

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 2 (50)

2025

СОДЕРЖАНИЕ

БОТАНИКА

- Раджапов Ф. С., Салахутдинов И. Б., Камбурова В. С., Латыпова Э. А., Буриев З. Т.**
Современные исследования молекулярной идентификации *Fusarium solani* 3

ЗООЛОГИЯ

- Кузьмин А. В.** Экологические особенности пространственной структуры
и численности популяции домашней собаки (*Canis familiaris*)
в условиях многоэтажной застройки г. Пензы 17

ЭКОЛОГИЯ

- Гамм Т. А., Гривко Е. В., Гамм А. А.** Оценка фитотоксичности выбуренных пород
после обжига 30

- Достовалова Д. А., Глухов А. З., Подгородецкий Н. С., Ионуц Ю. С., Шумакова О. С.**
Фитоиндикация антропогенно трансформированных почв
в условиях Донбасса 38

- Шаврина И. В., Чекарева О. В., Глуховская М. Ю., Гарицкая М. Ю.** Оценка
экологического состояния воды озера Малахово (г. Оренбург, Россия) 47

- Иванов А. И., Ильин В. Ю., Полумордвинов О. А.** Биологическое разнообразие
экосистемы Государственного ботанического заказника регионального
значения «Степь Большой Ендовы» в Пензенской области
и проблемы его охраны 59

- Магомедов У. М., Магомедов М. Ш., Алиева З. А., Раикуева З. И., Магомедова М. А.**
Состояние сообщества грызунов, оценка их вредоносности на объектах
сельскохозяйственного назначения в предгорной зоне Республики Дагестан 72

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

- Четина О. А., Жуланова Н. С.** Изменение некоторых физиолого-биохимических
показателей *Avena sativa* L. в условиях засоления и кислотности почвы 83

UNIVERSITY PROCEEDINGS VOLGA REGION

NATURAL SCIENCES

№ 2 (50)

2025

CONTENTS

BOTANY

- Rajapov F.S., Salakhutdinov I.B., Kamburova V.S., Latypova E.A., Buriev Z.T.**
Modern research on molecular identification of *Fusarium solani* 3

ZOOLOGY

- Kuzmin A.V.** Ecological features of the spatial structure and population size
of the domestic dog (*Canis familiaris*) in the conditions
of multi-storey buildings in Penza 17

ECOLOGY

- Gamm T.A., Grivko E.V., Gamm A.A.** Evaluation of phytotoxicity
of drilled rocks after roasting 30

- Dostovalova D.A., Glukhov A.Z., Podgorodetsky N.S., Ionuts Yu.S., Shumakova O.S.**
Phytoindication of anthropogenic transformed soils in the conditions of Donbass..... 38

- Shavrina I.V., Chekmareva O.V., Glukhovskaya M.Yu., Garitskaya M.Yu.** Assessment
of the ecological state of the water of Lake Malakhovo (Orenburg, Russia) 47

- Ivanov A.I., Ilyin V.Yu., Polumordvinov O.A.** Biological diversity of ecosystem
of the State Botanical Reserve of Regional Importance "Bolshoy Endova Steppe"
in the Penza Region and problems of its protection 59

- Magomedov U.M., Magomedov M.Sh., Alieva Z.A., Rashkueva Z.I., Magomedova M.A.**
State of the rodent community, assessment of their harmfulness at agricultural
sites in the foothill zone of the Republic of Dagestan 72

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

- Chetina O.A., Zhulanova N.S.** Changes in some physiological and biochemical
parameters *Avena sativa* L. in conditions of salinity and soil acidity 83

УДК 577.29

doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-1

Современные исследования молекулярной идентификации *Fusarium solani*

Ф. С. Раджапов¹, И. Б. Салахутдинов², В. С. Камбурова³,
Э. А. Латыпова⁴, З. Т. Буриев⁵

^{1,2,3,5}Центр геномики и биоинформатики Академии наук
Республики Узбекистан, Ташкентская область, Республика Узбекистан

⁴Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

¹farhod.radjapov@yandex.ru, ²ilkhom.salakhutdinov@genomics.uz,
³venera_k75@mail.ru, ⁴latypova.e.a@pgau.ru, ⁵zburiev@genomics.uz

Аннотация. *Актуальность и цели.* Грибы рода *Fusarium* являются представителями биологически неоднородной группы, в состав которой входят сапрофиты и факультативные паразиты. Традиционные морфологические методы идентификации представителей данного рода часто недостаточно надежны из-за вариабельности признаков и сложности комплекса видов *Fusarium solani*. *Материалы и методы.* Рассмотрены современные молекулярно-генетические методы, основанные на анализе последовательностей таких маркеров, как ITS, TEF-1 α , RPB2, β -тубулин, NIR, РНО и гена SIX, которые существенно повысили точность диагностики, позволив различать близкородственные виды, расы и специализированные формы. В последнее время особое внимание уделяется преимуществам мультилокусного подхода, который признан «золотым стандартом» для идентификации и таксономического анализа представителей *Fusarium solani*. Также рассмотрены возможности и ограничения применения секвенирования нового поколения (NGS), включая WGS, tNGS и mNGS, для комплексного геномного анализа и диагностики патогенов. *Результаты и выводы.* Отмечается, что интеграция фенотипических и молекулярных данных, а также развитие геномных технологий открывают отличные перспективы для стандартизации и повышения точности идентификации *Fusarium solani* на видовом и внутривидовом уровнях.

Ключевые слова: *Fusarium solani*, идентификация, секвенирование, ITS, TEF-1 α , RPB2, β -тубулин, NIR, РНО, SIX

Для цитирования: Раджапов Ф. С., Салахутдинов И. Б., Камбурова В. С., Латыпова Э. А., Буриев З. Т. Современные исследования молекулярной идентификации *Fusarium solani* // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 2. С. 3–16. doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-1

Modern research on molecular identification of *Fusarium solani*

F.S. Rajapov¹, I.B. Salakhutdinov², V.S. Kamburova³, E.A. Latypova⁴, Z.T. Buriev⁵

^{1,2,3,5}Center of genomics and bioinformatics Academy of Sciences
of the Republic of Uzbekistan, Tashkent region, Uzbekistan

⁴Penza State Agrarian University, Penza, Russia

¹farhod.radjapov@yandex.ru, ²ilkhom.salakhutdinov@genomics.uz,
³venera_k75@mail.ru, ⁴latypova.e.a@pgau.ru, ⁵zburiev@genomics.uz

Abstract. *Background.* Fungi of the genus *Fusarium* are representatives of a biologically heterogeneous group, which includes saprophytes and facultative parasites. Traditional morphological methods for identifying representatives of this genus are often not reliable enough due to the variability of features and the complexity of the *Fusarium solani* species complex. *Materials and methods.* The review analyzes modern molecular genetic methods based on the analysis of sequences of markers such as ITS, TEF-1 α , RPB2, β -tubulin, NIR, PHO and the SIX gene, which have significantly increased the accuracy of diagnosis, making it possible to distinguish closely related species, races and specialized forms. Recently, special attention has been paid to the advantages of the multilocus approach, which is recognized as the “gold standard” for the identification and taxonomic analysis of *Fusarium solani* representatives. This research also examines the potential and limitations of next-generation sequencing (NGS), including WGS, tNGS, and mNGS, for comprehensive genomic analysis and diagnostics of pathogens. *Results and conclusions.* It is noted that the integration of phenotypic and molecular data, as well as the development of genomic technologies, open up new prospects for standardization and increased accuracy of *Fusarium solani* identification at the species and intraspecific levels.

Keywords: *Fusarium solani*, identification, sequencing, ITS, TEF-1 α , RPB2, β -tubulin, NIR, PHO, SIX

For citation: Rajapov F.S., Salakhutdinov I.B., Kamburova V.S., Latypova E.A., Buriev Z.T. Modern research on molecular identification of *Fusarium solani*. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2025;(2):3–16. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-1

Введение

Традиционная идентификация грибов рода *Fusarium* основывалась на морфологических признаках (форма и размер конидий, колониальные характеристики), однако эти признаки могут быть нестабильными и приводить к ошибочной идентификации [1–4]. Молекулярно-генетические методы, основанные на анализе последовательностей ДНК, значительно повысили точность и надежность идентификации [5–7].

Точная идентификация *F. solani* на молекулярном уровне имеет решающее значение для эффективной диагностики заболеваний, проведения эпидемиологических исследований и разработки устойчивых сортов сельскохозяйственных культур [8]. Более того, внутривидовая дифференциация, позволяющая различать расы и формы, специализированные к определенным хозяевам, необходима для понимания тонкостей взаимодействия патогена и растения и разработки целевых стратегий управления заболеваниями. Таким образом, современные исследования сосредоточены на разработке и совершенствовании молекулярных методов, способных обеспечить надежную идентификацию *F. solani* на различных таксономических уровнях.

Гены, используемые в настоящее время для молекулярной идентификации *Fusarium solani*

Внутренний транскрибируемый спейсер (ITS) рибосомальной ДНК (*rDNA*) – ITS-регион рибосомальной ДНК является одним из наиболее широко используемых и признанных молекулярных маркеров в микологии, включая идентификацию грибов рода *Fusarium*. ITS-регион эффективно используется для идентификации *Fusarium* на уровне рода, а зачастую и вида, включая *F. solani*. Например, в исследовании клинических и экологических изолятов *Fusarium* секвенирование ITS оказалось достаточным для идентификации *F. oxysporum* и *F. solani* [9]. Изменчивость последовательностей ITS часто позволяет различать близкородственные виды, что делает его ценным инструментом для первоначальной идентификации. Несмотря на широкое применение, ITS имеет свои ограничения, особенно в отношении комплекса видов *Fusarium solani* (*F. solani* species complex, FSSC). Внутри этого комплекса ITS может не обладать достаточной разрешающей способностью для дифференциации близкородственных видов из-за недостаточных "barcode gaps" [10]. Кроме того, внутригеномная вариация ITS, когда в геноме одного организма присутствуют незначительно различающиеся копии ITS-региона, может приводить к неоднозначным результатам секвенирования и затруднять идентификацию [11]. Таким образом, для окончательной идентификации видов внутри FSSC, особенно при работе с криптическими видами или тесно связанными таксонами, использование только ITS может быть недостаточным, что требует применения дополнительных, более специфичных маркеров.

Ген трансляционного фактора элонгации 1-альфа (*TEF-1α*), кодирующий трансляционный фактор элонгации 1α, стал важнейшим молекулярным маркером в филогенетике и идентификации грибов [12], часто обеспечивая более высокое разрешение, чем ITS, особенно внутри рода *Fusarium* и комплекса FSSC [13]. Например, ген *TEF-1α* использовался для идентификации изолятов *Fusarium* из винограда в Турции [14] и для характеристики видов *Fusarium*, связанных с корневой гнилью фасоли в Уганде [15]. Узбекским ученым удалось идентифицировать три расы изолятов *Fusarium oxysporum* f.sp. *vasinfectum* на основе филогенетического анализа с использованием последовательности гена *TEF1-α* [16]. *TEF-1α* часто демонстрирует более медленную скорость эволюции по сравнению с ITS, что позволяет получать более стабильные филогенетические данные и лучшее разрешение для близкородственных видов. Его последовательности обычно достаточно различаются между близкородственными таксонами, чтобы дифференцировать виды [17, 18]. Также существуют специализированные базы данных [19, 20], такие как *FUSARIUM-ID* v. 3.0 [21, 22], которые в основном используют последовательности *TEF-1α* для точной идентификации и таксономической классификации внутри рода *Fusarium*, включая FSSC [23].

Ген второй субъединицы РНК-полимеразы II (*RPB2*) является еще одним ценным белок-кодирующим маркером, используемым в сочетании с ITS и *TEF-1α* для надежного филогенетического анализа и идентификации видов внутри *Fusarium*, включая FSSC [9, 23, 24]. Например, *RPB2* использовался вместе с *TEF-1α* для точной идентификации видов внутри FSSC в изолятах, выделенных из клубней картофеля [25]. *RPB2* предоставляет независимый филогенетический сигнал, который может дополнять информацию, полученную

из ITS и TEF-1 α , что приводит к более надежным таксономическим заключениям [26]. Последовательности RPB2 используются для филогенетического анализа с использованием различных генетических маркеров, поскольку содержат достаточное количество информативных сайтов для различения близкородственных видов [23, 26]. В филогенетических работах RPB2 часто применяется для идентификации новых или ранее не выявленных видов, а также для уточнения их эволюционных связей. Ген RPB2 рекомендуется использовать как один из генетических маркеров при филогенетическом анализе для молекулярной диагностики и таксономического исследования грибов, особенно в случаях, когда маркеры ITS и TEF1 α не обеспечивают достаточно точную межвидовую и межрасовую идентификацию [23, 26]. Использование данного гена позволит эффективно решать задачи идентификации и классификации, особенно внутри сложных таксономических комплексов, таких как *Fusarium*.

Ген β -тубулина (β -*tub*) является одним из важных молекулярных маркеров, используемых для идентификации и филогенетического анализа грибов рода *Fusarium* [27, 28]. Он кодирует структурный белок, входящий в состав микротрубочек, и обладает достаточным уровнем полиморфизма, что позволяет различать многие виды внутри рода. Ранние исследования также выявили мутации в гене β -тубулина, связанные с устойчивостью к фунгицидам (например, беномилу), что дополнительно подчеркивает важность этого гена для изучения биологии и патогенности грибов [29]. Однако β -тубулин не всегда способен различать все близкородственные виды – например, *F. armeniacum* и *F. acuminatum* или *F. sporotrichioides* и *F. langsethiae* остаются неразличимыми при использовании только этого маркера [30]. В работе Носратабади и соавторов (2018) была продемонстрирована эффективность PCR-RFLP анализа гена β -тубулина для дифференциации 107 штаммов *Fusarium* из различных источников, что подтверждает его практическую значимость в диагностике.

Ген нитрит редуктазы (*NIR*) кодирует фермент, участвующий в метаболизме азота, в частности, в восстановлении нитратов. Этот ген является относительно консервативным, но при этом обладает достаточной вариабельностью, позволяющий проводить идентификацию между различными видами и даже штаммами *Fusarium*, что делает его полезным для филогенетического анализа и видовой идентификации. Однако использование гена *NIR* для молекулярной идентификации и филогенетики *Fusarium* в научной литературе встречается крайне редко и не является общепринятым. Ген нитрит редуктазы (*NIR*) у *Fusarium* является важным для физиологии гриба, но в настоящее время не применяется как основной молекулярный маркер для идентификации или филогенетики этого рода.

Ген фосфат пермеазы (или фосфатный транспортер) (*PHO*) является однокопийным геном, используемым для молекулярной идентификации и таксономического анализа патогенов рода *Fusarium*, в частности *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*. Его использование основано на тех же свойствах, что и у гена нитрит редуктазы (*NIR*): он должен обладать достаточной вариабельностью для различения видов, но быть достаточно консервативным для успешной амплификации. Последовательности гена *PHO* демонстрируют высокий уровень полиморфизма (SNP) между разными видами *Fusarium*. Это позволяет использовать его для создания специфичных для видов праймеров

и дифференциации даже близкородственных видов, которые трудно различить по морфологическим признакам [31]. На основе нуклеотидных последовательностей гена *PHO* разработаны специфические праймеры, которые позволяют идентифицировать различные расы *Fusarium oxysporum f.sp. vasinfectum*, в том числе расы 3 и 8, с помощью аллель-специфической ПЦР (ASPCR) [32]. Ген фосфат пермеазы (*PHO*) является перспективным и эффективным молекулярным маркером для идентификации и таксономического анализа *Fusarium solani*. Его применение в комбинации с другими однокопийными (уникальными) генами (*β-tub*, *TEF-1a* и др.) позволяет повысить точность определения видов и рас, что важно для фитопатологического мониторинга и разработки стратегий борьбы с патогенами.

Гены *SIX* (Secreted in xylem) определяют вариации в специфичности к хозяевам между специализированными формами и расами, что делает их маркерами для диагностики и изучения эволюции патогена [33]. В комплексе видов *Fusarium solani* гены *SIX* менее изучены, однако геномные исследования показывают наличие аналогичных хромосом патогенов с генами, связанными с вирулентностью и адаптацией к хозяевам. Гены *SIX* являются ключевыми эффекторными генами, определяющие патогенность и адаптацию *Fusarium* (особенно *F. oxysporum*) и важными объектами для исследований и практического применения в фитопатологии. Ученые Центра геномики и биоинформатики Академии наук Республики Узбекистан совместно с зарубежными специалистами провели исследования по идентификации патогенов рода *Fusarium* с различными генами, включая гены *SIX* [34].

Мультилокусный подход с использованием комбинаций вышеперечисленных генов считается «золотым стандартом» для точной идентификации и описания новых видов внутри комплекса *Fusarium*. Однонуклеотидные замены в этих генах делают их особенно полезными для различения близкородственных видов. Комбинация этих маркеров в рамках мультилокусного анализа, который позволяет выбрать таксон- и/или штамм-специфичные баркоды второго порядка, значительно повышает точность и надежность молекулярной идентификации рода *Fusarium* и, в частности, внутривидовых представителей *Fusarium solani*, что имеет большое значение для сельского хозяйства, фитопатологии и микологии.

Молекулярная идентификация рас. В классификации внутри комплекса видов *Fusarium solani* представители комплекса сначала объединяются в специализированные формы (*formae speciales*) на основе их специфичности к хозяину, а затем подразделяются на расы на основе их способности заражать определенные сорта или преодолевать конкретные гены устойчивости внутри вида-хозяина [35]. *Fusarium solani* классифицируется на 12 специализированных форм и две расы, различающиеся по специфичности к хозяину и филогенетическим различиям [36–38]. Различные *formae speciales F. solani* демонстрируют разные диапазоны хозяев, в то время как расы внутри специализированных форм могут отличаться по своей вирулентности на различных сортах одного и того же хозяина. Применение мультилокусного секвенирования (MLST) с использованием нескольких генных областей, таких как *EF-1α*, *RPB2* и *ITS* [39–43], для анализа генетического разнообразия и идентификации гаплотипов, коррелирующих с определенными расами или профилями патогенности внутри FSSC [8], обеспечит повышенную точность и разрешение для идентификации видов и рас.

С появлением технологий секвенирования нового поколения (NGS) открылись новые возможности и перспективы в области молекулярной идентификации. Данная технология является превосходным инструментом для лабораторной практики, включая диагностику патогенов [44–47]. В настоящее время в передовых лабораториях применяются три основных подхода к использованию NGS [48]: *полногеномное секвенирование* (WGS) – секвенирование всего генома организма [49], *таргетное секвенирование* (tNGS) – секвенирование только определенных, выбранных участков генома [50], *метагеномное секвенирование* (mNGS) – секвенирование всей ДНК/РНК, выделенной из образца субстрата, для идентификации всех организмов (включая грибы) [51].

Полногеномное секвенирование *Fusarium solani* позволило выявить ключевые особенности его генома, связанные с адаптацией, патогенностью и эволюцией. Секвенирование нового поколения (NGS) позволяет проводить геномный анализ, выявлять новые маркеры и проводить культурнезависимое обнаружение [52]. Передовые технологии секвенирования открывают широкие возможности для понимания генетического разнообразия и эволюционной истории живых организмов и, в частности, FSSC. Единственным ограничивающим фактором может послужить высокая стоимость оборудования и реагентов. А также могут возникнуть трудности с доступностью достаточного объема референсных данных для редких или малоизученных образцов патогенов.

Заключение

Несмотря на значительный прогресс, идентификация *F. solani* остается сложной задачей из-за таксономической сложности комплекса, необходимости стандартизированных протоколов и курируемых баз данных. Интеграция фенотипических и молекулярных данных, а также применение новых геномных технологий, таких как NGS и метагеномики, открывают перспективы для дальнейшего совершенствования методов идентификации *Fusarium solani* на уровне видов, рас и штаммов. При этом необходимо отметить, что молекулярно-генетические методы дополняют классические микробиологические исследования, существенно расширяя арсенал аналитических возможностей ученых.

Список литературы

1. Badiwe M., Fialho R. O., Stevens C. [et al.]. *Fusarium* Species Associated with Diseases of Citrus: A Comprehensive Review // *Journal of Fungi* (Basel). 2025. Vol. 11, № 4. doi: 10.3390/jof11040263
2. O'Donnell K., Sutton D. A., Fothergill A. [et al.]. Molecular phylogenetic diversity, multilocus haplotype nomenclature, and in vitro antifungal resistance within the *Fusarium solani* species complex // *Journal of Clinical Microbiology*. 2008. Vol. 46, № 8. P. 2477–2490. doi: 10.1128/JCM.02371-07
3. Lombard L., Van der Merwe N. A., Groenewald J. Z., Crous P. W. Generic concepts in Nectriaceae // *Studies in Mycology*. 2015. Vol. 80. P. 189–245. doi: 10.1016/j.simyco.2014.12.002
4. Mirhasani F., Daie-Ghazvini R., Hashemi S. J. [et al.]. Isolation and identification of *Fusarium* species from the water systems of ICUs and transplant wards of hospitals and determination of the *in vitro* susceptibilities of isolates to conventional antifungals // *Frontiers in Fungal Biology*. 2025. Vol. 6. doi: 10.3389/ffunb.2025.1564237

5. Шеримбетов А. Г. Молекулярно-генетическая идентификация грибов рода *Fusarium* link., поражающих мягкую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) // Современная биология и генетика. 2023. № 3. С. 24–31.
6. Summerell B. A. Resolving *Fusarium*: Current status of the genus // Annual Review of Phytopathology. 2019. Vol. 57, № 1. P. 323–339. doi: 10.1146/annurev-phyto-082718-100204
7. Abdurakhmonov I. Y. *Fusarium*-Recent Studies. In BoD–books on demand. London : IntechOpen, 2024. 152 p.
8. Qiu R., Li C., Zhang Y. [et al.]. Characterization of *Fusarium solani* Associated with Tobacco (*Nicotiana tabacum*) Root Rot in Henan, China // Plant Disease. 2024. Vol. 108, № 8. P. 2447–2453. doi: 10.1094/PDIS-10-23-2172-RE
9. Montoya A. M., Grimaldo J., González G. M. Phenotypic and molecular identification of *Fusarium* spp. clinical and environmental isolates // Gaceta Medica de Mexico. 2024. Vol. 160, № 5. P. 527–534. doi: 10.24875/GMM.M24000943
10. Raja H. A., Miller A. N., Pearce C. J., Oberlies N. H. Fungal Identification Using Molecular Tools: A Primer for the Natural Products Research Community // Journal of Natural Products. 2017. Vol. 80, № 3. P. 756–770. doi: 10.1021/acs.jnatprod.6b01085
11. Mirhendi H., Ghiasian A., Vismer H. [et al.]. Preliminary Identification and Typing of Pathogenic and Toxigenic *Fusarium* Species Using Restriction Digestion of ITS1-5.8S rDNA-ITS2 Region // Iranian Journal of Public Health. 2010. Vol. 39, № 4. P. 35–44. PMID: 23113036; PMCID: PMC3481688
12. Yassin Z., Salehi Z., Soleimani M. [et al.]. Phylogenetic relationship of *Fusarium* species isolated from keratitis using TEF1 and RPB2 gene sequences // Iranian Journal of Microbiology. 2022. Vol. 14, № 3. P. 417–422. doi: 10.18502/ijm.v14i3.9753
13. Стахеев А. А., Самохвалова Л. В., Микитюк О. Д., Завриев С. К. Филогенетический анализ и молекулярное типирование трихотеценпродуцирующих грибов рода *Fusarium* из российских коллекций // Acta Naturae. 2018. Т. 10, № 2. С. 79–92. doi: 10.32607/20758251-2018-10-2-79-92
14. Ateş G. Ö. Molecular Identification of *Fusarium* Isolates from Bozcaada Çavuşand Karalahna Grapesin Türkiye // Journal of Fungi. 2025. Vol. 11, № 5. doi: 10.3390/jof11050373
15. Erima S., Nyine M., Edema R. [et al.]. Molecular Characterisation of *Fusarium* Species Causing Common Bean Root Rot in Uganda // Journal of Fungi (Basel). 2025. Vol. 11, № 4. doi: 10.3390/jof11040283
16. Egamberdiev S. S., Ulloa M., Saha S. [et al.]. Molecular Characterization of Uzbekistan Isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. Vasinfectum // Journal of Plant Science and Molecular Breeding. 2013. Vol. 2, № 1. doi: 10.7243/2050-2389-2-3
17. Wallace E. C., May S. R., Miles L. A., Geiser D. M. Tips for Identifying *Fusarium*. Part 2: Sequence-based Identification // National Plant Diagnostic Network. 2022. URL: <https://www.npdn.org/newsletter/2022/04/article/1>
18. O'Donnell K., Whitaker B. K., Laraba I. [et al.]. DNA Sequence - Based Identification of *Fusarium*: A Work in Progress // Plant Disease. 2022. Vol. 106, № 6. P. 1597–1609. doi: 10.1094/PDIS-09-21-2035-SR
19. Geiser D. M., Jimenez-Gasco M. M., Kang S. [et al.]. A DNA sequence database for identifying *Fusarium* // European Journal of Plant Pathology. 2004. Vol. 110, № 5. P. 473–479. doi: 10.1023/B:EJPP.0000032386.75915.a0
20. Ramdass A. C., Villafana R. T., Rampersad S. N. TRI Genotyping and Chemotyping: A Balance of Power // Toxins (Basel). 2020. Vol. 12, № 2. doi: 10.3390/toxins12020064
21. Torres-Cruz T. J., Whitaker B. K., Proctor R. H. [et al.]. FUSARIUM-ID v.3.0: An Updated, Downloadable Resource for *Fusarium* Species Identification // Plant Disease. 2021. Vol. 106, № 6. P. 1610–1616. doi: 10.1094/PDIS-09-21-2105-SR
22. *Fusarium*-ID. URL: <http://isolate.fusariumdb.org/blast.php>

23. O'Donnell K., Rooney A. P., Proctor R. H. [et al.]. Phylogenetic analyses of RPB1 and RPB2 support a middle Cretaceous origin for a clade comprising all agriculturally and medically important fusaria // *Fungal Genetics and Biology*. 2013. Vol. 52. P. 20–31. doi: 10.1016/j.fgb.2012.12.004
24. Schoch C. L., Sung G. H., López-Giráldez F. [et al.]. The Ascomycota tree of life: a phylum-wide phylogeny clarifies the origin and evolution of fundamental reproductive and ecological traits // *Systematic Biology*. 2009. Vol. 58, № 2. P. 224–239. doi: 10.1093/sysbio/syp020
25. Gavrilova O., Orina A., Trubin I., Gagkaeva T. Identification and Pathogenicity of *Fusarium* Fungi Associated with Dry Rot of Potato Tubers // *Microorganisms*. 2024. Vol. 12, № 3. doi: 10.3390/microorganisms12030598
26. Минаева Л. П., Самохвалова Л. В., Завриев С. К., Стахеев А. А. Первое выявление гриба *Fusarium coffeatum* на территории Российской Федерации // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 5, № 1. С. 131–140. doi: 10.15389/agrobiology.2022.1.131rus
27. Egamberdiev Sh., Salahutdinov I., Abdullaev A. [et al.]. Detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* race 3 by single-base extension method and allele-specific polymerase chain reaction // *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2014. Vol. 36, № 2. P. 216–223. doi: 10.1080/07060661.2014.905496
28. Эгамбердиев Ш. Ш., Салахутдинов И., Абдуллаев А. [и др.]. Использование гена β -тубулина для видовой и расовой для идентификации рода *Fusarium* // *Достижения и перспективы экспериментальной биологии растений : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф.* Ташкент, 2013. С. 56–63.
29. Yan K., Dickman M. B. Isolation of a beta-tubulin gene from *Fusarium moniliforme* that confers cold-sensitive benomyl resistance // *Applied and Environmental Microbiology*. 1996. Vol. 62, № 8. P. 3053–3056. doi: 10.1128/aem.62.8.3053-3056.1996
30. Nosratabadi M., Kachuei R., Rezaie S., Harchegani A. B. Beta-tubulin gene in the differentiation of *Fusarium* species by PCR-RFLP analysis // *Infez Med*. 2018. Vol. 26, № 1. P. 52–60. PMID: 29525798.
31. Stakheev A. A., Khaïrulina D. R., Riazantsev D. Yu., Zavriev S. K. Phosphate permease gene as a marker for the specific identification of toxigenic fungus *Fusarium cerealis* // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2013. Vol. 39, № 2. P. 153–160. doi: 10.1134/s1068162013020131
32. Раджапов Ф., Эгамбердиев Ш. Ш., Салахутдинов И. Б. [и др.]. Идентификация *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* (раса 8) с использованием многокопийного гена фосфатпермеазы // *Узбекский биологический журнал*. 2014. № 4. С. 43–45.
33. Jangir P., Mehra N., Sharma K. [et al.]. Secreted in Xylem Genes: Drivers of Host Adaptation in *Fusarium oxysporum* // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. P. 628611. doi: 10.3389/fpls.2021.628611
34. Jobe T. O., Abdurakhmonov I. Y., Ulloa M. [et al.]. Molecular Characterization of *Fusarium* Isolates from Upland Cotton Roots in Uzbekistan and Whole-Genome Comparison with Isolates from the United States // *Phytopathology*. 2025. Vol. 115, № 1. P. 54–65. doi: 10.1094/PHYTO-04-24-0152-R
35. Wu L., Hwang S. F., Strelkov S. E. [et al.]. Pathogenicity, Host Resistance, and Genetic Diversity of *Fusarium* Species under Controlled Conditions from Soybean in Canada // *Journal of Fungi (Basel)*. 2024. Vol. 10, № 5. doi: 10.3390/jof10050303
36. Coleman J. J. The *Fusarium solani* species complex: ubiquitous pathogens of agricultural importance // *Molecular Plant Pathology*. 2016. Vol. 17, № 2. P. 146–158. doi: 10.1111/mpp.12289
37. Aoki T., O'Donnell K., Homma Y., Lattanzi A. R. Sudden-Death Syndrome of Soybean Is Caused by Two Morphologically and Phylogenetically Distinct Species within the *Fusarium solani* Species Complex: *F. virguliforme* in North America and *F. tucumaniae* in South America // *Mycologia*. 2003. Vol. 95, № 4. P. 660–684. doi: 10.1080/15572536.2004.11833070

38. Šišić A., Baćanović-Šišić J., Al-Hatmi A. M. S. [et al.]. The 'forma specialis' issue in *Fusarium*: A case study in *Fusarium solani* f. sp. *pisi* // Scientific Reports. 2018. Vol. 8, № 1252. doi: 10.1038/s41598-018-19779-z
39. Rezaee S., Gharanjik S., Mojerlou S. Identification of *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae* races using morphological and molecular approaches // Journal of Crop Protection. 2018. Vol. 7, № 2. P. 161–170. URL: <https://jcp.modares.ac.ir/article-3-16491-en.html>
40. Раджапов Ф., Эгамбердиев Ш., Салахутдинов И. [и др.]. Использование однокопийных генов для идентификации фитопатогенов рода *Fusarium* в Узбекистане // Важные направления организации научных исследований в области селекции и семеноводства : материалы Респ. науч.-практ. конф. Ташкент, 2013. С. 293–295.
41. Муллахунов Б. Т., Раджапов Ф. С., Эгамбердиев Ш. Ш. Идентификация видов *Fusarium* spp. на основе TEF-1α гена // Проблемы и перспективы повышения эффективности биологических методов защиты растений от вредных организмов : материалы Респ. науч.-практ. конф. Ташкент, 2015. С. 154.
42. Раджапов Ф. С., Муллахунов Б. Т., Эгамбердиев Ш. Ш. Методы комбинированного анализа для определения почвенных фитопатогенов // Проблемы и перспективы повышения эффективности биологических методов защиты растений от вредных организмов : материалы Респ. науч.-практ. конф. Ташкент, 2015. С. 116.
43. Raja H. A., Miller A. N., Pearce C. J., Oberlies N. H. Fungal Identification Using Molecular Tools: A Primer for the Natural Products Research Community // Journal of natural products. 2017. Vol. 80, № 3. P. 756–770. doi: 10.1021/acs.jnatprod.6b01085
44. Xu Q., Chen Q., Qiu W. [et al.]. Application of targeted next-generation sequencing for pathogens diagnosis and drug resistance prediction in bronchoalveolar lavage fluid of pulmonary infections // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 2025. Vol. 15. doi: 10.3389/fcimb.2025.1590881
45. Gu W., Miller S., Chiu C. Y. Clinical Metagenomic Next-Generation Sequencing for Pathogen Detection // Annual Review of Pathology. 2019. Vol. 14. P. 319–338. doi: 10.1146/annurev-pathmechdis-012418-012751
46. Chiu C., Miller S. Next-generation sequencing // Molecular Microbiology: Diagnostic Principles and Practice / ed. by D. H. Persing, F. C. Tenover, R. T. Hayden [et al.]. 3-d ed. Washington, 2016. P. 68–79. doi: 10.1128/9781555819071.ch6
47. Goodwin S., McPherson J.D., McCombie W.R. Coming of age: ten years of next-generation sequencing technologies // Nature Reviews Genetics. 2016. Vol. 17, № 6. P. 333–351. doi: 10.1038/nrg.2016.49
48. Mitchell S. L., Simner P. J. Next-generation sequencing in clinical microbiology: are we there yet? // Clinics in laboratory medicine. 2019. Vol. 39, № 3. P. 405–418. doi: 10.1016/j.cll.2019.05.003
49. Yang J., Mao A., Zhang J. [et al.]. Whole-Genome Sequencing of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* Strain Race-4 Infecting Cucumber in China // Plant Disease. 2023. Vol. 107, № 4. P. 1210–1213. doi: 10.1094/PDIS-08-22-1815-A
50. Kambli P., Ajbani K., Andrews A. A. [et al.]. Targeted Next Generation Sequencing (tNGS) for detection of drug-resistant tuberculous meningitis: Is this sequencing technology ready for prime time? // Indian Journal of Medical Microbiology. 2024. Vol. 51. doi: 10.1016/j.ijmmb.2024.100665
51. Gökdemir F. Ş., İşeri Ö. D., Sharma A. [et al.]. Metagenomics Next Generation Sequencing (mNGS): An Exciting Tool for Early and Accurate Diagnostic of Fungal Pathogens in Plants // Journal of Fungi (Basel). 2022. Vol. 8, № 11. doi: 10.3390/jof8111195
52. Sáenz V., Lizcano Salas A. F., Gené J., Celis Ramírez A. M. *Fusarium* and *Neocosmospora*: fungal priority pathogens in laboratory diagnosis // Critical Reviews in Microbiology. 2024. Vol. 1. P. 1–14. doi: 10.1080/1040841X.2024.2369693

