментоядерные | | | | |
| 0-14% | 0-19% | 0-15% | 0-1% | 72-91% | 0-9% |

Table 1

**Standards of hematological parameters of sturgeon**
(compiled by the authors based on [5])

| Neutrophil | | Eosinophil | Basophil | Lymphocyte | Monocyte |
|---|---|---|---|---|---|
| Band neutrophil | Segmented neutrophil | | | | |
| 0-14% | 0-19% | 0-15% | 0-1% | 72-91% | 0-9% |

Для разметки изображений применялась программа LabelImg, для построения, обучения и применения модели сверточной нейронной сети использовались язык программирования Python, специализированные библиотеки OpenCV, scikit-image, PyTorch.

## Результаты и их обсуждение
## Results and discussion

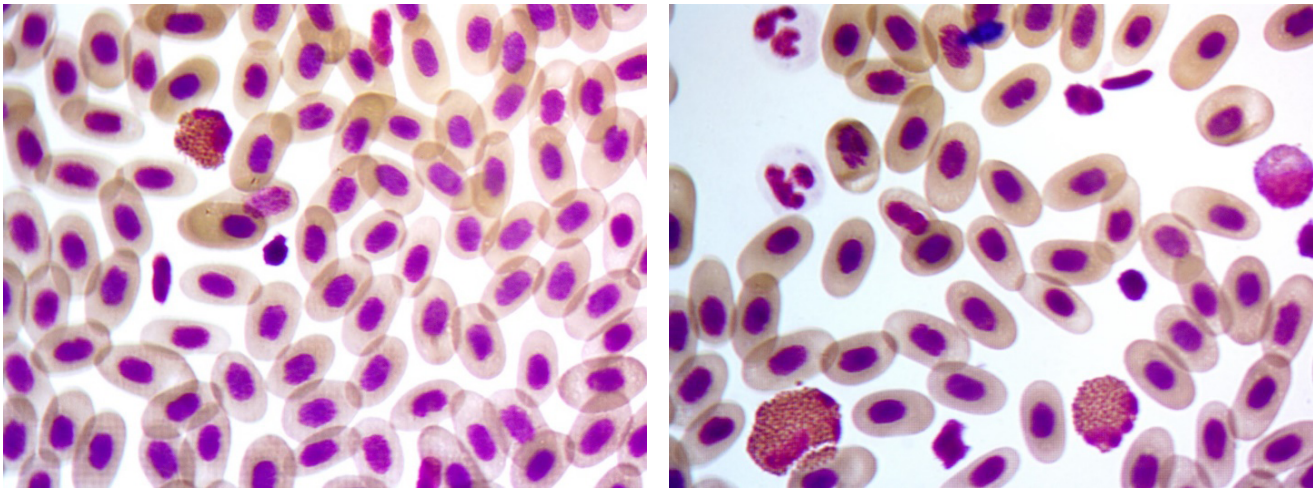
Исходные микроскопические снимки крови рыб представляют собой изображения в формате «.jpg». Было отобрано 14 наиболее качественных снимков, 2 из них представлены на рисунке 2.

Для подготовки микроскопических снимков клеток крови осетровых рыб к тому, чтобы модель сверточной нейронной сети могла на них обучаться, была произведена разметка всех исходных изображений (рис. 3). На каждом изображении с использованием компьютерной программы LabelImg обнаружены и зафиксированы клетки крови 9 классов: зрелый эритроцит (eritrocit), эозинофил (eozinofil), нормобласт (normoblast), палочкоядерный нейтрофил (sticknucleus_neitrofil), сегментоядерный нейтрофил (separatednucleus_neitrofil), тромбоцит (trombocit), моноцит (monocit), лимфоцит (limfocit), эритробласт (eritroblast). Присутствует дисбаланс классов – эритроциты ожидаемо встречаются наиболее часто.

Дальнейшая работа с подготовленными изображениями проводилась с использованием языка программирования Python, библиотек OpenCV[1], scikit-image[2]. Импортированные в среду разработки Python размеченные изображения выглядят так, как показано на рисунке 4. На подобном изображении каждая клетка крови выделена в рамку, над которой указана метка класса, то есть название типа клетки. Части отдельных клеток, которые выходят за границу снимка, не были выделены в рамку при подготовке изображений, так как установить их тип затруднительно.

Набор из 14 подготовленных изображений был разбит на обучающую (70%), тестовую (20%) и валидационную (10%) выборки.

С использованием инструментария библиотеки PyTorch на тренировочном наборе была дообучена модель сверточной нейронной сети (R-CNN, Region-based Convolutional Neural Network) «fasterrcnn_resnet50_fpn»[3]. Параметры оптимизатора: lr = 0,0001, momentum = 0,9, weight_decay = 0,005; число эпох обучения – 100. Средняя точность (MAP, Mean Average Precision) идентификации клеток моделью составила 0,33 для тестовой и валидационной выборок. На данный момент качество модели не позволяет использовать ее для полной автоматизации процесса составления лейкоцитарной формулы, однако с ее помощью можно автоматизировать процесс подсчета клеток.



A B

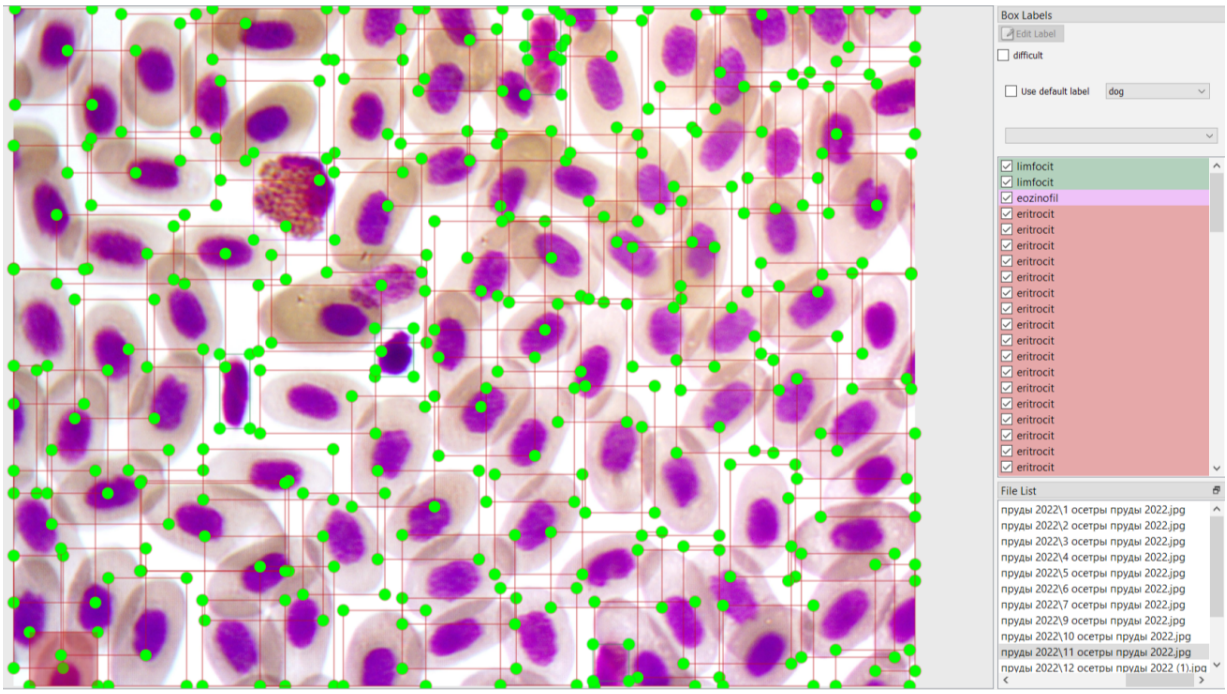
**Рис. 2.** Исходные микроскопические снимки клеток крови осетра:
А – снимок № 1; В – снимок № 2 (составлено авторами)

**Fig. 2.** Original microscopic images of sturgeon blood cells
(A – image No. 1, B – image No. 2) (compiled by the authors)

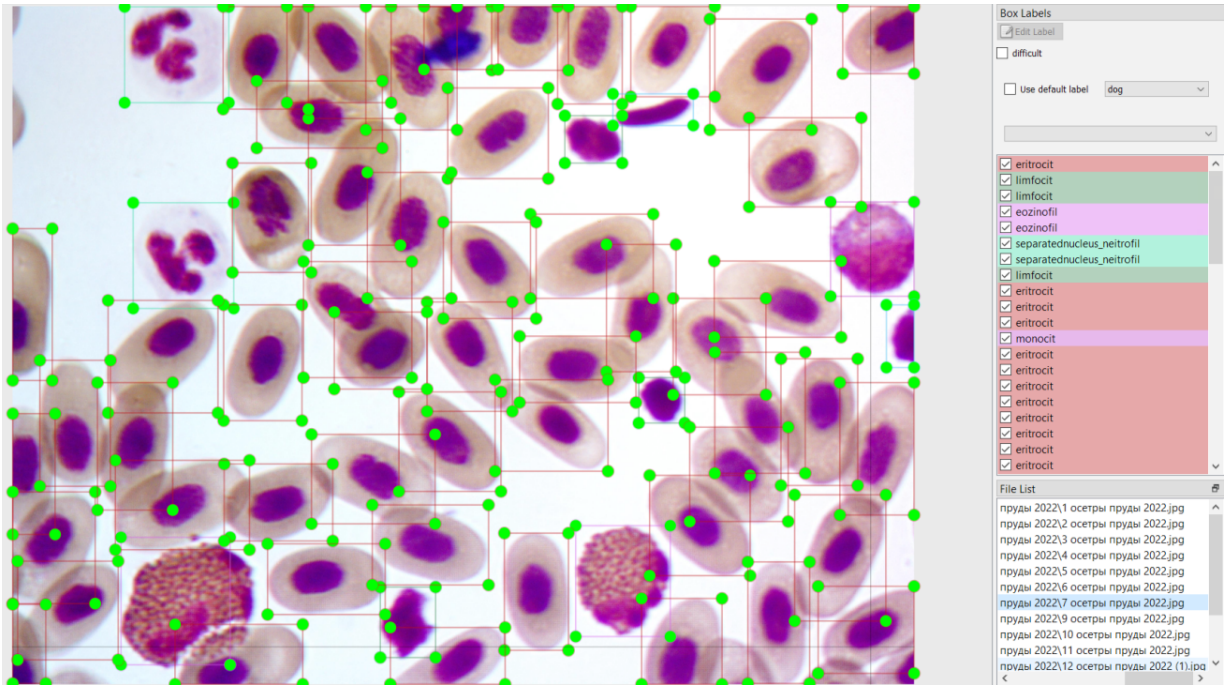
[1] Opencv-python 4.10.0.84 // *pypi.org – Python Package Index (PyPI) репозиторий программного обеспечения для языка программирования Python*. URL: https://pypi.org/project/opencv-python/ (дата обращения: 22.12.2024).

[2] Image processing in Python // *scikit-image.org – официальной сайт библиотеки для обработки изображений scikit-image к языку программирования Python*. URL: https://scikit-image.org/ (дата обращения: 22.12.2024).

[3] Fasterrcnn_resnet50_fpn // *официальный сайт фреймворка машинного обучения PyTorch*. URL: https://pytorch.org/vision/main/models/generated/torchvision.models.detection.fasterrcnn_resnet50_fpn.html (дата обращения: 22.12.2024).




A



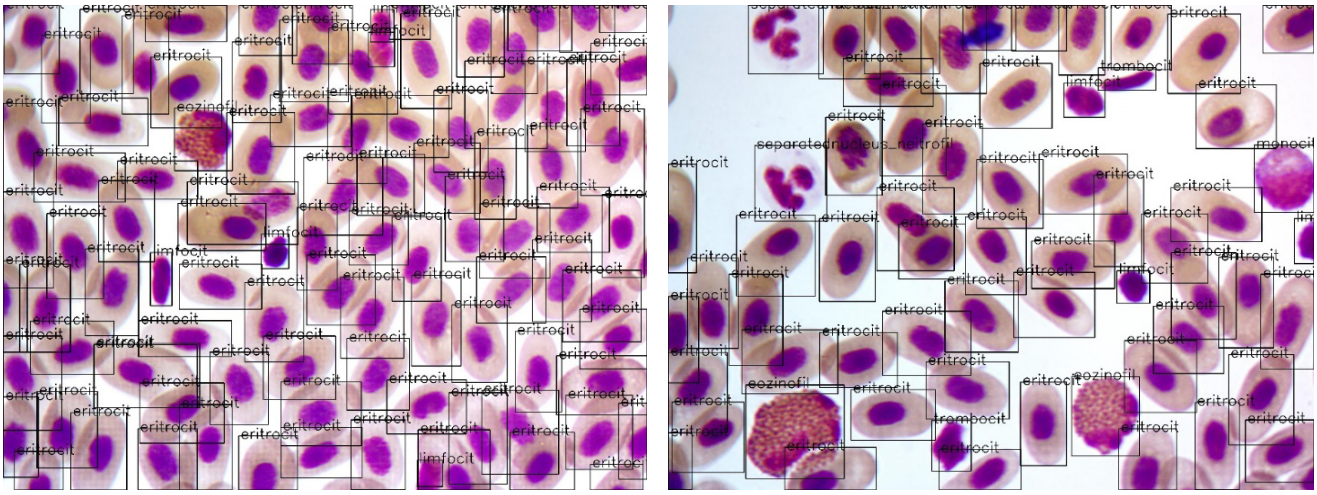

B

**Рис. 3.** Разметка данных с помощью программы LabelImg:
A – снимок № 1; B – снимок № 2 (составлено авторами)

**Fig. 3.** Data labeling using LabelImg
(A – image No. 1, B – image No. 2) (compiled by the authors)

Наиболее точно модель идентифицирует эритроциты, тромбоциты и лимфоциты.

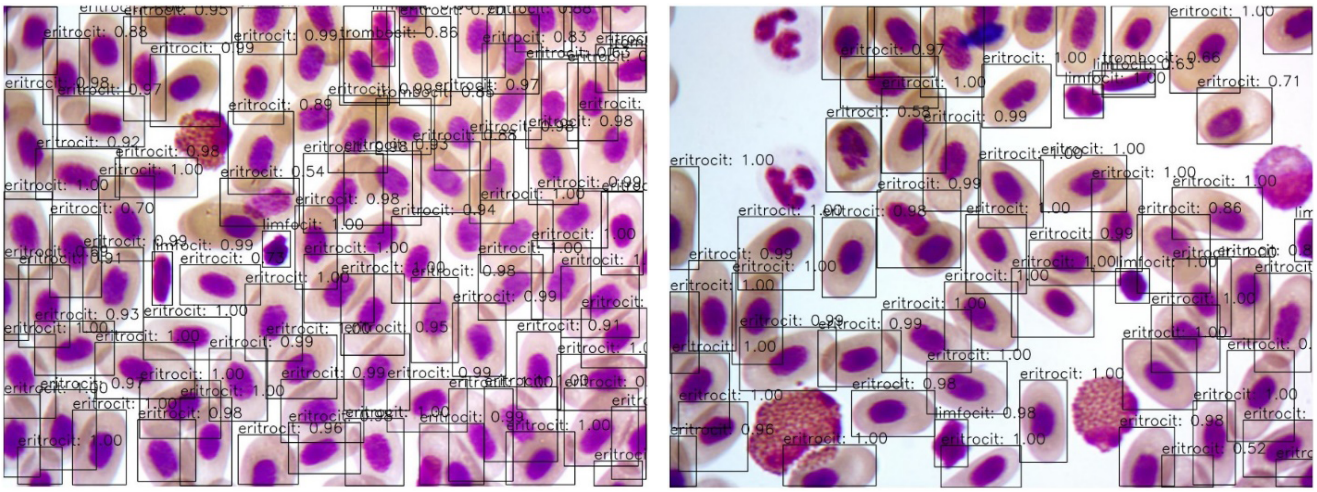
На рисунке 5 представлены результаты применения модели сверточной нейронной сети. Обнаруженные моделью клетки выделяются в рамки, после чего происходит идентификация обнаруженных клеток. В результате клетке присваивается метка и указываются вероятность или «степень уверенности» модели нейронной сети в своем ответе. Вероятность рассчитывается как отношение исходящего сигнала нейрона $k$ на выходном слое нейронной сети к сумме исходящих сигналов всех 9 нейронов на выходном слое в соответствии с 9 типами клеток. При этом нейрон $k$ является нейроном с максимальным исходящим сигналом среди всех 9 нейронов выходного слоя.



A B

**Рис. 4.** Размеченные микроскопические снимки клеток крови осетра:
А – снимок № 1; В – снимок № 2 (составлено авторами)

**Fig. 4.** Labeled microscopic images of sturgeon blood cells
(A – image No. 1, B – image No. 2) (compiled by the authors)



A B

**Рис. 5.** Обработанные моделью микроскопические снимки клеток крови осетра:
А – снимок № 1; В – снимок № 2 (составлено авторами)

**Fig. 5.** Model-processed microscopic images of sturgeon blood cells
(A – image No. 1, B – image No. 2) (compiled by the authors)

Мы видим, что почти все эритроциты распознаны моделью правильно, вероятность в большинстве случаев колеблется в интервале от 0,95 до 1,00. Для некоторых нетипично выглядящих эритроцитов вероятность опускается до 0,54. Это означает, что модель допускает другие метки для этой клетки крови (вероятность того, что для такой клетки прогнозируемая моделью метка не будет являться меткой «eritrocit», составляет 0,46).

Результаты ручного и автоматизированного подсчета клеток представлены в таблицах 2, 3.

Эозинофил и некоторые нетипичные по форме эритроциты на снимке № 1 моделью распознаны не были так же, как и моноциты, эозинофилы, сегментоядерные нейтрофилы на снимке № 2 (рис. 5).

Из данных таблиц 2, 3 также следует, что результаты автоматического подсчета общего количества клеток и, в частности, эритроцитов достаточно близки к результатам ручного подсчета.

На снимке № 1 моделью был выявлен 81 эритроцит из 91 (точность составляет 0,89). Всего модель обнаружила 89 клеток крови из 97 (точность составляет 0,92).

По таблице 3 можно наблюдать, что при меньшей плотности расположения клеток на снимке модель лучше обнаруживает эритроциты (из 52 эритроцитов был обнаружен 51, точность составляет 0,98). Всего модель на снимке № 2 обнаружила 57 из 62 клеток (точность составляет 0,92).