References

1. Badiwe M., Fialho R.O., Stevens C. et al. Fusarium Species Associated with Diseases of Citrus: A Comprehensive Review. *Journal of Fungi (Basel)*. 2025;11(4). doi: 10.3390/jof11040263
2. O'Donnell K., Sutton D.A., Fothergill A. et al. Molecular phylogenetic diversity, multilocus haplotype nomenclature, and in vitro antifungal resistance within the *Fusarium solani* species complex. *Journal of Clinical Microbiology*. 2008;46(8):2477–2490. doi: 10.1128/JCM.02371-07
3. Lombard L., Van der Merwe N.A., Groenewald J.Z., Crous P.W. Generic concepts in Nectriaceae. *Studies in Mycology*. 2015;80:189–245. doi: 10.1016/j.simyco.2014.12.002
4. Mirhasani F., Daie-Ghazvini R., Hashemi S.J. et al. Isolation and identification of *Fusarium* species from the water systems of ICUs and transplant wards of hospitals and determination of the in vitro susceptibilities of isolates to conventional antifungals. *Frontiers in Fungal Biology*. 2025;6. doi: 10.3389/ffunb.2025.1564237
5. Sherimbetov A.G. Molecular genetic identification of *Fusarium* linc. fungi infecting common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Sovremennaya biologiya i genetika* = Modern biology and genetics. 2023;(3):24–31. (In Russ.)
6. Summerell B.A. Resolving *Fusarium*: Current status of the genus. *Annual Review of Phytopathology*. 2019;57(1):323–339. doi: 10.1146/annurev-phyto-082718-100204
7. Abdurakhmonov I.Y. *Fusarium-Recent Studies*. In BoD—books on demand. London: IntechOpen, 2024:152.
8. Qiu R., Li C., Zhang Y. et al. Characterization of *Fusarium solani* Associated with Tobacco (*Nicotiana tabacum*) Root Rot in Henan, China. *Plant Disease*. 2024;108(8):2447–2453. doi: 10.1094/PDIS-10-23-2172-RE
9. Montoya A.M., Grimaldo J., González G.M. Phenotypic and molecular identification of *Fusarium* spp. clinical and environmental isolates. *Gaceta Medica de Mexico*. 2024;160(5):527–534. doi: 10.24875/GMM.M24000943
10. Raja H.A., Miller A.N., Pearce C.J., Oberlies N.H. Fungal Identification Using Molecular Tools: A Primer for the Natural Products Research Community. *Journal of Natural Products*. 2017;80(3):756–770. doi: 10.1021/acs.jnatprod.6b01085
11. Mirhendi H., Ghiasian A., Vismer H. et al. Preliminary Identification and Typing of Pathogenic and Toxigenic *Fusarium* Species Using Restriction Digestion of ITS1-5.8S rDNA-ITS2 Region. *Iranian Journal of Public Health*. 2010;39(4):35–44. PMID: 23113036; PMCID: PMC3481688
12. Yassin Z., Salehi Z., Soleimani M. et al. Phylogenetic relationship of *Fusarium* species isolated from keratitis using TEF1 and RPB2 gene sequences. *Iranian Journal of Microbiology*. 2022;14(3):417–422. doi: 10.18502/ijm.v14i3.9753
13. Stakheev A.A., Samokhvalova L.V., Mikityuk O.D., Zavriev S.K. Phylogenetic analysis and molecular typing of trichothetene-producing fungi of the genus *Fusarium* from Russian collections. *Acta Naturae*. 2018;10(2):79–92. (In Russ.). doi: 10.32607/20758251-2018-10-2-79-92
14. Ateş G.Ö. Molecular Identification of *Fusarium* Isolates from Bozcaada Çavuşand Karalahna Grapesin Türkiye. *Journal of Fungi*. 2025;11(5). doi: 10.3390/jof11050373
15. Erima S., Nyine M., Edema R. et al. Molecular Characterisation of *Fusarium* Species Causing Common Bean Root Rot in Uganda. *Journal of Fungi (Basel)*. 2025;11(4). doi: 10.3390/jof11040283
16. Egamberdiev S.S., Ulloa M., Saha S. et al. Molecular Characterization of Uzbekistan Isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. Vasinfectum. *Journal of Plant Science and Molecular Breeding*. 2013;2(1). doi: 10.7243/2050-2389-2-3
17. Wallace E.C., May S.R., Miles L.A., Geiser D.M. Tips for Identifying *Fusarium*. Part 2: Sequence-based Identification. *National Plant Diagnostic Network*. 2022. Available at: <https://www.npdn.org/newsletter/2022/04/article/1>

18. O'Donnell K., Whitaker B.K., Laraba I. et al. DNA Sequence - Based Identification of *Fusarium*: A Work in Progress. *Plant Disease*. 2022;106(6):1597–1609. doi: 10.1094/PDIS-09-21-2035-SR
19. Geiser D.M., Jimenez-Gasco M.M., Kang S. et al. A DNA sequence database for identifying *Fusarium*. *European Journal of Plant Pathology*. 2004;110(5):473–479. doi: 10.1023/B:EJPP.0000032386.75915.a0
20. Ramdass A.C., Villafana R.T., Rampersad S.N. TRI Genotyping and Chemotyping: A Balance of Power. *Toxins (Basel)*. 2020;12(2). doi: 10.3390/toxins12020064
21. Torres-Cruz T.J., Whitaker B.K., Proctor R.H. et al. FUSARIUM-ID v.3.0: An Updated, Downloadable Resource for *Fusarium* Species Identification. *Plant Disease*. 2021;106(6):1610–1616. doi: 10.1094/PDIS-09-21-2105-SR
22. *Fusarium-ID*. Available at: <http://isolate.fusariumdb.org/blast.php>
23. O'Donnell K., Rooney A.P., Proctor R.H. et al. Phylogenetic analyses of RPB1 and RPB2 support a middle Cretaceous origin for a clade comprising all agriculturally and medically important fusaria. *Fungal Genetics and Biology*. 2013;52:20–31. doi: 10.1016/j.fgb.2012.12.004
24. Schoch C.L., Sung G.H., López-Giráldez F. et al. The Ascomycota tree of life: a phylum-wide phylogeny clarifies the origin and evolution of fundamental reproductive and ecological traits. *Systematic Biology*. 2009;58(2):224–239. doi: 10.1093/sysbio/syp020
25. Gavrilova O., Orina A., Trubin I., Gagkaeva T. Identification and Pathogenicity of *Fusarium* Fungi Associated with Dry Rot of Potato Tubers. *Microorganisms*. 2024;12(3). doi: 10.3390/microorganisms12030598
26. Minaeva L.P., Samokhvalova L.V., Zavriev S.K., Stakheev A.A. The first detection of the fungus *Fusarium coffeae* in the Russian Federation. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural biology*. 2022;5(1):131–140. (In Russ.). doi: 10.15389/agrobiolgy.2022.1.131rus
27. Egamberdiev Sh., Salahutdinov I., Abdullaev A. et al. Detection of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* race 3 by single-base extension method and allele-specific polymerase chain reaction. *Canadian Journal of Plant Pathology*. 2014;36(2):216–223. doi: 10.1080/07060661.2014.905496
28. Egamberdiev Sh.Sh., Salakhutdinov I., Abdullaev A. et al. Use of the β -tubulin gene for species and race identification of the genus *Fusarium*. *Dostizheniya i perspektivy eksperimental'noy biologii rasteniy: sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. = Achievements and prospects of experimental plant biology: proceedings of the International scientific and practical conference*. Tashkent, 2013:56–63. (In Russ.)
29. Yan K., Dickman M.B. Isolation of a beta-tubulin gene from *Fusarium moniliforme* that confers cold-sensitive benomyl resistance. *Applied and Environmental Microbiology*. 1996;62(8):3053–3056. doi: 10.1128/aem.62.8.3053-3056.1996
30. Nosratabadi M., Kachuei R., Rezaie S., Harchegani A.B. Beta-tubulin gene in the differentiation of *Fusarium* species by PCR-RFLP analysis. *Infez Med*. 2018;26(1):52–60. PMID: 29525798.
31. Stakheev A.A., Khaïrulina D.R., Riazantsev D.Yu., Zavriev S.K. Phosphate permease gene as a marker for the specific identification of toxigenic fungus *Fusarium cerealis*. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2013;39(2):153–160. doi: 10.1134/s1068162013020131
32. Radzhapov F., Egamberdiev Sh.Sh., Salakhutdinov I.B. et al. Identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfecum* (race 8) using the high-copy phosphate permease gene. *Uzbekskiy biologicheskiy zhurnal = Uzbek Biological Journal*. 2014;(4):43–45. (In Russ.)
33. Jangir P., Mehra N., Sharma K. et al. Secreted in Xylem Genes: Drivers of Host Adaptation in *Fusarium oxysporum*. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:628611. doi: 10.3389/fpls.2021.628611
34. Jobe T.O., Abdurakhmonov I.Y., Ulloa M. et al. Molecular Characterization of *Fusarium* Isolates from Upland Cotton Roots in Uzbekistan and Whole-Genome Comparison with Isolates from the United States. *Phytopathology*. 2025;115(1):54–65. doi: 10.1094/PHYTO-04-24-0152-R

35. Wu L., Hwang S.F., Strelkov S.E. [et al.]. Pathogenicity, Host Resistance, and Genetic Diversity of *Fusarium* Species under Controlled Conditions from Soybean in Canada. *Journal of Fungi (Basel)*. 2024;10(5). doi: 10.3390/jof10050303
36. Coleman J.J. The *Fusarium solani* species complex: ubiquitous pathogens of agricultural importance. *Molecular Plant Pathology*. 2016;17(2):146–158. doi: 10.1111/mpp.12289
37. Aoki T., O'Donnell K., Homma Y., Lattanzi A.R. Sudden-Death Syndrome of Soybean Is Caused by Two Morphologically and Phylogenetically Distinct Species within the *Fusarium solani* Species Complex: *F. virguliforme* in North America and *F. tucumaniae* in South America. *Mycologia*. 2003;95(4):660–684. doi: 10.1080/15572536.2004.11833070
38. Šišić A., Baćanović-Šišić J., Al-Hatmi A.M.S. et al. The 'forma specialis' issue in *Fusarium*: A case study in *Fusarium solani* f. sp. *lisi*. *Scientific Reports*. 2018;8(1252). doi: 10.1038/s41598-018-19779-z
39. Rezaee S., Gharanjik S., Mojerlou S. Identification of *Fusarium solani* f. sp. *cucurbitae* races using morphological and molecular approaches. *Journal of Crop Protection*. 2018;7(2):161–170. Available at: <https://jcp.modares.ac.ir/article-3-16491-en.html>
40. Radzhapov F., Egamberdiev Sh., Salakhutdinov I. et al. Using single-copy genes to identify *Fusarium* phytopathogens in Uzbekistan. *Vazhnye napravleniya organizatsii nauchnykh issledovaniy v oblasti selektsii i semenovodstva: materialy Resp. nauch.-prakt. konf.* = Important areas of scientific research in the field of selection and seed production: Proceedings of the Republic scientific and practical conference. Tashkent, 2013:293–295. (In Russ.)
41. Mullakhunov B.T., Radzhapov F.S., Egamberdiev Sh.Sh. Identification of *Fusarium* spp. species based on the TEF-1α gene. *Problemy i perspektivy povysheniya effektivnosti biologicheskikh metodov zashchity rasteniy ot vrednykh organizmov: materialy Resp. nauch.-prakt. konf.* = Issues and prospects for increasing the effectiveness of biological methods of plant protection from pests: Proceedings of the Republic scientific and practical conference. Tashkent, 2015:154. (In Russ.)
42. Radzhapov F.C., Mullakhunov B.T., Egamberdiev Sh.Sh. Combined analysis methods for the detection of soil phytopathogens. *Problemy i perspektivy povysheniya effektivnosti biologicheskikh metodov zashchity rasteniy ot vrednykh organizmov: materialy Resp. nauch.-prakt. konf.* = Issues and prospects for increasing the effectiveness of biological methods of plant protection from pests: Proceedings of the Republic scientific and practical conference. Tashkent, 2015:116. (In Russ.)
43. Raja H.A., Miller A.N., Pearce C.J., Oberlies N.H. Fungal Identification Using Molecular Tools: A Primer for the Natural Products Research Community. *Journal of natural products*. 2017;80(3):756–770. doi: 10.1021/acs.jnatprod.6b01085
44. Xu Q., Chen Q., Qiu W. et al. Application of targeted next-generation sequencing for pathogens diagnosis and drug resistance prediction in bronchoalveolar lavage fluid of pulmonary infections. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2025;15. doi: 10.3389/fcimb.2025.1590881
45. Gu W., Miller S., Chiu C.Y. Clinical Metagenomic Next-Generation Sequencing for Pathogen Detection. *Annual Review of Pathology*. 2019;14:319–338. doi: 10.1146/annurev-pathmechdis-012418-012751
46. Chiu C., Miller S. Next-generation sequencing. *Molecular Microbiology: Diagnostic Principles and Practice*. 3-d ed. Washington, 2016:68–79. doi: 10.1128/9781555819071.ch6
47. Goodwin S., McPherson J.D., McCombie W.R. Coming of age: ten years of next-generation sequencing technologies. *Nature Reviews Genetics*. 2016;17(6):333–351. doi: 10.1038/nrg.2016.49
48. Mitchell S.L., Simner P.J. Next-generation sequencing in clinical microbiology: are we there yet? *Clinics in laboratory medicine*. 2019;39(3):405–418. doi: 10.1016/j.cll.2019.05.003
49. Yang J., Mao A., Zhang J. et al. Whole-Genome Sequencing of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* Strain Race-4 Infecting Cucumber in China. *Plant Disease*. 2023;107(4):1210–1213. doi: 10.1094/PDIS-08-22-1815-A

50. Kambli P., Ajbani K., Andrews A.A. et al. Targeted Next Generation Sequencing (tNGS) for detection of drug-resistant tuberculous meningitis: Is this sequencing technology ready for prime time? *Indian Journal of Medical Microbiology*. 2024;51. doi: 10.1016/j.ijmm.2024.100665
51. Gökdemir F.Ş., İşeri Ö.D., Sharma A. et al. Metagenomics Next Generation Sequencing (mNGS): An Exciting Tool for Early and Accurate Diagnostic of Fungal Pathogens in Plants. *Journal of Fungi (Basel)*. 2022;8(11). doi: 10.3390/jof8111195
52. Sáenz V., Lizcano Salas A.F., Gené J., Celis Ramírez A.M. Fusarium and Neocosmospora: fungal priority pathogens in laboratory diagnosis. *Critical Reviews in Microbiology*. 2024;1:1–14. doi: 10.1080/1040841X.2024.2369693

Информация об авторах / Information about the authors

Фарход Суннатуллаевич Раджапов

старший научный сотрудник лаборатории геномики устойчивости растений, Центр геномики и биоинформатики Академии наук Республики Узбекистан (Республика Узбекистан, Ташкентская обл., пос. Салар, ул. Университетская, 2)
E-mail: farhod.radjapov@yandex.ru

Farkhod S. Rajapov

Senior researcher of the laboratory of plant genomics resistance, Center of genomics and bioinformatics Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (2 Universitetskaya street, village Salar, Tashkent region, Uzbekistan)

Ильхом Бахтиярович Салахутдинов

кандидат биологических наук, заведующий лабораторией геномики устойчивости растений, Центр геномики и биоинформатики Академии наук Республики Узбекистан (Республика Узбекистан, Ташкентская обл., пос. Салар, ул. Университетская, 2)
E-mail: ilkhom.salakhutdinov@genomics.uz

Ilkhom B. Salakhutdinov

Candidate of biological sciences, head of the laboratory of plant genomics resistance, Center of genomics and bioinformatics Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (2 Universitetskaya street, village Salar, Tashkent region, Uzbekistan)

Венера Сейтумеровна Камбурова

доктор биологических наук, заместитель директора по науке Центра геномики и биоинформатики Академии наук Республики Узбекистан (Республика Узбекистан, Ташкентская обл., пос. Салар, ул. Университетская, 2)
E-mail: kamburova.v@genomics.uz

Venera S. Kamburova

Doctor of biological sciences, deputy director for science, Center of genomics and bioinformatics Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (2 Universitetskaya street, village Salar, Tashkent region, Uzbekistan)

Эльвира Азатовна Латыпова

кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, биологических технологий и ветеринарно-санитарной экспертизы, Пензенский государственный аграрный университет (Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)
E-mail: latypova.e.a@pgau.ru

Elvira A. Latypova

Candidate of biological sciences, associate professor of the sub-department of biology, biological technologies and veterinary and sanitary expertise, Penza State Agrarian University (30 Botanicheskaya street, Penza, Russia)

Забардаст Тожибаевич Буриев

доктор биологических наук, профессор,
директор Центра геномики
и биоинформатики Академии наук
Республики Узбекистан
(Республика Узбекистан,
Ташкентская обл., пос. Салар,
ул. Университетская, 2)
E-mail: zburiev@genomics.uz

Zabardast T. Buriev

Doctor of biological sciences, professor,
director of the Center of genomics
and bioinformatics Academy
of Sciences of the Republic
of Uzbekistan
(2 Universitetskaya street, village Salar,
Tashkent region, Uzbekistan)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию / Received 14.07.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 28.08.2025

Принята к публикации / Accepted 12.09.2025

УДК 599.742.1:574.3

doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-2

Экологические особенности пространственной структуры и численности популяции домашней собаки (*Canis familiaris*) в условиях многоэтажной застройки г. Пензы

А. В. Кузьмин

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

kuzmin.san.kuz@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Среди домашних животных особое место занимает домашняя собака (*Canis familiaris*), которая является одним из самых распространенных домашних животных. Разнообразие ее экологического и социального статуса определяется особенностями размножения и воспроизводства в городах и сельских населенных пунктах и степенью социализации. Целью исследования было проведение исследований экологических особенностей пространственной структуры и численности популяции домашней собаки в условиях многоэтажной застройки г. Пензы. *Материалы и методы.* Материалом для работы послужили результаты учетов бродячих собак в центральной части микрорайона Арбеково г. Пензы, проведенных в зимний период 2025 г. Учет собак проводили маршрутным методом. В качестве основных оценочных показателей распределения животных были использованы абсолютные показатели численности и значения плотности. Особенности размещения собак оценивали по фактам концентрации животных рядом с каким-либо социокультурным объектом или постройкой, а также по результатам корреляционного анализа. При учете бездомных собак кроме места встречи фиксировались пол, возраст (взрослая, щенки) и порода. *Результаты.* Анализ данных учетов собак в шести кварталах арбековского жилого массива выявил определенные закономерности в размещении собак, а также показал некоторую зависимость плотности и численности собак от особенностей техногенной структуры изученных селитебных территорий. Анализ показателей абсолютной численности собак свидетельствует о неравномерной встречаемости животных во всех изученных учетных кварталах. Численность дворовых собак положительно скоррелирована с размерами (число домов) частного сектора ($r = 0,835, p = 0,04$), а численность полувольных (условно служебных) – с числом автостоянок в учетных кварталах ($r = 0,894, p = 0,02$). *Выводы.* Проведенные исследования шести кварталов арбековского жилого массива г. Пензы (24 % площади массива) показали, что на численность бездомных собак факторы городской среды оказывают незначительное влияние. В большей степени численность, половой и породный состав городской популяции собак зависят от автономных демографических процессов, возникающих в сложившихся территориальных группировках бездомных собак, а также от человеческого фактора (содержание и разведение). Какие-либо достоверные связи отмечаются только для отдельных средовых факторов и отдельных учетных категорий собак.

Ключевые слова: *Canis familiaris*, бездомные животные, пространственная структура, численность популяции, селитебная среда

Для цитирования: Кузьмин А. В. Экологические особенности пространственной структуры и численности популяции домашней собаки (*Canis familiaris*) в условиях многоэтажной застройки г. Пензы // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 2. С. 17–29. doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-2

Ecological features of the spatial structure and population size of the domestic dog (*Canis familiaris*) in the conditions of multi-storey buildings in Penza

A.V. Kuzmin

Penza State University, Penza, Russia

kuzmin.san.kuz@gmail.com

Abstract. *Background.* Among pets, a special place is occupied by the domestic dog (*Canis familiaris*), which is one of the most common pets. The diversity of its ecological and social status is determined by the peculiarities of reproduction and reproduction in cities and rural settlements and the degree of socialization. The purpose of the study was to conduct research on the ecological features of the spatial structure and population size of a domestic dog in a multi-storey building in Penza. *Materials and methods.* The material for the work was the results of surveys of stray dogs in the central part of the Arbekovo microdistrict in Penza, conducted in the winter of 2025. Dogs were counted using the route method. Absolute abundance and density values were used as the main estimated indicators of animal distribution. The features of the placement of dogs were assessed by the facts of the concentration of animals near any socio-cultural object or building, as well as by the results of correlation analysis. When accounting for stray dogs, in addition to the meeting place, gender, age (adult, puppy) and breed were recorded. *Results.* The analysis of dog records in 6 quarters of the Arbekov residential area revealed certain patterns in the placement of dogs, and also showed some dependence of the density and number of dogs on the characteristics of the technogenic structure of the studied residential areas. An analysis of the absolute number of dogs indicates an uneven occurrence of animals in all the studied accounting quarters. The number of domestic dogs is positively correlated with the size (number of houses) of the private sector ($r = 0.835$, $p = 0.04$), and the number of semi-free (conditionally employed) dogs is positively correlated with the number of parking lots in the registered quarters ($r = 0.894$, $p = 0.02$). *Conclusions.* The conducted studies of 6 quarters of the Arbekov residential area in Penza (24 % of the area of the area) have shown that urban environmental factors have little effect on the number of stray dogs. To a greater extent, the number, sex and breed composition of the urban dog population depends on the autonomous demographic processes that occur in the established territorial groupings of stray dogs, as well as on the human factor (maintenance and breeding). Any reliable relationships are noted only for individual environmental factors and individual accounting categories of dogs.

Keywords: *Canis familiaris*, stray animals, spatial structure, population size, residential environment

For citation: Kuzmin A.V. Ecological features of the spatial structure and population size of the domestic dog (*Canis familiaris*) in the conditions of multi-storey buildings in Penza. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2025;(2):17–29. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-2

Городские условия из-за своей экологической специфики создают уникальные возможности для выживания диких животных и существования одомашненных видов. Сильная фрагментация и богатство среды обитания в городе, наличие ощутимого количества отходов жизнедеятельности человека, используемых животными в качестве пищи, предоставляют им ряд экологических преимуществ, а зачастую способствуют и процветанию их популяций. Чрезмерное увеличение численности домашних животных и рост населения

в их безнадзорных группировках часто создают большие проблемы для городского населения. Среди домашних животных особое место занимает домашняя собака (*Canis familiaris*), которая является одним из самых распространенных домашних животных [1, 2]. Разнообразие ее экологического и социального статуса определяется особенностями размножения и воспроизводства в городах и сельских населенных пунктах и степенью социализации. Например, любая популяция собак по уровню социализации может быть разделена на домашних, одичавших (бродячих или безнадзорных) и полувольных (дворовых) коммунальных животных [3–5].

В последнее время большой интерес проявляется к генетике поведения и идентификации отдельных особей и популяций, полиморфизма популяций, установления родства в различных таксономических группах. Но полученные на основе молекулярно-генетических методов результаты малоинформативны. Поэтому комплексные исследования популяций бездомных собак и кошек с использованием как эколого-этологических, так и генетических методов позволяют выявить в каждом конкретном случае и генетические особенности особи, так и установить ее социальный и популяционный статус. Такие исследования являются, несомненно, актуальными.

Численность бездомных собак, их распределение в городской среде и пространственная структура их популяций были успешно изучены в Москве [6–10], Омске [11, 12], Воркуте [13], Перми [14], Нижнем Новгороде [15], Карелии [16–18], Казани [19]. Городскую популяцию домашней собаки изучали и в городе Пензе, но только в разрезе изучения млекопитающих урбанизированных территорий [20]. Несмотря на столь широкое изучение популяций домашней собаки в городах, на сегодня эти данные невозможно полностью обобщить. Разные условия и особенности среды обитания в этих городских агломерациях влияют на ощутимую специфичность популяций собак, в них обитающих. Поэтому изучение популяций домашней собаки в городских условиях с учетом параметров среды обитания остается актуальным и сейчас.

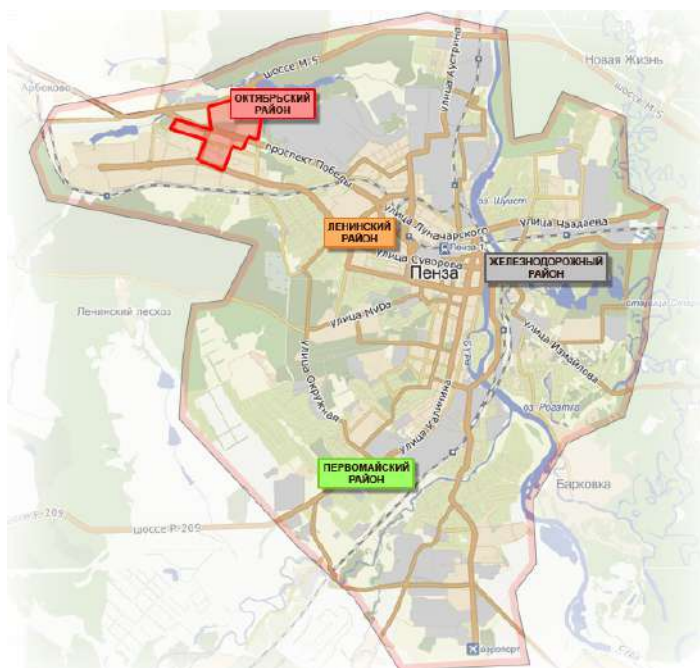
Целью исследования было изучение экологических особенностей пространственной структуры и численности популяции домашней собаки (*Canis familiaris*) в условиях многоэтажной застройки г. Пензы.

Материал и методы

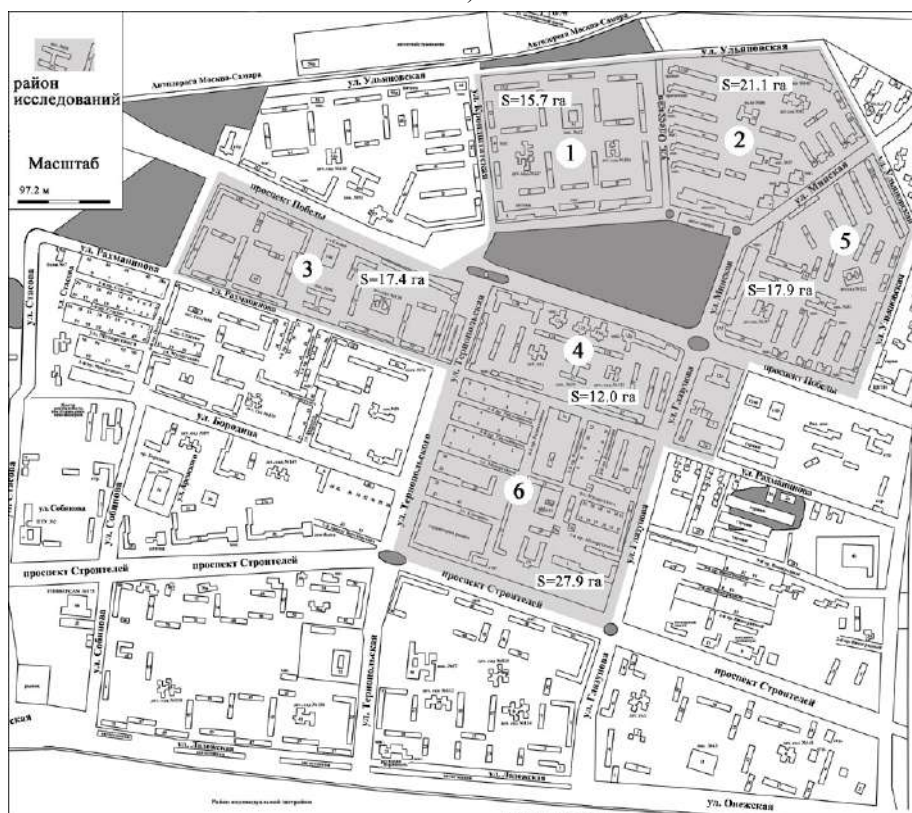
Материалом для работы послужили результаты учетов бродячих собак в центральной части микрорайона Арбеково г. Пензы, проведенных в зимний период 2025 г.

Город Пенза является административным, промышленным и культурным центром Пензенской области. По состоянию на начало 2024 г. в городе проживает 488 тыс. человек, а территория занимает 304,6 км². В последние годы отмечается тенденция уменьшения численности населения и увеличение площади городской среды. Так, по состоянию на 2020 г. в городе проживало 520 тыс. человек, а территория составляла 290,4 км² [21, 22]. Приведенные данные еще раз показывают, что существование популяций бездомных и синантропных животных в городской среде происходит на фоне постоянных изменений условий обитания.

Арбековский жилой массив, в котором проводили работу, расположен в северо-западной возвышенной части города Пензы, в Октябрьском районе (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Район исследований на карте города Пензы (а) и площадки учета (кварталы) (б) собак в арбековском жилом массиве (цифрами указаны номера кварталов)

В ландшафтном плане жилой массив представляет собой водосбор верховьев руч. Безымянный, долина которого открывается на восток и пересекает город. Под верховьями ручья поднимается поверхность его водосбора, общей площадью 11,9 км². В северной части водораздел делит поверхности стока руч. Безымянный и верховьев р. Пензятки. На западе водораздел выходит на поверхность Пензо-Арбековского междуречья.

Основные черты формирования природных условий арбековского жилого массива связаны с особенностями строения водосбора верховьев руч. Безымянный. В районе отсутствуют формы линейной ускоренной эрозии, не выявлены оползневые процессы, карстовые формы. Территория микрорайона является естественно подтопленной (условно критически подтопляющий уровень – 3 м). Большая часть ландшафта находится в черте города и занята жилым массивом, в днище руч. Безымянный создан каскад прудов. Строительство жилых домов и коммуникаций, функционирование города, создание и реконструкция прудов привели к значительным изменениям в механизме формирования ландшафта, изменилось состояние всех компонентов природы.

Арбековский жилой массив имеет общую площадь около 890 га. Большая его часть застроена 5–12-этажными кирпичными и панельными жилыми зданиями, незначительная часть занята частным сектором, дома которого располагаются небольшими группами между кварталами многоэтажной застройки (например, 1–5 проезды Рахманинова, 1–3 проезды Стасова). Каждый квартал микрорайона характеризуется развитой социальной инфраструктурой. В них построены автостоянки, школы, детские сады, магазины, учреждения культсоцбыта (кинотеатры, прачечные, химчистки, аптеки, столовые и кафе). Характерной чертой микрорайонов жилого массива Арбеково является неравномерность плотности застройки, проявляющаяся иногда в сильной разреженности жилых зданий. Кроме этого, во многих микрорайонах жилого массива отмечается соседство зданий разной по времени постройки (1970–80-х гг. и 1990-х гг.).

В арбековском жилом массиве имеется хорошо развитая транспортная сеть. Проложены два проспекта (Строителей и Победы), имеются различные по ширине проезжей части улицы (около 20) и хорошо развитая сеть проездов, переулков и дворовых дорог. Кроме этого, по южному краю жилого массива проходит Куйбышевская железная дорога.

Таким образом, анализ ландшафтных и техногенных условий арбековского жилого массива выявил сильную степень разнообразия селитебной среды микрорайонов. Такая гетерогенность среды определяет высокое разнообразие условий обитания, как для диких, так и для синантропных видов животных.

При учетах собак фиксировали три группы животных: бездомные, дворовые (частный сектор) и полувольные (условно сторожевые собаки автостоянок и строений производственного назначения). Вследствие больших размеров арбековского жилого массива (882,79 га) учет собак проводился только в шести кварталах центральной его части (рис. 1,б). Нумерация исследованных кварталов является условной и применена только для работы. Всего за период работы было учтено 54 собаки.

Учет собак проводили маршрутным методом, а для бездомных собак были использованы стандартизированные методические приемы для изучения их численности, социальной структуры и поведения [23, 24].

Характеристику городской среды арбековского жилого массива проводили по следующим показателям: количество капитальных жилых построек, количество построек частного сектора, количество детских учреждений (детские сады и школы), количество объектов соцкультбыта, количество магазинов, рынков, автостоянок (табл. 1). В качестве основных оценочных показателей распределения животных были использованы абсолютные показатели численности и значения плотности. Особенности размещения собак оценивали по фактам концентрации животных рядом с каким-либо социокультурным объектом или постройкой, а также по результатам корреляционного анализа [25, 26]. При учете бездомных собак помимо места встречи, фиксировались пол, возраст (взрослая, щенки) и порода.

Таблица 1

Характеристика района учета собак в микрорайоне Арбеково г. Пензы

Квартал (S, га)	Число капитальных жилых построек	Число построек частного сектора	Число детских учреждений (д/с + шк.)	Число объектов соцкульт- быта	Число магазинов	Рынки	Авто- стоянки
1 (15,7 га)	19	–	2 + 1	1	2	–	–
2 (21,1 га)	17	–	2 + 1	4	7	–	1
3 (17,4 га)	19	–	1 + 1	1	2	–	1
4 (12,0 га)	15	–	2 + 1	–	6	1	–
5 (17,9 га)	28	–	2 + 1	1	5	–	–
6 (27,9 га)	16	53	1 + 1	–	3	1	1
Σ	114	53	10 + 6	7	25	2	2

В описаниях особенностей биологии и поведения бездомных животных использовалась широко применяемая терминология (Тинберген, 1993; Хайнд, 1982).

Результаты и обсуждение

Анализ данных учетов собак в шести кварталах арбековского жилого массива (рис. 2) выявил определенные закономерности в размещении собак (табл. 2), а также показал некоторую зависимость плотности и численности собак от особенностей техногенной структуры изученных селитебных территорий.

Анализ показателей абсолютной численности собак свидетельствует о неравномерной встречаемости животных во всех изученных учетных кварталах. В трех из них (1, 4, 5) были отмечены только бездомные собаки, только в одном квартале (6) были отмечены дворовые собаки, а на остальных учетных площадях (кварталы 2 и 3) были отмечены бездомные и полувольные (условно служебные) животные. При этом соотношение численности бездомных и полувольных собак характеризуется определенным непостоянством. В кварталах 2 и 6 отмечается преобладание первых (1,5:1 и 3:1 соответственно), а в квартале 3 – вторых (1:2).

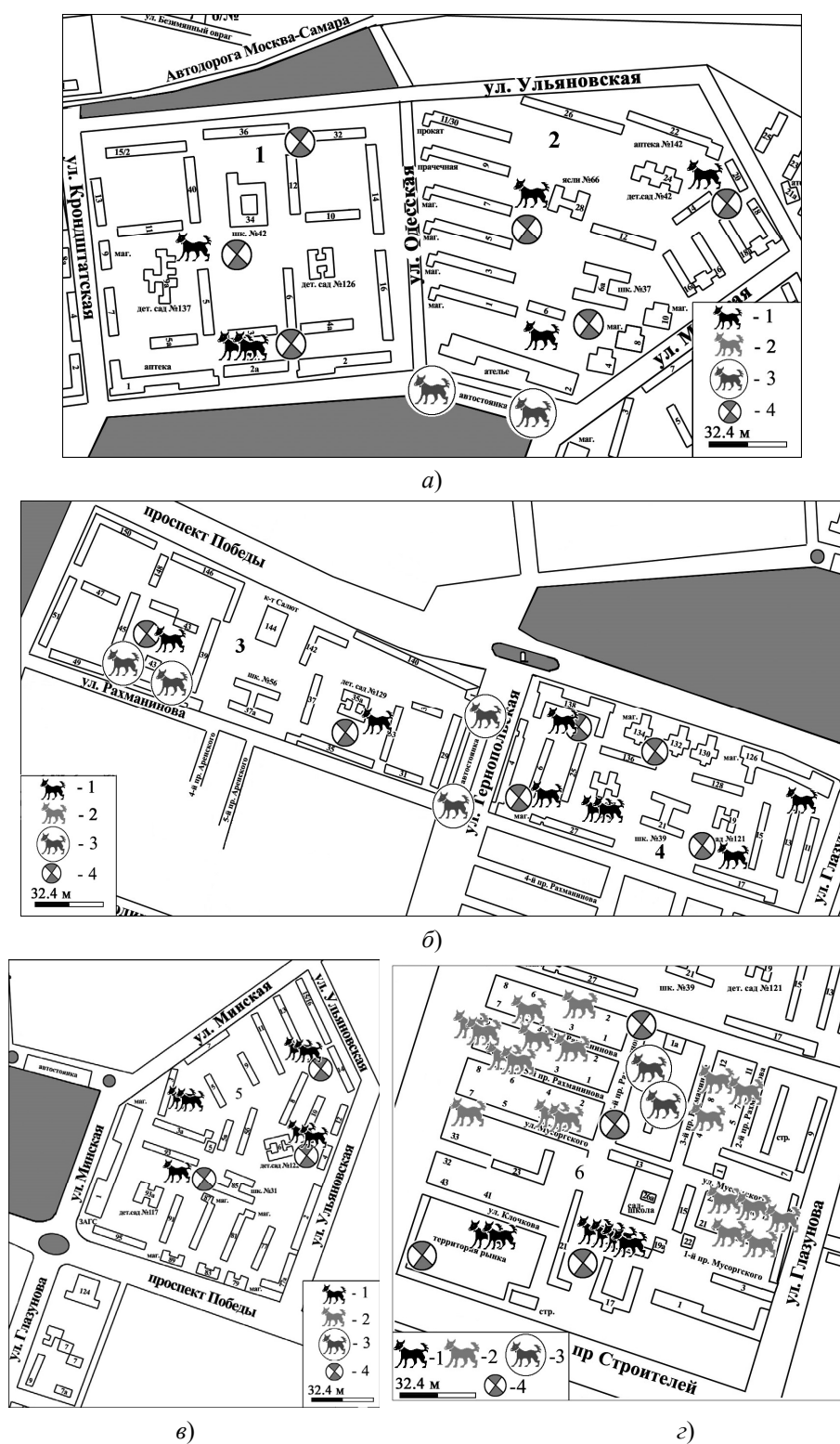


Рис. 2. Распределение собак в кварталах 1 и 2 (а), 3 и 4 (б), 5 (в) и 6 (г) арбековского жилого массива: 1 – бездомные; 2 – дворовые; 3 – полувольные (условно служебные) собаки; 4 – квартальные сборные пункты бытового мусора

Таблица 2

Данные учетов собак в шести кварталах
арбековского жилого массива г. Пензы

Квартал (S, га)	Абсолютная численность				Плотность			
	Бездом- ные	Дворо- вые	Полу- вольные	Всего*	Бездом- ные**	Дворо- вые	Полу- вольные**	Всего
1 (15,7 га)	3	—	—	3/91	0,19	—	—	0,19
2 (21,1 га)	3	—	2	5/82	0,14(58)	—	0,09(42)	0,24
3 (17,4 га)	2	—	4	6/68	0,11(32)	—	0,23(68)	0,34
4 (12,0 га)	6	—	—	6/56	0,50	—	—	0,50
5 (17,9 га)	7	—	—	7/64	0,39	—	—	0,39
6 (27,9 га)	6	19	2	27/41	0,22(23)	0,68(70)	0,07(7)	0,97
Σ (112 га)	27	19	8	54/57	0,24(50)	0,17(35)	0,07(15)	0,48

Примечание. Жирным шрифтом выделены максимальные значения в каждой категории и общих показателях, через косую черту* (/) указаны радиусы ($R = \sqrt{S/2\pi N}$) участков особей, в скобках** указан вклад (%) каждой из категорий собак в общую плотность.

Максимальная плотность бездомных собак (0,50 ос./га) отмечается в квартале 4, ограниченном улицами Тернопольской, Глазунова, Рахманинова и проспектом Победы (район магазина «Океан»). При этом, кроме бездомных собак, других категорий собак не было обнаружено. Факторы, влияющие на столь высокие показатели численности бездомных собак в этом квартале, не совсем понятны. Среди возможных факторов отметим лишь незначительную площадь квартала, высокую плотность застройки и большое количество сборных пунктов бытового мусора.

Максимальная плотность полувольных (условно служебных) собак (0,23 ос./га) была отмечена в квартале 4, ограниченном улицами Рахманинова, Тернопольской и проспектом Победы. Высокая численность собак этой категории объясняется наличием на территории квартала автостоянки и ЖЭКа, где собаки используются для охраны.

В целом максимальная плотность собак всех учетных категорий (0,97 ос./га) была отмечена в квартале 6, ограниченном улицами Рахманинова, Глазунова, Тернопольской и проспектом Строителей. При этом столь высокий показатель объясняется высокой численностью в этом квартале дворовых собак (70 % от общего числа учтенных). На долю бездомных и полувольных животных приходится лишь 23 и 7 % соответственно. По этой причине признать этот высокий показатель в качестве характеризующего собачью популяцию в арбековском жилом массиве мы не можем.

Минимальная плотность бездомных собак (0,11 ос./га) была отмечена в квартале 3, а полувольных (условно служебных) в квартале 6. В первом случае низкая численность собак объясняется малыми размерами учетной территории и неплотной жилой застройкой, а во втором – отсутствием условий

для содержания сторожевых собак. На имеющейся в квартале автостоянке собак не было обнаружено. Так как она примыкает к рынку, то содержание на ней собак запрещено по санитарным нормам.

Для выяснения связи отдельных факторов городской среды с численностью бездомных, дворовых и полувольных собак в границах всего района исследований был проведен корреляционный анализ. В целом выявленные в ходе проведения анализа достоверные связи немногочисленны, что свидетельствует о низком влиянии средовых факторов на собачью популяцию. Среди достоверных коррелятов отметим только два. Численность дворовых собак положительно скоррелирована с размерами (число домов) частного сектора ($r = 0,835$, $p = 0,04$), а численность полувольных (условно служебных) – с числом автостоянок в учетных кварталах ($r = 0,894$, $p = 0,02$).

Весьма показательные данные были получены при анализе долевого представительства бездомных и полувольных собак. Если в кварталах 1, 4, 5 отмечены только бездомные собаки, а в квартале 6 собаки всех трех учетных категорий, то в кварталах 2 и 3 выявлено диаметрально противоположное распределение бездомных и полувольных собак. В первом случае преобладают бездомные животные (58 %), а во втором – полувольные (68 %). В целом для всего района исследований 50 % составляют бездомные собаки, 35 % – дворовые и 15 % – полувольные (условно служебные).

Анализ структуры собачей популяции выявил следующие особенности (табл. 3). В популяции преобладают суки (57 %), при этом максимально это проявляется в категории дворовых собак (73 %). Для категории полувольных собак отмечается обратная ситуация, в ней численно преобладают кобели – 63 %. По породам во всех трех учетных категориях собак преобладают дворняги (от 75 до 85 %), при этом наиболее часто встречаются метисы дворняги и овчарки (88 %).

Таблица 3

Структура популяции собак в пяти кварталах арбековского жилого массива

Категория	Бездомные ($n = 27$)	Дворовые ($n = 19$)	Полувольные (усл. служебные) ($n = 8$)
Половой состав			
Суки	17	11	3
Кобели	10	8	5
Породный состав			
Дворняги	23	16	6
Метисы*	4	3	2

* Из 9 учетных метисов 8 – помесь дворняги с овчаркой и 1 – помесь дворняги и фокстерьера.

Оценка «стайности» обитания бездомных собак на учетной территории выявила ее высокий уровень. В половине случаев собаки (51 %) держатся стаями. При этом самый распространенный вид кооперации животных – это группы по две собаки (пять из шести учетных групп). Только в одном случае состав стаи был более многочисленным – четыре собаки. Причем, несмотря на количество собак в стае, все группировки бездомных собак держались оседло около междворовых сборных пунктов бытового мусора.

Учеты дворовых собак в частном секторе показали, что из 19 собак только 4 (21 %) содержатся постоянно на привязи. Вольное содержание большинства дворовых собак указывает на потенциальную возможность их участия как в соседствующих стаях бездомных собак на правах непостоянных членов, так и в целом в размножении всей пространственной группировки животных.

Таким образом, проведенные исследования шести кварталов арбековского жилого массива г. Пензы (24 % площади массива) показали, что на численность бездомных собак факторы городской среды оказывают незначительное влияние. В большей степени численность, половой и породный состав городской популяции собак зависит от автономных демографических процессов, возникающих в сложившихся территориальных группировках бездомных собак, а также от человеческого фактора (содержание и разведение). Какие-либо достоверные связи отмечаются только для отдельных средовых факторов и отдельных учетных категорий собак. При этом такими факторами (например, число автостоянок) являются те из них, которые и определяют сам социопопуляционный статус собаки в городе.

Список литературы

1. Соколов В. Е. Систематика млекопитающих. Т3: Отряды китообразных, хищных, ластоногих, трубкозубых, хоботных, даманов, сирен, парнокопытных, мозолоногих, непарнокопытных : учеб. пособие для студентов университетов. М. : Высш. школа, 1979. 528 с.
2. Larson G., Fuller D. The Evolution of Animal Domestication // Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics. 2014. Vol. 66. P. 115–136. doi: 10.1146/annurev-eolsys-120213-091620
3. Дудников С. А. Городские кошки и собаки: взгляд с позиции эпизоотологии // Животные в городе : материалы Второй науч.-практ. конф. М. : ИПЭЭ, 2003. С. 274.
4. Meek P. D. The movement, roaming behavior and home range of free roaming domestic dogs // Wildlife Res. 1999. Vol. 26, iss. 6. P. 847–855.
5. Beck G. The ecology of stray dogs; a study of free running urban animals. N.Y. : Baltimore Press, 1973. 98 p.
6. Поярков А. Д., Горячев К. С., Верещагин А. О., Богомолов П. Л. Учет численности бездомных собак на территории Москвы // Тезисы докладов VI съезда Териологического общества. М., 1999. С. 204.
7. Поярков А. Д., Верещагин А. О., Горячев К. С., Богомолов П. Л. Учет численности и популяционные характеристики бездомных собак г. Москвы // Животные в городе : материалы науч.-практ. конф. М. : ИПЭЭ РАН, 2000. С. 99–101.
8. Поярков А. Д., Верещагин А. О., Богомолов П. Л. Исследование популяции бездомных собак (*Canis familiaris*) на территории Москвы. Сообщение 1 // Зоологический журнал. 2011. Т. 90, № 4. С. 498–504.
9. Поярков А. Д., Верещагин А. О., Богомолов П. Л. Исследование популяции бездомных собак (*Canis familiaris*) на территории Москвы. Сообщение 2 // Зоологический журнал. 2011. Т. 90, № 6. С. 724–732.
10. Верещагин А. О., Поярков А. Д., Русов П. В. [и др.]. Учет численности безнадзорных и бесхозяйственных животных (собак) на территории г. Москвы // Проблемы исследований домашней собаки : материалы совещания. М. : ИПЭЭ РАН, 2006. С. 90–123.
11. Березина Е. С. К вопросу об экологии бродячих и одичавших собак // Естественные науки и экология : межвуз. сб. науч. тр. М., 1998. Вып. 3. С. 130–139.

12. Березина Е. С. Экология собак городских популяций. Классификация экологических групп, численность, популяционная структура, коммуникации (на модели города Омска и области) // Ветеринарная патология. 2002. № 1. С. 130–135.
13. Мостуненко С. Комплекс мероприятий по сокращению численности безнадзорных животных на территории Воркуты // БНГ-блоги. 2013. URL: <http://blog.bnkomi.ru/post-7630/> (дата обращения: 20.02.2016).
14. Акимов В. А. Безнадзорные животные. Основные проблемы и пути решения. Пермь : Гармония, 2010. 48 с.
15. Залозных Д. В., Пономаренко О. И. Численность, особенности распределения и территориальное поведение бездомных собак в Нижнем Новгороде // Ветеринарная патология. 2006. № 2 (17). С. 19–23.
16. Седова Н. А. Экологический анализ ситуации с бездомными собаками на примере Карелии // Ветеринарная патология. 2007. № 3. С. 31–37.
17. Седова Н. А. Экологический анализ населения бездомных собак в городах Карелии : дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2008. 130 с.
18. Ивантер Э. В., Седова Н. А. Экологический мониторинг группировок бездомных собак (на примере г. Петрозаводска) // Экология. 2008. № 2. С. 27–35.
19. Шамсувалеева Э. Ш. Особенности экологии собак в условиях г. Казани и его окрестностей : дис. ... канд. биол. наук. М., 2009. 138 с.
20. Золина Н. Ф. Особенности экологии популяций бездомных собак в городе Пензе // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. 2011. № 25. С. 195–198.
21. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пензенской области. URL: <https://58.rosstat.gov.ru> (дата обращения: 01.09.2025).
22. Энциклопедия стран и городов. URL: <https://terravisor.com> (дата обращения: 01.09.2025).
23. Поярков А. Д. Исторический (биографический) метод описания социальной организации и поведения бродячих собак. Методы исследования в экологии и этологии. Пущино, 1986. С. 172–203.
24. Верецагин А. О., Поярков А. Д., Горячев К. С. Методы оценки численности бездомных собак в городе // Тезисы докладов VI съезда Териологического общества. М., 1999. С. 47.
25. Тинберген Н. Поведение животных. М. : Мир, 1969. 320 с.
26. Хайнд Р. Поведение животных. М. : Мир, 1975. 856 с.

References

1. Sokolov V. E. *Sistematika mlekopitayushchikh. T3: Otryady kitoobraznykh, khishchnykh, lastonogikh, trubkozubykh, khototnykh, damanov, siren, parnokopytnykh, mozenogikh, neparnokopytnykh: ucheb. posobie dlya studentov universitetov* = Taxonomy of mammals. Volume 3: Orders of Cetacea, Carnivora, Laepoda, Tubutodonta, Proboscidea, Hyraxes, Sirens, Artiodactyla, Tylopoda, Perissodactyla: textbook for university students. Moscow: Vyssh. shkola, 1979:528. (In Russ.)
2. Larson G., Fuller D. The Evolution of Animal Domestication. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*. 2014;66:115–136. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-120213-091620
3. Dudnikov S.A. Urban cats and dogs: an epizootological perspective. *Zhivotnye v gorode: materialy Vtoroy nauch.-prakt. konf.* = Animals in city: proceedings of the 2nd scientific and practical conference. Moscow: IPEE, 2003:274. (In Russ.)
4. Meek P.D. The movement, roaming behavior and home range of free roaming domestic dogs. *Wildlife Res.* 1999;26(6):847–855.
5. Beck G. *The ecology of stray dogs; a study of free running urban animals*. New York: Baltimore Press, 1973:98.

6. Poyarkov A.D., Goryachev K.S., Vereshchagin A.O., Bogomolov P.L. A census of stray dogs in Moscow. *Tezisy докладov VI s"ezda Teriologicheskogo obshchestva* = Proceedings of the 4th congress of the Theriological Society. Moscow, 1999:204. (In Russ.)
7. Poyarkov A.D., Vereshchagin A.O., Goryachev K.S., Bogomolov P.L. Census and population characteristics of stray dogs in Moscow. *Zhivotnye v gorode: materialy nauch.-prakt. konf.* = Animals in the city: proceedings of scientific and practical. Moscow: IPEE RAN, 2000:99–101. (In Russ.)
8. Poyarkov A.D., Vereshchagin A.O., Bogomolov P.L. A study of the stray dog (*Canis familiaris*) population in Moscow. Report 1. *Zoologicheskii zhurnal* = Zoological journal. 2011;90(4):498–504. (In Russ.)
9. Poyarkov A.D., Vereshchagin A.O., Bogomolov P.L. A study of the stray dog (*Canis familiaris*) population in Moscow. Report 2. *Zoologicheskii zhurnal* = Zoological journal. 2011;90(6):724–732. (In Russ.)
10. Vereshchagin A.O., Poyarkov A.D., Rusov P.V. et al. Census of stray and abandoned animals (dogs) in Moscow. *Problemy issledovaniy domashney sobaki: materialy soveshchaniya* = Problems of domestic dog research: proceedings of the meeting. Moscow: IPEE RAN, 2006:90–123. (In Russ.)
11. Berezina E.S. On the ecology of stray and feral dogs. *Estestvennye nauki i ekologiya: mezhvuz. sb. nauch. tr.* = Natural sciences and ecology: interuniversity collected. Moscow, 1998;(3):130–139. (In Russ.)
12. Berezina E.S. Ecology of dogs in urban populations. Classification of ecological groups, abundance, population structure, communications (based on the city of Omsk and the region). *Veterinarnaya patologiya* = Veterinary pathology. 2002;(1):130–135. (In Russ.)
13. Mostunenko S. A set of measures to reduce the number of stray animals in Vorkuta. *BNG-blogi*. 2013. (In Russ.). Available at: <http://blog.bnkomi.ru/post-7630/> (accessed 20.02.2016).
14. Akimov V.A. *Beznadzornye zhivotnye. Osnovnye problemy i puti resheniya* = Stray animals: main problems and solutions. Perm: Garmoniya, 2010:48. (In Russ.)
15. Zaloznykh D.V., Ponomarenko O.I. Number, distribution patterns and territorial behavior of stray dogs in Nizhny Novgorod. *Veterinarnaya patologiya* = Veterinary pathology. 2006;(2):19–23. (In Russ.)
16. Sedova N.A. An environmental analysis of the situation with stray dogs using Karelia as an example. *Veterinarnaya patologiya* = Veterinary pathology. 2007;(3):31–37. (In Russ.)
17. Sedova N.A. An ecological analysis of stray dog populations in Karelia's cities: PhD dissertation. Petrozavodsk, 2008:130. (In Russ.)
18. Ivanter E.V., Sedova N.A. Environmental monitoring of stray dog populations (by the example of the city Petrozavodsk). *Ekologiya* = Ecology. 2008;(2):27–35. (In Russ.)
19. Shamsuvalieva E.Sh. Peculiarities of dog ecology in the city of Kazan and its environs: PhD dissertation. Moscow, 2009:138. (In Russ.)
20. Zolina N.F. Peculiarities of the ecology of stray dog populations in the city of Penza. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G. Belinskogo* = Proceedings Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinsky. 2011;(25):195–198. (In Russ.)
21. *Territorial'nyy organ Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Penzenskoy oblasti* = Territorial body of the Federal State Statistics Service for Penza Region. (In Russ.). Available at: <https://58.rosstat.gov.ru> (accessed 01.09.2025).
22. *Entsiklopediya stran i gorodov* = Encyclopedia of countries and cities. (In Russ.). Available at: <https://terravisor.com> (accessed 01.09.2025).
23. Poyarkov A.D. *Istoricheskiy (biograficheskiy) metod opisaniya sotsial'noy organizatsii i povedeniya brodyachikh sobak. Metody issledovaniya v ekologii i etologii* = A historical (biographical) method for describing the social organization and behavior of stray dogs. Research methods in ecology and ethology.. Pushchino, 1986:172–203. (In Russ.)

24. Vereshchagin A.O., Poyarkov A.D., Goryachev K.S. Methods for estimating the number of stray dogs in the city. *Tezisy докладов VI s"ezda Teriologicheskogo obshchestva* = Proceedings of the 6th Congress of Theriological Society. Moscow, 1999:47. (In Russ.)
25. Tinbergen N. *Povedenie zhivotnykh* = Animal behavior. Moscow: Mir, 1969:320. (In Russ.)
26. Khaynd R. *Povedenie zhivotnykh* = Animal behavior. Moscow: Mir, 1975:856. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Викторович Кузьмин
аспирант,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: kuzmin.san.kuz@gmail.com

Aleksandr V. Kuzmin
Postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /

The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 10.08.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 27.08.2025

Принята к публикации / Accepted 15.09.2025

УДК 502.13:628.4.03
doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-3

Оценка фитотоксичности выбуренных пород после обжига

Т. А. Гамм¹, Е. В. Гривко², А. А. Гамм³

^{1,2,3}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹hammtam@mail.ru, ²grivko-ev@mail.ru, ³hammtam@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Для исследования выбрали нефтеносные породы Оренбургской области: доломит, известняк, глинисто-алевролитовую породу, песчаник, утилизация которых является современной экологической проблемой. Проводили исследование токсичности для живых организмов выбуренных пород после термической переработки. *Материалы и методы.* Исследовали выбуренную породу, которая вместе с буровым раствором и буровыми сточными водами является отходами на стадии строительства скважин, методом замедленной флуоресценции на содержание нефти и биотестирования с использованием кресс-салата. *Результаты.* Показано, что каждая геологическая порода с содержанием нефти в зависимости от ее структуры и химического состава имеет определенный интервал значений коэффициентов замедленной флуоресценции, по которым ее можно идентифицировать в составе бурового шлама. С увеличением содержания нефти в породе уменьшается значение замедленной флуоресценции. Установлены нормативы замедленной флуоресценции выбуренных содержащих и не содержащих нефть пород, которые можно использовать при определении содержания нефти в выбуренных породах. *Выводы.* При проращивании семян после обжига на доломите и известняке для растений создаются токсичные условия, и выбуренные породы нельзя непосредственно использовать в виде искусственной почвы, как и шлам из-под факела. Известняк и доломит можно использовать в строительстве, в качестве мелиоранта или для создания искусственной почвы с заданными свойствами. Наиболее оптимальным является использование непосредственно для рекультивации глинисто-алевролитовой породы и песчаника.

Ключевые слова: замедленная флуоресценция, глинисто-алевролитовая порода, песчаник, доломит, известняк, обжиг

Для цитирования: Гамм Т. А., Гривко Е. В., Гамм А. А. Оценка фитотоксичности выбуренных пород после обжига // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 2. С. 30–37. doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-3

Evaluation of phytotoxicity of drilled rocks after roasting

T.A. Gamm¹, E.V. Grivko², A.A. Gamm³

Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹hammtam@mail.ru, ²grivko-ev@mail.ru, ³hammtam@mail.ru

© Гамм Т. А., Гривко Е. В., Гамм А. А., 2025. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Abstract. *Background.* The oil-bearing rocks of the Orenburg region were selected for the study: dolomite, limestone, clay-siltstone rock, sandstone, the utilization of which is a modern environmental problem. A study was conducted on the toxicity of drilled rocks for living organisms after thermal processing. *Materials and methods.* The drilled rock, which together with the drilling mud and drilling wastewater, is a waste at the well construction stage, was studied by the method of delayed fluorescence for oil content and biotesting using watercress. *Results.* It is shown that each geological rock containing oil, depending on its structure and chemical composition, has a certain range of values of the delayed fluorescence coefficients, by which it can be identified in the composition of drill cuttings. With an increase in the oil content in the rock, the value of delayed fluorescence decreases. The standards for delayed fluorescence of drilled rocks containing and not containing oil are established, which can be used to determine the oil content in drilled rocks. *Conclusions.* When germinating seeds after firing on dolomite and limestone, toxic conditions are created for plants and the drilled rocks cannot be used directly as artificial soil, as well as sludge from a torch. Limestone and dolomite can be used in construction, as an ameliorant or to create artificial soil with specified properties. The most optimal is the use of clay-siltstone rock and sandstone directly for reclamation.

Keywords: delayed fluorescence, clay-siltstone rock, sandstone, dolomite, limestone, roasting

For citation: Gamm T.A., Grivko E.V., Gamm A.A. Evaluation of phytotoxicity of drilled rocks after roasting. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2025;(2):30–37. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-3

Введение

На территории Оренбургской области сформирован огромный комплекс по добыче углеводородного сырья. На западе региона добывается нефть, в центральной части – природный газ. Все объекты нефтегазодобычи относятся к опасным производственным объектам, которые оказывают существенное воздействие на окружающую среду. Газовое производство снижает добычу в результате истощения газоконденсатного месторождения, а добыча нефти начиная с 2000 гг. увеличивается [1, 2]. Данная тенденция сохраняется и в настоящее время, что приводит к увеличению образования и накопления выбуренных пород в шламовых амбарах.

Государственным балансом запасов полезных ископаемых (нефть) на 1 января 2022 г. в Оренбургской области учтено 302 месторождения (254 нефтяных, 28 газонефтяных, 2 нефтегазовых и 18 нефтегазоконденсатных [3].

Основное воздействие на окружающую среду установлено от ОАО «Оренбургнефть», ООО «Газпром добыча Оренбург», ЗАО «Газпром нефть Оренбург», включающее при размещении отходов в окружающей среде загрязнение почвы, вод и атмосферного воздуха [4].

Предприятия нефтегазового комплекса являются основными источниками антропогенной нагрузки на окружающую среду, которую можно снизить при утилизации отходов, в том числе бурового шлама. Объем бурового шлама зависит от глубины бурения скважины. До настоящего времени актуальна разработка новых методов обращения с отходами. Так как буровые сточные воды и буровой раствор используются повторно, разработка способов обращения с выбуренными породами при их размещении в окружающей среде является важной природоохранной задачей.

Известны методы переработки буровых отходов для дальнейшего использования полученного материала, включающие термические, физические, химические, физико-химические и биологические методы [5, 6].

При термической переработке происходят структурные превращения пород и меняются их свойства [7], увеличивается содержание фосфора и калия [8], необходимых для почвы [9].

Цель исследования – оценка фитотоксичности выбуренных пород после обжига для дальнейшего размещения их в окружающей среде.

Методы исследований

Пробы для исследований отбирали при производстве буровых работ в виде керна из буровых скважин по ГОСТ 12071–2000 в состоянии их естественной влажности. Для исследования выбрали нефтеносные породы Оренбургской области: известняк серый, доломит темно-серый, песчаник темно-серый, глинисто-алевролитовая порода темно-серого или черного цвета из пяти скважин. Изучали показатели замедленной флуоресценции образцов пород и зависимость их значений от содержания нефти в выбуренных породах на приборе, оформленном патентом РФ № 2220413, БН №1, 27.12.2003 [10]. Обработка полученных результатов проведена статистическими методами. Смоделированное содержание нефти в породах – 0,12; 0,15; 0,22; 0,25; 0,38; 0,99; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0; 15,0; 20,0; 25,0; 30,0; 35,0 %.

По полученным значениям были рассчитаны коэффициенты замедленной флуоресценции (R) – это отношение значения замедленной флуоресценции нефтесодержащей выбуренной породы к значению замедленной флуоресценции выбуренной породы без нефти по формуле

$$R = \frac{Fn}{F},$$

где R – коэффициент замедленной флуоресценции; Fn – значения замедленной флуоресценции в нефтесодержащей выбуренной породе, отн. ед.; F – значение замедленной флуоресценции в выбуренной породе без нефти, отн. ед.

Далее выбрали породы с содержанием нефти до 1 % и обжигали при $t = 1000$ °С. В качестве контроля взяли обожженную породу из шламового амбара с факелом на месторождении и чернозем южный. После обжига токсичность пород для окружающей среды изучали биологическими методами, которые помогают выявлять негативные изменения в природной среде при различных концентрациях загрязняющих веществ [11–14]. Методология биодиагностики экологического состояния объектов окружающей среды предполагает использование двух подходов: биоиндикативных наблюдений и биотестирования проб, проводимых по стандартным методикам в контролируемых лабораторных условиях [15, 18] и развивается, используя новые методы тестирования [19, с. 277].

В качестве тест-культуры использовали кресс-салат, что позволило даже при очень слабых воздействиях загрязняющих веществ получить характеристику интегральных показателей пород после обжига [6, 15, 16].

Результаты исследований

Строительство шламового амбара и размещение в нем отходов является механическим воздействием на окружающую среду второго уровня, которое распространяется на почву, зону аэрации, передается на поверхностные и подземные воды, влияет на биоту и может быть экологически опасным.

Выбуренные породы не содержат нефть до продуктивных пластов, поэтому экологически не опасны. В более глубоких слоях породы ее содержание зависит от нефтеемкости продуктивных пластов. Содержание нефти в таких слоях выбуренной породы колеблется в пределах от 1 до 40 %.

Мы установили, что каждая из изученных геологических пород с содержанием нефти в зависимости от ее структуры и химического состава имеет определенный интервал значений коэффициентов замедленной флуоресценции, по которым ее можно идентифицировать в составе бурового шлама без химического анализа (табл. 1).