Таблица 2

**Результаты ручного и автоматизированного на основе модели сверточной нейронной сети подсчета клеток крови осетра на снимке № 1** (составлено авторами)

| Тип клетки | Ручной подсчет | | Подсчет на основе модели сверточной нейронной сети | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Частота | Доля | Частота | Доля | Средняя вероятность |
| Зрелый эритроцит | 91 | 0,938 | 81 | 0,910 | 0,943 |
| Эозинофил | 1 | 0,010 | – | – | – |
| Номробласт | – | – | – | – | – |
| Палочкоядерный Нейтрофил | – | – | – | – | – |
| Сегментоядерный нейтрофил | – | – | – | – | – |
| Тромбоцит | – | – | 4 | 0,045 | 0,789 |
| Моноцит | – | – | – | – | – |
| Лимфоцит | 5 | 0,052 | 4 | 0,045 | 0,936 |
| Эритробласт | – | – | – | – | – |
| Всего | 97 | 1,000 | 89 | 1,000 | 0,935 |

Table 2

**Results of manual and automated counting of sturgeon blood cells in image No. 1 based on the convolutional neural network model** (compiled by the authors)

| Cell type | Manual counting | | Counting based on convolutional neural network model | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Frequency | Proportion | Frequency | Proportion | Average probability |
| Erythrocyte | 91 | 0.938 | 81 | 0.910 | 0.943 |
| Eosinophil | 1 | 0.010 | – | – | – |
| Normoblast | – | – | – | – | – |
| Band neutrophil | – | – | – | – | – |
| Segmented neutrophil | – | – | – | – | – |
| Thrombocyte | – | – | 4 | 0.045 | 0.789 |
| Monocyte | – | – | – | – | – |
| Lymphocyte | 5 | 0.052 | 4 | 0.045 | 0.936 |
| Erythroblastus | – | – | – | – | – |
| Total | 97 | 1.000 | 89 | 1.000 | 0.935 |

Таблица 3

**Результаты ручного и автоматизированного на основе модели сверточной нейронной сети подсчета клеток крови осетра на снимке № 2** (составлено авторами)

| Тип клетки | Ручной подсчет | | Подсчет на основе модели сверточной нейронной сети | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Частота | Доля | Частота | Доля | Средняя вероятность |
| Зрелый эритроцит | 52 | 0,839 | 51 | 0,895 | 0,961 |
| Эозинофил | 2 | 0,032 | – | – | – |
| Номробласт | – | – | – | – | – |
| Палочкоядерный нейтрофил | – | – | – | – | – |
| Сегментоядерный нейтрофил | 2 | 0,032 | – | – | – |
| Тромбоцит | 2 | 0,032 | 1 | 0,018 | 0,657 |
| Моноцит | 1 | 0,016 | – | – | – |
| Лимфоцит | 3 | 0,048 | 5 | 0,088 | 0,919 |
| Эритробласт | – | – | – | – | – |
| Всего | 62 | 1,000 | 57 | 1,000 | 0,952 |

Table 3

**Results of manual and automated counting of sturgeon blood cells in image No. 2 based on the convolutional neural network model** (compiled by the authors)

| Cell type | Manual counting | | Counting based on convolutional neural network model | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Frequency | Proportion | Frequency | Proportion | Average probability |
| Erythrocyte | 52 | 0.839 | 51 | 0.895 | 0.961 |
| Eosinophil | 2 | 0.032 | – | – | – |
| Normoblast | – | – | – | – | – |
| Band neutrophil | – | – | – | – | – |
| Segmented neutrophil | 2 | 0.032 | – | – | – |
| Thrombocyte | 2 | 0.032 | 1 | 0.018 | 0.657 |
| Monocyte | 1 | 0.016 | – | – | – |
| Lymphocyte | 3 | 0.048 | 5 | 0.088 | 0.919 |
| Erythroblastus | – | – | – | – | – |
| Total | 62 | 1.000 | 57 | 1.000 | 0.952 |

В настоящий момент обученная модель недостаточно точно обнаруживает и идентифицирует клетки, встречающиеся редко на снимках крови либо имеющие схожую форму с другими типами клеток: эозинофилы, сегментоядерные нейтрофилы, моноциты, тромбоциты, лимфоциты. Для увеличения качества обнаружения и идентификации клеток на снимке необходимы дальнейшие исследования, связанные с поиском оптимальных архитектур и гиперпараметров моделей искусственных нейронных сетей при их обучении, с подготовкой дополнительных наборов микроскопических снимков клеток крови для обучения моделей.

## Выводы
## Conclusions

Полученные результаты исследований могут стать основой для дальнейшего изучения вопросов разработки, обучения и использования моделей сверточных нейронных сетей с целью автоматизации составления лейкоцитарной формулы на основе высокоточного обнаружения и распознавания клеток крови рыб на микроскопических снимках.

## Список источников

1. Алиева Е.М., Гаджимурадов Г.Ш., Абдуллаева З.К., Мирзаалиева Х.А. Биохимические показатели крови стерляди // *Современные технологии и достижения науки в АПК*: *Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, Махачкала, 22-23 ноября 2018 г*. Махачкала: Дагестанский государственный аграрный университет им. М.М. Джамбулатова, 2018. С. 274-280. EDN: YQMWNV

2. Зинченко А.П., Уколова А.В., Демичев В.В., Тихонова А.В. и др. *Цифровые технологии анализа данных в сельском хозяйстве*: Монография. Москва: «Научный консультант», 2022. 260 с. EDN: JTPUDH

3. Пронина Г.И., Быков Д.В., Уколова А.В., Ульянкин А.Е. и др. Идентификация популяций клеток крови рыб на основе сверточной нейронной сети для составления лейкограммы // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2023. Т. 4, № 1. С. 110-125. https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-4-110-125

4. Корягина Н.Ю., Пронина Г.И. *Методология физиолого-иммунологической оценки гидробионтов*: Учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2022. 96 с.

5. Казарникова А.В. *Сборник инструкций по борьбе с болезнями рыб*: Учебное пособие. Москва: СБС-АГРО, 1999. 234 с. EDN: RXLSUZ

6. Пастушок И.А., Ким М.А., Гусев В.Н., Яремин Б.И. и др. Система автоматического распознавания лейкоцитов в мазке периферической крови на основе технологии глубинного обучения // *Вестник медицинского института «Реавиз»*: *реабилитация, врач и здоровье*. 2018. Т. 31, № 1. С. 117-120. EDN: YWLXVK.

7. Sosnin D.Y., Onyanova L.S., Kubarev O.G., Kozonogova E.V. Evaluation of Efficacy of White Blood Cell Identification in Peripheral Blood by Automated Scanning of Stained Blood Smear Images with Variable Magnification. *Biomedical Engineering*. 2018;1(51):31-36. https://doi.org/10.1007/s10527-018-9776-1

## References

1. Alieva E.M., Gadzhimuradov G.Sh., Abdullaeva Z.K., Mirzaalieva H.A. Biochemical parameters of sterlet blood. *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Sovremennye tekhnologii i dostizheniya nauki v APK'. November 22-23, 2018.* Makhachkala, Russia: Dagestan State Agricultural University named after M.M. Dzhambulatov, 2018:274-280. (In Russ.)

2. Zinchenko A.P., Ukolova A.V., Demichev V.V., Tikhonova A.V. et al. *Digital technologies for data analysis in agriculture*: a monograph. Moscow, Russia: Nauchniy konsultant, 2022:260. (In Russ.)

3. Pronina G.I., Bykov D.V., Ukolova A.V., Ul'yankin A.E. et al. Identification of fish blood cell populations on the basis of a convolutionary neural network for compiling a leukogram. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2023;1(4):110-125. (In Russ.) https://doi.org/10.26897/0021-342X-2023-4-110-125

4. Koryagina N.Yu., Pronina G.I. *Methodology of physiological and immunological assessment of aquatic organisms*: a textbook. St. Petersburg, Russia: Lan, 2022:96. (In Russ.)

5. Kazarnikova A.V. *Instruction book for combating fish diseases*: a study guide. Moscow, Russia: SBS-AGRO, 1999:234. (In Russ.)

6. Pastushok I.A., Kim M.A., Gusev V.N., Yaremin B.I. et al. System for automatic recognition of leukocytes in a peripheral blood smear based on deep learning technology. *Vestnik meditsinskogo instituta "Reaviz"*: *reabilitatsiya, vrach i zdorov'e.* 2018;31(1):117-120. (In Russ.)

7. Sosnin D.Y., Onyanova L.S., Kubarev O.G., Kozonogova E.V. Evaluation of Efficacy of White Blood Cell Identification in Peripheral Blood by Automated Scanning of Stained Blood Smear Images with Variable Magnification. *Biomedical Engineering*. 2018;1(51):31-36. https://doi.org/10.1007/s10527-018-9776-1

**Сведения об авторах**

**Анна Владимировна Уколова,** канд. экон. наук, доцент, и.о. заведующего кафедрой статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: statmsha@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-2806-6365

**Денис Витальевич Быков,** ассистент кафедры статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: bykovdv@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-6287-3462

**Магдалина Алексеевна Акимушкина,** обучающаяся магистратуры 1-го года обучения кафедры статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: magdalinaakimushkina@gmail.com; https://orcid.org/0009-0006-3821-4508

**Андрей Николаевич Карасев,** обучающийся бакалавриата 4-го года обучения кафедры статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: andrkar008@gmail.com; https://orcid.org/0009-0004-7342-0986

**Дат Ван Чан,** аспирант 1-го года обучения кафедры зоологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: dattran1069@gmail.com; https://orcid.org/0009-0008-8212-6446

**Баярма Шагдаровна Дашиева,** канд. экон. наук, доцент кафедры статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: dashieva.b.sh@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-3155-6517

**Александр Евгеньевич Ульянкин,** ассистент кафедры статистики и кибернетики, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: aeulianckin@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-2978-5473

**Information about the authors**

**Anna V. Ukolova,** CSc (Econ), Associate Professor, Acting Head of the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: statmsha@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-2806-6365

**Denis V. Bykov,** Assistant at the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: bykovdv@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0001-6287-3462

**Magdalina A. Akimushkina,** 1st year Master's Degree Student, Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: magdalinaakimushkina@gmail.com; https://orcid.org/0009-0006-3821-4508

**Andrey N. Karasev,** 4th year Undergraduate Student, Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: andrkar008@gmail.com; https://orcid.org/0009-0004-7342-0986

**Dat V. Tran,** 1st year postgraduate student of the Department of Zoology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: dattran1069@gmail.com; https://orcid.org/0009-0008-8212-6446

**Bayarma Sh. Dashieva,** CSc (Econ), Associate Professor at the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: dashieva.b.sh@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-3155-6517

**Aleksandr E. Ulianckin,** Assistant at the Department of Statistics and Cybernetics, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: aeulianckin@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-2978-5473

Статья поступила в редакцию 19.11.2024
Одобрена после рецензирования 23.12.2024
Принята к публикации 26.12.2024

The article was submitted to the editorial office November 19, 2024
Approved after reviewing December 23, 2024
Accepted for publication December 26, 2024

**HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY**

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-94-102

# Comprehensive assessment of musculoskeletal pain in riding horses under different housing systems

**Angelika A. Ksenofontova, Polina V. Krasavina, Liubov V. Shorina, Dmitry A. Ksenofontov**

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

**Corresponding author:** Liubov V. Shorina; shorinaliubov15@gmail.com

**Abstract**
The article focuses on the effect of housing systems on the development of musculoskeletal pain in horses working under different conditions (competitions, rentals, equestrian sports and tourism). The relevance of the work is due to the insufficient attention paid to the assessment of pain in horses, especially under conditions of intensive workload and limited movement. The aim of the study is to assess the degree of pain in horses depending on the housing conditions using several scientifically grounded methods: the Ridden Horse Pain Ethogram (RHpE), the Horse Chronic Pain Scale (HCPS) and the Horse Grimace Scale (HGS). The study analyzed the data collected from two equestrian enterprises in Russia and one in Qatar. The research methods included observations and the use of ethological scales to assess the condition of horses both in motion and at rest. In particular, the differences in the pain condition of horses in different housing conditions were studied: at the CSKA Equestrian Complex (with limited time outdoors), at Suhail Sports Center (where horses had almost no access to paddocks), and at Itkaya Horse Base (where horses had the opportunity to move freely for long periods). The results showed that horses in restricted movement conditions had high levels of chronic pain and lameness, while horses with regular exercise and more freedom of movement had fewer signs of pain. The conclusion of the study emphasizes the importance of providing horses with quality exercise, which prevents the development of musculoskeletal pathologies and contributes to the animal welfare. The results confirm the need to apply comprehensive assessment methods to improve housing and training conditions for horses and to increase attention to their welfare in professional equestrian sports.

**Keywords**
horse, welfare, pain, musculoskeletal pain, ethogram, the Ridden Horse Pain Ethogram, the Horse Chronic Pain Scale, the Horse Grimace Scale, stall barn housing, exercise, lameness, equestrian enterprises, mental well-being

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

**For citation**
Ksenofontova A.A., Krasavina P.V., Shorina L.V., Ksenofontov D.A. Comprehensive assessment of musculoskeletal pain in riding horses under different housing systems. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):94-102. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-94-102

**ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ**

Оригинальная научная статья
УДК 619:636.13:611.7
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-94-102

# Комплексная оценка боли в опорно-двигательном аппарате у верховых лошадей при различных системах содержания

**Анжелика Александровна Ксенофонтова, Полина Вячеславовна Красавина, Любовь Валентиновна Шорина, Ксенофонтов Дмитрий Анатольевич**

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

**Автор, ответственный за переписку:** Любовь Валентиновна Шорина; shorinaliubov15@gmail.com

**Аннотация**
Статья посвящена изучению влияния систем содержания на развитие боли в опорно-двигательном аппарате у лошадей, работающих в различных условиях (соревнования, прокат, конный спорт и туризм). Актуальность работы обусловлена недостаточным вниманием к оценке болевого синдрома у лошадей, особенно в условиях интенсивной нагрузки и ограниченного движения. Исследование проводили с целью оценки степени болевых ощущений у лошадей в зависимости от условий содержания с помощью нескольких научно обоснованных методик: этограмма боли у верховых лошадей, шкала хронической боли у лошадей и шкала гримасы у лошадей. В ходе исследования были проанализированы данные, собранные на двух конных предприятиях в России и одном в Катаре. Методы исследования включали наблюдения и использование этологических шкал для оценки состояния лошадей в движении и покое. В частности, изучались различия в болевом состоянии лошадей в разных условиях содержания: на базе конно-спортивного комплекса ЦСКА (с ограниченным временем пребывания на улице), в спортивном центре «Сухайль» (где у лошадей практически не было доступа в паддоки) и на конной базе «Иткая» (где лошади имели возможность свободно двигаться в течение длительного времени). Результаты показали, что у лошадей, находившихся в условиях ограниченного движения, наблюдался высокий уровень хронической боли и хромоты, в то время как у лошадей с регулярными физическими нагрузками и большей свободой движения признаки боли были выражены в меньшей степени. Выводы подчеркивают важность обеспечения лошадей качественными физическими нагрузками, которые предотвращают развитие патологий опорно-двигательного аппарата и способствуют общему благополучию животных. Полученные данные подтверждают необходимость применения комплексных методов оценки болевых состояний для улучшения условий содержания и тренинга лошадей, а также повышения внимания к их благополучию в профессиональном конном спорте.

**Ключевые слова**
лошадь, благополучие, боль, боль в опорно-двигательном аппарате, этограмма, этограмма боли у верховых лошадей, шкала хронической боли у лошадей, шкала гримасы у лошадей, стойловое содержание, упражнения, хромота, конные предприятия, психическое благополучие

**Для цитирования**
Ксенофонтова А.А., Красавина П.В., Шорина Л.В., Ксенофонтов Д.А. Комплексная оценка боли в опорно-двигательном аппарате у верховых лошадей при различных системах содержания. *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 94-102. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-94-102

## Introduction
## Введение

Man domesticated horses around 5,000 years ago, but have not managed yet to fully meet their needs without causing harm – the five freedoms of animal welfare are violated everywhere, whether a horse is kept in a stable or is performing the Olympic dressage with a rider on its back. Freedom from disease, injury and pain is one of the most critical aspects of welfare, but appropriate feeding and housing conditions and the ability to express social behaviors are also important components. Although significant progress has been made in understanding the physiology and treatment of pain in animals over the past 20 years, the assessment of pain in horses during training for competitions, as well as those used in rentals, riding schools and tourism, is often overlooked and not considered due to a lack of awareness of its benefits among the broader equestrian community. Currently, leading trainers, riders and veterinarians are combining efforts to address welfare issues in equestrian sports, as the mistreatment of horses and obvious signs of animal pain can no longer be ignored. Pain is one of the most significant challenges in international equine clinical

veterinary medicine, as it results from various factors depending on the nature of training, its frequency and the trainer's competence. Incorrect care, a sedentary lifestyle or excessive physical load can lead to musculoskeletal pathologies in horses, accompanied by chronic pain of varying intensity, which significantly reduces the animals' welfare [1]. The expression of discomfort or pain is often overlooked or misinterpreted by humans, because horses, as prey animals, instinctively try to hide their suffering. Therefore, it is necessary to apply objective methods for assessing the physical welfare of sport horses during work and at rest. However, those who work with horses are often unaware of the signs of pain expressed during movement or in the animal's facial expressions. Even at international competitions, a horse showing obvious signs of pain and discomfort may still be scored highly, which allows the owner to remain unconcerned about the horse's welfare.

One of the factors contributing to the development of musculoskeletal pathologies in horses, accompanied by pain, is the lack of quality exercise, which should fully satisfy the horse's natural need for a wide range of movements except for training hours, which are often insufficient in modern stables. For horses living in the wild, it is considered normal to be in motion for 16 hours a day, while in stabling conditions, their movement is limited to 1-3 hours, which negatively affects not only the musculoskeletal system, but also the functioning of the cardiovascular system. This results in limb swelling, tendon strains and minor tears, and since it is psychologically challenging for the horse to remain stationary, abnormal behaviors (crib-biting, weaving) may develop.

As a result, a horse that spends most of its time in the confined space of a stall is unable to follow its natural movement patterns, resulting in muscle spasms that cause pain, which, if not diagnosed and treated in a timely manner, clinically manifests itself as lameness that hinders the animal's working potential and requires veterinary assistance.

However, the mental welfare of horses has only recently received attention; the animal's emotions and movement patterns are indicators that can be used to assess its mental and physical well-being. Research into the mental state of horses, based on the assessment of facial expressions, the nature of movements during training, communication with conspecifics and their general condition, has proved useful and is particularly relevant as it may indicate non-obvious skeletal muscle pain due to excessive loading and possible inconsistencies in training approaches before the appearance of obvious pain sites and subsequent lameness.

The research aim is to determine the effect of equine housing systems on the development of musculoskeletal pain.

The objectives of the article are to:

1. determine the presence/absence of pain during exercise using the Ridden Horse Pain Ethogram;

2. assess pain in a static position using the Horse Chronic Pain Scale;

3. assess the presence of pain using the Horse Grimace Scale.

Equine Welfare. In recent years, the welfare of domestic horses has received considerable attention from the scientific community. It has been recognized that traditional riding and stable housing methods are inconsistent with the physical and behavioral adaptations of horses. Therefore, there is a need to understand how modern housing affects their welfare, specifically their physical and emotional states.

To understand why horses might experience elevated stress and anxiety levels in human-made stable environments, as well as during training and under saddle, it is important to consider their ethology and physiological characteristics [2]. The evolution of the modern horse began about 65 million years ago. Horses grazed on open plains, traveling long distances to different pastures, and lived in herds with clear hierarchies. The social community within the herd and the distribution of functions among individuals, as well as communication among conspecifics, played a key role in ensuring that horses felt comfortable and relatively safe, while at the same time being able to send danger signals and defend themselves against predators[1]. A well-defined complex social structure within the herd, maintained by subtle behavioral interactions that evolved over time, is impossible in modern stables due to the stall-based confinement that severely limits their communication [3].

As most animals under human control are selected on the basis of specific traits that can affect their behavioral repertoire, it is necessary to have an ethogram to analyze their behavior for signs of possible discomfort in living conditions. The Animal Welfare Indicator (AWIN) welfare assessment protocol for horses developed in 2015 by specialists from leading European and American universities, institutions, and colleges, highlights aspects to consider when assessing welfare and can stimulate solutions to future problems in equestrian development [4]. Welfare assessment protocols provide a set of practical indicators for assessing horse welfare. A scheme has been developed whereby the needs of animals, including horses, are characterized by four principles: "Good feeding", "Good housing", "Good health", and "Proper behavior", each comprising several criteria.

The AWIN methodology is based on the concept of the "Five Freedoms", although initially it focused primarily on physical health; the concept of welfare has gradually evolved to include psychological well-being and ethological behavioral signs. Currently, the welfare of horses is a complex discipline that encompasses their physical health, psychological comfort, housing conditions,

[1] What does a horse's body say? URL: https://equiflow.ru/horsebodytalk (accessed on: May 5, 2024)

nutrition, and relationships with humans and that is based on the Five Freedoms.

The Pain Issues. The correct methods of training horses and pain issues have become pressing concerns, easily noticeable in the animal's movements and facial expressions that violate the welfare principle of "freedom from pain and discomfort" and cannot be ignored. The International Association for the Study of Pain defines pain as "an unpleasant sensory and emotional experience associated with actual or potential tissue damage". Pain is one of the key issues in international clinical veterinary medicine for horses, as it results from numerous factors related to training nature, its frequency, the amount of daily movement of the horse, the housing conditions and the satisfaction of the specific needs of the animal. The experience of pain hinders the achievement of the goals set for horses in competitions of various levels, trials in breeding farms, and directly influences the animals' welfare and their mental and physical health [5].

Since the horse is a prey animal by nature, it typically does not show signs of pain or discomfort to avoid predation, making early diagnosis difficult. Consequently, riders and trainers must use methods that help preventively identify possible sources of pain, as many factors influence pain occurrence, from the choice of tack to the rider's style. Prolonged pain experienced by the animal leads to changes in behavior, relationships with conspecifics and humans [6].

To achieve the desired results in any equestrian sports discipline, horses must meet both physical and emotional criteria. However, the demands placed on horses in modern equestrianism have significantly increased the physiological stress on their bodies, resulting in a significantly higher risk of injury and the development of musculoskeletal pathologies. If an animal experiences pain for an extended period, the immune, endocrine and nervous systems may begin to malfunction, causing the body to struggle with environmental stressors. Chronic exposure to factors causing anxiety and pain provokes physiological responses, such as tachycardia, decreased immunity, increased respiratory rate and longer recovery times after exertion, which is often accompanied by characteristic changes in emotional states, specifically changes in the horse's facial expression. Even minor human maneuvers can provoke aggression in the animal. Thus, anxiety (stress) and pain directly affect the body's homeostasis.