Таблица 1

Значения коэффициентов замедленной флуоресценции образцов выбуренных пород в зависимости от содержания нефти

Содержание нефти, %	Известняк	Песчаник	Глинисто-алевролитовая порода	Доломит
0,12	0,8897	0,6983	0,8754	0,9521
0,15	0,8881	0,6879	0,8687	0,9132
0,22	0,7235	0,5775	0,7927	0,6987
0,25	0,7132	0,5623	0,7845	0,6901
0,38	0,6547	0,4868	0,6998	0,6754
0,99	0,5396	0,4821	0,6013	0,5779
1	0,4654	0,4728	0,5976	0,5543
1,19	0,4589	0,4675	0,5806	0,5398
2	0,4424	0,4526	0,5776	0,5176
4	0,4191	0,4526	0,5760	0,4816
6	0,3678	0,4526	0,5760	0,4629
8	0,3190	0,4526	0,5760	0,4616
10	0,3107	0,4526	0,5760	0,4616
15	0,2837	0,4526	0,5760	0,4616
20	0,2491	0,4526	0,5760	0,4616
25	0,2262	0,4526	0,5760	0,4616
30	0,1965	0,4526	0,5760	0,4616
35	0,1965	0,4526	0,5760	0,4616

Значения замедленной флуоресценции выше у доломита, а у известняка, глинисто-алевролитовой породы и песчаника они отличаются незначительно. Коэффициенты замедленной флуоресценции у глинисто-алевролитовой породы и песчаника одинаковы – 0,58, что связано с наличием глинистого цемента в песчанике, несколько выше у доломита – 0,69 и наибольшие у известняка – 0,89. С увеличением коэффициента замедленной флуоресценции уменьшается тушение индукционного максимума замедленной флуоресценции. Время тушения замедленной флуоресценции и выхода ее значений на стационарный уровень составляет для известняка 1,5 с, глинисто-алевролитовой породы – 1,2 с, доломита – 2,6 с, песчаника – 1,7 с. В целом с увеличением содержания нефти в породе уменьшаются значения замедленной флуоресценции.

Идентификация загрязненных и не загрязненных нефтью пород методом замедленной флуоресценции позволяет решить вопрос о возможности дальнейшей их утилизации непосредственно на скважинах при их бурении.

При выявлении нефти в породах они направляются на обжиг и дальнейшую утилизацию в качестве практически неопасных отходов.

Тест-культура кресс-салат позволила оценить токсичность пород для растений после ее обжига (табл. 2).

Таблица 2

Результаты проращивания семян кресс-салата на обожженных
при температуре 1000 °С выбуренных породах

Вариант	Количество проросших семян, шт.	Количество непроросших семян, шт.	Средняя длина корешка, см
Чернозем южный, фон	21	4	1,252
Глинисто-алевролитовая порода	20	5	3,015
Песчаник темно-серый	20	5	3,750
Доломит темно-серый	21	4	–
Известняк серый	21	4	0,4
Шлам из-под факела в шламовом амбаре	19	5	0,1

Результаты эксперимента показали, что в песчанике наблюдается более оптимальное соотношение полезных для растений веществ, чем в глинисто-алевролитовой породе. В нем содержится кальций и глина, а сам песчаник – нейтрален как минерал. Прирост корешков проростков по отношению к контролю указывает на стимулирующее действие песчаника, поэтому его можно рекомендовать для рекультивации почвы. Однако глинисто-алевролитовая порода тоже стимулирует рост корешков, они в 2,5 раза длиннее по сравнению с контролем.

На доломите проростков не получили, они только проклюнулись, при увлажнении он зацементировался, превратившись в твердую массу. Известняк при увлажнении не затвердел, но семена проросли не все, длина проростков составила всего 0,4 см. На шламе из-под факела семена только проклюнулись за экспериментальное время, что указывает на токсичность шлама, вероятно, из-за большого количества токсичных веществ, которые используют при подготовке бурового раствора.

По сравнению с контролем наибольшая длина корешков получена на глинисто-алевролитовой породе и песчанике. При этом число проросших семян все равно было меньше, чем в контрольном эксперименте.

Заключение

В результате исследований получена концентрационная шкала замедленной флуоресценции выбуренных пород, которую можно использовать при определении содержания нефти в выбуренных породах.

При проращивании семян после обжига на доломите и известняке для растений создаются токсичные условия и эти выбуренные породы нельзя непосредственно использовать в виде искусственной почвы. Этот вывод был получен и для шлама из-под факела. Известняк и доломит можно использовать в строительстве или для создания искусственной почвы с заданными свойствами.

Наиболее оптимальным для рекультивации почвы является использование вырубленных глинисто-алевролитовой породы и песчаника, полученных при строительстве скважин.

Список литературы

1. Аралбаева Г. Г., Аралбаев З. Т. Тенденции развития нефтегазовой промышленности в оренбургской области // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 4. С. 159–164.
2. Ермакова Ж. А., Борисюк Н. К. Направления ресурсосбережения в нефтяной промышленности Оренбургской области // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 8. С. 15–19.
3. Пичугин С. В., Котельникова Е. М., Усова В. М., Усов А. А. Результаты дистанционного анализа по поиску нового типа залежей нефти и газа в Оренбургской области // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Инженерные исследования. 2023. Т. 24, № 2. С. 196–205. doi: 10.22363/2312-8143-2023-24-2-196-205
4. Шабанова С. В., Голофаева А. С., Сердюкова Е. А., Мозалова Н. П. Воздействие предприятий нефтегазового комплекса на окружающую среду Оренбургской области // Молодой ученый. 2016. № 9. С. 61–62. URL: <https://moluch.ru/archive/113/29061>
5. Тимофеев С. С., Тимофеева С. С., Медведева С. А. Биотехнологическая утилизация нефтешламов и буровых отходов. // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 1. С. 158–163.
6. Ягафарова Г. Г., Сафаров А. Х., Мустаева А. И. [и др.]. Утилизация углеродсодержащих буровых отходов. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. № 2. С. 105–111.
7. Каныгина О. Н., Четверикова О. Г., Лазарева Д. А., Сальникова Е. В. Высокотемпературные фазовые превращения в железосодержащих глинах Оренбуржья // Вестник Оренбургского государственного университета. 2010. № 6. С. 113–118.
8. Пат. 2416590, МПКG01N 21/64. Способ получения комплексного удобрения из горных пород с повышенным содержанием кальция и без нефтепродуктов / Ефремов И. В., Кузьмин О. Н., Колобова Е. А., Гамм А. А., Гамм Т. А., Мосалова Е. И.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Оренбургский государственный университет. Заявл. 11.06.2009; опубл. 04.20.2011.
9. Капелькина Л. П., Бардина Т. В., Бакина Л. Г. [и др.]. Методика определения класса опасности буровых шламов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. 19 с.
10. Пат. 2262094, МПКG01N 21/64. С1 Российская Федерация. Устройство для регистрации замедленной флуоресценции / Иванова П. А., Межуева Л. В. Заявл. 01.30.2004; опубл. 10.10.2005.
11. Чеснокова С. М., Чугай Н. В. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: учеб. пособие. Методы биотестирования. Ч. 2. Владимир: Изд-во Владимир. гос. ун-та, 2008. 92 с.
12. Карташев А. Г. Биоиндикация антропогенных загрязнений: монография. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2019. 226 с.
13. Карташев А. Г. Биоиндикационные методы контроля окружающей среды: учеб. пособие для вузов. М.: Юрайт, 2021. 138 с.
14. Terekhova V. A., Kulachkova S. A., Morachevskaya E., Kiryushina A. P. A soil biodiagnosis methodology and features of some bioindication and biotesting methods (review) // Lomonosov Soil Science Journal. 2023. Vol. 78, № 2. P. 35–45. doi: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-35-45
15. Иваныкина Т. В. Актуальность биоиндикации растений в условиях техногенного загрязнения // Вестник Амурского государственного университета. Сер.: Естественные и экономические науки. 2010. № 51. С. 81–83.

16. Олькова А. С. Процедура выбора методов биотестирования в условиях разных видов загрязнения // Трансформация экосистем. 2022. № 5. С. 63–75. doi: 10.23859/estr-220324
17. Петюкевич А. Э. Современные подходы к биоиндикации, моделированию и анализу солевого (NaCl) стресса у растений // Молодой ученый. 2011. № 9. С. 82–84. URL: <https://moluch.ru/archive/32/3686/> (дата обращения: 06.05.2025).
18. Sibirtsev V. S., Krasnikova L. V., Schleikin A. G., Mussa Al-khatib. New biotesting method with the application of modern impedance technologies // Scientific and technical journal of information technologies mechanics and optics. 2015. Vol. 15, № 2. P. 275–284. doi: 10.17586/2226-1494-2015-15-2-275-284

References

1. Aralbaeva G.G., Aralbaev Z.T. Trends in the development of the oil and gas industry in Orenburg region. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* = Bulletin of Orenburg State University. 2014;(4):159–164. (In Russ.)
2. Ermakova Zh.A., Borisyuk, N.K. Directions for resource conservation in the oil industry of Orenburg region. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* = Bulletin of Orenburg State University. 2014;(8):15–19. (In Russ.)
3. Pichugin S.V., Kotelnikova E.M., Usova V.M., Usov A.A. Results of remote sensing analysis to search for a new type of oil and gas deposits in Orenburg region. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Ser.: Inzhenernye issledovaniya* = Bulletin of RUDN. Series: Engineerings research. 2023;24(2):196–205. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-8143-2023-24-2-196-205
4. Shabanova S.V., Golofaeva A.S., Serdyukova E.A., Mozalova N.P. The impact of oil and gas enterprises on the environment of Orenburg region. *Molodoy uchenyy* = Young scientist. 2016;(9):61–62. (In Russ.). Available at: <https://moluch.ru/archive/113/29061>
5. Timofeev S.S., Timofeeva S.S., Medvedeva S.A. Biotechnological utilization of oil sludge and drilling waste. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Bulletin of Irkutsk State Technical University. 2010;(1):158–163. (In Russ.)
6. Yagafarova G.G., Safarov A.Kh., Mustaeva A.I. et al. Disposal of carbon-containing drilling waste. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov* = Problems of collection, preparation and transportation of oil and petroleum products. 2021;(2):105–111. (In Russ.)
7. Kanygina O.N., Chetverikova O.G., Lazareva D.A., Sal'nikova E.V. High-temperature phase transformations in iron-containing clays of Orenburg region. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* = Bulletin of Orenburg State University. 2010;(6):113–118. (In Russ.)
8. Pat. 2416590, MPKG01N 21/64. A method for producing complex fertilizer from rocks with increased calcium content and without petroleum products. Efremov I.V., Kuz'min O.N., Kolobova E.A., Gamm A.A., Gamm T.A., Mosalova E.I.; applicant and patent holder of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Orenburg State University. Appl. 11.06.2009; publ. 04.20.2011. (In Russ.)
9. Kapel'kina L.P., Bardina T.V., Bakina L.G. et al. *Metodika opredeleniya klassa opasnosti burovyykh shlamov* = Methodology for determining the hazard class of drill cuttings. Saint Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2011:19. (In Russ.)
10. Pat. 2262094, MPKG01N 21/64. C1 Russian Federation. Device for recording delayed fluorescence. Ivanova P.A., Mezhueva L.V. Appl. 01.30.2004; publ. 10.10.2005.
11. Chesnokova S.M., Chugay N.V. *Biologicheskie metody otsenki kachestva ob"ektov okruzhayushchey sredy: ucheb. posobie. Metody biotestirovaniya. Ch. 2* = Biological methods for assessing the quality of environmental objects: textbook. Biotesting methods. Part 2. Vladimir: Izd-vo Vladimir. gos. un-ta, 2008:92. (In Russ.)
12. Kartashev A.G. *Bioindikatsiya antropogennykh zagryazneniy: monografiya* = Bioindication of anthropogenic pollution: monograph. Tomsk: Izd-vo Tomsk. gos. un-ta sistem upravleniya i radioelektroniki, 2019:226. (In Russ.)

13. Kartashev A.G. *Bioindikatsionnye metody kontrolya okruzhayushchey sredy: ucheb. posobie dlya vuzov* = Bioindication methods of environmental monitoring: textbook for universities. Moscow: Yurayt, 2021:138. (In Russ.)
14. Terekhova V.A., Kulachkova S.A., Morachevskaya E., Kiryushina A.P. A soil biodiagnosis methodology and features of some bioindication and biotesting methods (review). *Lomonosov Soil Science Journal*. 2023;78(2):35–45. doi: 10.55959/MSU0137-0944-17-2023-78-2-35-45
15. Ivanykina T.V. The relevance of plant bioindication in conditions of technogenic pollution. *Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye i ekonomicheskie nauki* = Bulletin of Amur State University. Series: natural and economic sciences. 2010;(51):81–83. (In Russ.)
16. Ol'kova A.S. The procedure for selecting biotesting methods under conditions of different types of pollution. *Transformatsiya ekosistem* = Transformation of ecosystems. 2022;(5):63–75. (In Russ.). doi: 10.23859/estr-220324
17. Petyukevich A.E. Modern approaches to bioindication, modeling and analysis of salt (NaCl) stress in plants. *Molodoy uchenyy* = Young scientist. 2011;(9):82–84. (In Russ.). Available at: <https://moluch.ru/archive/32/3686/> (accessed 06.05.2025).
18. Sibirtsev V.S., Krasnikova L.V., Schleikin A.G., Mussa Al-khatib. New biotesting method with the application of modern impedance technologies. *Scientific and technical journal of information technologies mechanics and optics*. 2015;15(2):275–284. doi: 10.17586/2226-1494-2015-15-2-275-284

Информация об авторах / Information about the authors

Тамара Алексеевна Гамм

доктор сельскохозяйственных наук,
доцент, профессор кафедры
экологии и природопользования,
Оренбургский государственный
университет
(Россия, г. Оренбург, пр-кт Победы, 13)
E-mail: hammtam@mail.ru

Tamara A. Gamm

Doctor of agricultural sciences,
associate professor, professor
of the sub-department of ecology
and nature management,
Orenburg State University
(13 Pobedy avenue, Orenburg, Russia)

Елена Васильевна Гривко

кандидат педагогических наук, доцент,
доцент кафедры экологии
и природопользования,
Оренбургский государственный
университет
(Россия, г. Оренбург, пр-кт Победы, 13)
E-mail: grivko-ev@mail.ru

Elena V. Grivko

Candidate of pedagogical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of ecology
and nature management,
Orenburg State University
(13 Pobedy avenue, Orenburg, Russia)

Алексей Абрамович Гамм

соискатель,
Оренбургский государственный
университет
(Россия, г. Оренбург, пр-кт Победы, 13)
E-mail: hammtam@mail.ru

Aleksey A. Gamm

Applicant,
Orenburg State University
(13 Pobedy avenue, Orenburg, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 26.05.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 09.06.2025

Принята к публикации / Accepted 25.08.2025

УДК 632*95.024.4

doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-4

Фитоиндикация антропогенно трансформированных почв в условиях Донбасса

Д. А. Достовалова¹, А. З. Глухов², Н. С. Подгородецкий³,
Ю. С. Ионуц⁴, О. С. Шумакова⁵

^{1,2}Донецкий ботанический сад, Донецк, Россия

^{3,4,5}Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Макеевка, Россия

¹dasha.dostovalova1997@mail.ru, ²glukhov.az@mail.ru, ³n.s.podgorodetskiy@donnasa.ru,

⁴ionuts.y.333@gmail.com, ⁵olya7657@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Проведено исследование токсичности почв с использованием растения-биоиндикатора (рапса озимого) в природных условиях на шахтном породном отвале, а также в лаборатории в аналогичной породе и разных типах почв с перспективой дальнейшей рекомендации его для биологической рекультивации породных отвалов Донбасса. *Материалы и методы.* В ходе исследований использовались обзорные, аналитические, натурные и экспериментальные методы. Посадка семян озимого рапса на породном отвале ш. 5/6 им. Димитрова (г. Донецк, ДНР) произведена на плато отвала, северном и южном склонах. Первые всходы появились на плато отвала. Появление всходов рапса на склонах не наблюдалось. Посадка семян озимого рапса в лабораторных условиях была произведена в пяти типах почв (примерно по 300 шт семян в каждый тип почв и породы): почву, отобранную в Донецком ботаническом саду (контроль), возле автомагистрали, в районе действующего горящего породного отвала, районе автозаправочной станции (далее – АЗС), в парке культуры и отдыха (далее – ПКиО) в районе Донецкого металлургического завода (далее – ДМЗ). В часть почвы вносились кремниевые удобрения, а также изготовленные удобрения из перегоревшей породы отвала ш. 6/14 (г. Макеевка). Во вторую часть почвы производился посев семян без внесения дополнительных удобрений. Также был произведен посев семян озимого рапса в породу отвала ш. 5/6 им. Димитрова (северный и южный склон) без внесения удобрений. *Результаты.* Наибольшее количество проростков показала почва возле породного отвала + АЗС с внесением удобрений – 67 % от общего числа посеянных семян. Наименьшее – почва в районе ДМЗ с внесением удобрений – 34 %. Наибольший рост показала почва ботанического сада с внесением удобрений – до 15 см, наименьший – почва возле породного отвала + АЗС – до 9 см. *Выводы.* Низкие рост и всхожесть семян в почвах в районе породного отвала, АЗС и ДМЗ обусловлены предположительно ввиду наличия следов нефтепродуктов, тяжелых металлов и выбросов продуктов горения в почву. Всхожесть семян и прирост в породе отвала на обоих склонах примерно одинаковы предположительно ввиду выравнивая микроклиматических условий в лаборатории, в отличие от этих условий на отвале, где южный склон является более освещенным и менее подверженным воздействию ветровых потоков.

Ключевые слова: фитоиндикация, антропогенно трансформированная почва, Донбасс

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБНУ Донецкий ботанический сад по теме «Классификация почвенно-растительного покрова с помощью методов дистанционного зондирования Земли» (регистрационный № 124101500495-0).

© Достовалова Д. А., Глухов А. З., Подгородецкий Н. С., Ионуц Ю. С., Шумакова О. С., 2025. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Достовалова Д. А., Глухов А. З., Подгородецкий Н. С., Ионуц Ю. С., Шумакова О. С. Фитоиндикация антропогенно трансформированных почв в условиях Донбасса // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 2. С. 38–46. doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-4

Phytoindication of anthropogenic transformed soils in the conditions of Donbass

**D.A. Dostovalova¹, A.Z. Glukhov², N.S. Podgorodetsky³,
Yu.S. Ionuts⁴, O.S. Shumakova⁵**

^{1,2}Donetsk Botanical Garden, Donetsk, Russia

^{3,4,5}Donbass National Academy of Construction and Architecture, Makeevka, Russia

¹dasha.dostovalova1997@mail.ru, ²glukhov.az@mail.ru, ³n.s.podgorodetskiy@donnasa.ru,
⁴ionuts.y.333@gmail.com, ⁵olya7657@mail.ru

Abstract. *Background.* The study of soil toxicity using a bioindicator plant (winter rapeseed) in natural conditions on a mine rock dump, as well as in a laboratory in a similar rock and different types of soils with the prospect of further recommending it for the biological reclamation of rock dumps in Donbass. *Materials and methods.* In the course of the research, review, analytical, field and experimental methods were used. Planting of winter rapeseed seeds on a rock dump named after sh. 5/6 Dimitrova (Donetsk, DPR) was produced on the dump plateau, the northern and southern slopes. The first shoots appeared on the plateau of the dump. The appearance of rapeseed seedlings on the slopes was not observed. Winter rapeseed seeds were planted in laboratory conditions in 5 types of soils (approximately 300 seeds per each type of soil and rock): soil selected in the Donetsk Botanical Garden (control), near the highway, in the area of an active burning rock dump (+ the area of a gas station (hereinafter referred to as the gas station), in the park culture and Recreation (hereinafter referred to as the PCiO) in the area of the Donetsk Metallurgical Plant, hereinafter referred to as the DMZ). Silicon fertilizers were applied to a part of the soil, as well as fertilizers made from the burnt-out rock of the dump sh. 6/14 (Makeyevka). In the second part of the soil, seeds were sown without additional fertilizers. Winter rapeseed seeds were also sown in the rock of the sh. 5/6 dump named after him. Dimitrova (northern and southern slopes) without applying fertilizers. *Results.* The largest number of seedlings was shown by the soil near a rock dump + a gas station with fertilizers – 67 % of the total number of sown seeds. The lowest is the soil in the DMZ area with fertilization – 34 %. The soil of the botanical garden with fertilizers showed the greatest growth – up to 15 cm, the smallest – the soil near the rock dump + gas station – up to 9 cm. *Conclusions.* The low growth and germination of seeds in the soils in the area of the rock dump, gas station and DMZ are presumably due to the presence of traces of petroleum products, heavy metals and emissions of gorenje products into the soil. Seed germination and growth in the rock of the dump on both slopes are approximately the same, presumably due to leveling microclimatic conditions in the laboratory, in contrast to these conditions on the dump, where the southern slope is more illuminated and less exposed to wind currents.

Keywords: phytoindication, anthropogenic transformed soil, Donbass

Financing: the research was financed by the Donetsk Botanical Garden on the topic “Classification of soil and vegetation cover using remote sensing methods” (No. 124101500495-0).

For citation: Dostovalova D.A., Glukhov A.Z., Podgorodetsky N.S., Ionuts Yu.S., Shumakova O.S. Phytoindication of anthropogenic transformed soils in the conditions of Donbass. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2025;(2):38–46. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-4

Введение

Озимый рапс является неприхотливой технической масличной культурой, которая является активным поглотителем веществ и микроэлементов из почвы и способна прорасти на почвах, загрязненных тяжелыми металлами, а также засоленных почвах. Теоретически существует возможность применения озимого рапса для закрепления склонов шахтных породных отвалов и их биологической рекультивации, что особо актуально для такого горнодобывающего региона как Донбасс.

Фитотестирование широко применяется при обнаружении загрязнения почв. Наиболее часто для этого используют кресс-салат *Lepidium sativum* L., редис *Raphanus raphanistrum subsp. sativus* L., подсолнечник *Helianthus annuus* L., горчица *Sinapis alba* L., рапс *Brassica napus* L., турнепс *Brassica rapa subsp. rapifera* Metzger и т.д. Для количественной оценки действия факторов в условиях техногенного загрязнения используют различные физиологические, биохимические и цитогенетические параметры тест-систем растений: всхожесть и энергию прорастания семян, параметры длины корней и проростков семян, интенсивность роста побегов растения, интенсивность наращивания его фитомассы, количество формирующихся цветков, семян и плодов, размеры некоторых частей растения, например, околоцветников, листьев и т.д. Фитотестирование пригодно для обнаружения загрязнения, для оценки степени загрязненности почв, а также его применяют для оценки и контроля процессов обезвреживания поллютантов и ремедиации загрязненных почв. Перспективным направлением является использование растений как тест-культур для изучения воздействия различных загрязнителей почв [11].

Донбасс является антропогенно видоизмененным регионом, большая часть территорий которого представлена трансформированными типами почв – урбаноземами, техноземами, реплантоземами. Большие площади занимают также угольные отвалы горнодобывающих предприятий.

По данным Министерства угля и энергетики ДНР, на территории республики насчитывается около 800 породных отвалов, половина из которых расположены на административных территориях городов Донецк (144), Макеевка (118), Шахтерск (69) и Торез (67). Техногенная нагрузка в Донбассе в 5–10 раз выше средней. Общая площадь техногенных объектов на территории некоторых городов республики достигает более 10 % от их площади.

Для определения токсичности почв используются два варианта фитотестирования: 1) определения токсичности почв путем проращивания семян высших растений непосредственно в почве; 2) определение токсичности водных вытяжек из почв по их влиянию на различные показатели прорастания семян высших растений.

Следует отметить, что во многих научных работах исследователями было показано, что результаты фитотестирования первым и вторым способами существенно различаются. Вариант фитотестирования, предполагающий анализ роста растений непосредственно в почве, более чувствителен, чем определение токсичности водных вытяжек из этих почв [12].

Методы фитотестирования подразделяются на лабораторный, вегетационный (горшечный) и микроплощадочный варианты. Такое подразделение подразумевается в зависимости от используемого масштаба. Среди трех

указанных вариантов наиболее широко применяется лабораторный метод фитотестирования. Это связано с его более высокой чувствительностью, простотой применения, компактностью, относительной дешевизной, доступностью и сохранностью тест-объекта (растительных семян).

Целью работы является исследование токсичности почв с использованием в качестве растения-биоиндикатора (рапса озимого) в природных условиях на шахтном породном отвале, а также в лаборатории на аналогичной породе и разных типах почв с перспективой разработки дальнейшей рекомендации использования рапса для биологической рекультивации породных отвалов Донбасса.

Материалы и методы

В качестве тест-параметров использованы следующие показатели растительных организмов: всхожесть (количество проросших семян – в % от общего количества семян, используемых в эксперименте); энергию прорастания (количество семян, проросших в первые трое суток – в % от общего количества семян в эксперименте); дружность прорастания (среднее количество семян, проросших за одни сутки от начала эксперимента – в % от общего количества семян, в эксперименте); скорость прорастания (количество семян, прорастающих ежедневно – выражается как сумма средних значений проросших семян за определенные сутки экспонирования) [13].

Посадка семян озимого рапса в лабораторных условиях была произведена 24.10.2024 в пяти типах почв (примерно по 300 шт семян в каждый тип почв и породы): почву, отобранную в Донецком ботаническом саду (контроль); возле автомагистрали; в районе действующего горящего породного отвала; районе автозаправочной станции (далее – АЗС); в парке культуры и отдыха (далее – ПКиО) в районе Донецкого металлургического завода (далее – ДМЗ). В часть почвы вносились кремниевые удобрения, а также изготовленные удобрения из перегоревшей породы отвала ш. 6/14 (г. Макеевка). Во вторую часть почвы производился посев семян без внесения дополнительных удобрений. Также был произведен посев семян озимого рапса в породу отвала ш. 5/6 им. Димитрова (северный и южный склон) без внесения удобрений.

Результаты и их обсуждение

Посадка семян озимого рапса на породном отвале ш. 5/6 им. Димитрова (г. Донецк, ДНР) произведена 20.10.2024 на плато отвала, северном и южном склонах. Первые всходы появились на плато отвала 30.10.2024. Появление всходов рапса на склонах наблюдалось 25.04.2025.

Первые всходы рапса появились через три дня. Лучшую всхожесть семян и рост показали почва ботанического сада и ПКиО (35–41 % от общего количества семян, высота: 0,5–6 см). При этом рапс на почве, в которую были внесены удобрения, показал больший прирост (на 1 см) и большее количество проростков. Худшие прирост и всхожесть биоиндикатора были выявлены на почве возле породного отвала. На участках посевов без удобрений на первый день исследований не наблюдалось ни одного проростка. На почве с удобрениями отмечена 6 % всхожесть семян с высотой проростков от 0,1 до 0,5 см. В породе отвала на южном склоне количество проростков с высотой 0,1–3,5 см составило 43 %, на северном склоне – 23 % (в 2 раза меньше).

Последующие контрольные замеры показали регулярный стабильный рост всходов на 1,5–3 см в течение 11 дней. Ростки в почве возле породного отвала и АЗС появились 29.10 и показали прирост до 9 см.

Развитие всходов во всех образцах почвы и породе остановилось 07.11.2024 на 14 день после посадки (прирост составил от 10 до 15 см (рис. 1)).



а)



б)



в)

Рис. 1. Почва:

а – ПКЮ; б – район ДМЗ; в – Донецкий ботанический сад (контроль) (начало)



з)



д)



е)

Рис. 1. Окончание:

з – автомагистраль; д – породный отвал + АЗС;

е – порода отвала 5/6 им. Димитрова

Заключение

Таким образом, наибольшее количество проростков было получено на почвах возле породного отвала + АЗС с внесением удобрений – 67 % от общего числа посеянных семян, наименьшее – почва из района ДМЗ с внесением удобрений – 34 %. Наибольший прирост всходов был получен на почве ботанического сада с внесением удобрений до 15 см, наименьший на почве возле породного отвала + АЗС – до 9 см. Низкие прирост и всхожесть семян в почвах в районе породного отвала, АЗС и ДМЗ были обусловлены предположительно наличием следов нефтепродуктов, тяжелых металлов и продуктов горения. В отличие от результатов эксперимента в природной среде этих условий на отвале, где на более освещенном и менее подверженном воздействию

ветровых потоков южном склоне были получены более высокие показатели. Всхожесть семян и прирост на породе отвала южного и северного склонов оказались примерно одинаковыми предположительно ввиду выравнивания микроклиматических условий в лаборатории.

Список литературы

1. Зыбалов В. С. Сергеев Н. С., Запечалов М. В. Рациональное использование рапса в сельскохозяйственном производстве // АПК России. 2019. Т. 26, № 2. С. 544–564.
2. Kaya A. R., Coşkun N. Effect of organic fertilizer forms and doses on the seed germination and seedling development of rapeseed (*Brassica napus* L.) // Applied ecology and environmental research. 2020. Vol. 18, № 5. P. 6813–6828. doi: 10.15666/aeer/1805_68136828
3. Чекмарев П. А., Смирнов А. А., Прахова Т. Я. Интродукция нетрадиционных масличных культур // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 7. С. 3–5.
4. Лукомец В. М., Зеленцов С. В., Кривошлыков К. М. Перспективы и резервы расширения производства масличных культур в Российской Федерации // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2015. Вып. 4 (164). С. 81–102.
5. Asma Haj Sghaier, Akos Tarnawa, Hussein Khaeim [et al.]. The Effects of Temperature and Water on the Seed Germination and Seedling Development of Rapeseed (*Brassica napus* L.) // Plants. 2022. Vol. 11, № 2819. P. 18. doi: 10.3390/plants11212819
6. Jifeng Zhu, Xirong Zhou, Jianxia Jiang [et al.]. The Seed Germination Characteristics Under Low Temperature and Spring Sowing Study of 8 Rapeseed Varieties // Molecular Plant Breeding. 2021. Vol. 12, № 16. P. 1–7. doi: 10.5376/mpb.2021.12.0016
7. Pica N. E., Carlson K., Steiner J. J., Waskom R. Produced water reuse for irrigation of non-food biofuel crops: effects on switchgrass and 2 rapeseed germination, physiology and biomass yield // Industrial Crops and Products. 2017. Vol. 100, № 4. P. 65–76. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.02.011
8. Shuaiyang Zhang, Chengxu Lv, Cheng Cui [et al.]. Near-Infrared Spectral Analysis for Assessing Germination Rate of Rapeseed Seeds: An Applied Sciences Approach // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, № 11001. P. 16. doi: 10.3390/app131911001
9. Souhail Channaoui, Imane Saghoui El Idrissi, Hamid Mazouz, Abdelghani Nabloussi. Reaction of some rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to different drought stress levels during germination and seedling growth stages // Oilseeds and fats, Crops and Lipids. 2019. Vol. 26, № 5. doi: 10.1051/ocl/2019020
10. Tao Luo, Ziwei Sheng, Chunni Zhang [et al.]. Seed Characteristics Affect Low-Temperature Stress Tolerance Performance of Rapeseed (*Brassica napus* L.) during Seed Germination and Seedling Emergence Stages // Agronomy. 2022. № 12. 16 p. doi: 10.3390/agronomy12081969
11. Тишин А. С. Фитотестирование почв, загрязненных нефтепродуктами // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 12 (102), ч. 2. Декабрь. С. 78–83.
12. Арзамазова А. В., Кинжаев Р. Р., Трофимов С. Я. Опыт применения яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в целях фитотестирования нефтезагрязненных почв // Проблемы агрохимии и экологии. 2016. № 2. С. 47–51.
13. Дубровская Е. В., Позднякова Н. Н., Муратова А. Ю., Турковская О. В. Изменение фитотоксичности полициклических ароматических углеводородов в процессе их микробной деградации // Физиология растений. 2016. Т. 63, № 1. С. 180–188.

References

1. Zybalov V.S. Sergeev N.S., Zapevalov M.V. Rational use of rapeseed in agricultural production. *APK Rossii* = Russian agro-industrial complex. 2019;26(2):544–564. (In Russ.)