To diagnose pain or prevent lameness, one must analyze the character of the horse's movements, how rhythmic they are, and whether there is stiffness in various gaits and on different types of ground during turns and transitions from trot/step to gallop/trot. Careful palpation of the back muscles and lower limbs, including assessing pain during flexion, is essential. Monitoring the animal's behavior and its responses to human manipulations is also critical, as some problems can only be observed during saddle work, allowing for proactive adjustments to eliminate actions that are detrimental to the horse's health. It is vital to remember that certain aspects of the horse's movement may indicate discomfort, that, if not addressed, can escalate into pain; for example, tail swishing and very slow, stiff trots, as well as attempts to throw the head back, can lead to the development of facial wrinkles due to muscle tension, psychological discomfort and reluctance to approach humans in the stall.

Often, inactive or aggressive behavior in a horse, identified as undesirable, may be an indicator of pain, which is always crucial to consider. It is advisable to perform a pain assessment using ethograms, which can help diagnose the presence of ongoing or chronic pain that has not yet manifested itself as clinical signs such as obvious lameness or other problems related to acute pain caused by improper training methods or poorly fitted tack that heavily influences the character of the horse's movements under a rider.

The use of horses in different equestrian sports is conditioned by their anatomical and physiological characteristics, formed through evolutionary processes, which enable these animals to utilize a very broad speed range in daily life. Any improperly utilized tack elements that ensure the swiftness and efficiency of horse's movements can also make them more susceptible to injuries.

The most commonly diagnosed pain in the athletic horse is back pain. Most veterinary recommendations usually include comments on strengthening and relaxing the back muscles. Therefore, one must be proactive about the quality of the horse's training for long-term comfort and performance without pushing it for swift results, which is a common issue in the equestrian field [5, 7].

## Research method

## Методика исследований

The research was conducted in 2023 at three equestrian enterprises:

1. CSKA Equestrian Complex (Russia);
2. Suhail Sports Center (Qatar);
3. Itkaya Horse Base (Russia).

*CSKA Equestrian Complex.* Located in Moscow, it specializes in providing services for equestrian training and preparation for competitions in classical equestrian disciplines: a riding competition, dressage and eventing. Some horses belong to the CSKA Children and Youth Sports School of the Olympic Reserve and their training is supervised by qualified specialists in specialized facilities. The base includes paddocks. The study was conducted on 27 adult sport horses, which are always in regular work under saddle and are owned by the riding school.

*Suhail Sports Center.* This equestrian center is located in Qatar, 20 km from Doha, and specializes in riding lessons for children and adults, as well as

rentals. Training is supervised by trainers. The stable has no designated areas for exercising horses or facilities for walking them. The study was conducted on 33 horses in daily work.

*Itkaya Horse Base.* Located in the Chemal district of the Altai Republic, its primary focus is horse tourism, providing horseback rides along routes of varying difficulty based on the terrain and duration. Horses are used for horseback rides for 5-6 months a year, depending on weather conditions. Horses graze for at least 12 hours a day. During the remaining 6-7 months, outside of the tourist season, the horses are kept in a herd on pasture forage, except during harsh winters when they are fed on pre-prepared hay. The study was conducted on 33 horses in daily work.

Currently, there are several scientific methods for assessing pain in horses, each recommending specific pain indicators. However, only a comprehensive assessment of the animal's condition will provide convincing data on the presence and intensity of pain, specifically assessing the presence of pain in the horse during movement, at rest, and through facial expressions.

*Ridden Horse Pain Ethogram.* One of the most significant inventions and studies is the Ridden Horse Pain Ethogram, which most clearly represents changes in horse behavior when in pain. The Ridden Horse Pain Ethogram consists of a list of 24 behavioral patterns, many of which are observed ten or more times more frequently in horses with musculoskeletal pain. Research has shown that if a horse exhibits seven or more of the 24 behaviors listed in the Ridden Horse Pain Ethogram, it is likely suffering from musculoskeletal pain [8].

*Horse Chronic Pain Scale.* The Horse Chronic Pain Scale, developed by leading European universities, is used to assess the presence of pain and the quality of life of horses at rest and during relaxation. The Horse Chronic Pain Scale is a validated method consisting of 15 questions that assess various aspects of the horse's behavior on a numerical rating scale. The total pain score ranges from zero (no signs of pain) to 45 (maximum pain score). Seven questions assess the effect of pain on overall activity and enjoyment of life, including interactions with conspecifics, attitude towards food, changes in behavior towards peers, reactions to humans, skin sores, ability to easily bite carrots/apples, and head position. Five questions assess pain severity based on body position, weight distribution, weight shift between the fore and hind limbs, and pain responses to standard flexion and movement of the fore and hind limbs. In addition, three questions assess body condition, muscle status, and pressure points on the skin [7].

The horses most frequently demonstrated pain based on the following indicators: "General Appearance" (rated on a scale: the animal interacts calmly with conspecifics (zero points); the animal shows mild depression and/or anxiety and/or reduced interaction with other horses (one point); the animal is moderately depressed and/or aggressive or unresponsive to members of its species (two points); the animal is severely depressed – unresponsive to very clear and obvious signals such as movement or sound (three points)), indicating indifference that characterizes the animal's mental state in relation to its environment; "Head Position" (rated on a scale: ear base above the level of the withers or eating/drinking from the ground (zero points); ear base at the level of the withers (one point); ear base below the level of the withers (two points); horse's nose on the ground, no eating activity (three points)), indicating the presence/absence of pain; "Reaction to Observer" (Reaction to the observer and ear movements towards the observer (zero points); slight decrease in reaction or ear movements towards the observer (one point); moderate decrease in reaction or ear movements towards the observer (two points); no reaction or ear movements towards the observer (three points)), reflecting the animal's loyalty and interest in humans; "Pain Reaction to Back Palpation" (no reaction to deep palpation (zero points); weak reaction to superficial palpation (one point); moderate reaction to superficial palpation (two points); strong reaction to superficial palpation – ears turned back, tendency to bite (three points)), characterizing the condition of the spine and back muscles. Pain indicators include "Body Condition Score" evaluating condition, and "Movement" checking for lameness on the AAEP (American Association of Equine Practitioners) scale.

*The Horse Grimace Scale*. The Horse Grimace Scale was described as a pain coding system that evaluates six different facial expression characteristics: "ears turned back", "tension above the eyes", "orbital tightening (facial wrinkles)", "protruding and tense chewing muscles", "a tense mouth with a pronounced chin", and "tense nostrils with a flattened profile".

Assessing pain is critically important for horse welfare and the simplest method of assessment is the animal's facial expressions. Each pain marker is rated on a scale from 0 to 2, where zero points indicate the absence of the sign and two points indicate clear presence [10].

This ethogram allows assessment of the horse's condition as soon as a person approaches its stall, significantly simplifying the rider's understanding the animal's well-being based on its facial expressions. However, a complete analysis requires a comprehensive assessment of the horse's condition, which is why several methods are used during the experiment.

The purpose of this research was to evaluate the use of ethograms to provide an objective, data-driven method of recording ethological and physiological data for horses used in various types of work under saddle. Behaviors indicative of compromised welfare were identified in horses used in different types of work and under different living conditions, with particular emphasis on behavioral changes during movement under saddle and the animals' responses to palpation of specific body areas.

## Результаты и их обсуждение
## Results and discussion

The findings from the horse population at Suhail Sports Center in Qatar revealed that a total of 33 horses were assessed using three methods. Based on the Ridden Horse Pain Ethogram, 30 out of 33 horses were recorded in the group scoring seven and above. The most prominent marker, occurring in 24 horses, was "horse's head divergence from vertical (>30°)" indicating that the horse avoids rein contact and experiences discomfort as a result (Fig. 1). The result of a constantly elevated head is a lack of muscle engagement in the back, which has a significant impact on the horse's health due to the risk of developing osteoarthritis [7]. Other prominent markers included "ears turned back" and "tense gaze" noted in 21 and 15 horses respectively, indicating animal fatigue and experienced discomfort or pain. The behavior of "multiple mouth openings" observed in 22 horses reveals how gently or harshly the rider uses their hands; opening the mouth under rein pressure indicates pain, encouraging the horse to avoid rein contact by altering its head position [8]. "Tail swishing in various directions" recorded in 27 horses, also signifies rough handling where the rider uses the heel or whip as punishment for disobedience instead of applying pressure with the leg. "Multiple stumbling" noted in 27 horses during riding indicates a lack of impulse, but may also signal incorrect shoeing, improper hoof trimming and inappropriate saddles [8].

When assessing horses using the Horse Chronic Pain Scale method, it was found that the animals most often showed pain responses in the following areas: "General Appearance" noted in 10 horses; "Head Position" indicating discomfort, observed in 15 horses; and "Reaction to Observer" which should reflect the animal's loyalty and interest in humans, but the scores indicating a negative reaction were recorded in 13 horses, four of which exhibited aggression. This behavior suggests that painful sensations during training lead to negative associations for the horses, as the lack of response to a person in the stall or the opposite, aggression, are instincts of self-preservation and attempts to protect themselves from pain caused during exercise [7]. "Pain Reaction to Back Palpation" was expressed in 23 horses (Fig. 1). Pain indicators such as "Body Condition Score" assessing conditioning, and "Movement" checking for lameness on the AAEP (American Association of Equine Practitioners) scale, were recorded in nine horses.

The number of animals demonstrating pain as assessed by the Horse Grimace Scale, which assesses pain in horses through changes in facial expression, was 24 out of 30 horses (Fig. 1). Many horses exhibited "orbital tightening (facial wrinkles)" and "tension above the eyes", as well as "protruding and tense chewing muscles". Therefore, the data obtained are consistent with the ratings from the Ridden Horse Pain Ethogram and the Horse Chronic Pain Scale, indicating the presence of chronic musculoskeletal pain in these animals.

In the second group, scoring less than seven points on the Ridden Horse Pain Ethogram, three out of 33 horses were identified as showing no signs of pain during the time of assessment. Pain assessment using the Horse Chronic Pain Scale revealed minimal scores (zero points) on all indicators except for one horse that showed a pain response to back palpation and received one point. The number of animals demonstrating facial pain on the Horse Grimace Scale accounted for two out of the three animals (Fig. 1). Despite being classified as healthy, these horses displayed minor signs of pain; however, at the time of assessment, they had been removed from rental duties and were worked exclusively by trainers, favorably influencing the results, indicating that a change in training had a positive effect on the score.

For example, the vast majority of horses at Suhail Sports Center, 30 out of 33 in fact, are prone to lameness when kept exclusively in the stable with no opportunity for exercise, experiencing varying degrees of pain (Fig. 1). Intensive work under saddle without free exercise negatively impacts their health and does not support the natural recovery of the body through relaxation during free movement outside of work [7].

The results from Itkaya Horse Base evaluated 33 horses using the three methods. In the first group, scoring seven points or more points on the Ridden Horse Pain Ethogram, six out of 33 horses were identified. The most pronounced pain signaling indicators were "head throwing", and "mouth opening", occurring in four horses, indicating poor rein influence and discomfort in the horses, which, if not corrected, may lead to a swayback and osteoarthritis. "Ears turned back" was also noted in four horses, signaling fatigue and overexertion, while "tail borne to the side" in three horses indicated discomfort in the back and lumbar region, and "slow gait" and "unwillingness to move forward" expressed by four horses could signify hoof and leg problems or the emergence of new problems in the form of lameness due to lack of necessary cushioning during extended rides without active movement. The behavior of "multiple stumbling", noted in four horses while riding, indicates a lack of stimulation, as well as possible incorrect shoeing, improper hoof trimming and inappropriate saddles; in the mountainous terrain of the Altai this could lead to hoof punctures and the use of a horse without shoes (Fig. 1).

The most prominent pain indicators based on the Horse Chronic Pain Scale included "Head Position", reflecting how fatigued the horse feels (five horses), and "Pain Reaction to Back Palpation", indicating conditions of the spine and back muscles (five horses) (Fig. 1). Only one animal indicated pain based on facial expressions according to the Horse Grimace Scale, which communicates the duration of pain.

The second group of animals, based on the Ridden Horse Pain Ethogram, comprises 27 out of 33 horses that

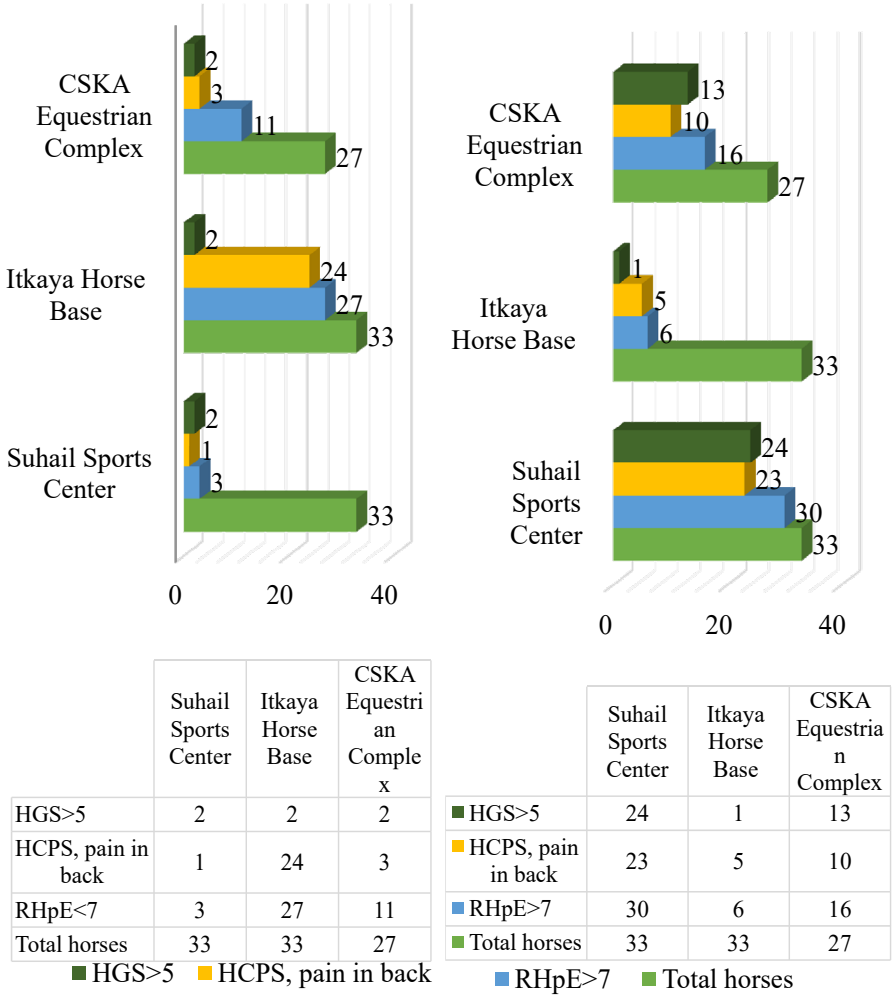
scored less than seven points. Upon assessment of these individuals using the Horse Chronic Pain Scale, it was found that 24 of the 27 horses had positive responses to "Pain response to back palpation". Additionally, seven horses had their heads positioned below the withers ("Head Position") at rest. None of the animals in this group showed lameness. The number of animals showing pain on the Horse Grimace Scale was two horses out of 27 (Fig. 1).

Consequently, the results, based on the results of the Ridden Horse Pain Ethogram, indicated that 27 out of 33 horses were not predisposed to lameness. Although the use of horses in tourism has a negative effect on their back conditions, this does not affect the incidence of lameness in this stable because during the working season, the horses graze for approximately 12 hours a day, which has a positive effect on their musculoskeletal system. While grazing, the horses relax and can satisfy their need for natural movements. Furthermore, outside the tourism season, the animals rest from work for 7 months, which allows them to recover (Fig. 1).

The assessment results from the CSKA Equestrian Complex showed that 27 horses assessed by the Ridden Horse Pain Ethogram led to the discovery of pain syndrome in 16 horses, as they scored 7 or more points (Group 1). The most prominent pain indicators were "mouth opening" and "horse's head divergence from vertical," exhibited by 16 horses, indicating incorrect rein influence that prevents the horse from achieving the necessary head position; without behavioral corrections, this results in back pain detectable through the Horse Chronic Pain Scale. "Ears turned back", noted in 15 horses, indicated fatigue and overexertion, while "tail swishing in various directions" in 15 horses indicated back and lumbar discomfort. "Mouth opening" during riding in 16 horses indicated excessive work on the reins causing pain (Fig. 1).

The highest number of pain indicators by the Horse Chronic Pain Scale was noted in the "Reaction to Observer," indicating the horse's attitude towards humans (12 horses) and the "Pain Response to Back Palpation," which reflects spine and back muscle conditions (12 horses).

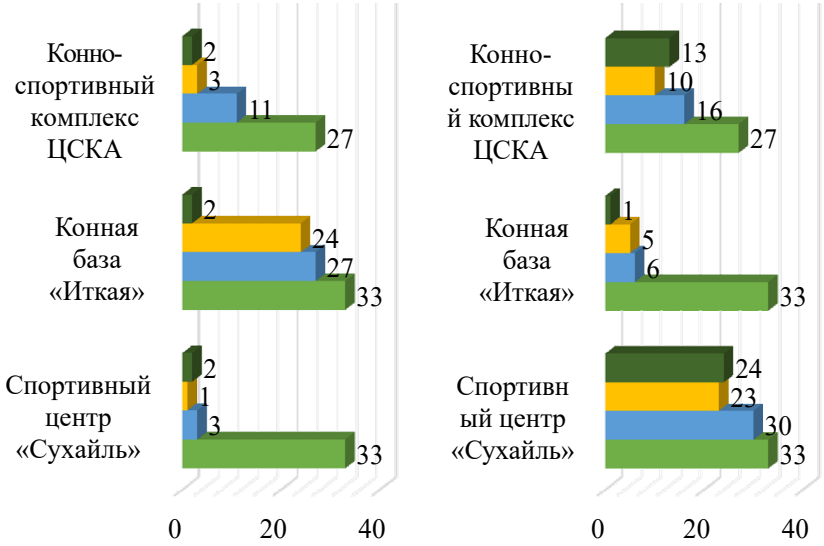
The number of animals scoring higher than five points on the Horse Grimace Scale, indicating the duration of pain, was 13 horses.




| | Suhail Sports Center | Itkaya Horse Base | CSKA Equestrian Complex |
|---|---|---|---|
| HGS>5 | 2 | 2 | 2 |
| HCPS, pain in back | 1 | 24 | 3 |
| RHpE<7 | 3 | 27 | 11 |
| Total horses | 33 | 33 | 27 |

| | Suhail Sports Center | Itkaya Horse Base | CSKA Equestrian Complex |
|---|---|---|---|
| HGS>5 | 24 | 1 | 13 |
| HCPS, pain in back | 23 | 5 | 10 |
| RHpE>7 | 30 | 6 | 16 |
| Total horses | 33 | 33 | 27 |

**Fig. 1.** Comparison of the populations of three horse breeding enterprises for comprehensive musculoskeletal pain using three methods according to RHpE




| | Спортив-ный центр «Сухайль» | Конная база «Иткая» | Конно-спортив-ный комплекс ЦСКА |
|---|---|---|---|
| HGS>5 | 2 | 2 | 2 |
| HCPS, боль в спине | 1 | 24 | 3 |
| RHpE<7 | 3 | 27 | 11 |
| Всего лошадей | 33 | 33 | 27 |

| | Спортив-ный центр «Сухайль» | Конная база «Иткая» | Конно-спортив-ный комплекс ЦСКА |
|---|---|---|---|
| HGS>5 | 24 | 1 | 13 |
| HCPS, боль в спине | 23 | 5 | 10 |
| RHpE>7 | 30 | 6 | 16 |
| Всего лошадей | 33 | 33 | 27 |

HGS>5 HCPS, боль в спине RHpE>7 Всего лошадей

**Рис. 1.** Сравнение поголовья трех коневодческих предприятий по комплексной боли в опорно-двигательном аппарате по трем методам в соответствии с RHpE

In the second group, based on the Ridden Horse Pain Ethogram, 11 out of 27 horses scored less than seven points. The most notable markers from the Horse Chronic Pain Scale included indicators for "Reaction to Observer" (four horses) and "Pain Response to Back Palpation" (three horses). Two horses scored more than five points on the Horse Grimace Scale (Fig. 1).