2. Kaya A.R., Coşkun N. Effect of organic fertilizer forms and doses on the seed germination and seedling development of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Applied ecology and environmental research*. 2020;18(5):6813–6828. doi: 10.15666/aeer/1805_68136828
3. Chekmarev P.A., Smirnov A.A., Prakhova T.Ya. Introduction of non-traditional oil crops. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of science and technology in the agro-industrial complex. 2013;(7):3–5. (In Russ.)
4. Lukomets V.M., Zelentsov S.V., Krivosheynov K.M. Prospects and reserves for expanding oilseed production in the Russian Federation. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oilseeds. Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds. 2015;(4):81–102. (In Russ.)
5. Asma Haj Sghaier, Ákos Tarnawa, Hussein Khaeim et al. The Effects of Temperature and Water on the Seed Germination and Seedling Development of Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Plants*. 2022;11(2819):18. doi: 10.3390/plants11212819
6. Jifeng Zhu, Xirong Zhou, Jianxia Jiang et al. The Seed Germination Characteristics Under Low Temperature and Spring Sowing Study of 8 Rapeseed Varieties. *Molecular Plant Breeding*. 2021;12(16):1–7. doi: 10.5376/mpb.2021.12.0016
7. Pica N.E., Carlson K., Steiner J.J., Waskom R. Produced water reuse for irrigation of non-food biofuel crops: effects on switchgrass and 2 rapeseed germination, physiology and biomass yield. *Industrial Crops and Products*. 2017;100(4):65–76. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.02.011
8. Shuaiyang Zhang, Chengxu Lv, Cheng Cui et al. Near-Infrared Spectral Analysis for Assessing Germination Rate of Rapeseed Seeds: An Applied Sciences Approach. *Applied Sciences*. 2023;13(11001):16. doi: 10.3390/app131911001
9. Souhail Channaoui, Imane Saghoui El Idrissi, Hamid Mazouz, Abdelghani Nabloussi. Reaction of some rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes to different drought stress levels during germination and seedling growth stages. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 2019;26(5). doi: 10.1051/ocl/2019020
10. Tao Luo, Ziwei Sheng, Chunni Zhang et al. Seed Characteristics Affect Low-Temperature Stress Tolerance Performance of Rapeseed (*Brassica napus* L.) during Seed Germination and Seedling Emergence Stages. *Agronomy*. 2022;(12):16. doi: 10.3390/agronomy12081969
11. Tishin A.S. Phytotesting of soils contaminated with petroleum products. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International research journal. 2020;(12):78–83. (In Russ.)
12. Arzamazova A.V., Kinzhaev R.R., Trofimov S.Ya. Experience of using spring wheat (*Triticum aestivum* L.) for phytotesting of oil-contaminated soils. *Problemy agrokhimii i ekologii* = Issues of agrochemistry and ecology. 2016;(2):47–51. (In Russ.)
13. Dubrovskaya E.V., Pozdnyakova N.N., Muratova A.Yu., Turkovskaya O.V. Changes in the phytotoxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons during their microbial degradation. *Fiziologiya rasteniy* = Plant physiology. 2016;63(1):180–188. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Дарья Александровна Достовалова
аспирант, младший научный сотрудник
научно-исследовательской лаборатории
экологической информатики
и моделирования,
Донецкий ботанический сад
(Россия, г. Донецк, пр-кт Ильича, 110)
E-mail: dasha.dostovalova1997@mail.ru

Daria A. Dostovalova
Postgraduate student,
junior researcher of the research
laboratory of environmental
informatics and modeling,
Donetsk Botanical Garden
(110 Ilyicha avenue, Donetsk, Russia)

Александр Захарович Глухов

доктор биологических наук, профессор,
главный научный сотрудник
лаборатории культурных растений,
Донецкий ботанический сад
(Россия, г. Донецк, пр-кт Ильича, 110)
E-mail: glukhov.az@mail.ru

Aleksandr Z. Glukhov

Doctor of biological sciences, professor,
chief researcher of the laboratory
of cultivated plants,
Donetsk Botanical Garden
(110 Ilyicha avenue, Donetsk, Russia)

Николай Сергеевич Подгородецкий

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры техносферной
безопасности,
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры
(Россия, г. Макеевка, ул. Державина, 2)
E-mail: n.s.podgorodetskiy@donnasa.ru

Nikolay S. Podgorodetsky

Candidate of technical sciences, associate
professor, associate professor
of the sub-department
of technosphere safety,
Donbass National Academy
of Construction and Architecture
(2 Derzhavina street, Makeevka, Russia)

Юлия Сергеевна Ионуц

аспирант, ассистент кафедры
техносферной безопасности,
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры
(Россия, г. Макеевка, ул. Державина, 2)
E-mail: ionuts.y.333@gmail.com

Yulia S. Ionuts

Postgraduate student,
assistant of the sub-department
of technosphere safety,
Donbass National Academy
of Construction and Architecture
(2 Derzhavina street, Makeevka, Russia)

Ольга Сергеевна Шумакова

студент,
Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры
(Россия, г. Макеевка, ул. Державина, 2)
E-mail: olya7657@mail.ru

Olga S. Shumakova

Student, Donbass National Academy
of Construction and Architecture
(2 Derzhavina street, Makeevka, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 03.06.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 20.08.2025

Принята к публикации / Accepted 12.09.2025

УДК 502.51(470.56)

doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-5

Оценка экологического состояния воды озера Малахово (г. Оренбург, Россия)

И. В. Шаврина¹, О. В. Чекмарева², М. Ю. Глуховская³, М. Ю. Гарицкая⁴

¹Федеральный научный центр биологических систем
и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

^{2,3,4}Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹ira.shavrina.00@bk.ru, ²olyachek@mail.ru, ³commarina97@mail.ru, ⁴m.garitskaya@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Пресные поверхностные водоемы находятся под воздействием множества антропогенных и природных факторов, которые могут оказывать значительное негативное влияние на структуру и функции всей экосистемы. Несмотря на то, что предпринимается множество усилий по оценке и управлению качеством поверхностных вод, проблема их загрязнения до настоящего времени остается актуальной. Целью исследования является комплексная экологическая оценка состояния оз. Малахово (г. Оренбург, Россия) по органолептическим, обобщенным и гидрохимическим показателям за 2022–2023 гг. *Материалы и методы.* Исследования проводились по трем створам, расположенным как в непосредственной близости, так и максимальном удалении от источников загрязнения с использованием следующих методов: фотометрический (определение содержания нитритов и азота нитратов), атомно-абсорбционный (установление массовой концентрации железа), титриметрический (определение содержания ионов кальция, магния, сульфат-ионов и массовой концентрации карбонатов) и флуориметрический метод (измерение массовой концентрации нефтепродуктов). Все исследования проведены в аккредитованной лаборатории. *Выводы.* По основным органолептическим показателям вода исследуемого водоема соответствует критериям качества, исключение составляют взвешенные вещества, по которым максимальные превышения до 5,5 ПДК (предельно допустимая концентрация) наблюдаются в осенний период, в результате чего воды озера относятся к грязным (V класс качества). По отдельным веществам (ионы железа, магния, сульфат-ионы, нитриты) зафиксировано превышение предельно допустимой концентрации рыбохозяйственного значения. Экологическое состояние вод по содержанию нитратов и нитритов во всех створах ухудшается в зимний период до V класса качества. Превышение предельно допустимой концентрации культурно-бытового значения не зафиксировано. По результатам расчета гидрохимического индекса загрязнения вода оз. Малахово (г. Оренбург) классифицируется в основном как умеренно загрязненная, за исключением первого створа, расположенного в непосредственной близости к источникам загрязнения, где вода в осенний период относится к загрязненной.

Ключевые слова: индекс загрязнения воды, экологическое состояние, водный объект, критерии качества

Для цитирования: Шаврина И. В., Чекмарева О. В., Глуховская М. Ю., Гарицкая М. Ю. Оценка экологического состояния воды озера Малахово (г. Оренбург, Россия) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 2. С. 47–58. doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-5

Assessment of the ecological state of the water of Lake Malakhovo (Orenburg, Russia)

I.V. Shavrina¹, O.V. Chekmareva², M.Yu. Glukhovskaya³, M.Yu. Garitskaya⁴

¹Federal Scientific Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

^{2,3,4}Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹ira.shavrina.00@bk.ru, ²olyachek@mail.ru, ³commarina97@mail.ru, ⁴m.garitskaya@yandex.ru

Abstract. *Background.* Fresh surface water bodies are exposed to many anthropogenic and natural factors that can have a significant negative impact on the structure and functions of the entire ecosystem. Despite the fact that many efforts are being made to assess and manage the quality of surface waters, the problem of their pollution remains relevant to this day. The purpose of the study is a comprehensive environmental assessment of the state of Lake Malakhovo (Orenburg, Russia) based on organoleptic, generalized and hydrochemical indicators for 2022–2023. *Materials and methods.* The studies were carried out at three sites located both in the immediate vicinity and at the maximum distance from pollution sources using the following methods: photometric (determination of nitrite and nitrate nitrogen content), atomic absorption (establishment of iron mass concentration), titrimetric (determination of calcium, magnesium, sulfate ions and mass concentration of carbonates) and fluorimetric method (measurement of mass concentration of oil products). All studies were conducted in an accredited laboratory. *Conclusions.* According to the main organoleptic indicators, the water of the studied reservoir meets the quality criteria, with the exception of suspended substances, for which maximum excesses of up to 5.5 MPC (maximum permissible concentration) are observed in the autumn period, as a result of which the lake waters are classified as dirty (quality class V). For individual substances (iron and magnesium ions, sulfate ions, nitrites), excess of the maximum permissible concentration of fishery value was recorded. The ecological state of the waters in terms of nitrate and nitrite content in all sections deteriorates in the winter to quality class V. Exceeding the maximum permissible concentration of cultural and household value was not recorded. According to the results of calculating the hydrochemical pollution index, the water of the lake. Malakhovo (Orenburg) is classified mainly as moderately polluted, with the exception of the first section, located in close proximity to pollution sources, where the water in the autumn period is considered polluted.

Keywords: water pollution index, ecological status, water body, quality criteria

For citation: Shavrina I.V., Chekmareva O.V., Glukhovskaya M.Yu., Garitskaya M.Yu. Assessment of the ecological state of the water of Lake Malakhovo (Orenburg, Russia). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2025;(2):47–58. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-5

Введение

Загрязнение озер происходит как правило в результате поступления загрязняющих веществ от точечных и линейных источников с ливневыми и талыми водами. Также подобные водные объекты подвержены механическому загрязнению вследствие наносов с эродированных почв, что приводит к заиливанию и снижению прозрачности. Повышение мутности воды влияет как на растительность, так и окружающую животную жизнь, нанося ущерб водной экосистеме.

В случае расположения водоема в непосредственной близости к сельскохозяйственным угодьям, животноводческим комплексам и объектам размещения отходов возникает угроза органического загрязнения вследствие попадания значительного количества питательных веществ, вызывающих чрезмерный рост

водорослей, приводящих к цветению воды. Эвтрофикация блокирует солнечный свет, ухудшает качество воды для аквабионтов, а также для других организмов, которые используют этот источник воды для выживания.

Водные ресурсы Оренбургской области являются частью ее природного богатства, они применяются как объекты промышленного, любительского и спортивного рыболовства, в рекреационных целях, а также для орошения сельскохозяйственных земель. Загрязнение водных объектов области связано с несоблюдением режимов санитарной охраны, с поступлением загрязняющих веществ от промышленных источников и хозяйственной деятельности человека [1–3].

Информация и тематические исследования в данной области показывают, что данная категория водоемов находится под угрозой из-за чрезмерной эксплуатации, обогащения органическими и токсичными веществами и образования отложений [4].

Цель работы – оценить экологическое состояние одного из водных объектов г. Оренбурга – оз. Малахово, по органолептическим, отдельным гидрохимическим показателям и гидрохимическому индексу загрязнения воды.

Полученные результаты исследований могут быть использованы специалистами в области охраны окружающей среды и водных ресурсов для принятия необходимых мер по предотвращению загрязнения подобных водных объектов.

Материал и методы

Объект исследования – оз. Малахово (г. Оренбурга), расположенное в 400 м восточнее от левого берега р. Сакмара, относящееся к пойменным озерам старичного типа. Водоем имеет изогнутую форму. Длина озера по обводненному руслу в межень составляет 2,76 км, глубина варьируется от 1,0 м по внешним границам до 4–5 м в ямах, средняя глубина составляет 1,7 м.

Для определения гидрохимических показателей в исследуемых пробах воды были использованы следующие методы:

- фотометрический метод определения содержания нитритов с использованием сульфаниловой кислоты и азота нитратов с использованием фенолдисульфокислоты по ГОСТ 33045–2014;

- титриметрический метод определения содержания ионов кальция, магния по ГОСТ 23268.5–1978, сульфат-ионов по ГОСТ 31940–2012, хлорид-ионов по ГОСТ 4245–1972 и массовой концентрации карбонатов по ГОСТ 31957–2012;

- атомно-абсорбционный метод для определения массовой концентрации железа;

- флуориметрический метод измерения массовой концентрации нефтепродуктов.

Для отбора проб были определены три створа. Первый створ (створ I) находился в максимальной близости к антропогенно преобразованной территории, второй (створ II) – посередине озера, что позволило оценить степень разбавления поступающих вод от источников загрязнения в составе талых и ливневых потоков, а третий створ (створ III) находился на максимальном удалении (1,2 км) от источников загрязнения. Карта-схема отбора проб представлена на рис. 1.

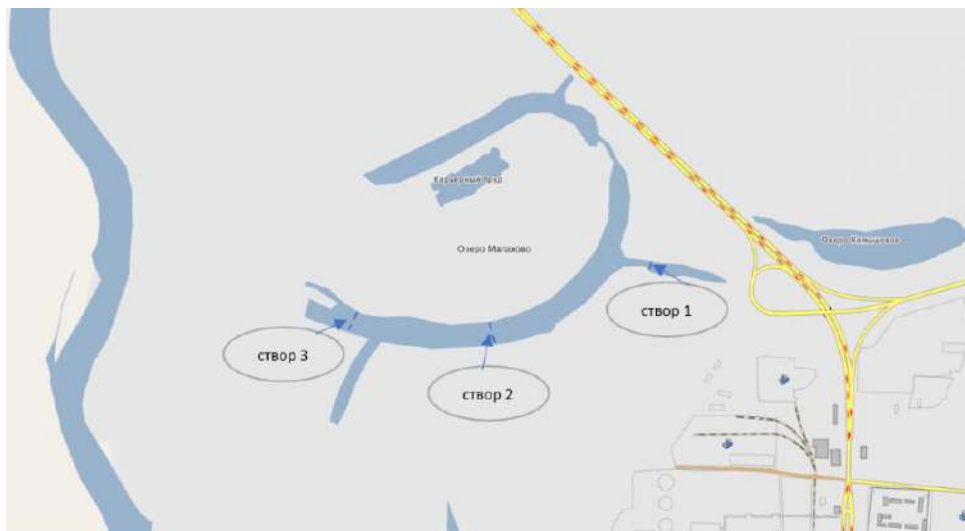


Рис. 1. Точки отбора проб воды из оз. Малахово (г. Оренбург, Россия)

Результаты и обсуждение

В исследуемых пробах воды определяли органолептические (запах, цветность, мутность, взвешенные вещества), химические (нитраты (NO_3^-), нитриты (NO_2^-), сульфаты (SO_4^{2-}), хлориды (Cl^-), карбонаты (CO_3^{2-}), ионы кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}), железа (Fe^{2+})) и обобщенные (температура, водородный показатель (pH), нефтепродукты и жесткость) показатели качества. Температуру и запах природной воды определяли непосредственно в момент отбора проб, в полевых условиях. Все остальные исследования были проведены в аккредитованной лаборатории (табл. 1).

Таблица 1

Значения органолептических показателей
воды оз. Малахово (г. Оренбург, Россия)

Период года	Наименование створа	Показатель			
		запах, балл	цветность, градус цветности	мутность, ЕМФ	взвешенные вещества, мг/л
2022 г.					
Осень	Створ I	1	менее1,0	менее1,0	114,4
	Створ II	2	менее 1,0	1,71	132,6
	Створ III	0	2,82	6,94	117,2
Зима	Створ I	0	менее1,0	1,26	86,9
	Створ II	0	менее1,0	менее1,0	20,9
	Створ III	0	менее1,0	менее1,0	30,1
2023 г.					
Осень	Створ I	1	1,74	5,50	167,7
	Створ II	1	3,36	2,07	149,4
	Створ III	1	3,73	менее1,0	103,5
Зима	Створ I	1	3,50	2,20	74,6
	Створ II	0	4,60	2,20	25,3
	Створ III	0	4,40	2,10	39,4

В осенние периоды исследования запаха воды во всех точках отбора проб классифицировался в основном как очень слабый. Характер запаха имел естественное происхождение, в створах I и III род запаха «болотный», а в створе II – «рыбный». В зимние периоды во всех точках отбора проб, за исключением створа I в 2023 г., не было обнаружено никакого запаха (интенсивность – 0 баллов).

Цветность природных вод обусловлена главным образом присутствием гумусовых веществ и соединений трехвалентного железа [5]. Исходя из результатов, представленных в табл. 1, цветность воды в оз. Малахово (г. Оренбург, Россия) во всех створах и за все периоды исследования находится в диапазоне от менее чем одного до 4,6 градусов цветности. В соответствии с классификацией [6] данный диапазон характеризует цветность воды как очень малую.

Значения показателя мутности находятся в диапазоне от 1,0 до 6,94 ЕМФ, максимальные наблюдались в третьем створе осенью 2022 г.

Взвешенные вещества вносят существенный вклад в загрязнение оз. Малахово. При максимальном нормативном значении 31,5 мг/л (для водных объектов рыбохозяйственного значения) содержание во всех створах в осенний период изменяется в пределах 2,7–5,5 ПДК. В зимний период, за исключением створа II, значения находятся в интервале от 1 до 2,7 ПДК.

В табл. 2 представлены данные по обобщенным показателям. Полученные результаты сравнивали с нормативами качества для водоисточников рекреационного водопользования СанПиН 1.2.3685–21.

Таблица 2

Обобщенные показатели качества воды оз. Малахово (г. Оренбург, Россия)

Период года	Наименование створа	Показатель			
		pH	жесткость, градус жесткости	температура, °C	нефтепродукты, мг/л
2022					
Осень	Створ I	9,0	5,6	22	0,023
	Створ II	8,6	6,6	17	0,025
	Створ III	7,8	7,6	17	0,021
Зима	Створ I	7,9	7,7	11	0,026
	Створ II	7,5	7,9	4	0,021
	Створ III	7,6	9,6	4	0,032
2023					
Осень	Створ I	4,3	9,2	19	0,030
	Створ II	6,9	8,6	16	0,022
	Створ III	7,8	7,6	15	0,018
Зима	Створ I	8,6	6,3	12	0,019
	Створ II	8,2	7,2	4	0,017
	Створ III	8,3	6,9	4	0,050
ПДК к.б.		6,0–9,0	10,0	–	0,1

Полученные данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что величина водородного показателя (pH), являющегося мерой активной

кислотности водоемов [7], в наименьшей степени подвержена изменению во времени в створе III, который наиболее удален от источников антропогенного характера. В пределах всего периода исследования воду из створа III можно характеризовать как слабощелочную. Наибольшие колебания данного показателя наблюдаются в створе I, испытывающем максимальную антропогенную нагрузку, где среда меняется от кислой ($\text{pH} = 4,3$) до щелочной ($\text{pH} = 9$).

Наименьший вклад в загрязнение исследуемого водоема вносят нефтепродукты, концентрация которых на протяжении всего периода исследования находилась в пределах 0,017–0,05 мг/л, что составляет 0,17–0,5 ПДК.

В ходе оценки возможного воздействия антропогенных источников на состояние исследуемого водного объекта была проведена оценка по химическим показателям (табл. 3).

Таблица 3

Содержание загрязняющих веществ в воде
оз. Малахово (г. Оренбург, Россия), мг/л

Вещества		Створ I		Створ II		Створ III	
		Осень	Зима	Осень	Зима	Осень	Зима
2022							
Железо	Fe^{2+}	0,16	0,32	0,09	0,27	0,096	0,19
Кальций	Ca^{2+}	40,1	94,2	72,1	110,2	78,2	118,2
Гидрокарбонаты	HCO_3^{2-}	10,8	30,0	13,2	<6,0	<6,0	<6,0
Магний	Mg^{2+}	43,8	36,5	36,5	29,2	45,0	45,0
Нитраты	NO_3^-	<0,1	14,8	<0,1	18,9	0,62	14,8
Нитриты	NO_2^-	<0,003	0,011	<0,003	0,022	<0,003	0,020
Сульфаты	SO_4^{2-}	133,6	138,80	138,3	135,4	137,5	136,9
Хлориды	Cl^-	204,8	109,2	227,5	213,9	182,0	241,2
2023							
Железо	Fe^{2+}	0,50	0,157	0,35	0,135	0,15	0,152
Кальций	Ca^{2+}	110,2	84,2	90,2	86,2	86,2	86,2
Карбонаты	CO_3^{2-}	<6,0	51,0	<6,0	6,0	24,0	18,0
Магний	Mg^{2+}	45,0	25,5	49,9	47,4	10,1	31,6
Нитраты	NO_3^-	9,36	9,73	6,38	12,2	2,20	11,6
Нитриты	NO_2^-	0,052	0,11	0,008	0,56	<0,003	0,23
Сульфаты	SO_4^{2-}	131,3	102,4	153,2	103,7	145,7	108,0
Хлориды	Cl^-	145,6	59,2	150,2	77,4	150,2	77,4

С целью оценки степени загрязненности воды по определяемым авторами химическим веществам в ходе исследования производилось сравнение полученных результатов с нормативами качества воды объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}) и предельно допустимыми концентрациями веществ в воде поверхностных водных объектов культурно-бытового водопользования (ПДК_{кб}). Значения в долях ПДК_{рх}, полученные в результате сравнения с нормативами, утвержденными для объектов рыбохозяйственного значения, представлены в табл. 4.

Приоритетными примесями, вносящими наибольший вклад в загрязнение воды оз. Малахово, являются сульфаты (SO_4^{2-}) и ионы железа (Fe^{2+}).

По сульфат-ионам (SO_4^{2-}) превышение ПДК_{рх} обнаружено в пробах воды, отобранных во всех створах (осенью в 1,4 раза, зимой в 1,05). Содержание железа (Fe^{2+}) в пробах воды за исследуемый период превышало установленное значение ПДК_{рх} в створе I в 5 раз (осень 2023 г.), в створах II и III – в 3,5 и 1,5 раза соответственно.

Таблица 4

Кратность превышения предельно допустимых концентраций
рыбохозяйственного значения в воде оз. Малахово (г. Оренбург, Россия)

Вещество	ПДК _{рх}	Створ I		Створ II		Створ III		Превышения ПДК, %	
		Осень	Зима	Осень	Зима	Осень	Зима	Осень	Зима
2022									
Железо	0,1	1,60	3,20	0,90	2,70	0,96	1,90	33	100
Кальций	180	0,22	0,52	0,40	0,61	0,43	0,66	0	0
Карбонаты	100	0,11	0,30	0,13	–	–	–	0	0
Магний	40	1,10	0,91	0,91	0,73	1,13	1,13	66	33
Нитриты	0,08	–	0,14	–	0,28	–	0,25	0	0
Нитраты	40	–	0,37	–	0,47	0,02	0,37	0	0
Сульфаты	100	1,34	1,39	1,38	1,35	1,38	1,37	100	100
Хлориды	300	0,68	0,36	0,76	0,71	0,61	0,80	0	0
2023									
Железо	0,1	5,00	1,57	3,50	1,35	1,50	1,52	100	100
Кальций	180	0,61	0,47	0,50	0,48	0,48	0,48	0	0
Карбонаты	100	–	0,51	–	0,06	0,24	0,18	0	0
Магний	40	1,13	0,64	1,25	1,19	0,25	0,79	66	33
Нитриты	0,08	0,65	1,38	0,10	7,00	–	2,88	0	100
Нитраты	40	0,23	0,24	0,16	0,31	0,06	0,29	0	0
Сульфаты	100	1,31	1,02	1,53	1,04	1,46	1,08	100	100
Хлориды	300	0,49	0,20	0,50	0,26	0,50	0,26	0	0

Наименьший вклад в загрязнение исследуемого водоема вносят нитраты, хлориды и гидрокарбонаты, так как их значения не превышали величину предельно допустимой концентрации.

В зимний период 2023 г. наблюдался рост содержания нитритов, превышение ПДК_{рх} по которым составило от 1,4 до 7,1 раз.

Превышение нормативных значений, установленных для водных объектов культурно-бытового водопользования, по всем определяемым показателям качества отсутствует.

Результаты сравнения фактических концентраций нормируемых загрязняющих веществ с ПДК_{кб} водопользования представлены в табл. 5.

Расчет гидрохимического индекса загрязнения воды (ИЗВ) проводили по шести показателям, имеющим наибольшее значение, независимо от того, превышают они ПДК или нет [8, 9]. Преимущество данного индекса заключается в том, что помимо превышения ПДК разнообразных веществ, он также учитывает pH водной среды [10]. Результаты расчета ИЗВ оз. Малахово за 2022–2023 гг. представлены на рис. 2.

Таблица 5

Кратность превышения предельно допустимых концентраций
культурно-бытового значения в воде оз. Малахово (г. Оренбург, Россия)

Вещества		Створ I		Створ II		Створ III	
		Осень	Зима	Осень	Зима	Осень	Зима
2022							
Железо	Fe ²⁺	0,16	0,32	0,09	0,27	0,096	0,19
Кальций	Ca ²⁺	40,1	94,2	72,1	110,2	78,2	118,2
Гидрокарбонаты	HCO ₃ ²⁻	10,8	30,0	13,2	<6,0	<6,0	<6,0
Магний	Mg ²⁺	43,8	36,5	36,5	29,2	45,0	45,0
Нитраты	NO ₃ ⁻	<0,1	14,8	<0,1	18,9	0,62	14,8
Нитриты	NO ₂ ⁻	<0,003	0,011	<0,003	0,022	<0,003	0,020
Сульфаты	SO ₄ ²⁻	133,6	138,80	138,3	135,4	137,5	136,9
Хлориды	Cl ⁻	204,8	109,2	227,5	213,9	182,0	241,2
2023							
Железо	Fe ²⁺	0,50	0,157	0,35	0,135	0,15	0,152
Кальций	Ca ²⁺	110,2	84,2	90,2	86,2	86,2	86,2
Карбонаты	CO ₃ ²⁻	<6,0	51,0	<6,0	6,0	24,0	18,0
Магний	Mg ²⁺	45,0	25,5	49,9	47,4	10,1	31,6
Нитраты	NO ₃ ⁻	9,36	9,73	6,38	12,2	2,20	11,6
Нитриты	NO ₂ ⁻	0,052	0,11	0,008	0,56	<0,003	0,23
Сульфаты	SO ₄ ²⁻	131,3	102,4	153,2	103,7	145,7	108,0
Хлориды	Cl ⁻	145,6	59,2	150,2	77,4	150,2	77,4

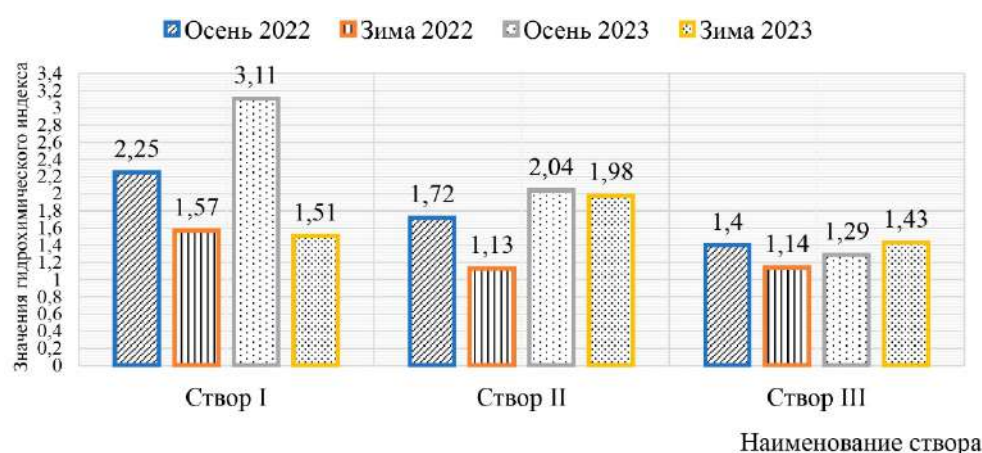


Рис. 2. Динамика показателя химического загрязнения
вод оз. Малахово (г. Оренбург, Россия) за 2022–2023 гг.

В зависимости от значения гидрохимического индекса, вода подразделяется на четыре категории. При значениях ИЗВ до 0,2 вода классифицируется как очень чистая, от 0,2 до 1,0 – чистая, от 1,0 до 2,0 – умеренно загрязненная и от 2,0 до 4,0 – загрязненная. Среднее значение индекса загрязнения воды в оз. Малахово составляет 2,29. Максимальное значение данного показателя было зафиксировано в створе I осенью 2023 г. Таким образом, вода из первого створа оз. Малахово в осенние периоды исследования относится к загрязненной ($2,0 > \text{ИЗВ} > 4,0$), а в зимние периоды к умеренно загрязненной

($1,0 > \text{ИЗВ} > 2,0$). Вода из второго и третьего створа практически во все периоды исследования является умеренно загрязненной. Следовательно, воды оз. Малахово за данный период исследования можно классифицировать как умеренно загрязненные, так как гидрохимический индекс загрязнения воды составляет 1,13–1,98.

Оценка экологического состояния поверхностных вод оз. Малахово была проведена по оценочным показателям качества. Согласно показателям качества, представленным в ГОСТе «Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций», можно сделать вывод о том, что по содержанию взвешенных веществ в осенний период исследования воду из всех трех створов можно отнести к V классу качества (грязные). В зимний период ситуация изменяется в лучшую сторону. Так, в первом створе вода относится к IV классу (загрязненные), в третьем створе к III классу (умеренно загрязненные), а во втором створе ко II классу качества (чистые).

По содержанию нитритов (NO_2^-) наблюдается обратная зависимость, в зимний период качество вод по данному показателю ухудшается. В 2022 г. вода во всех исследуемых створах, по содержанию нитритов, осенью относится к чистым (II класс качества), а зимой к умеренно загрязненным (III класс качества). В 2023 г. осенью качество воды ухудшается значительно в створе I (грязные – V класс), в створе II – умеренно загрязненная (III класс качества) и лишь в третьем створе остается без изменения (II класс – чистые). В зимний период вода во всех створах характеризуется как грязная (V класс качества).

По нитратам в 2022 и 2023 гг., зимой, вода во всех исследуемых створах относится к V классу качества (грязные), за исключением первого створа, где в 2023 г. вода относится к IV классу (загрязненные). Осенью 2022 г. по содержанию нитратов вода во всех створах относится к I классу качества (очень чистые). Осенью 2023 г. в первом и втором створах вода относится к IV классу качества (загрязненные), в третьем створе – ко II классу качества (чистые).

Заключение

Согласно полученным данным по органолептическим показателям цветность воды оз. Малахово характеризуется как очень малая, а мутность находится в диапазоне от 1,0 до 6,94 ЕМФ. В некоторых пробах присутствует болотно-илистый запах интенсивностью 1–2 балла. По жесткости вода в разные сезоны во всех трех исследуемых створах характеризуется как среднежесткая и жесткая.

По результатам химического анализа воды приоритетными загрязняющими веществами являются: сульфат-ионы (концентрация достигает $153,2 \text{ мг/дм}^3$), хлорид-ионы (максимальная концентрация – $241,2 \text{ мг/дм}^3$), взвешенные вещества (до 167 мг/дм^3). Наименьший вклад в загрязнение исследуемого водоема вносят нефтепродукты, нитраты (NO_3^-) и ионы железа (Fe^{2+}).

Превышение по величине $\text{ПДК}_{\text{рх}}$ в течение всех периодов исследования было зафиксировано по пяти веществам: сульфаты (в среднем в 1,3 раза), взвешенные вещества (в 3,06 раз), ионы магния (в 1,13 раза), ионы железа (в 2,61 раз) и нитриты (в 3,75 раз). Превышение по $\text{ПДК}_{\text{кб}}$ не зафиксировано.

В результате расчета индекса загрязнения воды и соотнесения полученных результатов с общепринятой классификацией было установлено, что вода из оз. Малахово на протяжении всех периодов исследования в большинстве

створов характеризуется как умеренно загрязненная. Однако необходимо отметить, что качество воды в зимний период времени по нитритам и нитратам значительно ухудшается и соответствует V классу качества (грязная).

Список литературы

1. Гаев А. Я., Алферов И. Н., Гацков В. Г. Экологические основы водохозяйственной деятельности (на примере Оренбургской области и сопредельных районов). Пермь ; Оренбург : Ред.-изд. отдел Пермского университета, 2007. 327 с.
2. Черняев А. М. Вода России. Речные бассейны. Екатеринбург : АКВА-ПРЕСС, 2000. 536 с.
3. Кулик А. К., Власенко М. В., Петров В. И. Экология среды: ресурсы, чистота и качество природных вод Придонских песчаных массивов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 4. С. 105–113.
4. Garitskaya M. Y., Evstifeeva T. A., Glukhovskaya M. Yu., Shaykhutdinova A. A. Study on the elemental composition of water and bottom sediments of natural springs // Trace Elements and Electrolytes. 2021. Vol. 38, iss. 3.
5. Кутявина Т. И., Вартан И. А., Шемякина Е. В., Тимина В. В. Результаты гидрохимического анализа водных экосистем на территории государственного природного заказника «Былина» // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. (Киров, 26–27 апреля 2022 г.). Киров : ВятГУ, 2022. Кн. 1. С. 249–253.
6. Аксенов В. И., Ушакова Л. И., Ничкова И. И. Химия воды: аналитическое обеспечение лабораторного практикума : учеб. пособие / под ред. В. И. Аксенова. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. 140 с.
7. Тарасова Т. Ф. Химия окружающей среды : учеб. пособие для вузов. Оренбург : ОГУ, 2001. 41 с.
8. Гарицкая М. Ю., Алеева О. Н. Экологическая характеристика качества поверхностных природных вод, находящихся в зоне влияния Ольховского месторождения // Вода: химия и экология. 2016. № 8. С. 26–31.
9. Глотова Н. В. Мониторинг среды обитания : учеб. пособие к практ. занятиям. Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2006. 22 с.
10. Деревенская О. Ю. Природопользование (практикум) : учеб.-метод. разработка. Казань : КФУ, 2015. 35 с.

References

1. Gaev A.Ya., Alferov I.N., Gatskov V.G. *Ekologicheskie osnovy vodokhozyaystvennoy deyatel'nosti (na primere Orenburgskoy oblasti i sopredel'nykh rayonov)* = Ecological foundations of water management activities (by the example of Orenburg region and adjacent areas). Perm; Orenburg: Red.-izd. ot del Permskogo universiteta, 2007:327. (In Russ.)
2. Chernyaev A.M. *Voda Rossii. Rechnye basseyny* = Water of Russia. River basins. Ekaterinburg: AKVA-PRESS, 2000:536. (In Russ.)
3. Kulik A.K., Vlasenko M.V., Petrov V.I. Ecology of the environment: resources, purity and quality of natural waters of the Don sand massifs. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* = Proceedings of Nizhnevolzhsky Agrarian University Complex: science and higher professional education. 2017;(4):105–113. (In Russ.)
4. Garitskaya M.Y., Evstifeeva T.A., Glukhovskaya M.Yu., Shaykhutdinova A.A. Study on the elemental composition of water and bottom sediments of natural springs. *Trace Elements and Electrolytes*. 2021;38(3).