Thus, the stall barn housing, albeit with limited turnout, represents a middle ground between the two stables assessed above. Based on the Ridden Horse Pain Ethogram results, 16 out of 27 horses had lameness or related problems, which constituted just over half of the horse population studied (Fig. 1).

## Conclusions

## Выводы

In summarizing the results of the study conducted across three equestrian enterprises, patterns between housing systems and the presence of pain in horses were identified. At Itkaya Horse Base, where horses could move freely most of the time, the methodology of the Ridden Horse Pain Ethogram indicated that the animals were less prone to lameness and chronic pain, as determined by the Horse Grimace Scale, than those in a stall-only environment like Suhail Sports Center, where most horses exhibited facial "grimaces of pain" and showed characteristic behavioral pain indicators when working under saddle. Similarly, outcomes from the CSKA Equestrian Complex showed better results in the comprehensive assessment of musculoskeletal pain than those observed at Suhail Sports Center, due to the provision of extended grazing time in the paddocks allowing horses to relax. Pain scores on the Horse Grimace Scale were average compared to other facilities, with approximately half of the horses showing signs of persistent pain. The results from Suhail Sports Center showed the highest rates of pain indicators.

Therefore, quality and extensive exercise is vital to a horse's life and health. Physiologically, horses are not adapted for long periods of standing in stalls, as this can impair blood circulation and reduce tendon elasticity. The most appropriate housing for horses is a herd system that does not restrict their movements to 1-3 hours.

## References

1. Anwar K. Pathophysiology of pain. *Disease-a-Month*. 2016;62(9):324-329. https://doi.org/10.1016/j.disamonth.2016.05.015

2. Francione G. *Rain Without Thunder*: *The Ideology of the Animal Rights Movement*. Philadelphia: Temple University Press, 1996:269.

3. Boissy A. Assessment of Positive Emotions in Animals to Improve their Welfare. *Physiology Behavior*. 2007;92:375-397. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2007.02.003

4. Dalla Costa E., Dai F., Lebelt D., Scholz P. et al. Welfare assessment of horses: the AWIN approach. *Animal Welfare*. 2016;25(4):481-488. https://doi.org/10.7120/09627286.25.4.481

5. Bell A. The Neurobiology of Acute Pain. *The Veterinary Journal*. 2018;237(7):55-62. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2018.05.004

6. Fureix C., Menguy H., Hausberger M. Partners with Bad Temper: Reject or Cure? A Study of Chronic Pain and Aggression in Horses. *PLoS One*. 2010;5(8): e12434. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012434

7. McLean A.N., McGreevy P.D. Ethical Equitation: Capping the Price Horses Pay for Human Glory. *Journal of Veterinary Behavior*. 2010;5:203-209. https://doi.org/10.1016/j.jveb.2010.04.003

8. Ladewig J., McLean A.N., Wilkins C.L., Fenner K. et. al. A review of The Ridden Horse pain Ethogram and its Potential to Improve Ridden Horse Welfare. *Journal of Veterinary Behavior*: *Clinical Applications and Research*. 2022;54:54-61. https://doi.org/10.1016/j.jveb.2022.07.003

9. Van Loon J.P.A.M., Macri L. Objective Assessment of Chronic Pain in Horses Using the Horse Chronic Pain Scale (HCPS): A Scale-Construction Study. *Animals*. 2021;11:1-12. https://doi.org/10.3390/ani11061826

10. Van Loon J.P.A.M., van Dierendonck M.C. Monitoring Acute Equine Visceral Pain with the Equine Utrecht University Scale for Composite Pain Assessment (EQUUS-COMPASS) and the Equine Utrecht University Scale for Facial Assessment of Pain (EQUUS-FAP): A scale-construction study. *The Veterinary Journal*. 2015;206(3):356-364. https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.08.023

## Information about the authors

**Angelika A. Ksenofontova,** CSc (Bio), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Animal Feeding, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: tmetre@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0003-1920-2326

**Polina V. Krasavina,** postgraduate student, Department of Horse Breeding, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: pelageya16092000@yandex.ru

**Liubov V. Shorina,** CSc (Philol), Senior Lecturer at the Department of Russian and Foreign Languages, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: shorinaliubov15@gmail.com, https://orcid.org/0009-0008-5233-9125

**Dmitry A. Ksenofontov,** DSc (Bio), Associate Professor, Professor at the Department of Animal Physiology, Ethology and Biochemistry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: smu@rgau-msha.ru, https://orcid.org/0000-0002-2408-0776

## Информация об авторах

**Анжелика Александровна Ксенофонтова,** канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры кормления животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва. ул. Тимирязевская, 49; e-mail: tmetre@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0003-1920-2326

**Полина Игоревна Красавина,** аспирант кафедры коневодства, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва. ул. Тимирязевская, 49; e-mail: pelageya16092000@yandex.ru

**Любовь Валентиновна Шорина,** канд. филол. наук, старший преподаватель кафедры иностранных и русского языков, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва. ул. Тимирязевская, 49; e-mail: shorinaliubov15@gmail.com; https://orcid.org/0009-0008-5233-9125

**Дмитрий Анатольевич Ксенофонтов,** д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры физиологии, этологии и биохимии животных, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: smu@rgau-msha.ru; https://orcid.org/0000-0002-2408-0776

Статья поступила в редакцию 21.11.2024
Одобрена после рецензирования 20.12.2024
Принята к публикации 26.12.2024

The article was submitted to the editorial office November 21, 2024
Approved after reviewing December 20, 2024
Accepted for publication December 26, 2024

**ЗООЛОГИЯ**

Оригинальная научная статья
УДК 598.2: 556.55 (470.12)
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-103-121

# Орнитофауна окрестностей озера Эльтон (Палласовский район Волгоградской области) в весенний период 2023-2024 гг.

**Сергей Валерьевич Рупасов, Екатерина Викторовна Комарова, Кира Евгеньевна Дегтярева, Татьяна Антоновна Мельникова, Георгий Антонович Трусов, Ульяна Федоровна Пахлеванова**

Центр «На Донской», ГБПОУ «Воробьевы горы», Москва, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Сергей Валерьевич Рупасов; sergei_rupasov@mail.ru

**Аннотация**
Окрестности озера Эльтон имеют важное значение для птиц в качестве мест гнездования и остановок на пролете. Они входят в список ключевых орнитологических территорий (КОТР) международного значения в Европейской России (Озеро Эльтон – ВГ-002). В статье приводятся результаты орнитологических исследований, выполненных в окрестностях озера Эльтон в весенние сезоны 2023 и 2024 гг. Маршрутами были охвачены участки северного и восточного берегов озера и окрестности поселка Эльтон. Цель работы – проведение регулярного мониторинга для выявления изменений в орнитофауне и состоянии популяций птиц на КОТР ВГ-002 «Озеро Эльтон». В ходе исследований отмечено 108 видов птиц, в том числе 44 – гнездящиеся или вероятно гнездящиеся. Собраны данные по весенней фауне редких видов птиц, в том числе ряда видов дневных хищных птиц и сов, стрепета.

**Ключевые слова**
орнитология, орнитофауна, население птиц, мониторинг, Эльтон, Приэльтонье, степные сообщества птиц, степи, аридные сообщества, КОТР

**Вклад каждого автора**
Сергей Валерьевич Рупасов – 45%; Екатерина Викторовна Комарова – 40%; Кира Евгеньевна Дегтярева, Татьяна Антоновна Мельникова, Георгий Антонович Трусов, Ульяна Федоровна Пахлеванова: суммарный вклад – 15%.

**Благодарности**
Авторы выражают огромную благодарность всем участникам экспедиций 2021-24 гг., организатору Эльтонской орнитологической станции Олегу Суворову, а также сотрудникам Природного парка «Эльтонский» и лично директору Светлане Евгеньевне Айткуловой за помощь в организации экспедиций.

**Для цитирования**
Рупасов С.В., Комарова Е.В., Дегтярева К.Е., Мельникова Т.А., Трусов Г.А., Пахлеванова У.Ф. Орнитофауна окрестностей озера Эльтон (Палласовский район Волгоградской области) в весенний период 2023-2024 гг. // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 103-121. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-103-121

**ZOOLOGY**

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-103-121

# Avifauna of the vicinity of Lake Elton (Pallasovsky District, Volgograd Region) in the springs of 2023-2024

**Sergey V. Rupasov, Ekaterina V. Komarova, Kira E. Degtyareva, Tatyana A. Melnikova, Georgy A. Trusov, Ulyana F. Pakhlevanova**

Center "On Donskoy", SBPEI "Vorobyovy Gory", Moscow, Russia

**Corresponding author:** Sergey V. Rupasov; sergei_rupasov@mail.ru

**Abstract**
The vicinity of Lake Elton is important for birds as nesting and migratory stopover sites. They are included in the list of Important Bird Areas (IBA) of international importance in European Russia (Lake Elton – VG-002). The article presents the results of ornithological studies carried out in the vicinity of Lake Elton in the springs of 2023 and 2024. The routes covered sections of the northern and eastern shores of the lake and the vicinity of the village of Elton. The aim of the work is to carry out regular monitoring to identify changes in the avifauna and the state of bird populations at IBA VG-002 "Lake Elton". A total of 108 bird species have been recorded, including 44 species that are likely to breed or nest. Data were collected on the spring fauna of rare bird species, including several species of diurnal birds of prey and owls, as well as the little bustard.

**Keywords**
Ornithology, avifauna, bird population, monitoring, Elton, Elton region, steppe bird communities, steppes, arid communities, Important Bird Area

**Contribution of the authors**
Sergey V. Rupasov – 45%; Ekaterina V. Komarova – 40%; Kira E. Degtyareva, Tatyana A. Melnikova, Georgy A. Trusov, Ulyana F. Pakhlevanova: total contribution – 15%

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

**For citation**
Rupasov S.V., Komarova E.V., Degtyareva K.E., Melnikova T.A., Trusov G.A., Pakhlevanova U.F. Avifauna of the vicinity of Lake Elton (Pallasovsky District, Volgograd Region) in the springs of 2023-2024. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):103-121. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-103-121

## Введение
## Introduction

Окрестности озера Эльтон входят в список ключевых орнитологических территорий (КОТР) международного значения в Европейской России (Озеро Эльтон – ВГ-002)[1]. Это территории, имеющие важнейшее значение для птиц в качестве мест гнездования и остановок на пролете.

Фауна птиц данного района и сопредельных территорий изучалась ранее многими исследователями, в том числе в последние годы [1-11]. Авторами данной статьи орнитологические наблюдения в окрестностях оз. Эльтон были проведены в первых декадах мая 2021 и 2022 гг. [12, 13]. Вместе с тем состояние популяций птиц на КОТР ВГ-002 «Озеро Эльтон» нуждается в ежегодном мониторинге, что обусловливает актуальность наших исследований, выполненных в весенние сезоны 2023 и 2024 гг. в тех же точках, что и в 2021-2022 гг., или на небольшом удалении от них.

Территория Приэльтонья входит в состав Прикаспийской низменности и располагается в подзоне полукустарничково-дерновиннозлак овых степей. В результате перевыпаса местами формируются сообщества опустыненных степей. Преобладают засоленные светло-каштановые почвы, обычны солонцы и солончаки. По берегам озера Эльтон образуются обширные засоленные грязевые пляжи. Долины рек и временных водотоков глубоко врезаны, часто с формированием береговых обрывов. В поймах рек и озера формируются полосы тростников шириной до 150 м. К северу от озера сохранились фрагменты лесополос из вяза малого. По балкам развита растительность байрачного типа [14].

[1] КОТР озера Эльтон – ВГ-002. Режим доступа: https://rbcu.ru/kotr/vg002.php.

К северу от поселка Эльтон, в сторону г. Улаган, находятся разреженные лесопосадки с преобладанием лоха узколистного (*Elaeagnus angustifolia*) и вяза малого (*Ulmus minor*) с развитым кустарниковым ярусом.

**Цель исследований:** проведение регулярного мониторинга для выявления изменений в орнитофауне и состоянии популяций птиц на КОТР ВГ-002 «Озеро Эльтон».

## Методика исследований
## Research method

Полевые исследования проводили в окрестностях озера Эльтон в рамках научно-образовательных экспедиций Клуба юных географов и путешественников Центра «На Донской» ГБОУ «Воробьевы горы». В исследованиях, кроме преподавателей, специалистов-орнитологов, принимали участие члены юннатских кружков.

Данные по фауне и распределению птиц окрестностей озера Эльтон были собраны в периоды 07-13.04.2023 г. и 01-05.05.2024 г.

Маршрутами были охвачены:

1) участок, прилегающий к южному и юго-восточному берегам оз. Эльтон, с долинами рек Малая Самарода и Карантинка (2023 г.);

2) участок, прилегающий к восточному берегу оз. Эльтон между р. Самарода (Сморогда) и г. Улаган, в том числе лесопосадки к северо-востоку от поселка и балки Сорочья (2023 и 2024 гг.);

3) участок, прилегающий к северному берегу оз. Эльтон, с долинами рек Чернавка (Чернявка), Хара (включая крупные балки Биологическая и Лисья), Ланцуг и Солянка, а также фрагментарные разреженные лесополосы вдоль дорог, ведущих к р. Хара (2024 г.).

В 2023 г. исследования проводились в более раннее время, в условиях прохладной и ветреной погоды. В первой декаде мая 2024 г. стояла теплая сухая погода при стандартных фенологических сроках. Общая численность мышевидных грызунов и сусликов в обследованных районах в оба сезона была невысокой (оценка по числу встреч на маршрутах).

Суммарная протяженность маршрутов составила около 150 км.

Определение птиц осуществлялось визуально с использованием биноклей, зрительных труб и по особенностям вокализации. При необходимости использовались определители В.К. Рябицева «Птицы Европейской части России» [15]. Основной задачей работы была оценка состава орнитофауны, количественные методы учета птиц не применялись в связи с ограниченностью времени исследований. В целях приведения возможно полной информации о встреченных видах использвалась экспертная балльная оценка обилия с градациями: единичный, редкий, немногочисленный, обычный либо многочисленный вид.

## Результаты и их обсуждение
## Results and discussion

В 2023-2024 гг. на маршрутах было отмечено 137 видов птиц (включая регистрации по останкам и гнездовым постройкам), в том числе 62 вида – гнездящиеся или вероятно гнездящиеся (пара наблюдалась в гнездовое время в подходящем для гнездования биотопе; территориальное поведение самца на определенном участке в течение более чем одного дня; брачное поведение и демонстрации; обнаружено жилое гнездо с кладкой или птенцами; встречены слетки; найдена свежая скорлупа яиц).

Аннотированный список видов птиц окрестностей озера Эльтон в весенний сезон 2023 и 2024 гг. приведен ниже.

**Серая куропатка** *Perdix perdix* Linnaeus, 1758.

2023 г. Две особи были вспугнуты в степи рядом с Сорочьей балкой.

**Перепел** *Coturnix coturnix* Linnaeus, 1758.

2024 г. Одна особь наблюдалась на водоразделе р. Ланцуг и р. Солянка 4 мая.

**Лебедь шипун** *Cygnus olor* Gmelin, 1789.

2023 г. Пролетающая пара отмечалась 7 апреля над юго-восточным берегом оз. Эльтон. Еще одна пара наблюдалась 9 апреля на пруду у пос. Приозерный.

**Лебедь-кликун** *Cygnus cygnus* Linnaeus, 1758.

2024 г. 1 особь была отмечена в устье р. Ланцуг 4 мая.

**Гусь белолобый** *Anser albifrons* Scopoli, 1769.

2023 г. Стаи численностью около 130 и 100 птиц отмечались 9 и 10 апреля над юго-восточным берегом оз. Эльтон.

**Огарь** *Tadorna ferruginea* Pallas, 1764.

2023 г. Был редок в р-не р. Малая Самарода в период 7-10 апреля. Беспокоящиеся пары не наблюдались.

2024 г. Немногочислен по конусам выноса рек и речным долинам. Большая часть встреченных особей держалась парами. На 1 км речных долин наблюдалось до 4 пар.

**Пеганка** *Tadorna tadorna* Linnaeus, 1758.

2023 г. Была обычна в районе р. Малая Самарода в период 7-11 апреля и редка в районе пос. Эльтон в период 11-13 апреля. Беспокоящиеся пары не наблюдались.

2024 г. Была обычна, большая часть встреченных особей держалась парами. На маршрутах вдоль речных долин наблюдалось до 5 пар на 1 км. На конусе выноса р. Хара регулярно наблюдалось до 30 пар.

**Свиязь** *Anas Penelope* Linnaeus, 1758.

2023 г. Была обычна на прудах у пос. Приозерный и редка в устьях водотоков на юго-восточном берегу Эльтона.

**Серая утка** *Anas strepera* Linnaeus, 1758.

2023 г. Обычна на всех типах водоемов в районе юго-восточного берега Эльтона.

2024 г. Была обычна на всех реках. По речным долинам встречалось 6-8 пар на 1 км маршрута.

**Кряква** *Anas platyrhynchos* Linnaeus, 1758.

2023 г. Немногочисленна в устьях водотоков на юго-восточном берегу Эльтона и редка в устье Сорочьей балки.

2024 г. Немногочисленна, держалась парами. По речным долинам встречалось 4-5 пар на 1 км маршрута.

**Чирок-свистунок** *Anas crecca* Linnaeus, 1758.

2024 г. 2 мая две пары свистунков отмечены в устье р. Ланцуг.

**Чирок-трескунок** *Anas querquedula* Linnaeus, 1758.

2023 г. Был обычен на прудах у пос. Приозерный и редок в устьях водотоков на юго-восточном берегу Эльтона.

**Широконоска** *Anas clypeata* Linnaeus, 1758.

2023 г. Была немногочисленна на прудах у пос. Приозерный и на устьевых участках водотоков на юго-восточном берегу Эльтона.

2024 г. Одна самка наблюдалась в устье р. Ланцуг 4 мая.

**Красноголовый нырок** *Aythya ferina* Linnaeus, 1758.

2023 г. Был немногочислен на прудах у пос. Приозерный и редок в устьях водотоков на юго-восточном берегу Эльтона.

**Серая цапля** *Ardea cinerea* Linnaeus, 1758.

2023 г. Наблюдалось 4 особи в устье реки р. Малая Самарода 9 апреля и одна особь – на временном водоеме в степи 10 апреля.

2024 г. Наблюдалось 5 особей в среднем течении р. Ланцуг 4 мая.

**Рыжая цапля** *Ardea purpurea* Linnaeus, 1766.

2024 г. Одна особь наблюдалась в среднем течении р. Ланцуг 3 мая.

**Серощекая поганка** *Podicepsgrisegena* Boddaert, 1783.

2023 г. Единичная особь наблюдалась на р. Малая Самарода в приустьевом участке 11 арпеля.

**Обыкновенная пустельга** *Falco tinnunculus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Немногочисленные одиночные птицы встречались вдоль юго-восточного берега Эльтона. Обычна в лесопосадках в окрестностях пос. Эльтон. На последнем участке 2 раза наблюдались беспокоящиеся пары, держащиеся у пустых сорочьих гнезд.

2024 г. Одна особь наблюдалась 4 мая над мостом через р. Ланцуг.

**Черный коршун** *Milvus migrans* Boddaert, 1783.

2023 г. Обычен вдоль всех участков берега оз. Эльтон с 9 апреля. Происходил интенсивный пролет, который был наиболее активным 10 и 11 апреля.

**Орлан-белохвост** *Haliaeetus albicilla* Linnaeus, 1758.

2023 г. Одиночные молодые белохвосты наблюдались на пруду у пос. Приозерный и в окрестностях пос. Эльтон.

**Болотный лунь** *Circus aeruginosus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Был обычен в районе р. Малая Самарода и немногочислен в окрестностях пос. Эльтон. Соотношение наблюдавшихся самцов и самок было примерно равным.

2024 г. Территориальная пара держалась в тростниковых зарослях на устье р. Ланцуг. Две самки и один самец встречены на маршрутах между реками Хара и Ланцуг.

**Полевой лунь** *Circus cyaneus* Linnaeus, 1766.

2023 г. Многочислен в районе р. Малая Самарода; происходил интенсивный пролет вдоль юго-восточного берега озера. Соотношение наблюдавшихся самцов и самок составляло примерно 1:4.

2024 г. Две самки наблюдались в районе нижнего течения р. Ланцуг.

**Степной лунь** *Circus macrourus* S.G. Gmelin, 1770.

2023 г. Отдельные самки 3 раза наблюдались на пролете вдоль юго-восточного берега озера 10-11 апреля.