5. Kut'yavina T.I., Vartan I.A., Shemyakina E.V., Timina V.V. Results of hydrochemical analysis of aquatic ecosystems in the territory of the Bylina State Nature Reserve. *Ekologiya rodnogo kraya: problemy i puti resheniya: materialy XVII Vseros. nauch.-prakt. konf. (Kirov, 26–27 aprelya 2022 g.)* = Ecology of the native land: problems and solutions: proceedings of the 17th All-Russian scientific and practical conference. Kirov: VyatGU, 2022;bk.1:249–253. (In Russ.)
6. Aksenov V.I., Ushakova L. I., Nichkova I. I. *Khimiya vody: analiticheskoe obespechenie laboratornogo praktikuma: ucheb. posobie* = Water chemistry: analytical support for laboratory workshops: textbook. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2014:140. (In Russ.)
7. Tarasova T.F. *Khimiya okruzhayushchey sredy: ucheb. posobie dlya vuzov* = Environmental chemistry: textbook for universities. Orenburg: OGU, 2001:41. (In Russ.)
8. Garitskaya M.Yu., Aleeva O.N. Ecological characteristics of the quality of surface natural waters located in the zone of influence of the Olkhovskoye deposit. *Voda: khimiya i ekologiya* = Water: chemistry and ecology. 2016;(8):26–31. (In Russ.)
9. Glotova N.V. *Monitoring sredy obitaniya: ucheb. posobie k prakt. zanyatiyam* = Monitoring the environment: textbook for practical classes. Chelyabinsk: Izd-vo YuUrGU, 2006:22. (In Russ.)
10. Derevenskaya O.Yu. *Prirodopol'zovanie (praktikum): ucheb.-metod. razrabotka* = Nature management (workshop): teaching and methodological development. Kazan: KFU, 2015:35. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Ирина Владимировна Шаврина

младший научный сотрудник
Испытательного центра,
Федеральный научный центр
биологических систем
и агротехнологий
Российской академии наук
(Россия, г. Оренбург, ул. 9 Января 29)
E-mail: ira.shavrina.00@bk.ru

Irina V. Shavrina

Junior researcher, Testing Center,
Federal Scientific Center for Biological
Systems and Agrotechnologies
of the Russian Academy of Sciences
(29 9 Janvarya street, Orenburg, Russia)

Ольга Викторовна Чекмарева

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры экологии
и природопользования,
Оренбургский государственный
университет
(Россия, г. Оренбург, пр-кт Победы, 13)
E-mail: olyachek@mail.ru

Olga V. Chekmareva

Candidate of technical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of ecology
and nature management,
Orenburg State University
(13 Pobedy avenue, Orenburg, Russia)

Марина Юрьевна Глуховская

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой экологии
и природопользования,
Оренбургский государственный
университет
(Россия, г. Оренбург, пр-кт Победы, 13)
E-mail: commarina97@mail.ru

Marina Yu. Glukhovskaya

Candidate of technical sciences, associate
professor, head of the sub-department
of ecology and environmental management,
Orenburg State University
(13 Pobedy avenue, Orenburg, Russia)

Марина Юрьевна Гарицкая

кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры экологии
и природопользования,
Оренбургский государственный
университет
(Россия, г. Оренбург, пр-кт Победы, 13)
E-mail: m.garitskaya@yandex.ru

Marina Yu. Garitskaya

Candidate of biological sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of ecology
and nature management,
Orenburg State University
(13 Pobedy avenue, Orenburg, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 30.05.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 09.06.2025

Принята к публикации / Accepted 24.07.2025

УДК 574.1

doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-6

Биологическое разнообразие экосистемы Государственного ботанического заказника регионального значения «Степь Большой Ендовы» в Пензенской области и проблемы его охраны

А. И. Иванов¹, В. Ю. Ильин², О. А. Полумордвинов³

¹Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

^{2,3}Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹rcgekim@mail.ru, ²iljin_bat@mail.ru, ³entomol-penza@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Одним из актуальных направлений охраны биологического разнообразия является включение местообитаний редких видов растений, грибов и животных в состав особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Целью данной работы было комплексное изучение биоразнообразия территории Государственного ботанического заказника «Степь Большой Ендовы», оценка факторов среды, влияющих на состояние входящих в него экосистем, а также влияния объекта на состояние природной среды прилегающих территорий. *Материалы и методы.* Исследования проводились на территории Пензенской области в пределах Государственного ботанического заказника «Степь Большой Ендовы» в 2016–2021 гг. маршрутным и стационарным методами. *Результаты.* Установлено, что Государственный ботанический заказник «Степь Большой Ендовы» имеет большую ценность с точки зрения охраны биологического разнообразия Пензенской области. На его территории выявлены редкие для Пензенской региона сообщества растений с доминированием ксерофильных видов, находящиеся на северной границе своего распространения. Это ассоциации настоящих степей – терескеново-разнотравно-тырсовая и типчаково-мохнатосолонечниковая. В ходе изучения их флоры выявлено 144 вида сосудистых растений. Из них одиннадцать занесены в Красную книгу Пензенской области (2024). Обнаружены также два редких вида грибов: *Picipes rhizophilus* и *Floccularia luteovirens*, включенных в Красную книгу Пензенской области (2024) и Красную книгу РФ (2024). Зафиксированы местообитания семи видов насекомых и одного вида паукообразных, занесенных в Красную книгу Пензенской области (2019), а также двух видов, занесенных в Красную книгу РФ: *Bombus armeniacus* и *B. fragrans*. *Выводы.* Природоохранная ценность Государственного ботанического заказника «Степь Большой Ендовы» регионального значения определяется тем, что на его территории сохраняются растительные сообщества и свойственное им биологическое разнообразие, в основном уничтоженное на прилегающих территориях в результате распашки земель. ООПТ оказывает положительное влияние на прилегающие территории по следующим направлениям: служит источником семян для восстановления степной растительности на прилегающих к ООПТ залежных землях; представляет собой убежище для многочисленных насекомых опылителей; способствует распространению видов позвоночных животных и насекомых на прилегающие территории. Среди факторов среды, негативно сказывающихся на экосистеме рассматриваемой ООПТ, следует указать отсутствие умеренного выпаса и сенокошения, а также применение пестицидов на прилегающих к ООПТ сельхозугодьях.

Ключевые слова: заповедный режим, ксерофиты, насекомые-опылители, охранные зоны, редкие виды

Для цитирования: Иванов А. И., Ильин В. Ю., Полумордвинов О. А. Биологическое разнообразие экосистемы Государственного ботанического заказника регионального значения «Степь Большой Ендовы» в Пензенской области и проблемы его охраны // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 2. С. 59–71. doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-6

Biological diversity of ecosystem of the State Botanical Reserve of Regional Importance “Step Bolshoy Endovy” in Penza region and issues of its protection

A.I. Ivanov¹, V.Yu. Ilyin², O.A. Polumordvinov³

¹Penza State Agrarian University, Penza, Russia

^{2,3}Penza State University, Penza, Russia

¹rcgekim@mail.ru, ²iljin_bat@mail.ru, ³entomol-penza@yandex.ru

Abstract. *Background.* One of the relevant areas of protection of biological diversity is the inclusion of habitats of rare species of plants, fungi and animals in specially protected natural areas (protected areas). The purpose of this work was a comprehensive study of the biodiversity of the territory of the State Botanical Reserve “Step Bolshoy Endovy”, an assessment of environmental factors affecting the state of its ecosystems, as well as the impact of the facility on the state of the natural environment of adjacent territories. *Materials and methods.* The research was carried out on the territory of Penza region within the territory of the State Botanical Reserve “Step Bolshoy Endovy” in 2016–2021 using a route and stationary method. *Results.* It has been established that the state botanical reserve “Step Bolshoy Endovy” is of great value from the point of view of protecting the biological diversity of the Penza region. Plant communities, rare for Penza region, dominated by xerophilic species located on the northern border of their distribution, have been identified on its territory. These are associations of real steppes – tereskenovo-raznotravno-tyrsovaya and tipchakovo-shaggy-solonechnovaya. During the study of their flora, 144 species of vascular plants were identified. Eleven of them are listed in the Red Book of Penza region (2024). Two rare species of fungi have also been found.: *Picipes rhizophilus* and *Floccularia luteovirens*, listed in the Red Book of Penza region (2024) and in the Red Book of the Russian Federation (2024). The habitats of seven species of insects and one species of arachnids listed in the Red Book of Penza region (2019) region, as well as two species listed in the Red Book of the Russian Federation, have been recorded: *Bombus armeniacus* and *B. fragrans*. *Conclusions.* The conservation value of the state botanical reserve “Step Bolshoy Endovy” of regional significance is determined by the fact that plant communities and their inherent biological diversity are preserved on its territory, mainly destroyed in the adjacent territories as a result of land plowing. Protected areas have a positive impact on adjacent territories in the following areas: it serves as a source of seeds for the restoration of steppe vegetation on fallow lands adjacent to protected areas; provides a refuge for numerous pollinator insects; promotes the spread of vertebrate species and insects to adjacent territories. Environmental factors that negatively affect the ecosystem of the protected areas under consideration include the absence of moderate grazing and hay-making, as well as the use of pesticides on farmland adjacent to protected areas.

Keywords: protected regime, xerophytes, pollinating insects, protected areas, rare species

For citation: Ivanov A.I., Ilyin V.Yu., Polumordvinov O.A. Biological diversity of ecosystem of the State Botanical Reserve of Regional Importance “Step Bolshoy Endovy” in Penza region and issues of its protection. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2025;(2):59–71. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-6

Введение

Одним из важнейших способов расширения площади особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в густонаселенных хозяйственно освоенных регионах Европейской части России является создание памятников природы и государственных биологических заказников регионального значения. Оно позволяет исключать из хозяйственного использования небольшие по площади, но ценные в природоохранном отношении территории. Основной их функцией является сохранение биоразнообразия, в первую очередь местообитаний редких и исчезающих видов растений, грибов, беспозвоночных и позвоночных животных.

Региональная сеть ООПТ имеет большое научное значение. Информация о природных экосистемах и видовом составе населяющих их организмов может служить основой для планирования изучения биоразнообразия на территории субъектов РФ. Однако если ООПТ федерального значения – заповедники и национальные парки – изучены достаточно хорошо и результаты этих исследований отражены в большом количестве литературных источников, то памятники природы и заказники регионального значения исследованы значительно слабее. Имеющаяся информация о большинстве из них в основном исчерпывается краткими описаниями растительности и указанием на обитание в их пределах редких и исчезающих видов. Однако среди ООПТ регионального значения имеются объекты, заслуживающие значительно большего внимания. Примером такого объекта может быть государственный ботанический заказник «Степь Большой Ендовы» площадью 50 га, образованный решением Исполнительного комитета Пензенского областного Совета народных депутатов № 131 от 25.04.1990 «Об отнесении ценного в научном, историческом и культурно-познавательном отношении участка степной растительности под названием «Степь Большой Ендовы» к государственному ботаническому заказнику». Рассматриваемая территория расположена в 2,9 км на северо-восток от с. Рамзай в пределах муниципального образования Рамзайский сельсовет Мокшанского района Пензенской области, которая находится в центральной части Европейской части РФ в 600 км к юго-востоку от г. Москва в лесостепной зоне.

Целью данной работы было комплексное изучение биологического разнообразия данного объекта и оценка факторов среды, влияющих на состояние входящих в него экосистем. Это определило научные задачи, которые решались в ходе исследований:

- 1) комплексное изучение флоры и растительности объекта;
- 2) комплексное изучение фауны объекта;
- 3) исследование влияния заповедного режима на биоту объекта;
- 4) оценка природоохранной значимости объекта и его воздействия на прилегающую территорию.

Материалы и методы

Материалом для данной статьи послужили результаты полевых исследований авторов, проводившихся на территории объекта с 1990 по 2024 г. Кроме того, в работе были использованы топографические карты и материалы космической съемки. Изучение растительного покрова осуществлялось общепринятыми геоботаническими методами [1]. Изучение видового состава различных

групп животных осуществлялось маршрутным методом [2, 3]. Собранные на маршрутах коллекционные материалы определялись с использованием соответствующих руководств [4–6].

Результаты и обсуждение

Территория ООПТ включает в себя южные и юго-западные склоны широкой низины, впадающей в долину р. Пензятки (рис. 1). В комплексе с прилегающей территорией – склонами восточной экспозиции и плоской нижней частью низины с выходами грунтовых вод – они образуют структуру округлой формы, напоминающей чашу. Подобные формы рельефа встречаются на территории Мокшанского (Малая Ендова) и Лунинского районов в левобережной части бассейна р. Суры. Вероятно, их происхождение связано с последним оледенением, а в дальнейшем – с процессами водной эрозии. На большей части территории ООПТ подстилающие почву породы представлены покровными суглинками. В северо-западной части почву подстилают пески с прослоями водно-ледниковых отложений – глин и суглинков. Указанные четвертичные отложения перекрывают породы мелового возраста мергелистые глины и мергели [7].

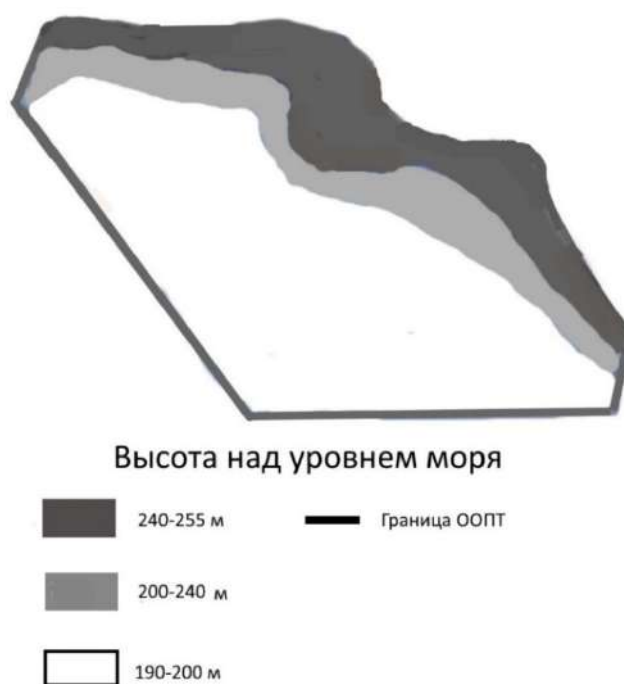


Рис. 1. Карта-схема рельефа ООПТ – Государственного ботанического заказника «Степь Большой Ендовы»

В части рассматриваемой геологической структуры, входящей в состав ООПТ, преобладают склоны южной и юго-западной экспозиции (рис. 1). Здесь наблюдаются существенные перепады высот. Наиболее приподнятой является северо-восточная и северная часть ООПТ соответственно 255 и 245 м над уровнем моря. Они представляют собой плоские части водораздела, имеющие небольшой уклон в юго-западном направлении. Склоны, окаймляющие широкую

низину, имеют довольно сложное строение. Среди них особо выделяется холм в северо-западной части объекта, вершина которого имеет высоту 249 м над уровнем моря, а основание склона – 202 м. Крутизна склона составляет около 35°. Для остальных склонов характерны меньшие перепады высот и меньшая крутизна – в среднем 20–25°.

Крутые склоны южной экспозиции получают значительно большее количество солнечного тепла, чем выровненные поверхности. В связи с этим снег на них тает в среднем на две недели раньше. Кроме того, здесь значительно выше испаряемость, т.е. по сравнению с плоскими поверхностями водоразделов они имеют более теплый и сухой микроклимат, который создает благоприятные условия для развития интразональных растительных сообществ сухих степей и полупустынь.

Флора и растительность памятника природы регионального значения «Степь Большой Ендовы» изучена достаточно подробно. В его пределах выявлено 144 вида сосудистых растений [8–11].

Флора ООПТ включает в себя 11 видов сосудистых растений, занесенных в Красную книгу Пензенской области [11]. Это *Adonanthus vernalis* (L.) Spach., *Allium flavescens* Besser, *Astragalus asper* Jacq., *Amygdalus nana* L., *Galatella villosa* (L.) Rehb., *Iris aphylla* L., *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst., *Otites sibirica* (L.) Raf., *Stipa pennata* L., *S. tirsia* L. Кроме того, здесь отмечены два вида грибов *Floccularia luteovirens* (Alb. & Schwein.) Pouzar и *Picipes rhizophilus* (Pat.) J. L. Zhou & B.K. Cui, занесенные в Красную книгу Пензенской области [11] и Красную книгу РФ [12].

По данным Л. А. Новиковой [8, 9], растительность ООПТ представлена настоящими и луговыми степями, а также лугами – остепненными и настоящими. Это подтверждается нашими исследованиями. Распределение данных ассоциаций по ООПТ определяется подстилающими почвой породами, экспозицией и крутизной склонов.

Наибольшую ценность с точки зрения охраны биоразнообразия Пензенской области представляют собой экстразональные сообщества настоящих степей, которые развиваются на наиболее крутых склонах южной и юго-западной экспозиции на сильно смытых черноземах, подстилаемых песчаными породами. Для них характерно преобладание степных видов – настоящих ксерофитов. На них приходится до 90 % видового состава. Они включают четыре ассоциации, которые относятся к группам ассоциаций: разнотравным полукустарниковым и дерновинно-злаковым.

Терескеново-разнотравно-тырсовая ассоциация занимает верхнюю наиболее сухую часть склона южной экспозиции указанного выше холма. В ассоциации доминируют злаки. Их проективное покрытие (ПП) составляет около 40 %. Они представлены главным образом *Festuca valesiaca* и *Stipa pennata*. Эта ассоциация отличается значительным участием полукустарника *Krascheninnikovia ceratoides*, ареал которого лежит в зоне степей и полупустынь, а также кустарника *Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wolf.) Klask. Разнотравье в этой ассоциации занимает подчиненное положение и представлено: *Galatella villosa* (L.) Rehb., *Galium ruthenicum* и *Pseudolysimachion spicatum* (L.) Opiz.

Наряду с описанной выше ассоциацией на супесчаных почвах склонов южной экспозиции встречаются фрагменты разнотравных настоящих степей. Они включают две ассоциации с доминированием *Galatella villosa*. Первая –

типчаково-мохнатосолонечниковая ассоциация. В ней отмечается довольно близкое соотношение групп злаков и осок с разнотравьем. Из разнотравья явно доминирует *Galatella villosa* с ПП порядка 25 %, а из злаков и осок – *Festuca valesiaca* и *Carex xpraecox* с ПП до 15 %, а также *Koeleria glauca* (Spreng) DC. с ПП – 10 %. Бобовых мало; из них более или менее выделяется *Medicago falcate* L. Кустарники отсутствуют.

Разнотравно-тырсовая ассоциация дерновинно-злаковых настоящих степей связана с крутыми склонами юго-западной экспозиции. В ассоциации преобладает группа злаков и осок. К числу доминантов относятся *Stipa pennata* с проективным покрытием ПП от 30 до 50 %, *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudinc ПП от 5 до 10 %, *Bromopsis riparia* (Rehmann) Holub. с ПП от 5 до 8 % и *Carex praecox* Schreb. с ПП порядка 5 %. На разнотравье приходится порядка трети ПП. К числу наиболее распространенных видов относятся *Astragalus asper*, *Falcaria vulgari* Bernh., *Galium ruthenicum* Willd., *Knautia arvensis* (L.) DC., *Thymus smarschallianus* Willd. Отдельные пятна дают *Otites sibirica* и *Potentilla argentea* L.

Луговые степи развиваются по более пологим склонам южной и западной экспозиций. Они характеризуются преобладанием степных видов, в основном мезоксерофитов, а также меньшим участием настоящих ксерофитов и ксеромезофитов. Луговые степи включают три ассоциации, относящиеся к дерновинно-злаковым и разнотравным луговым степям. Дерновинно-злаковые луговые степи представлены двумя ассоциациями с доминированием *Stipa pennata* и *S. tirsia*. Они развиваются по бровкам балок склонов южной экспозиции. Для ассоциации характерно преобладание злаков и осок (61 %), из которых доминируют *Stipa pennata* и *Festuca valesiaca*. На разнотравье приходится практически треть всего общего проективного покрытия (ОПП), из которого выделяются *Galium ruthenicum*, *Achillea millefolium* L., *Falcaria vulgaris* Bernh. и др. Другие группы трав, в частности бобовые, представлены в основном *Astragalus asper*.

Разнотравные луговые степи представлены одной береговокострецово-разнотравной-зелено-земляничной ассоциацией. В ней отмечается самое низкое участие степных элементов (56 %) и значительное участие ксеромезофитов (41 %). В этом отношении ассоциация является переходной к остепненным лугам. Преобладает разнотравье (порядка 70 %), а среди него – *Fragaria viridis* Weston, *Filipendula vulgaris* Moench., *Potentilla argentea*, зопник *Phlomis tuberosa* (L.) Moench. и др. Из злаков и осок доминирует *Bromopsis riparia* и *Phleum phleoides* (L.) H. Karst. Из бобовых особенно выделяется *Trifolium montanum* L. с ПП до 10 %. Кустарники отсутствуют.

Луговая растительность представлена разнотравными остепненными лугами. Они характеризуются преобладанием луговых элементов (от 60 до 90 %), главным образом, ксеромезофитов. Разнотравные остепненные луга включают две ассоциации наземно-вейниково-разнотравную и зелено-земляничную. Остепненные луга формируются в более влажных местообитаниях – подножьях склонов и в лощинах между склонами.

Наряду с травянистой растительностью в условиях ООПТ имеется древесная растительность. Она представлена главным образом зарослями кустарника – *Chamaecytisus ruthenicus*. Эта ассоциация связана со смытыми почвами западной и юго-западной экспозиции, где занимает главным образом средние

части склонов. Кроме того, главным образом по склонам южной экспозиции, в местах с наименьшей их крутизной и соответственно с наименее смытой черноземной почвой в виде плотных куртин распространены заросли *Amygdalus nana*, *Cerasus fruticosa* Pall. И *Prunus stepposa* Kotov. После прекращения хозяйственной деятельности, в частности выпаса скота и сенокошения, они существенно расширили занятую площадь и эта тенденция сохраняется.

В балке, которая расположена в северо-западной части ООПТ, в окружении кустарников находится группа деревьев *Quercus robur* L. в возрасте от 0 до 50 лет. Наиболее старые деревья находятся в хорошем жизненном состоянии, цветут и плодоносят, в связи с чем этот участок древесной растительности увеличивает свою площадь.

Прекращение выпаса повлекло за собой вселение чужеродных для рассматриваемой территории древесных видов деревьев *Betula pendula* Roth. и *Malus domestica* (Suckow) Borkh. Они активно вселяются в мезофильные луговые сообщества, расположенные в нижних пологих частях склонов. Источником семян этих растений служат расположенные вдоль ООПТ лесополосы.

Богатый видовой состав травянистых растений в пределах ООПТ создает благоприятные условия для развития фауны.

Флористическое разнообразие ООПТ создает благоприятные условия для обитания разнообразной Arthropoda, насчитывающей в пределах рассматриваемого памятника природы около 450 видов (различных отрядов). Большая их часть уже определена и опубликована в обзорах насекомых (Insecta) по Пензенской области, отряд Lepidoptera [13–16]; Heteroptera [17]; Coleoptera [18]; Neuroptera [19]; Hymenoptera [20] и Orthoptera [21]. Из них 10 видов внесены в Красные книги: два относятся к числу редких, нуждающиеся в охране видов и включены в Красную книгу России [22] и 8 видов – в Красную книгу Пензенской области [23]. Ниже приводится их перечень, в котором виды, занесенные в Красную книгу России [22], отмечены двумя звездочками (**), а виды, включенные в Красную книгу Пензенской обл. [23], – одной звездочкой (*).

Класс Insecta – сем. Apidae: ***Bombus armeniacus* Radoszk., ***B. fragrans* Pall.; сем. Carabidae: **Calosoma denticolle* Gebler, **Carabus sibiricus* F. von Wald.; сем. (Sphingidae): **Proserpinus proserpina* Pall.; сем. Satyrida: **Arethusa arethusa* D. et S.; сем. Lycaenidae: **Phengaris (Maculinea) alcon* D. et S., **P. (M.) arion* L. и **Polyommatus bellargus* Rott. Класс Arachnida – сем. Lycosidae: **Allochogna singoriensis* Laxm. Все 10 выявленных редких видов членистоногих связаны со степными экотопами [24], а два вида можно отнести и к лесостепным видам.

Среди различных таксономических групп насекомых наиболее подробно в пределах рассматриваемой ООПТ изучена фауна Hymenoptera и в первую очередь сем. Apidae, представленных здесь 70 видами [20]. Отметим, что эта группа насекомых очень важна для экосистемы данной ООПТ и прилегающих земель в качестве опылителей растений. В нее входят следующие виды: *Bombus armeniacus* Radoszk., *B. Confusus* Schenck., *B. fragrans* (Pall.), *B. hortorum* (L.), *B. humilis* Illig., *B. lapidarius* L., *B. lucorum* L., *B. muscorum* L., *B. pomorum* Panz., *B. ruderarius* Müll., *B. serratissima* Moraw. (= *B. cullumanus*), *B. soroeensis* Fabric., *B. subterraneus* L., *B. sylvarum* L., *B. veteranus* Fabric., *B. mocsaryi* Kriech. и *B. rupestris* Fabric.

Среди бабочек, населяющих ООПТ, следует отметить остающийся еще слабо изученным на территории России вид дневной бабочки из сем. *Lepidoptera* – *Polyommatus elena* Stradomsky et Arzanov [25], гусеницы которой развиваются здесь на *Amoria fragifera* (L.) Roskov, встречающемся в луговых сообществах в основании склонов.

Важнейшим условием сохранения многообразия представленных в этом ООПТ насекомых (в том числе редких) является охрана популяций кормовых растений в пределах ООПТ и сопредельных территорий.

Сложный рельеф территории ООПТ создает условия для обитания представителей позвоночных животных типичных для лесостепной части Русской равнины. Из класса *Reptilia* здесь присутствует только *Lacerta agilis* L. Фауна класса *Aves* в основном не оригинальна. Отряд *Carnivora* представлен *Circus pygargus* L., отряд *Galliformes* – *Perdix perdix* L., *Coturnix coturnix* L. Основу гнездящихся птиц формируют виды из отряда *Passeriformes*. Характерные представители: *Aluiza arvensis* L., *Saxicola rubetra* L., *Oenanthe isoenanthe* L., *Lanius collurio* L., *Emberiza hortulana* L. и др. В пределах ООПТ до недавнего времени гнезился *Aquila heliaca* Savigny, включенный в Красную книгу Пензенской области [23] и РФ [22].

В период сезонных миграций наблюдаются стаи птиц северных широт, использующих ООПТ в качестве отдыха и кормежки. Класс *Mammalia* в пределах ООПТ представлен в основном степными, реже ширераспространенными видами. Это *Spalax microphthalmus* Güld., *Cricetus cricetus* L., *Microtus arvalis* Pall., *Apodemus agrarius* Pall. *Vulpes vulpes* L. и др. [26].

В пределах современной территории Пензенской области *Marmota bobak* Müll. в историческое время был обычным видом, но к концу XIX в. он практически полностью исчез. В 80-х гг. XX в. в регионе проводились работы по его реинтродукции, в том числе и в пределах рассматриваемой ООПТ [26]. Кроме того, здесь был также интродуцирован *Spermophilus major* Pall. [27]. Сурок был выпущен примерно в количестве 50–60 особей разных полов и возрастов. Данные работы были успешными. Виды увеличивали свою численность особенно в части ООПТ, подвергавшейся умеренной пастбищной нагрузке и сенокосению. Однако в начале XXI в., когда прекратился выпас скота, в связи с переходом животноводства на новые технологии, произошло изменение растительности, связанное с активным внедрением древесной растительности и увеличением высоты травяного покрова. Как показали наблюдения в 2023 и 2025 гг., *M. bobak* и *S. major* на территории рассматриваемой ООПТ отмечены не были. Перестал гнездиться здесь и орел могильник (*Aquila heliaca*), существенную часть кормовой базы которого составлял молодняк сурка и большого суслика. Негативное влияние прекращения выпаса на численность *M. bobak* подтверждает и тот факт, что он переселился с ООПТ на прилегающие территории, подверженные выпасу, в частности урочища «Малая Ендова».

Заключение

Природоохранная ценность Государственного ботанического заказника «Степь Большой Ендовы» регионального значения определяется тем, что на его территории сохраняются растительные сообщества и свойственное им биологическое разнообразие, в основном уничтоженное на прилежащих

территориях в результате распашки земель. ООПТ оказывает положительное влияние на прилежащие территории по следующим направлениям:

- 1) служит источником семян для восстановления степной растительности на прилежащих к ООПТ залежных землях;
- 2) представляет собой убежище для многочисленных насекомых опылителей, положительно влияющих на урожайность энтомофильных сельскохозяйственных растений;
- 3) способствует распространению видов позвоночных животных, в первую очередь *M. bobak* и насекомых на прилежащие территории.

В недавнем прошлом изученная ООПТ испытывала влияние умеренного выпаса и сенокосения. Однако в последние десятилетия влияние данных факторов было прекращено, что негативно сказалось на состоянии степной экосистемы. За счет сокращения площадей степных и луговых сообществ началось активное расширение местообитаний древесных растений как видов, свойственных рассматриваемой ООПТ, так и чужеродных, в частности, *Betula pendula* Roth. и *Malus domestica* (Suckow) Borkh. Кроме того, увеличилась высота травяного покрова, что негативно отразилось на численности степных видов позвоночных в первую очередь *M. bobak*.

Среди антропогенных факторов, оказывающих негативное влияние на биоту ООПТ и в первую очередь на энтомофауну, является высокая пестицидная нагрузка в прилегающих к ней сельскохозяйственных угодьях. Существующая нормативная база (Постановление Правительства РФ от 19 февраля 2015 г. № 138 «Об утверждении Правил создания охранных зон отдельных категорий особо охраняемых природных территорий, установления их границ, определения режима охраны и использования земельных участков и водных объектов в границах таких зон») позволяет минимизировать вредное воздействие данного фактора. Согласно этому документу охранные зоны создаются для предотвращения неблагоприятных антропогенных воздействий на государственные природные заповедники, национальные парки, природные парки и памятники природы на прилегающих к ним земельных участках и водных объектах. Минимальная ширина охранной зоны государственного природного заповедника или национального парка составляет один километр. Для природных парков и памятников природы регионального значения минимальная ширина охранной зоны не установлена. Однако в случае с ООПТ «Степь Большой Ендовы» следует установить охранную зону, как и для объектов федерального значения, шириной один километр. В ее пределах должно будет запрещено применение авиации для обработки посевов пестицидами, так как именно этот способ защиты растений от вредителей и болезней ведет к максимальному рассеиванию вредных веществ за пределы севооборотов. Кроме того, в части охранной зоны шириной 100 м, прилегающей непосредственно к границе ООПТ, следует рекомендовать сельскохозяйственные культуры, выращивание которых не требует применения большого количества пестицидов. В первую очередь, это многолетние и однолетние кормовые злаково-бобовые травосмеси.

Список литературы

1. Раменский Л. Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. Л. : Наука, 1971.
2. Дунаев Е. А. Методы эколого-энтомологических исследований. М. : Мосгор-СЮН, 1997.

3. Кожанчиков И. В. Методы исследования экологии насекомых. М. : Высш. шк., 1961.
4. Маевский П. Ф. Флора средней полосы Европейской части России. Изд. 11-е. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2014.
5. Определитель насекомых Европейской части СССР : в 5 т. М. ; Л. : Наука, 1964–1987.
6. Funga Nordica / ed. by Н. Knudsen, J. Vesterholt. Copenhagen : Nordsvamp, 2012.
7. Геологический атлас Пензенской области. Саратов, 2001. 53 с.
8. Новикова Л. А. Распространение терескена серого в Пензенской области // Экологические и социально-гигиенические аспекты окружающей среды человека : материалы Респ. науч. конф. (г. Рязань, 7–8 июня 2001 г.). Рязань : Проверенный, 2001. С. 280–282.
9. Новикова Л. А., Панькина Д. В., Миронова А. А., Кулагина Е. Ю. Петрофитный элемент во флоре Пензенской области (на примере двух урочищ «Большая Ендова» и «Малая Ендова» // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18, № 5. С. 112–117.
10. Васюков В. М., Новикова Л. А., Иванова А. В. [и др.]. К флоре Пензенской области: Мокшанский, Пензенский и Сердобский районы (по материалам экспедиций 2023 года) // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2024. Т. 18, № 3. С. 17–29.
11. Красная книга Пензенской области. Т. 1. Сосудистые растения, мхи, лишайники, грибы / науч. ред. д-р биол. наук, проф. А. И. Иванов. 3-е изд., доп. и перераб. М. ; Пенза : Студия онлайн, 2024. 300 с.
12. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / отв. ред. д-р биол. наук Д. В. Гельтман. 2-е офиц. изд. М. : ВНИИ «Экология», 2024.
13. Большаков Л. В., Полумордвинов О. А., Шibaев С. В. Пяденицы (Lepidoptera, Geometridae) Пензенской области // Кавказский энтомологический бюллетень. 2008. Т. 4, вып. 1. С. 101–120.
14. Большаков Л. В., Полумордвинов О. А., Шibaев С. В. Огневки (Lepidoptera: Pyraloidea) Пензенской области // Кавказский энтомологический бюллетень. 2009. Т. 5, вып. 1. С. 91–110.
15. Большаков Л. В., Полумордвинов О. А., Шibaев С. В. Пестрянки (Lepidoptera: Zygaenidae) Пензенской области // Кавказский энтомологический бюллетень. 2010, Т. 6, вып. 2. С. 189–184.
16. Большаков Л. В., Пискунов В. И., Синев С. Ю. [и др.]. К фауне микрочешуекрылых (Lepidoptera) Пензенской области (дополнение 3) // Эверсманния. Энтомологические исследования в России и соседних регионах. 2011. Вып. 25–26. С. 43–56.
17. Зиновьева А. Н., Полумордвинов О. А. К познанию фауны клопов (Heteroptera) Среднего Поволжья (Пензенская область) // Эверсманния. Энтомологические исследования в России и соседних регионах. 2023. Вып. 76. С. 3–14.
18. Просви́ров А. С., Полумордвинов О. А. Новые данные по фауне жуков-щелкунов (Coleoptera, Elateridae) Пензенской области // Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье. 2023. Вып. 20. С. 47–58.
19. Полумордвинов О. А., Шibaев С. В. Обзор фауны сетчатокрылых (Insecta, Neuroptera) Пензенской области // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. Естественные науки. 2012. № 29. С. 256–260.
20. Шibaев С. В., Полумордвинов О. А. Обзор фауны перепончатокрылых (Insecta, Hymenoptera) Пензенской области // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. Естественные науки. 2012. № 29. С. 274–279.
21. Полумордвинов О. А. Новые и редкие виды прямокрылых (Insecta, Orthoptera) Пензенской области // Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье. 2014. Вып. 11. С. 78–91.

22. Красная книга Российской Федерации. Животные. 2-е изд. М. : ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. 1128 с.
23. Красная книга Пензенской области. Животные. Т. 2. 2-е изд. Воронеж : Воронежская областная типография – изд. им. Е. А. Болховитинова, 2019. 264 с.
24. Полумордвинов О. А., Шибаев С. В. К степной энтомофауне Пензенской области // Степи Северной Евразии : материалы VII Междунар. симп. Оренбург : ИС УрО РАН, «Димур», 2015. С. 669–672.
25. Полумордвинов О. А., Страдомский Б. В., Арзанов Ю. Г. Идентификация и распространение *Polyommatus elena* Stradomskiy et Arzanov, 1999 (Lepidoptera: Lycaenidae) // Кавказский энтомологический бюллетень. 2005. Т. 1, вып. 1. С. 87–88.
26. Румянцев В. Ю., Ермаков О. А., Ильин В. Ю. [и др.]. К истории и современному состоянию степного сурка *Marmotta bobak* Mull. // Аридные экосистемы. 2021. Т. 18, № 2. С. 62–63.
27. Ильин В. Ю., Быстракова Н. В., Добролюбов А. Н. [и др.]. Конспект фауны млекопитающих Пензенской области // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. Естественные науки. 2006. № 1. С. 73–89.

References

1. Ramenskiy L.G. *Problemy i metody izucheniya rastitel'nogo pokrova* = Issues and methods of studying vegetation cover. Leningrad: Nauka, 1971. (In Russ.)
2. Dunaev E.A. *Metody ekologo-entomologicheskikh issledovaniy* = Methods of ecological and entomological research. Moscow: MosgorSYuN, 1997. (In Russ.)
3. Kozhanchikov I.V. *Metody issledovaniya ekologii nasekomykh* = Methods of studying insect ecology. Moscow: Vyssh. shk., 1961. (In Russ.)
4. Maevskiy P.F. *Flora sredney polosy Evropeyskoy chasti Rossii. Izd. 11-e* = Flora of the central zone of the European part of Russia. The 11th edition. Moscow: Tovarischestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014. (In Russ.)
5. *Opredelitel' nasekomykh Evropeyskoy chasti SSSR: v 5 t.* = Identification of insects of the European part of the USSR: in 5 volumes. Moscow; Leningrad: Nauka, 1964–1987. (In Russ.)
6. Knudsen H., Vesterholt J. (ed.). *Funga Nordica*. Copenhagen: Nordsvamp, 2012.
7. *Geologicheskii atlas Penzenskoy oblasti* = Geological Atlas of Penza region. Saratov, 2001;53. (In Russ.)
8. Novikova L.A. Distribution of the gray teresken in Penza region. *Ekologicheskie i sotsial'no-gigienicheskie aspekty okruzhayushchey sredy cheloveka: materialy Respubl. nauch. konf. (g. Ryazan', 7–8 iyunya 2001 g.)* = Ecological and social-hygienic aspects of the human environment: proceedings of the Republic scientific conference (Ryazan, June 7-8, 2001). Ryazan: Proverennyy, 2001:280–282. (In Russ.)
9. Novikova L.A., Pan'kina D.V., Mironova A.A., Kulagina E.Yu. Petrophytic element in the flora of Penza region (by the example of “Bolshaya Endova” and “Malaya Endova”). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* = Proceedings of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016;18(5):112–117. (In Russ.)
10. Vasyukov V.M., Novikova L.A., Ivanova A.V. et al. Flora of Penza region: Mokshan, Penza, and Serdobsk districts (by the materials from the 2023 expedition). *Fitoraznoobrazie Vostochnoy Evropy* = Phytodiversity of Eastern Europe. 2024;18(3): 17–29. (In Russ.)
11. Ivanov A.I. (scientific ed.). *Krasnaya kniga Penzenskoy oblasti. T. 1. Sosudistye rasteniya, mkhi, lichayniki, griby* = The Red Book of Penza Region. Volume 1. Vascular plants, mosses, lichens, fungi. 3rd edition, revised and expanded. Moscow; Penza: Studiia onlayn, 2024:300. (In Russ.)
12. Gel'tman D.V. (resp. ed.). *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii. Rasteniya i griby* = The Red Book of the Russian Federation. Plants and fungis. 2nd official edition. Moscow: VNI «Ekologiya», 2024. (In Russ.)

13. Bol'shakov L.V., Polumordvinov O.A., Shibaev S.V. Geometrid moths (Lepidoptera, Geometridae) of Penza region. *Kavkazskiy entomologicheskij byulleten'* = Caucasian Entomological Bulletin. 2008;4(1):101–120. (In Russ.)
14. Bol'shakov L.V., Polumordvinov O.A., Shibaev S.V. Fireflies (Lepidoptera: Pyraloidea) of Penza region. *Kavkazskiy entomologicheskij byulleten'* = Caucasian Entomological Bulletin. 2009;5(1):91–110. (In Russ.)
15. Bol'shakov L.V., Polumordvinov O.A., Shibaev S.V. Zygaenidae (Lepidoptera: Zygaenidae) of Penza region. *Kavkazskiy entomologicheskij byulleten'* = Caucasian Entomological Bulletin. 2010;6(2):189–184. (In Russ.)
16. Bol'shakov L.V., Piskunov V.I., Sinev S.Yu. et al. To the fauna of microlepidoptera (Lepidoptera) of Penza region (Supplement 3). *Eversmanniya. Entomologicheskie issledovaniya v Rossii i sosednikh regionakh* = . 2011;(25–26):43–56. (In Russ.)
17. Zinov'eva A.N., Polumordvinov O.A. Towards a better understanding of the fauna of bedbugs (Neteroptera) of the Middle Volga region (Penza region). *Eversmanniya. Entomologicheskie issledovaniya v Rossii i sosednikh regionakh* = Eversmanniya. Entomological research in Russia and neighboring regions. 2023;(76):3–14. (In Russ.)
18. Prosvirov A.S., Polumordvinov O.A. New data on the fauna of click beetles (Coleoptera, Elateridae) of Penza region. *Entomologicheskie i parazitologicheskie issledovaniya v Povolzh'e* = Entomological and parasitological research in the Volga region. 2023;(20):47–58. (In Russ.)
19. Polumordvinov O.A., Shibaev S.V. Review of the lacewing fauna (Insecta, Neuroptera) of Penza region. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G. Belinskogo. Estestvennye nauki* = Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinsky. Natural sciences. 2012;(29):256–260. (In Russ.)
20. Shibaev S.V., Polumordvinov O.A. Review of the hymenoptera fauna (Insecta, Hymenoptera) of Penza region. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G. Belinskogo. Estestvennye nauki* = Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinsky. Natural sciences. 2012;(29):274–279. (In Russ.)
21. Polumordvinov O.A. New and rare species of Orthoptera (Insecta, Orthoptera) of Penza region. *Entomologicheskie i parazitologicheskie issledovaniya v Povolzh'e* = Entomological and parasitological research in the Volga region. 2014;(11):78–91. (In Russ.)
22. *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii. Zhivotnye* = Red Data Book of the Russian Federation. Animals. 2nd ed. Moscow: FGBU «VNII Ekologiya», 2021:1128. (In Russ.)
23. *Krasnaya kniga Penzenskoy oblasti. Zhivotnye. T. 2* = Red Data Book of the Russian Federation. Animals. Volume 2. 2nd ed. Voronezh: Voronezhskaya oblastnaya tipografiya – izd. im. E.A. Bolkhovitinova, 2019:264. (In Russ.)
24. Polumordvinov O.A., Shibaev S.V. To the steppe entomofauna of Penza region. *Stepi Severnoy Evrazii: materialy VII Mezhdunar. simp.* = Steppes of Northern Eurasia: proceedings of the 7th International Symposium. Orenburg: IS UrO RAN, «Dimur», 2015:669–672. (In Russ.)
25. Polumordvinov O.A., Stradomskiy B.V., Arzanov Yu.G. Identification and distribution of *Polyommatus elena* Stradomskiy et Arzanov, 1999 (Lepidoptera: Lycaenidae). *Kavkazskiy entomologicheskij byulleten'* = . 2005;1(1):87–88. (In Russ.)
26. Rumyantsev V.Yu., Ermakov O.A., Il'in V.Yu. et al. On the history and current status of the steppe marmot *Marmotta bobak* Mull. *Aridnye ekosistemy* = Arid ecosystems. 2021;18(2):62–63. (In Russ.)
27. Il'in V.Yu., Bystrakova N.V., Dobrolyubov A.N. et al. Summary of the mammalian fauna of the Penza region. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G. Belinskogo. Estestvennye nauki* = Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinsky. Natural sciences. 2006;(1):73–89. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Александр Иванович Иванов

доктор биологических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
Приволжский центр аквакультуры
и водных биоресурсов,
Пензенский государственный аграрный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)
E-mail: rcgekim@mail.ru

Aleksandr I. Ivanov

Doctor of biological sciences, professor,
chief researcher, Volga Region Center
for Aquaculture and Aquatic Bioresources,
Penza State Agrarian University
(30 Botanicheskaya street, Penza, Russia)

Владимир Юрьевич Ильин

доктор биологических наук, профессор,
профессор-консультант,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: iljin_bat@mail.ru

Vladimir Yu. Ilyin

Doctor of biological sciences, professor,
consulting professor,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Олег Александрович Полумордвинов

старший лаборант кафедры
зоологии и экологии,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: entomol-penza@yandex.ru

Oleg A. Polumordvinov

Senior laboratory assistant
of the sub-department of zoology
and ecology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 29.07.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 21.08.2025

Принята к публикации / Accepted 30.09.2025

УДК 599.32.574.47

doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-7

Состояние сообщества грызунов, оценка их вредоносности на объектах сельскохозяйственного назначения в предгорной зоне Республики Дагестан

**У. М. Магомедов¹, М. Ш. Магомедов², З. А. Алиева³,
З. И. Рашкуева⁴, М. А. Магомедова⁵**

^{1,3,4,5}Дагестанский государственный педагогический университет
имени Р. Гамзатова, Махачкала, Россия

²Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского федерального
исследовательского центра Российской академии наук, Махачкала, Россия

²Филиал Дагестанского государственного университета в г. Кизляре, Кизляр, Россия

²Научно-клинический центр имени Башларова, Махачкала, Россия

¹umalat-77@mail.ru, ²mmsh78@mail.ru, ³Alza67@mail.ru,
⁴rashkueva_afg@mail.ru, ⁵manadi.60@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Ежегодные потери зерновых культур в мире от вредителей составляют 1 % от собранного урожая. Многие виды грызунов стали постоянными обитателями агроценозов и значительными вредителями полей, садов, огородов. Отмеченная проблема ставит задачи по проведению регулярного контроля численности, мер по снижению и поддержанию численности грызунов на безопасном для человека уровне. Цель исследования – оценить видовой состав, численность грызунов, обитающих на кошарах, фермах и других сельхозобъектах в ряде районов предгорного Дагестана. *Материалы и методы.* Сбор материала проводился в летний период на сельскохозяйственных объектах (посевные поля, огороды, кошары, склады, ангары) и в естественных биотопах Каякентского и Сергокалинского районов Республики Дагестан в 2021–2022 гг. Для оценки видового разнообразия грызунов в рассматриваемых условиях использован индекс разнообразия Симпсона. У всех отловленных животных определяли массу тела и проводили стандартные замеры тела. Кроме того, в процессе вскрытия анализировали физиологическое состояние половых органов: определяли вес семенников, число синих пятен или эмбрионов в матке. Для изучения видового состава, численности, структуры сообщества грызунов использовали методы количественного и качественного учета грызунов с применением давилок Геро. *Результаты.* Видовое богатство грызунов в естественных биотопах было выше, чем на объектах сельскохозяйственного назначения. На обоих участках доминировали желтобрюхая мышь и общественная полевка. Численность грызунов и плотность нор на сельскохозяйственных объектах более двух раз превышала таковые показатели в естественной среде. Индекс видового разнообразия оказался выше в естественной среде. Состояние упитанности и темпы размножения видов грызунов были выше на объектах сельхозназначения, чем в естественных условиях среды. *Выводы.* Видовое богатство грызунов выше в естественных условиях, чем на объектах сельхозназначения. Индекс видового разнообразия выше в естественных биотопах, чем на сельскохозяйственных объектах. Доминантный статус (по обилию) занимала желтобрюхая мышь в обоих условиях. Численность грызунов на сельскохозяйственных объектах более чем в два раза превышала численность грызунов в естественной среде. Особи

на объектах сельхозназначения были упитанней и имели высокие значения плодovitости, чем в естественных пространствах. Выявлен высокий порог экономического ущерба.

Ключевые слова: видовое богатство, разнообразие, объекты сельхозназначения

Финансирование: работа выполнена по государственному заданию ПИБР ДФИЦ РАН, регистрационный номер 125020501453-2.

Для цитирования: Магомедов У. М., Магомедов М. Ш., Алиева З. А., Рашкуева З. И., Магомедова М. А. Состояние сообщества грызунов, оценка их вредоносности на объектах сельскохозяйственного назначения в предгорной зоне Республики Дагестан // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 2. С. 72–82. doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-7

State of the rodent community, assessment of their harmfulness at agricultural sites in the foothill zone of the Republic of Dagestan

U.M. Magomedov¹, M.Sh. Magomedov², Z.A. Alieva³,
Z.I. Rashkueva⁴, M.A. Magomedova⁵

^{1,3,4,5}Dagestan State Pedagogical University named after R. Gamzatov, Makhachkala, Russia

²Caspian Institute of Biological Resources of Dagestan Federal Research Center of Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

²Branch of Dagestan State University in Kizlyar, Kizlyar, Russia

²Bashlarov Scientific and Clinical Center, Makhachkala, Russia

¹umalat-77@mail.ru, ²mmsh78@mail.ru, ³Alza67@mail.ru,
⁴rashkueva_afg@mail.ru, ⁵manadi.60@mail.ru

Abstract. Background. Annual losses of grain crops in the world from pests amount to one percent of the harvested crop. Many species of rodents have become permanent inhabitants of agrocenoses and significant pests of fields, gardens, and vegetable gardens. The noted problem sets tasks for regular monitoring of numbers, measures to reduce and maintain the number of rodents at a level safe for humans. The purpose of the study is to assess the species composition, number of rodents living in sheepfolds, farms and other agricultural facilities in a number of areas of the foothills of Dagestan. *Materials and methods.* The material was collected in the summer at agricultural facilities (crop fields, vegetable gardens, sheepfolds, warehouses, hangars) and in natural biotopes of the Kayakent and Sergokalinsky districts of the Republic of Dagestan in 2021–2022. To assess the species diversity of rodents in the considered conditions, the Simpson diversity index was used. All captured animals were measured for body weight and standard body measurements. In addition, the physiological state of the genitals was analyzed during the autopsy: the weight of the testicles, the number of blue spots or embryos in the uterus were determined. To study the species composition, abundance, and structure of the rodent community, quantitative and qualitative methods of rodent counting using Gero crushers were used. *Results.* The results showed that the species richness of rodents in natural biotopes was higher than in agricultural facilities. In both areas, the yellow-bellied mouse and the social vole dominated. The number of rodents and the density of burrows in agricultural facilities were more than twice as high as in the natural environment. The species diversity index was higher in the natural environment. The body condition and reproduction rates of rodent species were higher in agricultural facilities than in natural environments. *Conclusions.* Rodent species richness was higher in natural conditions than in agricultural facilities. The species diversity index was higher in natural biotopes than in agricultural facilities. The dominant status (in abundance) was occupied by

the yellow-bellied mouse in both conditions. The number of rodents in agricultural facilities was more than twice as high as in the natural environment. Individuals in agricultural facilities were fatter and had higher fertility values than in natural spaces. A threshold of economic damage was revealed.

Keywords: species richness, diversity, agricultural objects

Financing: the work was performed within a State task of Caspian Institute of Biological Resources, Dagestan Research Center of the Russian Academy of Sciences No. 125020501453-2.

For citation: Magomedov U.M., Magomedov M.Sh., Alieva Z.A., Rashkueva Z.I., Magomedova M.A. State of the rodent community, assessment of their harmfulness at agricultural sites in the foothill zone of the Republic of Dagestan. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2025;(2):72–82. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-7

Введение

Ежегодные потери зерновых культур в мире от вредителей составляют 1 %, а в странах третьего мира ущерб составляет 3–5 % [1, 2]. С момента появления у человека подсобного хозяйства грызуны стали неотъемлемой его частью. Многие виды грызунов стали постоянными обитателями агроценозов и значительными вредителями полей, садов, огородов. Грызуны играют основную роль в хранении и передаче ряда опасных для человека инфекционных и инвазивных заболеваний [3–5].

Агропромышленный комплекс (АПК) Республики Дагестан (РД) является ключевой отраслью ее экономики. На долю АПК приходится около 21,8 % в ВРП республики, за последние 10 лет отрасль продемонстрировала двукратное увеличение по показателям выпуска продукции в стоимостном выражении. По итогам 2020 г. объем валовой продукции, произведенной хозяйствами всех категорий, составил 141,5 млрд рублей. В сельском хозяйстве занято до 30 % численности экономически активного населения. В растениеводстве наиболее развито производство риса, зерна и тепличное производство. По площади, занимаемой рисом, Республика Дагестан занимает второе место в России [6]. Выйдя на такие показатели, сельхозпроизводители сталкиваются с проблемой сохранения урожая, крайне важным стал вопрос разработки или модернизации мер по контролю и регуляции численности грызунов и других вредителей [7].

Отмеченная проблема ставит задачи по проведению регулярного контроля численности, мер по снижению и поддержанию численности грызунов на уровне, безопасном для человека и его нужд [4, 6–9].

Цель исследования – выявить видовой состав, оценить численность грызунов, обитающих на сельхозобъектах в ряде районов предгорного Дагестана.

Материалы и методы

Сбор материала проводился в летний период на сельскохозяйственных объектах (посевные поля, огороды, кошары, склады, ангары) и в естественных биотопах (лесные и открытые участки) Каякентского и Сергокалинского районов РД в 2021–2022 гг.

Климат в районе исследования умеренно-теплый, средняя температура зимы +1,5 °С, лета +17 °С. В ландшафтном отношении район исследования – это предгорья (начало переходной зоны между равнинной и горной частями Дагестана). Места проведения исследования расположены на высоте 200–650 м н. у. м. Почвы преимущественно каштановые [10].

Модельным объектом послужили следующие виды грызунов: желтобрюхая мышь (*Sylvaemus witherbyi* Ognev, 1924), серый хомячок (*Cricetulus migratorius* Pallas, 1773), общественная полевка (*Microtus socialis* Pallas, 1773), лесная соня (*Dryomys nitedula* Pallas, 1779), соня-полчок (*Glis glis* Linnaeus, 1766), обыкновенная белка (*Sciurus vulgaris* Linnaeus, 58), серая крыса (*Rattus norvegicus* Berkenhout, 1769). Отлов и обработка грызунов проводились по стандартным методикам [11]. Для изучения видового состава, численности, структуры сообщества грызунов использовали методы количественного и качественного учета грызунов с применением давилок Геро, дополнительно для крыс ставили дуговые капканы. Всего было выставлено 2400 ловушек, поймано 210 особей грызунов. Показателем численности служил процент попадания (%) – количество особей в пересчете на 100 ловушко-ночей. Давилки со стандартной приманкой (смоченное в растительном масле семечко подсолнуха) расставлялись через 3–5 м.

Для оценки видового разнообразия грызунов в рассматриваемых условиях использован индекс разнообразия Шеннона:

$$H = -\sum(pi \times \ln pi),$$

где pi – доля численности i вида во всем сообществе.

У всех отловленных животных определяли массу тела и проводили стандартные замеры тела. Кроме того, в процессе вскрытия анализировали физиологическое состояние половых органов, число синих пятен или эмбрионов в матке.

Для оценки возможного экономического ущерба в колониях грызунов производился подсчет нор. Для этого рассчитывался порог экономической вредоносности грызунов, необходимый для прогноза роста вида. Порог экономического ущерба оценивали по критериям В. И. Долженко с соавторами (2002). Экономический ущерб считался высоким при величине в 30–50 жилых нор/га в осенний период и 50–100 жилых нор/га весной [13, 14].

Статистическая обработка результатов велась с помощью программы Statistica v. 5.5.

Результаты

Видовое богатство грызунов в естественных биотопах было выше, чем на объектах сельхозназначения, за счет древесных видов грызунов. Всего было поймано 210 особей видов грызунов, среди которых численность грызунов на сельскохозяйственных объектах более двух раз превышала численность грызунов в естественной среде (11 особей на 100 ловушко-ночей на агроландшафтах против 6,1 особей на 100 ловушко-ночей в естественных биотопах). На объектах сельхозназначения доминировала желтобрюхая мышь, затем, существенно уступая, общественная полевка и серая крыса. В естественных

биотопах также доминировала желтобрюхая мышь, соподчиненный статус занимали общественная полевка и серый хомячок (табл. 1). Индекс видового разнообразия оказался выше в естественных биотопах (1,857), чем на сельскохозяйственных объектах (1,684).

Подсчет нор в колониях грызунов показал, что плотность нор на объектах сельхозназначения составил $154,3 \pm 9,1$ ($n = 8$) нор на гектар и $96,7 \pm 6,1$ ($n = 9$) норы на естественных полях ($p < 0,05$).

Сравнительный анализ физиологического состояния и числа эмбрионов у видов грызунов показал, что особи на объектах сельхозназначения были упитанней и имели высокие значения плодовитости, чем эти же виды в естественных пространствах, за исключением лесной сони. Все различия по рассмотренным показателям статистически значимы (табл. 2, t -критерий Стьюдента, $p \leq 0,05$).

Полученные результаты демонстрируют существенные различия условий существования для грызунов на объектах сельхозназначения и естественных биотопах. Обилие и качество кормов, наличие оптимальных мест для закладки нор и отсутствие врагов в антропогенных условиях позволяют грызунам быть более упитанными, иметь высокие темпы размножения и, соответственно, высокую численность, чем в естественных биотопах.

Таблица 1

Видовой состав и обилие видов грызунов в сравниваемых условиях

Виды	Сельскохозяйственные объекты		Естественные биотопы	
	численность, 100 ловушкочерн	доля	численность, 100 ловушкочерн	доля
<i>Sylvaeus witherbyi</i>	4,31	39,2	2,36	38,8
<i>Apodemus agrarius</i>	0,61	5,6	0,36	5,97
<i>Mus musculus</i>	1,69	15,4	0,27	4,48
<i>Rattus norvegicus</i>	1,31	11,88	0,36	5,97
<i>Microtus socialis</i>	1,69	15,4	1,00	16,4
<i>Dryomys nitedula</i>	0,31	2,8	0,64	10,45
<i>Glis glis</i>	0		0,18*	2,98
<i>Sciurus vulgaris</i>	0		0,36*	5,97
<i>Cricetulus migratorius</i>	1,08	9,8	0,54	8,95
Индекс видового разнообразия, H		1,684		1,857
Всего	11	1,00	6,09	1,00
Ловушко-суток	1300		1100	

* Визуальное обнаружение.

Обсуждение

Полученные данные подтверждают результаты многих работ, когда антропогенная трансформация приводит к снижению показателей естественных биологических систем [15–17]. Любой агроландшафт – это значительное упрощение структуры биоценоза, направленное на получение экономической

выгоды. Как результат отмечается снижение видового богатства, индекса видового разнообразия, обилия и других показателей в антропоценозах. В нашем случае трансформация древесно-кустарниковых ассоциаций в агроландшафты привела к выпадению из состава сообщества грызунов древесных видов, за счет этого индекс видового разнообразия немного ниже, чем в естественной среде. Хотя по соне-полчку есть подтвержденные данные, что особи вида зимуют в постройках человека. Как правило, древесные виды грызунов обитают в искусственных лесополосах либо примыкающих к полям или огородам кромках леса.

Таблица 2

Состояние ряда физиологических показателей
видов грызунов в рассматриваемых условиях

Виды	Сельскохозяйственные объекты		Естественные биотопы		P
	масса тела	$N_{\text{пл.п., эмбр.}}$	масса тела	$N_{\text{плац., эмбр.}}$	
<i>Sylvaemus witherbyi</i>	$24,2 \pm 0,98$ (n = 30)	$5,5 \pm 0,27$	$21,3 \pm 0,87$ (n = 20)	$4,9 \pm 0,24$	$\leq 0,05$
<i>Apodemus agrarius</i>	$21,8 \pm 1,12$ (n = 5)	$3,2 \pm 0,16$	$19,1 \pm 0,78$ (n = 4)	$2,9 \pm 0,12$	
<i>Mus musculus</i>	$20,9 \pm 1,2$ (n = 15)	$3,7 \pm 0,95$	$18,7 \pm 0,77$ (n = 3)	$3,3 \pm 0,87$	
<i>Rattus norvegicus</i>	$197,7 \pm 8,9$ (n = 10)	$4,9 \pm 0,23$	$131 \pm 6,8$ (n = 3)	$4,2 \pm 0,21$	
<i>Microtus socialis</i>	$39,7 \pm 1,8$ (n = 10)	$5,1 \pm 0,22$	$35,2 \pm 1,8$ (n = 8)	$4,5 \pm 0,19$	
<i>Cricetulus migratorius</i>	$23,1 \pm 1,1$ (n = 9)	$2,4 \pm 0,11$	$21,6 \pm 1,1$ (n = 4)	$2,1 \pm 0,09$	
<i>Dryomys nitedula</i>	$33,9 \pm 1,6$ (n = 2)	$2,9 \pm 1,4$	$33,5 \pm 1,5$ (n = 5)	$2,2 \pm 1,12$	$\geq 0,05$

П р и м е ч а н и е. $N_{\text{пл.п., эмбр.}}$ — число синих пятен и эмбрионов.

Показатели размножения грызунов выше на агроландшафтах, чем в естественных условиях, что не существенно выше. Надо полагать, что отличия по численности и физиологическому состоянию грызунов сформировались за счет качества кормов и стерильности условий на агроландшафтах. Говорить о смертности на основе полученных данных сложно, остается лишь предположить, что этот показатель выше в естественной среде, при условии, что на агроландшафтах редко проводят дератизационные мероприятия.

Исходя из полученных результатов по плотности нор на гектар, в районе исследования сформировался высокий порог экономического ущерба (по В. И. Долженко и др., 2002).

Число видов, обитающих на агроландшафтах и населенных пунктах в России, велико. По данным Л. А. Хляп, на долю синантропных грызунов СССР приходилось до 40 % от списка родентофауны СССР [18]. Среди этого состава наиболее приспособлены к обитанию в синантропных условиях домовая мышь и серая крыса. Видовой состав грызунов агроландшафтов также

разнообразный. В России подсчитано 20 видов доминирующих видов грызунов на сельскохозяйственных полях, среди которых наиболее многочисленные виды: домовая и полевая мыши, восточноевропейская и обыкновенная полевки [13, 19].

Рост численности и расселение агрофилов напрямую связаны с масштабом преобразований естественных биотопов человеком. Глобальный масштаб этих процессов привел к заселению сельскохозяйственных полей агрофильными и синантропными грызунами, что привело к стиранию зональных границ изменения и снижению общего биоразнообразия [20]. Уже в XIX в. естественные ландшафты в лесостепи (ядро ареала обыкновенной полевки) Российской Империи трансформировались под агроценозы, и сразу был отмечен массовый рост численности обыкновенной полевки, домовая мышь очень сильно расширила ареал (вплоть до Якутска), серая крыса (после завершения строительства Сибирской железной дороги) сомкнула западные и восточные ветви расселения [5].

Заключение

Количество видов грызунов выше в естественных условиях, чем на объектах сельхозназначения. Индекс видового разнообразия выше в естественных биотопах (1,857), чем на сельскохозяйственных объектах (1,684).

Доминантный статус (по обилию) занимала желтобрюхая мышь в обоих условиях.

Численность грызунов на сельскохозяйственных объектах более чем в два раза превышала численность грызунов в естественной среде. Плотность нор также превалировала на объектах сельхоз назначения.

Особь на объектах сельхозназначения были упитанней и имели более высокие значения плодовитости, чем в естественных пространствах.

Выявлен высокий порог экономического ущерба.

Список литературы

1. Поляков И. Я. Вредные грызуны и борьба с ними. 2-е изд. Л. : Сельхозиздат, 1968. 254 с.
2. Бабич Н. В., Яковлев А. А. Грызуны – вредители сельскохозяйственных культур, перспективы защиты // Защита и карантин растений. 2022. № 2. С. 6–9.
3. Магомедов У. М., Магомедова М. А., Гамидова Н. Х. [и др.]. Структура сообщества мышевидных грызунов в агроландшафтах низменной зоны Республики Дагестан // Проблемы развития АПК региона. 2020. № 1. С. 96–102.
4. Gadisa T., Birhane A. Farmers' perceptions of rodents as crop pests: Knowledge, attitude and practices of farmers about rodent pest management in Southwest Ethiopia // Journal of Agricultural Extension and Rural Development. 2016. Vol. 3. P. 39–46.
5. Хляп Л. А., Варшавский А. А. Синантропные и агрофильные грызуны как чужеродные млекопитающие // Российский журнал биологических инвазий. 2010. № 3. С. 73–91.
6. Современное состояние и перспективы социально-экономического развития Республики Дагестан (к Дням Республики Дагестан в Совете Федерации) // Аналитический вестник. 2021. № 4. URL: www.council.gov.ru
7. Amera T., Abate A. An assessment of the pesticide use, practice and hazards in the Ethiopian rift valley: proceedings of the first African congress in pesticide and toxicology science. Waddani, 2008. P. 107–110.

8. Yonas M., Sluydts V., Kiros W. [et al.]. Farmers' perspectives of rodent damage and management from the highlands of Tigray, Northern Ethiopia // Crop Protection. 2010. Vol. 29. P. 532–539.
9. Geddes M. W. The relative importance of pre-harvest crop pests in Indonesia // Natural Resources Institute Bulletin. 1992. Vol. 47. P. 70.
10. Акаев Б. А. Физическая география Дагестана. Махачкала : Школа, 1996. 380 с.
11. Новиков Г. А. Полевые исследования экологии наземных позвоночных животных. М. : Сов. наука, 1949. 602 с.
12. Hurlbert S. H. The Measurement of Niche Overlap and Some Relatives // Ecology. 1978. Vol. 59, № 1. P. 67–77.
13. Бабич Н. В. Вредоносность обыкновенной полевки *Microtus arvalis* Pall. на озимой пшенице в степной зоне Северного Кавказа : автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2002. 22 с.
14. Долженко В. И., Вошедский Н. Н., Гончаров Н. Р. [и др.]. Рекомендации по защите озимой пшеницы от комплекса вредных организмов в Ростовской области. СПб. : ВИЗР, 2002. 40 с.
15. Ramankutty N., Mehrabi Z., Waha K. [et al.]. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security // Annual Review of Plant Biology. 2018. Vol. 69. P. 789–815.
16. Folke C., Polasky S., Rockström J. [et al.]. Our Future in the Anthropocene Biosphere // Ambio. 2021. Vol. 50. P. 834–869.
17. Tacconi F., Lefroy D., Waha K. [et al.]. Agricultural diversity, farmers' definitions and uses: The case of Tasmanian farms // Journal of Rural Studies. 2024. Vol. 108. P. 103266.
18. Хляп Л. А., Кучерук В. В., Тупикова Н. В., Варшавский А. А. Оценка разнообразия грызунов населенных пунктов // Животные в городе : материалы науч.-практ. конф. М., 2000. С. 26–29.
19. Тупикова Н. В., Хляп Л. А., Варшавский А. А. Грызуны полей Северо-Восточной Палеарктики // Зоологический журнал. 2000. № 79. С. 480–494.
20. Неронов В. М., Хляп Л. А., Тупикова Н. В., Варшавский А. А. Изучение формирования сообществ грызунов на пахотных землях Северной Евразии // Экология. 2001. № 5. С. 355–362.