2024 г. Отмечена одна самка в устье р. Ланцуг 4 мая.

**Луговой лунь** *Circus pygargus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Одиночный самец был встречен на пролете вдоль юго-восточного берега Эльтона 10 апреля.

2024 г. Отмечена одна самка в устье р. Ланцуг 4 мая.

**Европейский тювик** *Accipiter brevipes* Severtsov, 1850.

2024 г. Одиночный самец, охотящийся на мелких воробьиных в лесопосадках с мозаичным кустарником вокруг временного водоема в окрестностях поселка Эльтон, отмечен 5 мая. В этом же месте самец тювика отмечен в 2022 г.

**Перепелятник** *Accipiter nisus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Одиночные особи, как самцы, так и самки, отмечались охотящимися на воробьиных птиц в полосе тростника вдоль юго-восточного берега оз. Эльтон 9 и 11 апреля. Обычен в окрестностях поселка Эльтон. В лесопосадках найдены останки одной птицы, останки не менее двух перепелятников найдены на свежих кормовых столиках филина в Сорочьей балке.

**Канюк** *Buteo buteo* Linnaeus, 1758.

2023 г. В районе юго-восточного берега оз. Эльтон был обычен на пролете во всех биотопах 8-11 апредя.

2024 г. Пара птиц наблюдалась в районе северного берега оз. Эльтон 3 мая.

**Курганник** *Buteo rufinus* Cretzschmar, 1829.

2023 г. Был обычен в окрестностях поселка Эльтон.

2024 г. Одна особь наблюдалась в районе среднего течения р. Ланцуг 3 мая.

**Степной орел** *Aquila nipalensis* Hodgson, 1833.

2023 г. Одиночная особь отмечена пролетающей над долиной р. Малая Самарода 10 апреля.

2024 г. Жилое гнездо с насиживающей кладку самкой отмечено на р. Хара в урочище «Чертов мост». Охотящиеся особи регулярно отмечались в районе среднего течения р. Ланцуг и в верховьях р. Солянка 4-5 мая.

**Могильник** *Aquila heliaca* Savigny, 1809.

2023 г. Жилое гнездо с двумя яйцами было найдено в лесополосе вдоль железнодорожных путей севернее пос. Эльтон. Гнездовая постройка располагалась на вершине вяза малого высотой 9 м. Диаметр постройки – примерно 1,5 м, высота – более 1 м. На удалении 200-300 м располагались 2 старые постройки в аналогичных местах. Охота самца из данной пары наблюдалась на склонах возвышенности Улаган. В районе гнезда отмечены останки ушастых ежей и малых сусликов.

2024 г. 5 мая найдено жилое гнездо с насиживающей кладку самкой на вязе малом высотой около 10 м в лесопосадке севернее пос. Эльтон. Данное гнездо располагалось на удалении 0,6-0,8 км от гнездовых построек, которые могильники занимали в 2021 и 2023 гг. Охота самца из данной пары наблюдалась на степных склонах с колониями малого суслика на удалении 0,5-1 км от гнезда.

**Красавка** *Anthropoides virgo* Linnaeus, 1758.

2023 г. Пара птиц отмечена 11 апреля в окрестностях пос. Эльтон. 3 особи наблюдались у лесопосадок вдоль железной дороги 12 апреля. Пара, державшаяся на одном участке в течение как минимум нескольких часов, наблюдалась в районе устья Сорочьей балки 12 апреля.

2024 г. 4 мая наблюдалась пара на водоразделе рек Ланцуг и Солянка.

**Водяной пастушок** *Rallus aquaticus* Linnaeus, 1758.

2023 г. 8-11 апреля был обычен в тростниках по руслам рек Мал. Самарода и Карантинка. Активно вокализировал.

2024 г. Был обычен по тростниковым зарослям в руслах рек Хара и Ланцуг, самцы активно вокализировали. Отмечались 4-5 особей на 1 км маршрута вдоль заросших тростником русел.

**Лысуха** *Fulica atra* Linnaeus, 1758.

2023 г. 2 особи отмечены 9 апреля на пруду у пос. Приозерный.

2024 г. Одна особь была встречена в устье р. Солянка 4 мая.

**Стрепет** *Tetrax tetrax* Linnaeus, 1758.

2024 г. Относительно обычен на водоразделах рек Чернавка, Хара, Ланцуг, Солянка. На маршрутах неоднократно встречались одиночные птицы и небольшие группы. На р. Чернавка 4 мая в 2 км выше устья наблюдались 3 взрослые особи и минимум один бегающий птенец. Также найдены останки съеденных хищниками стрепетов в 5 разных точках.

**Ходулочник** *Himantopus himantopus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Группы из 5 и 8 особей отмечены 9 апреля на пруду у пос. Приозерный.

2024 г. Обычен по конусам выноса и нижнему течению р. Ланцуг. Наблюдались беспокоящиеся пары. На конусе выноса р. Ланцуг наблюдалось скопление около 30 особей.

**Шилоклювка** *Recurvirostra avosetta* Linnaeus, 1758.

2024 г. Немногочисленна на конусах выноса рек Ланцуг и Хара. На 1 км маршрута вдоль береговых илистых отмелей встречалось до 5-6 беспокоящихся пар.

**Чибис** *Vanellus vanellus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Отдельные особи наблюдались регулярно в период 8-11 апреля на прудах и временных водоемах разного типа в окрестностях р. Малая Самарода.

2024 г. В целом был обычен. 4 мая наблюдалось около 30 особей в районе устья р. Ланцуг.

**Галстучник** *Charadrius hiaticula* Linnaeus, 1758.

2023 г. Одна особь отмечена 9 апреля на пруду у пос. Приозерный.

**Малый зуек** *Charadrius dubius* Scopoli, 1786.

2024 г. Пара птиц наблюдалась на заливе р. Самароды 6 мая. Интересно, что весной 2021 г. единственная встреченная беспокоящаяся пара малых зуйков отмечалась также на отмелях данного залива.

**Морской зуек** *Charadrius alexandrinus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Отдельные особи редки по отмелям вдоль юго-восточного берега оз. Эльтон. Территориальных пар не наблюдалось.

2024 г. На маршрутах 2 мая немногочислен. 4 мая обычен в устье р. Ланцуг. 2 мая в устье р. Хара найдены брошенная кладка из двух яиц (одно разбитое), кладка из трех яиц, кладка из одного яйца и гнездовые ямки в полосах тростниковых куч на конусе выноса р. Хары.

**Щеголь** *Tringa erythropus* Pallas, 1764.

2023 г. Одиночная птица встречена в нижнем течении р. Самарода 6 мая.

**Травник** *Tringa totanus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Обычен по всем типам водоемов в районе юго-восточного берега Эльтона и пос. Приозерный. Немногочислен в устье Сорочьей балки 12 апреля. Происходит интенсивный пролет.

2024 г. Немногочислен на р. Ланцуг. Токование 2 мая.

**Поручейник** *Tringa stagnatilis* Bechstein, 1803.

2023 г. Одиночная особь отмечена 8 апреля на пруду у пос. Приозерный.

**Черныш** *Tringa ochropus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Редок на прудах в окрестностях пос. Приозерный и по устьям водотоков юго-восточного берега оз. Эльтон.

**Фифи** *Tringa glareola* Linnaeus, 1758.

2023 г. Единичные особи встречались в устьях Мал. Самароды и Карантинки 8 и 10 апреля.

**Перевозчик** *Actitis hypoleucos* Linnaeus, 1758.

2023 г. Группа из 6 птиц отмечена на пруду в окрестностях пос. Приозерный 9 апреля.

2024 г. Обычен на Ланцуге и редок на реке Солянка.

**Турухтан** *Philomachus pugnax* Linnaeus, 1758.

2024 г. Наблюдалась одна стая численностью около 15 самцов на пролете.

**Хохотунья** *Larus cachinnans* Pallas, 1811.

2023 г. Группа из 4 особей и одиночная птица отмечены в районе устья Мал. Самароды.

**Чайконосая крачка** *Gelochelidon nilotica* J.F. Gmelin, 1789.

2023 г. Одиночная птица отмечена в районе устья Мал. Самароды.

2024 г. 2 мая наблюдалось около 10 особей в районе устья р. Ланцуг.

**Сизый голубь** *Columba livia* Gmelin, 1789.

2023 г. Был обычен в окрестностях поселков Приозерный и Эльтон.

2024 г. Одна особь отмечена на железнодорожной платформе. Также найдены в поеди хищника на водоразделе р. Ланцуг и р. Солянка.

**Вяхирь** *Columba palumbus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Одиночная пролетная птица наблюдалась 10 апреля в районе устья Мал. Самароды. Был редок в лесопосадках вокруг поселка Эльтон.

2024 г. Был обычен в лесопосадках севернее пос. Эльтон. 5 мая найдено жилое гнездо с кладкой из двух яиц. Гнездо располагалось на вязе малом высотой 8 м, на высоте 5 м над землей в месте отхождения нескольких ветвей среднего размера.

**Филин** *Bubo bubo* Linnaeus, 1758.

2023 г. Одна особь неоднократно наблюдалась в каньоне Сорочьей балки 12 апреля. На склонах найдено много присад и кормовых столиков с останками перепелятников, красноголовых нырков, ушастых ежей (5 шт.), грызунов различного размера. В ходе обследования балки с большинством ее ответвлений территориальную пару обнаружить не удалось.

2024 г. Одна особь наблюдалась на обрыве в нижнем течении р. Солянка. На склоне долины Солянки найдены перья и погадки данного вида. Отдельные перья данного вида были найдены также в среднем течении р. Ланцуг. В ходе обследования долины и прилегающих мелких балок территориальную пару обнаружить не удалось.

**Ушастая сова** *Asio otus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Найдено 12 апреля жилое гнездо в лесопосадке в 500 м от пос. Эльтон. Гнездо располагалось в старой сорочьей постройке на лохе длиннолистном в глубине кроны. В гнезде находилась кладка из 5 яиц, которую насиживала самка. Еще одно жилое гнездо с самкой, насиживающей 3 яйца, было найдено в Сорочьей балке, также в сорочьей постройке в глубине кроны лоха длиннолистного. Рядом с гнездом держался самец.

**Болотная сова** *Asio flammeus* Pontoppidan, 1763.

2023 г. Две одиночных особи отмечались в пойме и долине нижнего течения р. Малая Самарода. В куртине тамариска в пойме реки отмечалась вокализация в ночное время.

**Обыкновенный козодой** *Caprimulgus europaeus* Linnaeus, 1758.

2024 г. Токование наблюдалось на левом берегу р. Ланцуг, в 0,5 км выше устья, 2 мая.

**Сизоворонка** *Coracias garrulus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Останки одной особи, съеденной наземным хищником, найдены на возв. Улаган.

**Золотистая щурка** *Merops apiaster* Linnaeus, 1758.

2024 г. 3 и 4 мая наблюдались небольшие стаи по 4-15 особей в нижнем течении рек Хара и Ланцуг. С 5 мая стали обычны на р. Ланцуг, в 0,5 км выше устья.

**Удод** *Upupa epops* Linnaeus, 1758.

2023 г. Отдельные особи регулярно встречались на пролете по тростникам вдоль юго-восточного берега оз. Эльтон 8-11 апреля 2023 г. 9 апреля отмечалось токование в пос. Приозерный. Обычен в окрестностях поселка Эльтон в период 11-13 апреля.

2024 г. Отдельные особи токовали в поселке Эльтон 1 мая и в среднем течение р. Ланцуг 3 мая.

**Степной жаворонок** *Melanocorypha calandra* Linnaeus, 1766.

2023 г. Был многочислен в степях окрестностей р. Малая Самарода. В окрестностях пос. Эльтон данный вид был немногочислен. Активно поют.

2024 г. Был обычен повсеместно, поет. 4 мая отмечен летный выводок из минимум трех птенцов на водоразделе р. Ланцуг и р. Солянка.

**Малый жаворонок** *Calandrella brachydactyla* Leisler, 1814.

2023 г. Немногочислен в районе р. Малая Самарода. В основном встречались в опустыненных солончаках озерного побережья и по опустыненным степям вдоль полевых дорог.

В окрестностях пос. Эльтон данный вид был редок. Активно поют.

2024 г. Одна поющая особь отмечена в долине среднего течения р. Ланцуг 4 мая.

**Серый жаворонок** *Calandrella rufescens* Vieillot, 1819.

2024 г. Наблюдалась единичная поющая особь на водоразделе р. Солянка и р. Ланцуг 5 мая.

**Хохлатый жаворонок** *Galerida cristata* Linnaeus, 1758.

2023 г. В двух местах на окраине поселка Эльтон наблюдались беспокоящиеся пары, отводившие наблюдателя от гнезда.

2024 г. Немногочисленные особи; пели на окраине поселка Эльтон 5 мая.

**Полевой жаворонок** *Alauda arvensis* Linnaeus, 1758.

2023 г. Многочислен в районе р. Малая Самарода. Был немногочислен в степях в окрестностях пос. Эльтон. Активно поют.

2024 г. Немногочислен на водоразделе рек Ланцуга и Хары.

**Береговушка** *Riparia riparia* Linnaeus, 1758.

2024 г. 2 мая было отмечено 8 особей на р. Хара.

**Деревенская ласточка** *Hirundo rustica* Linnaeus, 1758.

2023 г. Немногочисленна в районе Малой Самароды и обычна в пос. Эльтон.

2024 г. Обычна повсеместно. 2 мая наблюдалась стая численностью около 150 особей.

**Воронок** *Delichon urbicum* Linnaeus, 1758.

2023 г. Одна особь отмечена в устье Малой Самароды 8 апреля.

**Полевой конек** *Anthus campestris* Linnaeus, 1758.

2024 г. 4 мая отмечена одна поющая особь на водоразделе р. Ланцуг и р. Солянка.

**Краснозобый конек** *Anthus cervinus* Pallas, 1811.

2023 г. Немногочислен на пролете по тростникам в районе устья Малой Самароды.

**Желтая трясогузка** *Motacilla flava* Linnaeus, 1758.

2023 г. Одна особь отмечена в устье Малой Самароды 8 апреля.

2024 г. Была немногочисленна по берегу р. Ланцуг, встречались по 2-3 территориальные пары на 1 км долины.

**Малая желтоголовая трясогузка** *Motacilla werae* Buturlin, 1908.

2023 г. Обычна повсеместно в районе Малой Самароды.

**Белая трясогузка** *Motacilla alba* Linnaeus, 1758.

2023 г. Обычна по всем водоемам в районе р. Малая Самарода. Была немногочисленна в окрестностях пос. Эльтон.

2024 г. Две особи наблюдались на р. Ланцуг, в 0,5 км выше устья, 2 мая. Три особи наблюдались на берегу озера Эльтон 4 мая.

**Черный дрозд** *Turdus merula* Linnaeus, 1758.

2023 г. Немногочисленные пролетные особи наблюдались по тростникам в районе устьев Карантинки и Малой Самароды.

2024 г. Одна самка отмечена в долине реки Солянка в куртине терна.

**Белобровик** *Turdus iliacus* Linnaeus, 1766.

2024 г. Найдены останки съеденной хищником птицы на р. Солянка.

**Певчий дрозд** *Turdus philomelos* Brehm, 1831.

2023 г. Единичная птица отмечена в устье Сорочьей балки 12 апреля.

2024 г. Найдены останки съеденной хищником птицы в Биологической балке.

**Рябинник** *Turdus pilaris* Linnaeus, 1758.

2024 г. Найдены останки съеденной хищником птицы на р. Хара.

**Горихвостка-лысушка** *Phoenicurus phoenicurus* Linnaeus, 1758.

2024 г. Обычна по тростниковым зарослям на реках и по кустарникам в балках.

**Соловей** *Luscinia luscinia* Linnaeus, 1758.

2024 г. Отмечена вокализация двух самцов в разных местах в кустарниках на р. Ланцуг.

**Варакушка** *Luscinia svecica* Linnaeus, 1758.

2023 г. В районе р. Малая Самарода обычна повсеместно по тростниковым зарослям. 10 апреля отмечены первые песни.

2024 г. Одна особь встречена в тростниках на р. Ланцуг.

**Зарянка** *Erithacus rubecula* Linnaeus, 1758.

2023 г. Единичная особь отмечена в тростниках по руслу р. Малая Самарода 9 апреля.

**Луговой чекан** *Saxicola rubetra* Linnaeus, 1758.

2024 г. 3 мая встречены 2 пары на р. Ланцуг и в Биологической балке. 4 мая около 8 особей наблюдались в устье р. Солянка.

**Каменка обыкновенная** *Oenanthe oenanthe* Linnaeus, 1758.

2023 г. Пара отмечена 12 апреля на окраине поселка Эльтон.

2024 г. Три самца и одна самка отмечены в устье р. Солянка и один самец – в районе среднего течения р. Ланцуг.

**Каменка-плясунья** *Oenanthe isabellina* Temminck, 1829.

2024 г. Обычна повсеместно на окраинах поселков, вдоль ЛЭП и дорог. Самцы активно поют.

**Серая мухоловка** *Muscicapa striata* Pallas, 1764.

2024 г. Одна особь отмечена 3 мая в Биологической балке.

**Мухоловка-пеструшка** *Ficedula hypoleuca* Pallas, 1764.

2024 г. Две самки наблюдались в Биологической балке и на р. Солянка 3 мая в куртинах терна.

**Соловьиный сверчок** *Locustella luscinioides* Savi, 1824.

2024 г. Пение нескольких самцов регулярно отмечалось 2-4 мая в тростниках в нижнем течении р. Ланцуг.

**Камышовка-барсучок** *Acrocephalus schoenobaenus* Linnaeus, 1758.

2024 г. Наблюдался один поющий в тростниках самец в устье р. Ланцуга 4 мая.

**Индийская камышовка** *Acrocephalus agricola* Jerdon, 1845.

2024 г. Наблюдался один поющий в тростниках самец в устье р. Ланцуга 3 мая.

**Дроздовидная камышовка** *Acrocephalus arundinaceus* Linnaeus, 1758.

2024 г. Наблюдался один поющий в тростниках самец в устье р. Ланцуга 3 мая.

**Северная бормотушка** *Iduna caligata* Lichtenstein, 1823.

2024 г. 5 мая наблюдалась стая пролетных бормотушек численностью около 10 особей в кустарниках в районе устья р. Ланцуг. Одна птица активно пела.

**Пеночка-весничка** *Phylloscopus trochilus* Linnaeus, 1758.

2024 г. 3 мая наблюдались 2 поющих самца по кустарниковым зарослям в устьях рек Ланцуг и Солянка.

**Пеночка-теньковка** *Phylloscopus collybita* Vieillot, 1817.

2023 г. Редка по кустарникам по долине р. Малая Самарода. 2 отдельные особи были встречены в лесопосадках в окрестностях пос. Эльтон.

2024 г. 2 мая наблюдалась единичная особь в кустарниках на берегу озера Эльтон.

**Славка-завирушка** *Curruca curruca* Linnaeus, 1758.

2024 г. Наблюдались 3 территориальные пары в тростниках нижнего течения р. Ланцуг. Самцы активно пели.

**Усатая синица** *Panurus biarmicus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Одиночная птица наблюдалась в тростниковых зарослях в устье р. Малая Самарода 10 апреля.

**Ремез** *Remiz pendulinus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Немногочисленна по тростниковым зарослям вдоль всего русла Малой Самароды.

**Жулан** *Lanius collurio* Linnaeus, 1758.

2024 г. Одна особь встречена в кустарниковых зарослях в нижнем течении р. Солянка.

**Сорока** *Pica pica* Linnaeus, 1758.

2023 г. Редка в районе р. Малая Самарода, что может быть связано с недостатком фрагментов кустарниковой растительности. Многочисленна на гнездовании в окрестностях пос. Эльтон. В гнезде в лесопосадке 11 апреля обнаружена кладка из 2 яиц. Насиживание не началось. В гнезде, осмотренном 12 апреля, близ устья Сорочьей балки обнаружены 8 яиц, самка насиживает кладку. Все найденные гнезда располагались в кронах лоха длиннолистного.

2024 г. Немногочисленна повсеместно. Отмечалось не менее одной пары на 1 км маршрута. 4 мая на р. Солянка найдено гнездо на терне с 5 яйцами.

**Галка** *Corvus monedula* Linnaeus, 1758.

2023 г. Кормящиеся и пролетающие птицы были обычны повсеместно в окрестностях пос. Эльтон.

**Серая ворона** *Corvus cornix* Linnaeus, 1758.

2023 г. Редка в пос. Приозерный. Редка повсеместно в лесопосадках окрестностей пос. Эльтон. Пара держалась 11 апреля у гнездовой постройки без кладки яиц.

**Грач** *Corvus frugilegus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Немногочислен в пос. Приозерный. Обычен в поселке Эльтон и его окрестностях.

**Ворон** *Corvus corax* Linnaeus, 1758.

2023 г. Редок повсеместно.

**Скворец** *Sturnus vulgaris* Linnaeus, 1758.

2023 г. Обычен в пос. Приозерный. Многочислен в поселке Эльтон и его окрестностях. Наблюдалось активное гнездостроение.

**Розовый скворец** *Pastor roseus* Linnaeus, 1758.

2024 г. Стая из 17 особей отмечена 2 мая в районе нижнего течения р. Ланцуг.

**Домовый воробей** *Passer domesticus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Немногочислен в поселке Эльтон. Активно поет.

**Зяблик** *Fringilla coelebs* Linnaeus, 1758.

2023 г. Обычен на пролете по тростниковым зарослям вдоль русел р. Малая Самарода, Капрантинка и вдоль побережья оз. Эльтон.

**Щегол** *Carduelis carduelis* Linnaeus, 1758.

2023 г. Единичная особь; пела в пос. Приозерный.

**Садовая овсянка** *Emberiza hortulana* Linnaeus, 1758.

2024 г. Отмечен одиночный самец в районе нижнего течения р. Хара 3 мая.

**Камышовая овсянка** *Schoeniclus schoeniclus* Linnaeus, 1758.

2023 г. Обычна по тростниковым зарослям в окрестностях реки Малая Самарода.

2024 г. Редка по тростниковым зарослям по долине реки Ланцуг.

**Просянка** *Miliaria calandra* Linnaeus, 1758.

2024 г. Обычна повсеместно в долинах рек. Редка на водоразделах. Наблюдаются территориальные пары. Самцы активно поют.

В целях мониторинга изменений орнитофауны в весенние сезоны ниже приводится в виде таблицы сравнение данных 2023 и 2024 гг. с данными, полученными в весенние сезоны 2021 и 2022 гг. [12-13].

Таблица

**Виды птиц, отмеченные в окрестностях оз. Эльтон в весенние сезоны 2021-22 гг. [12-13] и 2023-24 гг.**

| № | Вид | 1-8 мая 2021 г. | 1-8 мая 2022 г. | 7-13 апреля 2023 г. | 1-5 мая 2024 г. |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Серая куропатка *Perdix perdix* | + | | + | |
| 2 | Перепел *Coturnix coturnix* | + | + | | + |
| 3 | Лебедь-шипун *Cygnus olor* | + | | | |
| 4 | Лебедь-кликун *Cygnus cygnus* | | | | + |
| 5 | Гусь белолобый *Anser albifrons* | + | | + | |
| 6 | Серый гусь *Anser anser* | + | | | |
| 7 | Огарь *Tadorna ferruginea* | + | + | + | + |
| 8 | Пеганка *Tadorna tadorna* | + | + | + | + |
| 9 | Свиязь *Anas penelope* | + | | + | |
| 10 | Серая утка *Anas strepera* | + | + | + | + |
| 11 | Кряква *Anas platyrhynchos* | + | + | + | + |
| 12 | Чирок-свистунок *Anas crecca* | | | | + |
| 13 | Чирок-трескунок *Anas querquedula* | + | + | + | + |
| 14 | Широконоска *Anas clypeata* | + | + | + | + |
| 15 | Красноголовый нырок *Aythya ferina* | | | + | |
| 16 | Морская чернеть *Aythya marila* | + | | | |
| 17 | Серая цапля *Ardea cinerea* | + | + | + | + |
| 18 | Рыжая цапля *Ardea purpurea* | | | | + |
| 19 | Серощекая поганка *Podiceps grisegena* | | | + | |
| 20 | Обыкновенная пустельга *Falco tinnunculus* | + | + | + | + |
| 21 | Кобчик *Falco vespertinus* | + | + | | |
| 22 | Сапсан *Falco peregrinus* | | + | | |
| 23 | Черный коршун *Milvus migrans* | + | | + | |
| 24 | Орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla* | + | + | + | |
| 25 | Болотный лунь *Circus aeruginosus* | + | + | + | + |
| 26 | Полевой лунь *Circus cyaneus* | + | + | + | + |
| 27 | Степной лунь *Circus macrourus* | + | | + | + |
| 28 | Луговой лунь *Circus pygargus* | + | + | + | + |
| 29 | Европейский тювик *Accipiter brevipes* | | + | | + |
| 30 | Перепелятник *Accipiter nisus* | + | + | + | |

Продолжение табл.

| № | Вид | 1-8 мая 2021 г. | 1-8 мая 2022 г. | 7-13 апреля 2023 г. | 1-5 мая 2024 г. |
|---|---|---|---|---|---|
| 31 | Тетеревятник *Accipiter gentilis* | | + | | |
| 32 | Канюк *Buteo buteo* | + | + | + | + |
| 33 | Курганник *Buteo rufinus* | + | + | + | + |
| 34 | Зимняк *Buteo lagopus* | + | + | | |
| 35 | Степной орел *Aquila nipalensis* | + | + | + | + |
| 36 | Могильник *Aquila heliaca* | + | + | + | + |
| 37 | Орел-карлик *Hieraaetus pennatus* | | + | | |
| 38 | Красавка *Anthropoides virgo* | + | + | + | + |
| 39 | Водяной пастушок *Rallus aquaticus* | + | + | + | + |
| 40 | Камышница *Gallinula chloropus* | | + | | |
| 41 | Лысуха *Fulica atra* | + | + | + | + |
| 42 | Стрепет *Tetrax tetrax* | + | + | | + |
| 43 | Ходулочник *Himantopus himantopus* | + | + | + | + |
| 44 | Шилоклювка *Recurvirostra avosetta* | + | + | | + |
| 45 | Чибис *Vanellus vanellus* | + | | + | + |
| 46 | Золотистая ржанка *Pluvialis apricaria* | + | | | |
| 47 | Галстучник *Charadrius hiaticula* | + | + | + | |
| 48 | Малый зуек *Charadrius dubius* | + | + | + | |
| 49 | Морской зуек *Charadrius alexandrinus* | + | + | + | + |
| 50 | Щеголь *Tringa erythropus* | | + | + | |
| 51 | Травник *Tringa totanus* | + | + | + | + |
| 52 | Поручейник *Tringa stagnatilis* | + | + | + | |
| 53 | Большой улит *Tringa nebularia* | | + | | |
| 54 | Черныш *Tringa ochropus* | + | + | + | |
| 55 | Фифи *Tringa glareola* | + | + | + | |
| 56 | Перевозчик *Actitis hypoleucos* | + | + | + | + |
| 57 | Круглоносый плавунчик *Phalaropus lobatus* | + | | | |
| 58 | Кулик-воробей *Calidris minuta* | + | | | |
| 59 | Белохвостый песочник *Calidris temminckii* | + | + | | |
| 60 | Чернозобик *Calidris alpina* | + | | | |
| 61 | Турухтан *Philomachus pugnax* | + | + | | + |

Продолжение табл.

| № | Вид | 1-8 мая 2021 г. | 1-8 мая 2022 г. | 7-13 апреля 2023 г. | 1-5 мая 2024 г. |
|---|---|---|---|---|---|
| 62 | Степная тиркушка *Glareola nordmanni* | ?[2] | + | | |
| 63 | Хохотунья *Larus cachinnans* | + | ? | + | |
| 64 | Чайконосая крачка *Gelochelidon nilotica* | + | + | + | + |
| 65 | Сизый голубь *Columba livia* | + | + | + | + |
| 66 | Вяхирь *Columba palumbus* | + | + | + | + |
| 67 | Кольчатая горлица *Streptopelia decaocto* | + | + | | |
| 68 | Обыкновенная кукушка *Cuculus canorus* | | + | | |
| 69 | Филин *Bubo bubo* | + | + | + | + |
| 70 | Ушастая сова *Asio otus* | | + | + | |
| 71 | Болотная сова *Asio flammeus* | | + | + | |
| 72 | Обыкновенный козодой *Caprimulgus europaeus* | | | | + |
| 73 | Черный стриж *Apus apus* | | + | | |
| 74 | Зимородок *Alcedo atthis* | | + | | |
| 75 | Сизоворонка *Coracias garrulus* | + | | + | |
| 76 | Золотистая щурка *Merops apiaster* | + | + | | + |
| 77 | Удод *Upupa epops* | + | + | + | + |
| 78 | Средний пестрый дятел *Dendrocopos medius* | + | | | |
| 79 | Степной жаворонок *Melanocorypha calandra* | + | + | + | + |
| 80 | Черный жаворонок *Melanocorypha yeltoniensis* | | + | | |
| 81 | Белокрылый жаворонок *Alauda leucoptera* | + | | | |
| 82 | Малый жаворонок *Calandrella brachydactyla* | + | + | + | + |
| 83 | Серый жаворонок *Calandrella rufescens* | | + | + | + |
| 84 | Хохлатый жаворонок *Galerida cristata* | + | + | + | + |
| 85 | Полевой жаворонок *Alauda arvensis* | + | + | + | + |
| 86 | Береговушка *Riparia riparia* | + | + | | + |
| 87 | Деревенская ласточка *Hirundo rustica* | + | + | + | + |
| 88 | Воронок *Delichon urbicum* | + | | + | |
| 89 | Полевой конек *Anthus campestris* | | | | + |
| 90 | Краснозобый конек *Anthus cervinus* | + | + | + | |
| 91 | Желтая трясогузка *Motacilla flava* | | + | | |
| 92 | Малая желтоголовая трясогузка *Motacilla werae* | | | + | |

[2] предположительное определение вида

Продолжение табл.

| № | Вид | 1-8 мая 2021 г. | 1-8 мая 2022 г. | 7-13 апреля 2023 г. | 1-5 мая 2024 г. |
|---|---|---|---|---|---|
| 93 | Белая трясогузка *Motacilla alba* | + | + | + | + |
| 94 | Черный дрозд *Turdus merula* | | + | | |
| 95 | Белобровик *Turdus iliacus* | | | | + |
| 96 | Певчий дрозд *Turdus philomelos* | | + | | |
| 97 | Рябинник *Turdus pilaris* | | | | + |
| 98 | Горихвостка-лысушка *Phoenicurus phoenicurus* | + | + | | + |
| 99 | Соловей *Luscinia luscinia* | + | + | | + |
| 100 | Варакушка *Luscinia svecica* | | + | | |
| 101 | Зарянка *Erithacus rubecula* | | | + | |
| 102 | Луговой чекан *Saxicola rubetra* | + | + | | + |
| 103 | Черноголовый чекан *Saxicola rubicola* | | + | | |
| 104 | Каменка обыкновенная *Oenanthe oenanthe* | + | + | + | + |
| 105 | Каменка-плясунья *Oenanthe isabellina* | + | + | | + |
| 106 | Серая мухоловка *Muscicapa striata* | | + | | |
| 107 | Мухоловка-пеструшка *Ficedula hypoleuca* | + | ? | | + |
| 108 | Мухоловка-белошейка *Ficedula albicollis* | + | | | |
| 109 | Мухоловка малая *Ficedula parva* | + | + | | |
| 110 | Соловьиный сверчок *Locustella luscinioides* | | | | + |
| 111 | Обыкновенный сверчок *Locustella naevia* | | + | | |
| 112 | Камышовка-барсучок *Acrocephalus schoenobaenus* | + | | | + |
| 113 | Индийская камышовка *Acrocephalus agricola* | + | | | + |
| 114 | Тростниковая камышовка *Acrocephalus scirpaceus* | + | + | | |
| 115 | Дроздовидная камышовка *Acrocephalus arundinaceus* | + | | | + |
| 116 | Северная бормотушка *Iduna caligata* | | | | + |
| 117 | Пеночка-весничка *Phylloscopus trochilus* | + | + | | + |
| 118 | Пеночка-теньковка *Phylloscopus collybita* | + | + | + | + |
| 119 | Славка-завирушка *Curruca curruca* | | | | + |
| 120 | Усатая синица *Panurus biarmicus* | | + | + | + |
| 121 | Ремез *Remiz pendulinus* | + | + | + | |
| 122 | Большая синица *Parus major* | + | | | |
| 123 | Жулан *Lanius collurio* | + | + | | + |
| 124 | Сорока *Pica pica* | + | + | + | + |

*Окончание табл.*

| № | Вид | 1-8 мая 2021 г. | 1-8 мая 2022 г. | 7-13 апреля 2023 г. | 1-5 мая 2024 г. |
|---|---|---|---|---|---|
| 125 | Галка *Corvus monedula* | + | + | + | |
| 126 | Серая ворона *Corvus cornix* | + | + | + | |
| 127 | Грач *Corvus frugilegus* | + | + | + | |
| 128 | Ворон *Corvus corax* | | + | | |
| 129 | Скворец *Sturnus vulgaris* | | + | | |
| 130 | Розовый скворец *Pastor roseus* | + | | | + |
| 131 | Домовый воробей *Passer domesticus* | + | + | + | |
| 132 | Зяблик *Fringilla coelebs* | | + | + | |
| 133 | Щегол *Carduelis carduelis* | | + | | |
| 134 | Чечевица *Carpodacus erythrinus* | | + | | |
| 135 | Садовая овсянка *Emberiza hortulana* | | + | | + |
| 136 | Камышовая овсянка *Schoeniclus schoeniclus* | | + | + | + |
| 137 | Просянка *Miliaria calandra* | | + | | + |
| Всего видов: | | 93 | 100 | 69 | 71 |

Table

**Bird species recorded in the vicinity of the lake Elton in the springs of 2021-22 [12-13] and 2023-24**

| No. | Species | May 1-8, 2021 | May 1-8, 2022 | April 7-13, 2023 | May 1-5, 2024 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Gray partridge *Perdix perdix* | + | | + | |
| 2 | Quail *Coturnix coturnix* | + | + | | + |
| 3 | Mute swan *Cygnus olor* | + | | | |
| 4 | Whooper swan *Cygnus cygnus* | | | | + |
| 5 | White-fronted goose *Anser albifrons* | + | | + | |
| 6 | Greylag goose *Anser anser* | + | | | |
| 7 | Roody sheld duck *Tadorna ferruginea* | + | + | + | + |
| 8 | Shelduck *Tadorna tadorna* | + | + | + | + |
| 9 | Wigeon *Anas penelope* | + | | + | |
| 10 | Gadwall *Anas strepera* | + | + | + | + |
| 11 | Mallard duck *Anas platyrhynchos* | + | + | + | + |
| 12 | Teal *Anas crecca* | | | | + |
| 13 | Garganey *Anas querquedula* | + | + | + | + |
| 14 | Shoveler *Anas clypeata* | + | + | + | + |

Table continued

| No. | Species | May 1-8, 2021 | May 1-8, 2022 | April 7-13, 2023 | May 1-5, 2024 |
|---|---|---|---|---|---|
| 15 | Pochard *Aythya ferina* | | | + | |
| 16 | Bluebill *Aythya marila* | + | | | |
| 17 | Grey heron *Ardea cinerea* | + | + | + | + |
| 18 | Purple heron *Ardea purpurea* | | | | + |
| 19 | Red-necked grebe *Podiceps grisegena* | | | + | |
| 20 | Kestrel *Falco tinnunculus* | + | + | + | + |
| 21 | Red-footed falcon *Falco vespertinus* | + | + | | |
| 22 | Peregrin *Falco peregrinus* | | + | | |
| 23 | Black kite *Milvus migrans* | + | | + | |
| 24 | White-tailed eagle *Haliaeetus albicilla* | + | + | + | |
| 25 | Marsh harrier *Circus aeruginosus* | + | + | + | + |
| 26 | Hen-harrier *Circus cyaneus* | + | + | + | + |
| 27 | Pale harrier *Circus macrourus* | + | | + | + |
| 28 | Montagu's harrier *Circus pygargus* | + | + | + | + |
| 29 | Levant sparrow hawk *Accipiter brevipes* | | + | | + |
| 30 | Sparrow hawk *Accipiter nisus* | + | + | + | |
| 31 | Goshawk *Accipiter gentilis* | | + | | |
| 32 | Buzzard *Buteo buteo* | + | + | + | + |
| 33 | Long-legged buzzard *Buteo rufinus* | + | + | + | + |
| 34 | Rough-legged buzzard *Buteo lagopus* | + | + | | |
| 35 | Steppe eagle *Aquila nipalensis* | + | + | + | + |
| 36 | Imperial eagle *Aquila heliaca* | + | + | + | + |
| 37 | Booted eagle *Hieraaetus pennatus* | | + | | |
| 38 | Demoiselle crane *Anthropoides virgo* | + | + | + | + |
| 39 | Water rail *Rallus aquaticus* | + | + | + | + |
| 40 | Moorhen *Gallinula chloropus* | | + | | |
| 41 | Coot *Fulica atra* | + | + | + | + |
| 42 | Little bustard *Tetrax tetrax* | + | + | | + |
| 43 | Black-winged stilt *Himantopus himantopus* | + | + | + | + |
| 44 | Avocet *Recurvirostra avosetta* | + | + | | + |
| 45 | Bastard plover *Vanellus vanellus* | + | | + | + |
| 46 | Golden plover *Pluvialis apricaria* | + | | | |

Table continued

| No. | Species | May 1-8, 2021 | May 1-8, 2022 | April 7-13, 2023 | May 1-5, 2024 |
|---|---|---|---|---|---|
| 47 | Ringed plover *Charadrius hiaticula* | + | + | + | |
| 48 | Little ringer plover *Charadrius dubius* | + | + | + | |
| 49 | Kentish plover *Charadrius alexandrinus* | + | + | + | + |
| 50 | Spotted redshank *Tringa erythropus* | | + | + | |
| 51 | Radshank *Tringa totanus* | + | + | + | + |
| 52 | Marsh sandpiper *Tringa stagnatilis* | + | + | + | |
| 53 | Greenshank *Tringa nebularia* | | + | | |
| 54 | Sandpiper *Tringa ochropus* | + | + | + | |
| 55 | Wood sandpiper *Tringa glareola* | + | + | + | |
| 56 | Sandpiper *Actitis hypoleucos* | + | + | + | + |
| 57 | Red-necked phalarope *Phalaropus lobatus* | + | | | |
| 58 | Little stint *Calidris minuta* | + | | | |
| 59 | Temminck's stint *Calidris temminckii* | + | + | | |
| 60 | Dunlin *Calidris alpina* | + | | | |
| 61 | Ruff *Philomachus pugnax* | + | + | | + |
| 62 | Black-winged pratincole *Glareola nordmanni* | **?**[3] | + | | |
| 63 | Caspian Gull *Larus cachinnans* | + | ? | + | |
| 64 | Gull-billed tern *Gelochelidon nilotica* | + | + | + | + |
| 65 | Rock pigeon *Columba livia* | + | + | + | + |
| 66 | Wood pigeon *Columba palumbus* | + | + | + | + |
| 67 | Collared turtle dove *Streptopelia decaocto* | + | + | | |
| 68 | Common cuckoo *Cuculus canorus* | | + | | |
| 69 | Eagle owl *Bubo bubo* | + | + | + | + |
| 70 | Long eared owl *Asio otus* | | + | + | |
| 71 | Short-eared owl *Asio flammeus* | | + | + | |
| 72 | Eurasian nightjar *Caprimulgus europaeus* | | | | + |
| 73 | Swift *Apus apus* | | + | | |
| 74 | Kingfisher *Alcedo atthis* | | + | | |
| 75 | Roller *Coracias garrulus* | + | | + | |
| 76 | Bee-eater *Merops apiaster* | + | + | | + |

[3] presumptive identification of species

Table continued

| No. | Species | May 1-8, 2021 | May 1-8, 2022 | April 7-13, 2023 | May 1-5, 2024 |
|---|---|---|---|---|---|
| 77 | Hoopoe *Upupa epops* | + | + | + | + |
| 78 | Middle spotted woodpecker *Dendrocopos medius* | + | | | |
| 79 | Calandra lark *Melanocorypha calandra* | + | + | + | + |
| 80 | Black lark *Melanocorypha yeltoniensis* | | + | | |
| 81 | White-winged lark *Alauda leucoptera* | + | | | |
| 82 | Short-toed lark *Calandrella brachydactyla* | + | + | + | + |
| 83 | Lesser short-toed lark *Calandrella rufescens* | | + | + | + |
| 84 | Crested lark *Galerida cristata* | + | + | + | + |
| 85 | Sky lark *Alauda arvensis* | + | + | + | + |
| 86 | Sand martin *Riparia riparia* | + | + | | + |
| 87 | Swallow *Hirundo rustica* | + | + | + | + |
| 88 | Martinet *Delichon urbicum* | + | | + | |
| 89 | Tawny pipit *Anthus campestris* | | | | + |
| 90 | Red-throated pipit *Anthus cervinus* | + | + | + | |
| 91 | Blue-headed wagtail *Motacilla flava* | | + | | |
| 92 | Citrine Wagtail *Motacilla werae* | | | + | |
| 93 | Pied wagtail *Motacilla alba* | + | + | + | + |
| 94 | Blackbird *Turdus merula* | | + | | |
| 95 | Red-winged thrush *Turdus iliacus* | | | | + |
| 96 | Song-thrush *Turdus philomelos* | | + | | |
| 97 | Fieldfare *Turdus pilaris* | | | | + |
| 98 | White-fronted redstart *Phoenicurus phoenicurus* | + | + | | + |
| 99 | Nightingale *Luscinia luscinia* | + | + | | + |
| 100 | Blue-throated robin *Luscinia svecica* | | + | | |
| 101 | Robin *Erithacus rubecula* | | | + | |
| 102 | Whinchat *Saxicola rubetra* | + | + | | + |
| 103 | Stonechat *Saxicola rubicola* | | + | | |
| 104 | Wheatear *Oenanthe oenanthe* | + | + | + | + |
| 105 | Isabelline chat *Oenanthe isabellina* | + | + | | + |
| 106 | Spotted flycatcher *Muscicapa striata* | | + | | |
| 107 | Pied flycatcher *Ficedula hypoleuca* | + | ? | | + |

Table finished

| No. | Species | May 1-8, 2021 | May 1-8, 2022 | April 7-13, 2023 | May 1-5, 2024 |
|---|---|---|---|---|---|
| 108 | Collared flycatcher *Ficedula albicollis* | + | | | |
| 109 | Flycatcher *Ficedula parva* | + | + | | |
| 110 | Savi's warbler *Locustella luscinioides* | | | | + |
| 111 | Grasshopper warbler *Locustella naevia* | | + | | |
| 112 | Sedge warbler *Acrocephalus schoenobaenus* | + | | | + |
| 113 | Jerdon's reed warbler *Acrocephalus agricola* | + | | | + |
| 114 | European reed warbler *Acrocephalus scirpaceus* | + | + | | |
| 115 | Great reed warbler *Acrocephalus arundinaceus* | + | | | + |
| 116 | Booted warbler *Iduna caligata* | | | | + |
| 117 | Willow warbler *Phylloscopus trochilus* | + | + | | + |
| 118 | Chiffchaff *Phylloscopus collybita* | + | + | + | + |
| 119 | Whitethroat *Curruca curruca* | | | | + |
| 120 | Bearded reedling *Panurus biarmicus* | | + | + | + |
| 121 | Common penduline tit *Remiz pendulinus* | + | + | + | |
| 122 | Great titmouse *Parus major* | + | | | |
| 123 | Red-backed shrike *Lanius collurio* | + | + | | + |
| 124 | Magpie *Pica pica* | + | + | + | + |
| 125 | Jackdaw *Corvus monedula* | + | + | + | |
| 126 | Gray crow *Corvus cornix* | + | + | + | |
| 127 | Rook *Corvus frugilegus* | + | + | + | |
| 128 | Crow *Corvus corax* | | + | | |
| 129 | Starling *Sturnus vulgaris* | | + | | |
| 130 | Rose-coloured starling *Pastor roseus* | + | | | + |
| 131 | House sparrow *Passer domesticus* | + | + | + | |
| 132 | Chaffinch *Fringilla coelebs* | | + | + | |
| 133 | Goldfinch *Carduelis carduelis* | | + | | |
| 134 | Rosefinch *Carpodacus erythrinus* | | + | | |
| 135 | Ortolan bunting *Emberiza hortulana* | | + | | + |
| 136 | Reed bunting *Schoeniclus schoeniclus* | | + | + | + |
| 137 | Corn bunting *Miliaria calandra* | | + | | + |
| Total species: | | 93 | 100 | 69 | 71 |

## Выводы
## Conclusion

Число отмеченных видов в первую декаду мая 2024 г. было ощутимо ниже, чем в 2021 [12] и 2022 [13] гг., что, возможно, связано с запаздыванием фенологических сроков по сравнению с сезонами 2021-22 гг.

Вместе с тем в 2024 г. наблюдался ряд видов, не отмечавшихся нами в предыдущие сезоны. Среди них – как возможно гнездящиеся (славка-завирушка, соловьиный сверчок, полевой конек), так и, вероятно, пролетные (северная бормотушка, обыкновенный козодой, рыжая цапля, чирок-свистунок, лебедь-кликун). Весной 2023 г., в более ранние сроки, наблюдались на пролете такие виды, как зарянка, малая желтоголовая трясогузка, серощекая поганка и красноголовый нырок, не отмечавшиеся в другие сезоны.

Различия в погодных условиях и фенологических сроках весенних сезонов обусловливают аспектирование разных видов травяных растений в степных сообществах, что, возможно, также отражается на составе орнитофауны. Так, в 2022 г. наблюдалось аспектирование на степных участках мятлика луковичного [13], практически отсутствовавшего в 2021 г. [12]. В 2024 г. данный вид аспектировал в долинах рек, на водоразделах встречался фрагментарно. Возможно, с ассоциациями, в которых доминировал данный вид, связано присутствие в орнитофауне просянки.

Сравнение данных сезонов 2023-24 гг. с данными сезонов 2021-22 гг. [12, 13] показывает определенное различие видового состава птиц окрестностей оз. Эльтон в весенний период и подтверждает необходимость регулярного мониторинга их популяций на данной территории.

Продолжение изучения орнитофауны Приэльтонья запланировано на май 2025 г. Кроме изученных ранее участков, запланировано обследование района озера Булухта к западу от озера Эльтон.

## Список источников

1. Беляченко А.В., Пискунов В.В., Беляченко А.А. О новых и редких видах птиц в волгоградском Заволжье // *Русский орнитологический журнал.* 2018. Т. 27, № 1563. С. 529-549. EDN: YLZIAU

2. Белик В.П. История изучения птиц Волгоградского Поволжья // *Поволжский экологический журнал.* 2017. № 3. С. 207-239. https://doi.org/10.18500/1684-7318-2017-3-207-239

3. Белик В.П. Еще раз о жаворонках рода *Calandrella* в степях Заволжья // *Русский орнитологический журнал.* 2022. Т. 31, № 2174. С. 1371-1377. EDN: CABETM

4. Букреев С.А., Чернобай В.Ф. Птицы Приэльтонья // *Биоразнообразие и проблемы природопользования в Приэльтонье*: *Сборник научных трудов.* Волгоград, 2006. С. 59-74.

5. Волчанецкий И.Б., Капралова Н.И., Лисецкий А.С. Об орнитофауне Эльтонского района Заволжья и ее реконструкции в связи с полезащитным насаждением // *Зоологический журнал*. 1950. Т. 29, № 6. С. 501-512.

6. Линдеман Г.В., Абатуров Б.Д., Быков А.В., Лопушков В.А. *Динамика населения позвоночных животных Заволжской полупустыни*. М.: Наука, 2005. 252 с. EDN: QKODNX

7. Линдеман Г.В., Лопушков В.А. Многолетние изменения видового состава и численности птиц Приэльтонья и соседних территорий // *Биоразнообразие и проблемы природопользования в Приэльтонье*: *Сборник научных трудов.* Волгоград, 2006. С. 74-80. EDN: RDWRMX

8. Линдеман Г.В., Лопушков В.А. Стрепет Tetrax tetrax в полупустынном Заволжье // *Русский орнитологический журнал.* 2013. Т. 22, № 876. С. 1225-1233. EDN: PZGZQR

## References

1. Belyachenko A.V., Piskunov V.V., Belyachenko A.A. On new and rare species of birds in Volgograd Zavolzhye. *Russkiy ornitologicheskiy zhurnal.* 2018;27(1563):529-549. (In Russ.)

2. Belik V.P. History of bird studies in the Volgograd region. *Povolzhskiy Journal of Ecology*. 2017;3:207-239. (In Russ.) https://doi.org/10.18500/1684-7318-2017-3-207-239

3. Belik V.P. Once again about larks of the genus *Calandrella* in the steppes of the Trans-Volga region. *Russkiy ornitologicheskiy zhurnal*. 2022;31(2174):1371-1377. (In Russ.)

4. Bukreev S.A., Chernobay V.F. Birds of the Elton region. *Bioraznoobrazie i problemy prirodopolzovaniya v Prielton'e*: *Sbornik nauchnykh trudov.* Volgograd, Russia, 2006:59-74. (In Russ.)

5. Volchanetsky I.B., Kapralova N.I., Lisetsky A.S. On the avifauna of the Elton district of the Trans-Volga region and its reconstruction in connection with a protective plantation. *Zoologicheskiy Zhurnal.* 1950;6:501-512. (In Russ.)

6. Lindeman G.V., Abaturov B.D., Bykov A.V., Lopushkov V.A. *Dynamics of the population of vertebrates of the Trans-Volga semi-desert.* Moscow, Russia: Nauka, 2005:252. (In Russ.)

7. Lindeman G.V., Lopushkov V.A. Long-term changes in the species composition and abundance of birds in the Elton region and neighboring territories. *Bioraznoobrazie i problemy prirodopolzovaniya v Prielton'e*: *Sbornik nauchnykh trudov.* Volgograd, Russia, 2006:74-80. (In Russ.)

8. Lindeman G.V., Lopushkov V.A. The little bustard Tetrax tetrax in the semi-desert Trans-Volga region. *Russkiy ornitologicheskiy zhurnal*. 2013;22(876):1225-1233. (In Russ.)

9. Мамаев А.Б. Структура орнитофауны открытых биотопов северной части Прикаспийской низменности // *Вопросы степеведения.* 2013. № 10. С. 59-61.

10. Опарин М.Л. Современное население наземногнездящихся птиц степного Заволжья и его динамика в XX столетии // *Русский орнитологический журнал.* 2020. Т. 29, № 1942. С. 2969-2979. EDN: HVTIVI

11. Пименов В.Н., Белик В.П. Степной орел Aquila nipalensis в полупустынном Заволжье Волгоградской области // *Русский орнитологический журнал.* 2023. Т. 32, № 2331. С. 3463-3478.

12. Рупасов С.В., Комарова Е.В., Кильпио С.Д., Сидоров М.С. и др. Материалы к орнитофауне окрестностей озера Эльтон весной 2021 года // *Русский орнитологический журнал*. 2022. Т. 31, № 2154. С. 364-374. EDN: IDUPVR

13. Рупасов С.В., Комарова Е.В., Дегтярева К.Е., Исайчев А.А. и др. Материалы к орнитофауне окрестностей озера Эльтон в весенний период 2022 года // *Русский орнитологический журнал*. 2022. Т. 31, № 2213. С. 3387-3398. EDN: TNNDES

14. Быков А.В., Бухарева О.А. Современное состояние кустарниковой растительности байрачного типа в окрестностях оз. Эльтон // *Аридные экосистемы*. 2016. Т. 22, № 1 (66). С. 70-76. EDN: TRGZGG

15. Рябицев В.К. *Птицы Европейской части России*: Справочник-определитель: В 2 т. Москва – Екатеринбург: Кабинетный ученый, 2020. 424 с. EDN: DPUYKT

9. Mamaev A.B. The structure of the avifauna of open biotopes of the northern part of the Caspian lowland. *Voprosy stepevedeniya.* 2013;10:59-61. (In Russ.)

10. Oparin M.L. Recent fauna of ground-nesting birds in Transvolga steppes and its dynamics in the 20th century. *Russkiy ornitologicheskiy zhurnal.* 2020;29(1942):2969-2979. (In Russ.)

11. Pimenov V.N., Belik V.P. Steppe eagle Aquila nipalensis in the semi-desert Trans-Volga region of the Volgograd region. *Russkiy ornitologicheskiy zhurnal.* 2023;32(2331):3463-3478. (In Russ.)

12. Rupasov S.V., Komarova E.V., Kilpio S.D., Sidorov M.S. et al. Materials for the avifauna of the vicinity of Lake Elton in the spring of 2021. *Russkiy ornitologicheskiy zhurnal.* 2022;31(2154):364-374. (In Russ.)

13. Rupasov S.V., Komarova E.V., Degtyareva K.E., Isaichev A.A. et al. Materials on the avifauna of the vicinity of Lake Elton in the spring of 2022. *Russkiy ornitologicheskiy zhurnal.* 2022;31(2213):3387-3398. (In Russ.)

14. Bykov A.V., Bukhareva O.A. The current state of shrubby vegetation of the bayrach type in the vicinity of the lake Elton. *Aridnye ekosistemy*. 2016;22(1 (66)):70-76. (In Russ.)

15. Ryabtsev V.K. *Birds of the European part of Russia*: a reference book: in 2 volumes. Moscow – Yekaterinburg, Russia: Kabinetniy ucheniy, 2020:424. (In Russ.)

**Сведения об авторах**

**Сергей Валерьевич Рупасов,** преподаватель, Центр «На Донской», ГБПОУ «Воробьевы горы»; 115419, Россия, Москва, Донская ул., 37; e-mail: sergei_rupasov@mail.ru

**Екатерина Викторовна Комарова,** преподаватель, Центр «На Донской», ГБПОУ «Воробьевы горы»; 115419, Россия, Москва, Донская ул., 37; e-mail: 5735360@mail.ru

**Кира Евгеньевна Дегтярева,** учащийся, Центр «На Донской», ГБПОУ «Воробьевы горы»; 115419, Россия, Москва, Донская ул., 37; e-mail: evsmelnik@mail.ru

**Татьяна Антоновна Мельникова,** учащийся, Центр «На Донской», ГБПОУ «Воробьевы горы»; 115419, Россия, Москва, Донская ул., 37; e-mail: tanmela@mail.ru

**Георгий Антонович Трусов,** учащийся, Центр «На Донской», ГБПОУ «Воробьевы горы»; 115419, Россия, Москва, Донская ул., 37; e-mail: ann.teplova@mail.ru

**Ульяна Федоровна Пахлеванова,** учащийся, Центр «На Донской», ГБПОУ «Воробьевы горы»; 115419, Россия, Москва, Донская ул.; 37, e-mail: ms.pamari@inbox.ru

**Information about the authors:**

**Sergey V. Rupasov,** Lecturer, Center “On Donskoy”, SBPEI “Vorobyovy Gory” (37 Donskaya St., Moscow, 115419, Russian Federation); e-mail: sergei_rupasov@mail.ru

**Ekaterina V. Komarova,** Lecturer, Center “On Donskoy”, SBPEI “Vorobyovy Gory” (37 Donskaya St., Moscow, 115419, Russian Federation); e-mail: 5735360@mail.ru

**Kira E. Degtyareva,** student, Center “On Donskoy”, SBPEI “Vorobyovy Gory” (37 Donskaya St., Moscow, 115419, Russian Federation); e-mail: evsmelnik@mail.ru

**Tatyana A. Melnikova,** student, Center “On Donskoy”, SBPEI “Vorobyovy Gory” (37 Donskaya St., Moscow, 115419, Russian Federation); e-mail: tanmela@mail.ru

**Georgy A. Trusov,** student, Center “On Donskoy”, SBPEI “Vorobyovy Gory” (37 Donskaya St., Moscow, 115419, Russian Federation); e-mail: ann.teplova@mail.ru

**Ulyana F. Pakhlevanova,** student, Center “On Donskoy”, SBPEI “Vorobyovy Gory” (37 Donskaya St., Moscow, 115419, Russian Federation); e-mail: ms.pamari@inbox.ru

Статья поступила в редакцию 02.10.2024
Одобрена после рецензирования 20.10.2024
Принята к публикации 06.11.2024

The article was submitted to the editorial office October 02, 2024
Approved after reviewing October 20, 2024
Accepted for publication November 06, 2024

**ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ**

Оригинальная научная статья
УДК 796.8: 796.015: 612.176
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-122-128

# Влияние тренировочных нагрузок на сердечно-сосудистую систему в силовых видах спорта

**Сергей Юрьевич Никитченко, Дмитрий Валерьевич Карпов, Исмаил Саид-Хасанович Мусаев**

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

**Автор, ответственный за переписку:** Никитченко Сергей Юрьевич; naukaisport@mail.ru

**Аннотация**
В статье рассматривается влияние регулярных тренировочных нагрузок на состояние сердечно-сосудистой системы у спортсменов, занимающихся силовыми видами спорта. Проанализированы физиологические изменения, возникающие в ответ на интенсивные физические нагрузки, рассмотрены потенциальные риски и способы их минимизации в процессе становлений спортивного мастерства. В качестве эмпирической базы исследований использованы данные, полученные в ходе обследования 90 студентов-спортсменов РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, занимающихся силовыми видами спорта, в условиях Центра функциональной диагностики в период углубленного медицинского обследования. Цель исследований – выявление особенностей адаптации сердечно-сосудистой системы к тренировочным нагрузкам в силовых видах спорта. Программа исследований предполагала использование медико-биологических методов с измерением частоты сердечных сокращений, артериального давления, индекса массы миокарда левого желудочка, ЭКГ и ЭхоКГ для оценки функциональных изменений и адаптации сердца к нагрузкам с ростом спортивного мастерства. В результате исследований выявлено, что с ростом спортивного мастерства происходят адаптационные изменения в миокарде, артериальном давлении и частоте сердечных сокращений: экономизация деятельности сердечно-сосудистой системы – до 20%. Однако при недостаточном контроле может повышаться до 30% риск гипертрофии миокарда и гипертонии. В работе определены способы профилактики перегрузок и даны рекомендации по безопасному и эффективному построению тренировочного процесса. Результаты проведенных исследований могут быть полезны спортсменам, тренерам, врачам спортивной медицины и специалистам по физической реабилитации.

**Ключевые слова**
сердечно-сосудистая система, силовые виды спорта, тренировки, гипертрофия миокарда, артериальное давление, адаптация

**Для цитирования**
Никитченко С.Ю., Карпов Д.В., Мусаев И.С.-Х. Влияние тренировочных нагрузок на сердечно-сосудистую систему в силовых видах спорта // *Тимирязевский биологический журнал*. 2024. Т. 2, № 4. С. 122-128. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-122-128

**HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY**

Research article
https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-122-128

# Effect of training loads on the cardiovascular system in strength sports

**Sergey Yu. Nikitchenko, Dmitry V. Karpov, Ismail S.-Kh. Musaev**

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

**Corresponding author:** Sergey Yu. Nikitchenko; naukaisport@mail.ru

**Abstract**
The article examines the effect of regular training loads on the cardiovascular system of athletes involved in strength sports. Physiological changes arising in response to intense physical activity are analyzed, potential risks and ways of minimizing

them in the process of developing athletic skills are considered. The empirical basis of the study was the data obtained during the examination of 90 athletes, students of Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, involved in strength sports, in the conditions of the Functional Diagnostics Center during the period of in-depth medical examination. The aim of the study was to identify the features of cardiovascular system adaptation to training loads in strength sports. The study program included biomedical methods with measurement of heart rate (HR), arterial blood pressure (BP), left ventricular mass index (LVMI), ECG and EchoCG to assess functional changes and adaptation of the heart to loads with the growth of athletic skills. The study revealed that with the growth of athletic skills, adaptive changes occur in the myocardium, arterial blood pressure and heart rate: economization of the cardiovascular system was up to 20%. However, with insufficient control, the risk of myocardial hypertrophy and hypertension may increase up to 30%. The work defines methods for preventing overloads and gives recommendations for the safe and effective training. The results may be useful for athletes, coaches, sports medicine doctors and physical rehabilitation specialists.

**Keywords**
cardiovascular system, strength sports, training, myocardial hypertrophy, arterial blood pressure, adaptation

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

**For citation**
Nikitchenko S.Yu., Karpov D.V., Musaev I.S.-Kh. Effect of training loads on the cardiovascular system in strength sports. *Timiryazev Biological Journal*. 2024;2(4):122-128. https://doi.org/10.26897/2949-4710-2024-2-4-122-128

## Введение
## Introduction

Влияние физических нагрузок на сердечно-сосудистую систему остается одной из ключевых тем спортивной медицины. Силовые виды спорта (пауэрлифтинг, тяжелая атлетика, бодибилдинг) предъявляют высокие требования к организму, вызывая значительные адаптационные изменения. Однако такие тренировки сопровождаются повышенными нагрузками на сердце, что может увеличивать риск гипертонии, гипертрофии миокарда и других патологий.

В последние десятилетия в мире наблюдается рост популярности силовых тренировок среди молодежи, однако до сих пор недостаточно исследований, посвященных долгосрочным эффектам этих нагрузок, влияющих на сердечно-сосудистую систему [1].

Современные исследования показали, что при правильной организации тренировочного процесса силовые нагрузки могут способствовать улучшению сердечно-сосудистого здоровья, однако избыточные нагрузки и неправильный режим восстановления повышают риски [2].

У спортсменов, занимающихся силовыми видами спорта, часто наблюдается развитие гипертрофии миокарда левого желудочка, что может быть связано с интенсивными и высоконагрузочными тренировками, приводящими к изменению структуры сердечной мышцы [1]. Ряд исследований подтверждает, что систематические силовые тренировки приводят к концентрической гипертрофии миокарда, то есть утолщению стенок левого желудочка без значительного увеличения его объема [1, 3, 4]. В отличие от аэробных нагрузок, когда наблюдается эксцентрическая гипертрофия (увеличение размеров камер сердца), у силовых атлетов сердце адаптируется к кратковременным, но экстремальным нагрузкам.

Исследования указывают на то, что интенсивные силовые упражнения вызывают кратковременное повышение артериального давления до 250-300 мм рт. ст., что значительно превышает нормы и может стать причиной гипертонии у предрасположенных людей [5].

Также выявлено, что умеренные силовые тренировки в сочетании с аэробными упражнениями способствуют укреплению сердечно-сосудистой системы и снижению риска атеросклероза [6]. Врачебный контроль и планирование тренировочного процесса в силовых видах спорта важны для снижения рисков, связанных с перегрузками сердечно-сосудистой системы, а также для минимизации кардиологических рисков важным является соблюдение режима отдыха и восстановления [7, 8].

**Цель исследований:** выявление особенностей адаптации сердечно-сосудистой системы к тренировочным нагрузкам в силовых видах спорта.

## Методика исследований
## Research method

Исследования проводились на базе РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева среди 90 студентов-спортсменов 18-25 лет, занимающихся силовыми видами спорта: пауэрлифтингом – 26 чел., тяжелой атлетикой – 28 чел., бодибилдингом – 36 чел. По уровню квалификации группы были сформированы следующим образом: в группу А вошли начинающие спортсмены (менее 1 года тренировок, n = 80), в группу Б – спортсмены с уровнем подготовки II и III разряда (1-3 года, n = 90), в группу В – профессионалы (КМС, МС) (более 3 лет тренировок, n = 80).

Программа исследований, которые проводили при прохождении спортсменами ежегодного углубленного медицинского обследования на базе функционально-диагностического центра МБУ ИНО ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в подготовительный период годичного цикла, предполагала использование медико-биологических

методов. Все показатели фиксировались без физических нагрузок и заносились в медицинские карты испытуемых. Для изучения образа жизни, режима питания, режима тренировок использовался анамнез.

Инструментальные методы исследований предполагали измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС), артериального давления (АД), индекса массы миокарда левого желудочка (ИММЛЖ), ЭКГ и ЭхоКГ для оценки функциональных изменений и адаптации сердца к нагрузкам с ростом спортивного мастерства. Медико-биологическое тестирование проводилось на специальном оборудовании медицинским персоналом функционально-диагностического центра.

Оценка показателей сердечно-сосудистой системы у спортсменов осуществлялась на основе анализа их медицинских карт, предоставленных после прохождения медицинского осмотра, с обработкой методами математической статистики.

## Результаты и их обсуждение
## Results and discussion

Фактические результаты измерения показателей работы сердечно-сосудистой системы у спортсменов, занимающихся силовыми видами спорта, у испытуемых групп представлены на рисунке.

Результаты исследований показывали, что с увеличением стажа занятий и ростом спортивного мастерства происходит снижение показателя ЧСС в покое на 6,7 уд/мин (9,7%) у начинающих, на 13,8 уд/мин (19,4%) – у высококвалифицированных. Это свидетельствовало об улучшении сердечного тонуса, более эффективной работе сердечно-сосудистой системы и общей тренированности организма в процессе многолетних тренировок. Также это является также важным маркером здоровья, который показывает нам,

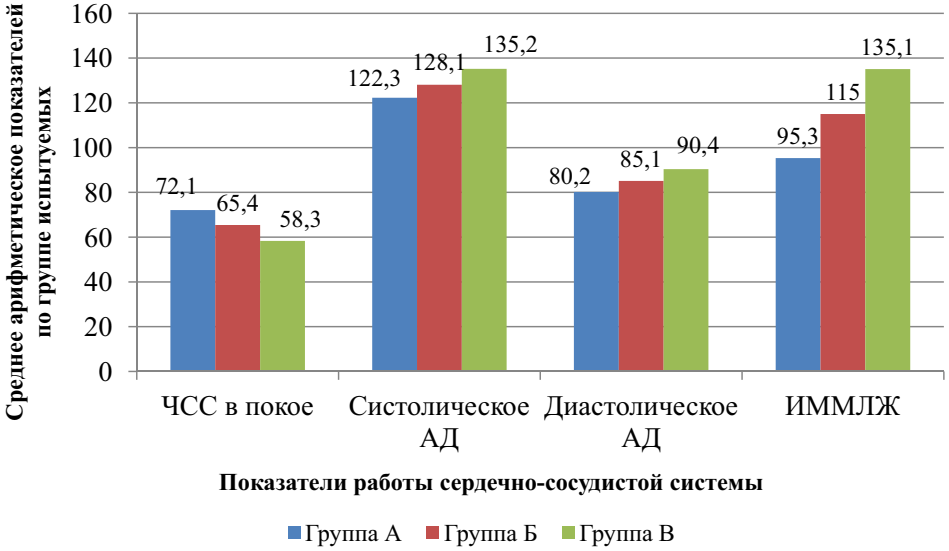



**Рис.** Результаты измерения показателей работы сердечно-сосудистой системы у групп испытуемых: ЧСС в покое, уд/мин; систолическое АД, мм рт. ст.; диастолическое АД, мм рт. ст.; ИММЛЖ, г/м²

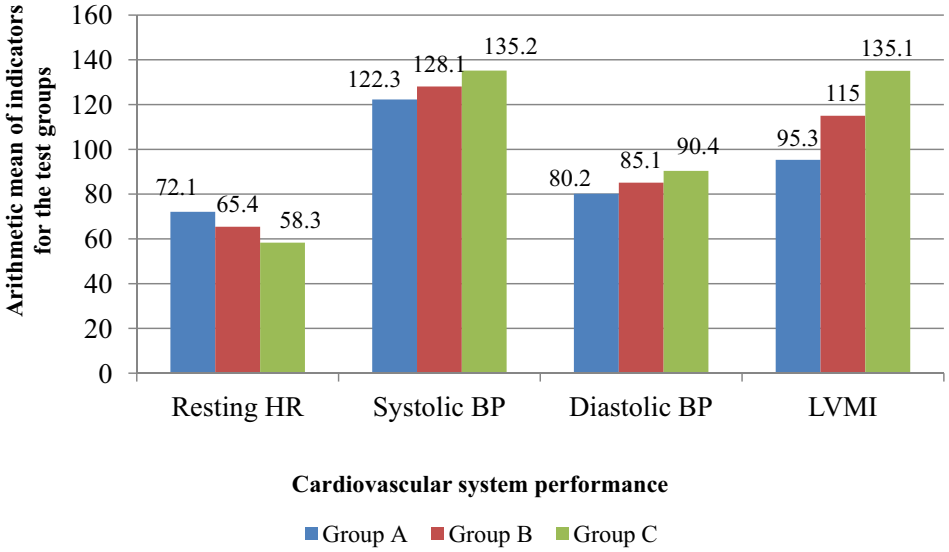



**Fig.** Results of measuring cardiovascular system indicators in the test groups: Resting HR, bpm; Systolic BP, mm Hg; Diastolic BP, mm Hg; LVMI, g/m²

что сердце у испытуемых стало сильнее и экономичнее в своей работе у спортсменов силовых видов спорта.

Повышение систолического и диастолическое АД чаще всего является показателем естественной адаптации к систематическим физическим нагрузкам. От новичков до мастеров спорта международного класса прирост систолического АД может составить 12,9 мм рт. ст., диастолического АД – 9,8 мм рт. ст. Однако при значительном или устойчивом повышении давления, которое встречается у представителей силовых видов спорта, важно контролировать его, чтобы избежать долгосрочных негативных последствий для сердца и сосудов.

Гипертрофия миокарда в наших исследованиях была выражена сильнее у профессионалов, о чем свидетельствует повышение ИММЛЖ на 29,6% в группе В. Повышение ИММЛЖ у спортсменов силовой направленности – это показатель нормальной адаптации к высоким нагрузкам и с ростом спортивной квалификации в фактических единицах может достигать 40 г/м². Однако если индекс выходит за пределы физиологической нормы или сопровождается повышенным давлением, нарушением ритма сердца или снижением физической выносливости, необходим дальнейший систематический врачебный контроль.

Физические нагрузки разных типов по-разному влияют на сердечно-сосудистую систему. В зависимости от преобладающего вида тренировок сердце адаптируется за счет либо увеличения камер, либо утолщения стенок миокарда (табл. 1).

Под воздействием регулярных тренировок в циклических видах спорта увеличиваются размеры камер сердца, особенно левого желудочка [9]. Такое изменение называется эксцентрической гипертрофией миокарда. Увеличенный объем сердца позволяет прокачивать больше крови за один удар, что снижает частоту сердечных сокращений в покое.

Упражнения с отягощениями создают более высокое сопротивление для сердечно-сосудистой системы, вызывая резкое повышение артериального давления во время подъема тяжестей, а сердце адаптируется за счет утолщения стенок левого желудочка. Увеличенная толщина стенки позволяет сердцу преодолевать высокое сопротивление и эффективно прокачивать кровь при силовых нагрузках.

Разные виды физической активности вызывают различные адаптационные изменения сердца. У аэробных спортсменов сердце увеличивается за счет расширения камер для эффективной перекачки крови, а у силовых атлетов оно становится более мощным за счет утолщения стенок, чтобы справляться с резкими скачками нагрузки. Оба типа гипертрофии считаются физиологической нормой, но при чрезмерном утолщении стенок сердца требуется контроль, так как это может повысить риск сердечно-сосудистых заболеваний [10, 11].

В процессе анализа данных инструментальных исследований ЭКГ и ЭхоКГ была сформирована распространенность патологических случаев отклонений со стороны сердечно-сосудистой системы у испытуемых спортсменов, которые приведены в таблице 2.

Таблица 1

**Сравнительный анализ с различными видами спорта**[1]

| Вид спорта | ЧСС в покое | Тип гипертрофии миокарда | Риск гипертонии |
|---|---|---|---|
| Бег на длинные дистанции | 50-55 уд/мин | Эксцентрическая | Низкий |
| Плавание | 52-58 уд/мин | Эксцентрическая | Низкий |
| Пауэрлифтинг | 58-65 уд/мин | Концентрическая | Высокий |
| Бодибилдинг | 60-68 уд/мин | Концентрическая | Средний |
| Кроссфит | 55-62 уд/мин | Смешанный | Средний |

[1] Баевский Р.М. Адаптационные возможности организма и риск заболеваний. М.: Медицина, 1997. 234 с.

Table 1

**Comparative analysis to different sports**[2]

| Sports type | Resting HR | Myocardial hypertrophy type | Hypertension risk |
|---|---|---|---|
| Long distance running | 50-55 bpm | Eccentric | Low |
| Swimming | 52-58 bpm | Eccentric | Low |
| Powerlifting | 58-65 bpm | Concentric | High |
| Bodybuilding | 60-68 bpm | Concentric | Medium |
| Crossfit | 55-62 bpm | Mixed | Medium |

Таблица 2

**Распространенность сердечно-сосудистых отклонений**

| Патология | Группа А | Группа Б | Группа В |
|---|---|---|---|
| Гипертония (>140/90) | 5% | 15% | 30% |
| Гипертрофия миокарда | 8% | 20% | 35% |
| Аритмии | 3% | 8% | 18% |

Table 2

**Prevalence of cardiovascular abnormalities**

| Pathology | Group A | Group B | Group C |
|---|---|---|---|
| Hypertension (>140/90) | 5% | 15% | 30% |
| Myocardial hypertrophy | 8% | 20% | 35% |
| Arrhythmias | 3% | 8% | 18% |

[2] Baevsky R.M. *Adaptation capabilities of the organism and the risk of diseases.* Moscow, Russia: Meditsina, 1997:234. (In Russ.)

Исследования показали, что у 30% профессиональных атлетов развивается гипертония, а у 35% – гипертрофия миокарда. Проведенные исследования подтверждает негативное влияние и долгосрочный эффект от нагрузок на сердечно-сосудистую систему с ростом спортивного мастерства. Чем выше уровень спортивной квалификации, тем выше риск патологических изменений со стороны сердечно-сосудистой системы.

Факторами риска патологических изменений являются: неконтролируемые чрезмерные силовые нагрузки без адекватного восстановления; недостаток аэробных тренировок; неправильное питание (избыток соли, жиров, недостаток калия и магния); использование фармакологических средств (анаболических стероидов) [12, 13].

Профилактическими мерами могут служить следующие рекомендации: регулярный контроль АД и ЧСС; добавление аэробных тренировок 2-3 раза в неделю; диета с ограничением соли и насыщенных жиров; использование восстановительных методик (массаж, сон, контроль стресса), а также прохождение регулярного углубленного медицинского осмотра два раза в год в условиях специализированных лабораториях функциональной диагностики.

## Выводы
## Conclusions

Исследования показали, что регулярные силовые тренировки вызывают значительные изменения в сердечно-сосудистой системе, хотя большинство адаптационных процессов является положительным – экономизация деятельности сердечно-сосудистой системы составляет до 20%. Однако чрезмерные нагрузки могут повышать до 30% риск гипертрофии миокарда и гипертонии. Для минимизации рисков необходимы регулярный врачебный контроль и сбалансированный тренировочный режим. Также следует обратить внимание на роль аэробных нагрузок в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний.

В дальнейшем целесообразно изучить влияние разных тренировочных методик (кроссфита, гиревого спорта) на сердце. Также необходимо исследовать влияние силовых тренировок на женскую сердечно-сосудистую систему, поскольку на данный момент исследований в этой области недостаточно.

## Список источников

1. Ибрагимов И.Ф., Васенков Н.В., Илюшин О.В. Изменение показателей частоты сердечных сокращений растущего организма при резко увеличенной двигательной активности // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины имени Н.Э. Баумана.* 2017. Т. 231, № 3. С. 86-89. EDN: ZGVWNR

2. Wilmore J.H., Costill D.L., Kenney W.L. *Physiology of sport and exercise*. Human Kinetics, Champaign Il. 2008:648.

3. Григорьева И.В., Плотников А.А., Волкова Е.Г. Влияние физических упражнений на сердечно-сосудистую систему // *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2022. № 1. С. 172-174. EDN: PDAWRU

4. Илюшин О.В., Абзалов Р.А. Изменение показателей ударного объема крови у студентов после выполнения Гарвардского степ-теста // *Теория и практика физической культуры*. 2004. № 1. С. 48

5. Белоцерковский З.Б. *Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов*: Учебное пособие. М.: Изд-во «Советский спорт», 2009. 347 с. EDN: RAZYYJ

6. Plowman S.A., Smith D.L. *Exercise Physiology*: *For Health, Fitness, and Performance*. Lippincott Williams & Wilkins. 2013:734.

7. 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. С. 54-63. EDN: FJCDYS

## References

1. Ibragimov I.F., Vasenkov N.V., Ilyushin O.V. Changes in heart rate indicators of the growing organism at sharply increased physical activity. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny imeni N.E. Baumana.* 2017;231(3):86-89. (In Russ.)

2. Wilmore J.H., Costill D.L., Kenney W.L. *Physiology of sport and exercise.* Human Kinetics, Champaign Il. 2008:648.

3. Grigoreva I.V., Plotnikov A.A., Volkova E.G. Impact of physical exercise on the cardiovascular system. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy.* 2022;1:172-174. (In Russ.)

4. Ilyushin O.V., Abzalov R.A. Changes in the indicators of the cardiac stroke volume in students after performing the Harvard Step Test. *Teoriya i pracktika fizicheskoy kultury.* 2004;1:48. (In Russ.)

5. Belotserkovsky Z.B. *Ergometric and cardiological criteria of physical performance in athletes*: a textbook. Moscow, Russia: Sovetskiy Sport, 2009:347. (In Russ.)

6. Plowman S.A., Smith D.L. *Exercise Physiology*: *For Health, Fitness, and Performance*. Lippincott Williams & Wilkins. 2013:734.

7. 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.)

8. Никитченко С.Ю. Аэробные нагрузки и их влияние на сердечно-сосудистую систему спортсменов, занимающихся силовыми видами спорта // *Сборник материалов V Международной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований*: *перспективы развития»*. Чебоксары, 2018. С. 132-133. EDN: XOJYDJ

9. Смоленский А.В., Беличенко О.И., Тарасов А.В., Золичева С.Ю. *Заболевания спортсменов*: Учебное пособие. Москва: ООО Издательство «Спорт», 2020. 216 с. EDN: GKGWZU

10. Zatsiorsky V.M. *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2020:344.

11. Яковлева Л.В., Фархутдинов Р.Р., Юмали С.Х., Табынгулова Р.Р. Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы и свободнорадикального окисления у юных спортсменов // *Вестник новых медицинских технологий*. 2014. № 1. С. 69. https://doi.org/10.12737/5021

12. Илюшин О.В., Газизов Ф.Г., Шайхиев Р.Р., Хуснетдинова Р.И. Исследование влияния физической активности на когнитивные функции студентов // *Глобальный научный потенциал*. 2023. № 10 (151). С. 104-106. EDN: TZNMDL

13. Белоцерковский З.Б., Любина Б.Г. *Сердечная деятельность и функциональная подготовленность у спортсменов*: *норма и атипичные изменения*: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2019. 276 с. EDN: RAZYYT

8. Nikitchenko S.Yu. Aerobic exercise and its impact on the cardiovascular system of athletes engaged in strength sports. *V Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya 'Aktualnye napravleniya nauchnykh issledovaniy*: *perspektivy razvitiya'. April 23, 2018.* Cheboksary, Russia: Interactive plus, 2018:132-133. (In Russ.)

9. Smolenskiy A.V., Belichenko O.I., Tarasov A.V., Zolicheva S.Yu. *Diseases of athletes*: a textbook. Moscow, Russia: Sport, 2020:216. (In Russ.)

10. Zatsiorsky V.M. *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2020:344.

11. Yakovleva L.V., Farkhutdinov R.R., Yumali S.H., Tabyngulova R.R. Assessment of functional state of the cardio-vascular system and free radical oxidation processes in young athletes. *Journal of New Medical Technologies.* 2014;1:69. (In Russ.) https://doi.org/10.12737/5021

12. Ilyushin O.V., Gazizov F.G., Shaikhiev R.R., Khusnetdinova R.I. A study of the influence of physical activity on the cognitive functions of students. *Global Scientific Potential.* 2023;10(151):104-106. (In Russ.)

13. Belotserkovsky Z.B., Lyubina B.G. *Cardiac activity and functional fitness in athletes*: *norm and atypical changes*: a textbook. St. Petersburg, Russia: Lan, 2019:276. (In Russ.)

## Сведения об авторах

**Сергей Юрьевич Никитченко,** кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: naukaisport@mail.ru, https://orcid.org/0009-0007-1490-5539

**Дмитрий Валерьевич Карпов,** старший преподаватель кафедры физической культуры, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: karpov.d@rgau-msha.ru

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

## About the authors

**Sergey Yu. Nikitchenko,** CSc (Ag), Associate Professor at the Department of Physical Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: naukaisport@mail.ru; https://orcid.org/0009-0007-1490-5539

**Dmitry V. Karpov,** Senior Lecturer at the Department of Physical Education, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127434, Russian Federation); e-mail: karpov.d@rgau-msha.ru

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

Статья поступила в редакцию 06.11.2024
Одобрена после рецензирования 20.12.2024
Принята к публикации 26.12.2024

The article was submitted to the editorial office November 06, 2024
Approved after reviewing December 20, 2024
Accepted for publication December 26, 2024

**ТИМИРЯЗЕВСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ / TIMIRYAZEV BIOLOGICAL JOURNAL**

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

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

---

Принято в печать 30.04.2025 г. Формат 60×84/8 8,06 печ. л.
Гарнитура шрифта «Times New Roman»

---