References

1. Polyakov I.Ya. *Vrednye gryzuny i bor'ba s nimi. 2-e izd.* = Harmful rodents and their control. The 2nd edition. Leningrad: Sel'khozizdat, 1968:254. (In Russ.)
2. Babich N.V., Yakovlev A.A. Rodents are pests of agricultural crops and prospects for protection. *Zashchita i karantin rasteniy* = Plant protection and quarantine. 2022;(2):6–9. (In Russ.)
3. Magomedov U.M., Magomedova M.A., Gamidova N.Kh. et al. The structure of the community of mouse-like rodents in the agrolandscapes of the lowland zone of the Republic of Dagestan. *Problemy razvitiya APK regiona* = Issues of development of the regional agro-industrial complex. 2020;(1):96–102. (In Russ.)
4. Gadisa T., Birhane A. Farmers' perceptions of rodents as crop pests: Knowledge, attitude and practices of farmers about rodent pest management in Southwest Ethiopia. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*. 2016;3:39–46.
5. Khlyap L.A., Varshavskiy A.A. Synanthropic and agrophilic rodents as alien mammals. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy* = Russian journal of biological invasions. 2010;(3):73–91. (In Russ.)
6. The current state and prospects for the socio-economic development of the Republic of Dagestan (on the Days of the Republic of Dagestan in the Federation Council). *Analiticheskiy vestnik* = Analytical bulletin. 2021;(4). (In Russ.). Available at: www.council.gov.ru

7. Amera T., Abate A. *An assessment of the pesticide use, practice and hazards in the Ethiopian rift valley: proceedings of the first African congress in pesticide and toxicology science*. Waddani, 2008:107–110.
8. Yonas M., Sluydts V., Kiros W. et al. Farmers' perspectives of rodent damage and management from the highlands of Tigray, Northern Ethiopia. *Crop Protection*. 2010;29:532–539.
9. Geddes M.W. The relative importance of pre-harvest crop pests in Indonesia. *Natural Resources Institute Bulletin*. 1992;47:70.
10. Akaev B.A. *Fizicheskaya geografiya Dagestana* = Physical geography of Dagestan. Makhachkala: Shkola, 1996:380. (In Russ.)
11. Novikov G.A. *Polevye issledovaniya ekologii nazemnykh pozvonochnykh zhivotnykh* = Field studies of the ecology of terrestrial vertebrates. Moscow: Sov. nauka, 1949:602. (In Russ.)
12. Hurlbert S.H. The Measurement of Niche Overlap and Some Relatives. *Ecology*. 1978;59(1):67–77.
13. Babich N.V. The harmfulness of the common vole *Microtus arvalis* Pall. on winter wheat in the steppe zone of the North Caucasus: Phd abstract. Saint Petersburg, 2002:22. (In Russ.)
14. Dolzhenko V.I., Voshedskiy N.N., Goncharov N.R. et al. *Rekomendatsii po zashchite ozimoy pshenitsy ot kompleksa vrednykh organizmov v Rostovskoy oblasti* = Recommendations for protecting winter wheat from a range of pests in Rostov region. Saint Petersburg: VIZR, 2002:40. (In Russ.)
15. Ramankutty N., Mehrabi Z., Waha K. et al. Trends in global agricultural land use: implications for environmental health and food security. *Annual Review of Plant Biology*. 2018;69:789–815.
16. Folke C., Polasky S., Rockström J. et al. Our Future in the Anthropocene Biosphere. *Ambio*. 2021;50:834–869.
17. Tacconi F., Lefroy D., Waha K. et al. Agricultural diversity, farmers' definitions and uses: The case of Tasmanian farms. *Journal of Rural Studies*. 2024;108:103266.
18. Khlyap L.A., Kucheruk V.V., Tupikova N.V., Varshavskiy A.A. Assessment of rodent diversity in populated areas. *Zhivotnye v gorode: materialy nauch.-prakt. konf.* = Animals in the city: proceedings of the scientific and practical conference. Moscow, 2000:26–29. (In Russ.)
19. Tupikova N.V., Khlyap L.A., Varshavskiy A.A. Rodents of the Northeastern Palearctic fields. *Zoologicheskii zhurnal* = Zoological journal. 2000;(79):480–494. (In Russ.)
20. Neronov V.M., Khlyap L.A., Tupikova N.V., Varshavskiy A.A. Study of the formation of rodent communities on arable lands of Northern Eurasia. *Ekologiya* = Ecology. 2001;(5):355–362. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Умалат Магомедович Магомедов

кандидат биологических наук,
доцент кафедры биологии, экологии
и методики преподавания,
Дагестанский государственный
педагогический университет
имени Р. Гамзатова
(Россия, г. Махачкала,
ул. М. Ярагского, 57)
E-mail: umalat-77@mail.ru

Umalat M. Magomedov

Candidate of biological sciences,
associate professor of the sub-department
of biology, ecology and teaching methods,
Dagestan State Pedagogical University
named after R. Gamzatov
(57 M. Yaragского street, Makhachkala,
Russia)

Магомедрасул Шарипович Магомедов

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории экологии животных,
Прикаспийский институт
биологических ресурсов Дагестанского
федерального исследовательского
центра Российской академии наук,
(Россия, г. Махачкала,
ул. М. Гаджиева, 45);
старший преподаватель кафедры
общеобразовательных
и профессиональных дисциплин,
Филиал Дагестанского государственного
университета в г. Кизляр
(Россия, г. Кизляр, ул. С. Стальского, 1);
старший преподаватель кафедры
фундаментальной медицины,
Научно-клинический центр
имени Башларова
(Россия, г. Махачкала,
пр-кт Амет-хана Султана, 91);
E-mail: Mmsh78@mail.ru

Заира Абдурахмановна Алиева

кандидат биологических наук,
доцент кафедры анатомии,
физиологии и медицины,
Дагестанский государственный
педагогический университет
имени Р. Гамзатова
(Россия, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 57)
E-mail: Alza67@mail.ru

Заира Исмаиловна Рашкуева

кандидат биологических наук,
доцент кафедры анатомии,
физиологии и медицины,
Дагестанский государственный
педагогический университет
имени Р. Гамзатова
(Россия, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 57)
E-mail: rashkueva_afg@mail.ru

Манади Ахмеднабиевна Магомедова

кандидат биологических наук,
заведующий кафедрой биологии,
экологии и методики преподавания,
Дагестанский государственный
педагогический университет
имени Р. Гамзатова
(Россия, г. Махачкала, ул. М. Ярагского, 57)
E-mail: manadi.60@mail.ru

Magomedrasul Sh. Magomedov

Candidate of biological sciences,
senior researcher of the laboratory
of animal ecology,
Caspian Institute of Biological Resources
of Dagestan Federal Research Center
of Russian Academy of Sciences,
Makhachkala, Russia
(45 M. Gadjeva street, Makhachkala,
Dagestan, Russia);
senior lecturer of the sub-department
of general educational and professional
disciplines, branch of Dagestan State
University in Kizlyar
(1 S. Stalskogo street, Kizlyar, Russia);
senior lecturer of the sub-department
of fundamental medicine,
Bashlarov Scientific and Clinical Center
(91 Akhmet-khana Sultana avenue,
Makhachkala, Russia)

Zaira A. Alieva

Candidate of biological sciences,
associate professor of the sub-department
of anatomy, physiology and medicine,
Dagestan State Pedagogical University
named after R. Gamzatov
(57 M. Yaragskogo street,
Makhachkala, Russia)

Zaira I. Rashkueva

Candidate of biological sciences,
associate professor of the sub-department
of anatomy, physiology and medicine,
Dagestan State Pedagogical University
named after R. Gamzatov
(57 M. Yaragskogo street,
Makhachkala, Russia)

Manadi A. Magomedova

Candidate of biological sciences,
head of the sub-department of biology,
ecology and teaching methods,
Dagestan State Pedagogical University
named after R. Gamzatov
(57 M. Yaragskogo street,
Makhachkala, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 15.08.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 20.09.2025

Принята к публикации / Accepted 30.09.2025

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

УДК 581.1 581.5

doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-8

Изменение некоторых физиолого-биохимических показателей *Avena sativa* L. в условиях засоления и кислотности почвы

О. А. Четина¹, Н. С. Жуланова²

^{1,2}Пермский государственный национальный
исследовательский университет, Пермь, Россия

¹chetoks@gmail.com, ²ZhulanovaNatalia@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Накопление солей в почвах часто сопровождается изменением pH в щелочную сторону, техногенное засоление может сопровождаться и кислой реакцией почвы. В условиях засоления и кислой реакции среды растения испытывают осмотический и окислительный стрессы. Целью исследования явилось изучение реакций растений овса посевного на комбинированное воздействие засоления NaCl и кислой реакции почвы по некоторым физиолого-биохимическим показателям. *Материалы и методы.* В качестве объекта исследования использовали овес посевной *Avena sativa* L. сорт Стайер, который выращивали в условиях модельного опыта на фоновой дерново-подзолистой почве с различными сочетаниями pH-уровня (pH 4,9 и pH 7,3) и засоления (0,5 % NaCl). Нейтральная среда (pH 7,3) создавалась добавлением CaCO₃. Засоление создавалось в процентном отношении к сухому весу почвы. Контролем являлся вариант без засоления с pH 7,3. Через 4 и 8 дней после появления всходов в листьях растений определяли перекись водорода ферротитационным методом, активность каталазы – перманганатометрически, пероксидазную функцию – по методу А. Н. Бояркина. Морфометрические показатели фиксировали в течение 8 дней после появления всходов. *Результаты.* По сравнению с контролем сильнее ростовые процессы замедлялись в вариантах опыта с засолением и располагались в следующем порядке: pH 4,9 + NaCl > pH 7,3 + NaCl > pH 4,9. Содержание H₂O₂ в листьях овса в опытных вариантах в первый срок наблюдений не отличалось либо минимально отличалось от контроля, но во второй срок был выше во всех опытных вариантах в 1,6–1,7 раз. Активность каталазы в оба срока наблюдений была выше контроля в вариантах с засолением на 10–30 %. Во второй срок наблюдений активность каталазы в целом была на треть ниже в сравнении с первым во всех исследуемых вариантах. Активность пероксидаз в листьях овса во всех опытных вариантах была достоверно выше, чем в контрольном варианте, в оба срока эксперимента. Во второй срок наблюдений пероксидазная функция была выше в сравнении с первым во всех исследуемых вариантах (на 16–81 %). *Выводы.* Наибольшее угнетение растений овса, судя по морфометрическим показателям, наблюдалось на начальных этапах эксперимента (первые 4 дня), особенно в варианте опыта, сочетающем засоление и кислую реакцию почвы.

В адаптации растений к условиям засоления и кислотности почвы на этом этапе активное участие принимала каталаза, а к восьмому дню эксперимента – пероксидаза.

Ключевые слова: *Avena sativa*, pH почвы, засоление, окислительный стресс, ферменты-антиоксиданты, аскорбиновая кислота, флавоноиды, пролин, глицинбетаин

Для цитирования: Четина О. А., Жуланова Н. С. Изменение некоторых физиолого-биохимических показателей *Avena sativa* L. в условиях засоления и кислотности почвы // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2025. № 2. С. 83–92. doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-8

Changes in some physiological and biochemical parameters of *Avena sativa* L. in conditions of salinity and soil acidity

O.A. Chetina¹, N.S. Zhulanova²

^{1,2}Perm State National Research University, Perm, Russia

¹chetoks@gmail.com, ²ZhulanovaNatalia@yandex.ru

Abstract. *Background.* The accumulation of salts in soils is often accompanied by a change in pH to the alkaline side, technogenic salinization can be accompanied by an acidic reaction of the soil. Under conditions of salinization and acidic reaction of the environment, plants experience osmotic and oxidative stresses. The purpose of the research was to study the reactions of oat plants to the combined effects of NaCl salinity and acidic soil reaction according to some physiological and biochemical parameters. *Materials and methods.* *Avena sativa* L. oats of the Steyer variety were used as the object of the study. The plants were grown in a model experiment on a background sod-podzolic soil with various combinations of pH (pH 4.9 and pH 7.3) and salinity (0.5 % NaCl). A neutral medium (pH 7.3) was created by the addition of CaCO₃. Salinity was created in % relation to the dry weight of the soil. The control was a saline-free variant with a pH of 7.3. 4 and 8 days after the appearance of seedlings in the leaves of plants, hydrogen peroxide was determined by the ferrothiocyanate method, catalase activity was determined permanganometrically, and peroxidase function was determined by the method of A.N. Boyarkin. Morphometric parameters were recorded within 8 days after the emergence of seedlings. *Results.* Compared with the control, growth processes slowed down more strongly in the variants of the experiment with salinity and were arranged in the following order: pH 4.9 + NaCl > pH 7.3 + NaCl > pH 4.9. The H₂O₂ content in oat leaves in the experimental variants did not differ or minimally differed from the control during the first observation period, but in the second period it was 1.6–1.7 times higher in all experimental variants. Catalase activity in both observation periods was higher than the control in the variants with salinity by 10–30 %. In the second follow-up period, catalase activity was generally one-third lower compared to the first in all studied variants. The activity of peroxidases in oat leaves in all experimental variants was significantly higher than in the control variant in both experimental periods. In the second follow-up period, peroxidase function was higher in comparison with the first in all studied variants (by 16–81 %). *Conclusions.* The greatest depression of oat plants, judging by morphometric indicators, was observed at the initial stages of the experiment (the first 4 days), especially in the experimental version combining salinization and acidic soil reaction. Catalase was actively involved in the adaptation of plants to the conditions of salinity and soil acidity at this stage, and peroxidase by the 8th day of the experiment.

Keywords: *Avena sativa*, soil pH, salinity, oxidative stress, antioxidant enzymes, ascorbic acid, flavonoids, proline, glycine betaine

For citation: Chetina O.A., Zhulanova N.S. Changes in some physiological and biochemical parameters of *Avena sativa* L. in conditions of salinity and soil acidity. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2025;(2):83–92. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2025-2-8

Введение

Засоление почв является одним из важнейших стресс-факторов в жизнедеятельности растений. Накопление солей в почвах часто сопровождается изменением pH в щелочную сторону, техногенное засоление может сопровождаться кислой реакцией почвы, хотя для большинства растений, в особенности для молодых, оптимальный диапазон составляет 5,5–7,5 pH [1]. Так, например, под солеотвалами и шламохранилищами на территории Верхнекамского месторождения солей формируются подземные минерализованные воды, которые разгружаются в долинах малых рек Прикамья и способствуют засолению аллювиальных почв. В верхних горизонтах аллювиальных техногенно засоленных почв реакция почвенной среды может варьировать от сильнокислых и до кислых значений [2]. В обзорной статье по устойчивости растений к кислым почвам отмечено [3], что токсичность преимущественно связывают с избытком подвижного алюминия. В кислых почвах эффект токсичности алюминия и протонов разделить практически невозможно, поэтому и отдельный кислотный стресс остается не в полной мере оцененным. По мнению ряда исследователей [3, 4], в кислых (или щелочных) условиях корневой среды эффективность процессов поддержки pH цитоплазмы может уменьшиться.

В условиях засоления затрудняется поступление воды в клетки растений, что обусловлено повышенным осмотическим давлением почвенного раствора [5]. Не только засоление, но и pH показатели корневой среды влияют на содержание воды в клетках растений [6]. Наибольшие потери воды у растений отмечены при действии кислой реакции корневой среды, как отдельного фактора, так и в сочетании с засолением [6]. Соли, попадая в цитоплазму клеток растений, оказывают токсическое действие, вызывая нарушения метаболизма [5].

Адаптация растений к засолению состоит не только в регуляции механизмов поддержания ионного и осмотического гомеостаза, но и в сохранении определенного безопасного уровня активных форм кислорода (АФК). Важную роль в этом играют антиоксидантные ферменты: супероксиддисмутаза, каталаза, аскорбатпероксидаза и др. Альтернативным защитным механизмом у растений является стресс-зависимое накопление низкомолекулярных органических антиоксидантов: аскорбиновой кислоты, флавоноидов, токоферола, глутатиона и других, которые действуют как окислительно-восстановительные буферы, удаляя высокие уровни АФК, и обнаруживаются во всех компартментах клетки [7]. Таким образом, целью нашего исследования явилось изучение реакций растений овса посевного на комбинированное воздействие засоления NaCl и кислой реакции почвы по некоторым физиолого-биохимическим показателям.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовали овес посевной *Avena sativa* L. сорт Стайер. Растения овса выращивались в условиях модельного опыта при температуре 25 °С и длине светового дня – 18 ч. Предварительно замоченные семена высаживали в контейнеры размером 16×12×7 см с фоновой дерново-подзолистой почвой в различных сочетаниях pH-уровня (pH 4,9 и pH 7,3) и засоления (0,5 % NaCl).

Исходный pH-уровень почвы 4,9, гидролитическая кислотность 8,5 мг-экв/100 г почвы. По результатам гидролитической кислотности рассчитана доза извести для нейтрализации почвенной кислотности и пересчитана на 400 г почвы (объем почвы в контейнере). Нейтральная среда (pH7,3)

создавалась добавлением 2 г CaCO_3 . Засоление NaCl (0,5 %) создавалось в процентном отношении к сухому весу почвы. Контролем являлся вариант без засоления с pH 7,3.

Через 4 и 8 дней после появления всходов снимали растительный материал, который использовали для определения содержания перекиси, пероксидазной функции, активности каталазы. Морфометрические показатели фиксировали в течение 8 дней после появления всходов. Определение количества перекиси проводили ферротитационным методом [8], активность каталазы – перманганометрически [9], пероксидазной функции – по методу А. Н. Бояркина [10]. Биологическая и аналитическая повторность определения физиолого-биохимических показателей – трехкратная. Значимость различий между вариантами опыта оценивали дисперсионным непараметрическим методом (критерий Краскала – Уоллиса); значимыми считали различия между сравниваемыми средними величинами с доверительной вероятностью 95 % и выше ($p \leq 0,05$). Морфометрические показатели растений, длину надземной части и площадь листа замерили по вариантам опыта в 30-кратной повторности; существенность различий между вариантами оценили статистически по критерию Стьюдента ($p \leq 0,05$).

Результаты и их обсуждение

Важными биологическими параметрами, которые позволяют получить представления об уровне устойчивости растений к действию стрессовых факторов, являются показатели, отражающие прорастание семян, рост и развитие растений на начальных этапах онтогенеза. При наблюдении за изменением длины надземной части растений оказалось, что засоление в сочетании с нейтральной реакцией почвы снижало высоту растений на 34 % относительно контроля ($p = 0$) к 8 сут наблюдения (рис. 1, а). Кислая реакция почвенной среды достоверно снижает скорость роста овса на 22 % относительно контроля ($p = 0,0002$), а в сочетании с засолением (pH 4,9 + NaCl) на 47 % от контроля ($p = 0$) и на 30 % от варианта опыта pH 4,9 ($p = 0$). При воздействии засоления на нейтральном фоне площадь листовой пластинки сокращалась на 51 % от контроля ($p = 0$) к 8 дню наблюдений (рис. 1, б); в варианте pH 4,9 – на 27 % ($p = 0$); в варианте pH 4,9 + NaCl – на 61 % от контроля ($p = 0$) и на 47 % от варианта опыта pH 4,9 ($p = 0$).

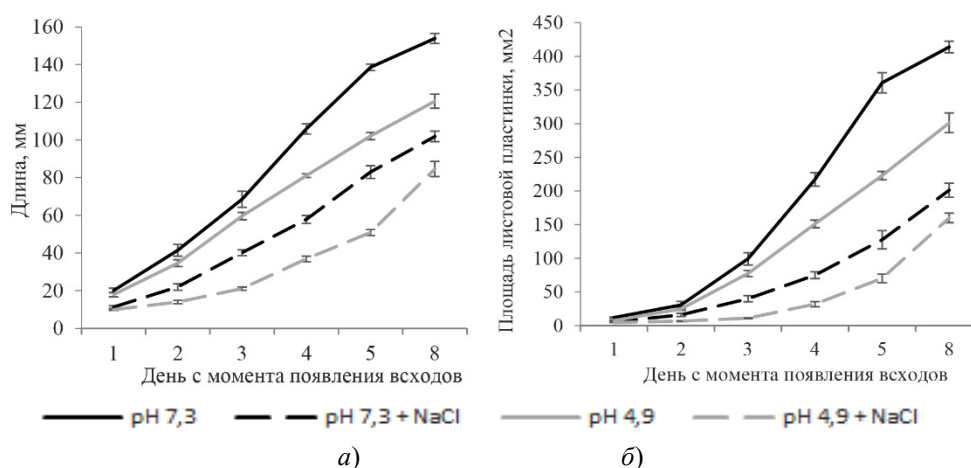


Рис. 1. Морфометрические показатели овса посевного в условиях засоления и разного уровня pH почвы:
а – длина надземной части; б – площадь листовой пластинки

Сильнее ростовые процессы замедлялись в вариантах опыта с засолением и располагались в следующем порядке: pH 4,9 + NaCl > pH 7,3 + NaCl > pH 4,9. Солевой стресс оказывает отрицательное воздействие на ранние стадии онтогенеза проростков, ингибирует процессы митотического цикла и тем самым замедляет развитие растений [11–13]. По мнению некоторых авторов, депрессия ростовых процессов наблюдается при pH ниже 5, при этом происходит дестабилизация белкового, углеродного и фосфорного обменов. Менее вреден сдвиг pH корневой среды в щелочную сторону в связи с тем, что клетки корня растения выделяют CO₂, а иногда и органические кислоты, нейтрализующие избыточную щелочность [14, 15]. Сильнее всего подавлялся рост при сочетании факторов засоления и кислой pH корневой среды, что может быть связано не только с действием NaCl и кислотностью среды, но и с дополнительным негативным влиянием токсичных катионов почвы, таких как Al³⁺ и Mn²⁺ [3].

Воздействие неблагоприятных факторов внешней среды может приводить к интенсивному образованию активных форм кислорода. Содержание перекиси водорода в листьях овса на засоленной нейтральной почве увеличивалось ко второму сроку наблюдений на 58 % от контроля ($p = 0,049$), в первый срок достоверных различий с контролем не обнаружено ($p = 0,513$) (рис. 2). В варианте опыта с кислой почвой без засоления повышение уровня H₂O₂ зафиксировано в оба срока, на 32 % от контроля – 4 день ($p = 0,049$) и 69 % – 8 день ($p = 0,049$). На кислой почве с засолением увеличение количества H₂O₂ отмечали на 8 день наблюдений (на 60 % выше контроля, $p = 0,049$); в сравнении с вариантом pH 4,9 без засоления на 4 день эксперимента наблюдали снижение перекиси на 40 % ($p = 0,049$), а на 8 день – достоверных различий не обнаружено ($p = 0,513$).

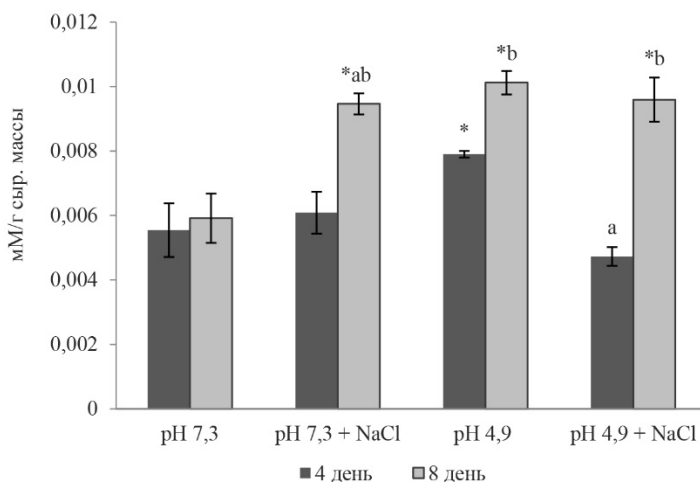


Рис. 2. Содержание перекиси в листьях овса посевного в условиях засоления и разного уровня pH почвы. Над столбцами звездочкой отмечены значимые различия с контролем (pH 7,3) в каждый временной промежуток: *a* – значимые различия между засоленным и незасоленным вариантами при каждой pH в каждый временной промежуток; *b* – значимые различия между 4 и 8 сут эксперимента в каждом варианте опыта

Содержание H₂O₂ в листьях овса в опытных вариантах в первый срок наблюдений не отличалось либо минимально отличалось от контроля, что, вероятно, связано с усилением антиоксидантной защиты растений. Во второй

срок наблюдений уровень перекиси был выше во всех опытных вариантах в 1,6–1,7 раз. Изменчивость в содержании H_2O_2 может быть связана с кратковременными окислительными взрывами и подавлением их антиоксидантной системой. Окислительный взрыв в свою очередь запускает дальнейший каскад ответных реакций, и в этом случае перекись водорода выполняет сигнальную функцию, связанную с включением антиоксидантной системы [16–18].

Каталазы являются основными ферментами, катализирующими дисмутацию H_2O_2 на H_2O и O_2 и играющие важную роль не только в метаболизме и защите растений, но также и в восприятии сигналов. Активность каталазы в листьях овса во всех опытных вариантах достоверно отличалась от контрольного в оба срока наблюдений (p варьировал в диапазоне 0,037–0,049) (рис. 3, а). На 4 день эксперимента на нейтральной засоленной почве активность этого фермента была выше контроля на 10 %, в варианте pH 4,9 – снижалась на 21 %, и в варианте pH 4,9 + NaCl – выше контроля на 10 % и на 40 % выше варианта pH 4,9 без засоления. Во второй срок наблюдений активность каталазы в целом была на треть ниже в сравнении с первым во всех исследуемых вариантах. На нейтральной засоленной почве фермент был активнее контроля на 33 %, в варианте pH 4,9 наблюдалось снижение на 17 %, и в варианте pH 4,9 + NaCl – выше контроля на 25 % и на 51 % выше варианта pH 4,9 без засоления.

В нашем эксперименте активность каталазы в первый срок наблюдений была выше, чем во второй, во всех вариантах опыта, особенно в вариантах с засолением. При этом уровень перекиси на четвертый день был гораздо ниже, чем на восьмой; в вариантах с засолением (pH 7,3 + NaCl, pH 4,9 + NaCl) количество перекиси вообще достоверно не отличалось от контроля. Это, вероятно, обусловлено эффективной работой данного фермента. Каталаза разлагает пероксид без участия каких-либо вспомогательных субстратов (восстановителей) и активна при относительно высоких концентрациях [19]. Кроме того, каталаза имеет самую высокую скорость оборота среди всех антиоксидантных ферментов (до 6 млн молекул H_2O_2 в 1 мин на одну молекулу фермента) [20].

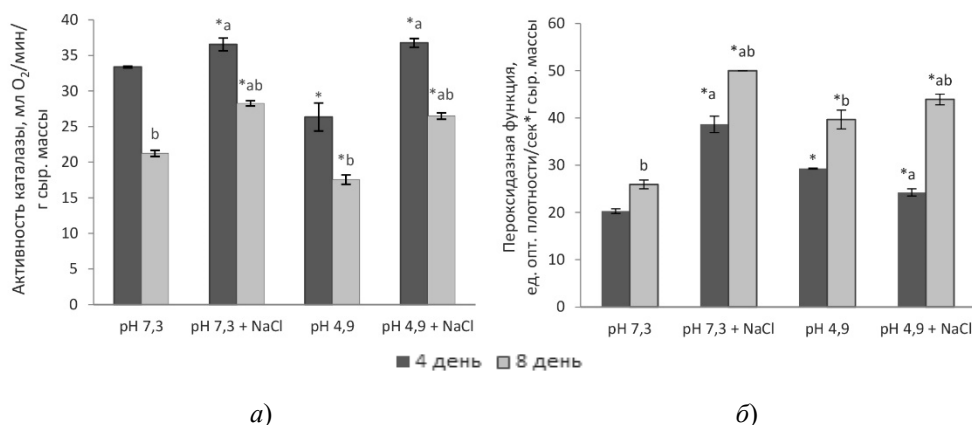


Рис. 3. Активность антиоксидантных ферментов в листьях овса посевного в условиях засоления и разного уровня pH почвы: а – активность каталазы; б – пероксидазная функция. Над столбцами звездочкой отмечены значимые различия с контролем (pH 7,3) в каждый временной промежуток: а – значимые различия между засоленным и незасоленным вариантами при каждой pH в каждый временной промежуток; б – значимые различия между 4 и 8 сут эксперимента в каждом варианте опыта

Активность пероксидаз в листьях овса во всех опытных вариантах была достоверно выше, чем в контрольном варианте, в оба срока эксперимента (p варьировал в диапазоне 0,037–0,049) (рис. 3,б). На четвертый день активность фермента на нейтральной засоленной почве была выше контроля на 91 %, в варианте pH 4,9 – на 44 %, и в варианте pH 4,9 + NaCl – выше контроля на 20 % и на 17 % ниже варианта pH 4,9 без засоления ($p = 0,043$). Во второй срок наблюдений пероксидазная функция была выше в сравнении с первым во всех исследуемых вариантах (на 16–81 %) (p варьировал в диапазоне 0,025–0,046). На восьмой день активность фермента на нейтральной засоленной почве была выше контроля на 93 %, в варианте pH 4,9 – на 53 %, и в варианте pH 4,9 + NaCl – выше контроля на 69 % и на 11 % выше варианта pH 4,9 без засоления ($p = 0,046$). Одновременно с повышенной активностью пероксидаз во второй срок исследований уровень перекиси во второй срок также был выше, чем в первый.

Пероксидазы включают группу ферментов, которые используют в качестве акцептора пероксид водорода (НАДН-пероксидаза, глутатион-пероксидаза, аскорбат-пероксидаза и др.), и катализируют окисление различных веществ (ароматические амины, тирозин, триптофан, индол, индолилуксусная кислота, фенолы, аскорбинат и др.). Пероксидаза, в отличие от каталазы, не окисляет перекись. Также считается, что пероксидазы растений в апопластном пространстве катализируют генерацию органических радикалов, что приводит к образованию активных форм кислорода. Это, в свою очередь, подтверждает роль пероксидаз в передаче окислительного сигнала [21, 22]. Некоторые исследователи отмечают, что стадия развития растений может влиять на экспрессию генов этих ферментов [23].

Закключение

Таким образом, наибольшее угнетение растений овса, судя по морфометрическим показателям, наблюдалось на начальных этапах эксперимента (первые четыре дня), особенно в варианте опыта, сочетающем засоление и кислотную реакцию почвы. В адаптации растений к условиям засоления и кислотности почвы на этом этапе активное участие принимала каталаза, а к восьмому дню эксперимента – пероксидаза.

Список литературы

1. Четина О. А., Еремченко О. З., Пахоруков И. В. Накопление низкомолекулярных соединений как ответная реакция растений на техногенное засоление // Экология. 2023. № 2. С. 94–102. doi: 10.31857/S036705972302004X
2. Eremchenko O. Z., Pakhorukov I. V., Shestakov I. E. Development of the Solonchak Process in Soils of Small River Valleys in the Taiga-Forest Zone in Relation to the Production of Potassium Salts // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53, № 4. P. 512–522. doi: 10.1134/S1064229320040055
3. Shavrukov Y., Hirai Y. Good and bad protons: genetic aspects of acidity stress responses in plants // Journal of Experimental Botany. 2016. Vol. 67. P. 15. doi: 10.1093/jxb/erv437
4. Bhuyan M. H. M. B., Hasanuzzaman M., Mahmud J. A. [et al.]. Morphophysiological and biochemical responses of *Triticum aestivum* L. to extreme pH: Coordinated actions of antioxidant defense and glyoxalase systems // Plants. 2019. P. 24. doi: 10.3390/plants8010024
5. Иванищев В. В., Евграшкина Т. Н., Бойкова О. И., Жуков Н. Н. Засоление почвы и его влияние на растения // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2020. № 3. С. 28–42.

6. Мальцева А. Д., Четина О. А. Изменение содержания воды в листьях растений в условиях засоления и разного уровня pH // Симбиоз-Россия 2022 : сб. ст. XIII Междунар. конф. ученых-биологов. Пермь, 2023. С. 559–564.
7. Miller G., Suzuki N., Ciftci-Yilmaz S., Mittler R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses // Plant, Cell and Environment. 2010. Vol. 33. P. 453–467. doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x
8. Sagisaka S. The occurrence of peroxide in a perennial plant *Populus gelrica* // Plant Physiol. 1976. Vol. 57, № 2. P. 308–309. doi: 10.1104/pp.57.2.308
9. Воскресенская О. Л., Алябышева Е. А., Половникова М. Г. Большой практикум по биоэкологии. Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, 2006. 107 с.
10. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Ярош Н. П. [и др.]. Методы биохимического исследования растений. Л. : Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. 430 с.
11. Белозерова А. А. Боме Н. А. Изучение реакции яровой пшеницы на засоление по изменчивости морфометрических параметров проростков // Фундаментальные исследования. 2014. № 12. С. 300–306.
12. Pascaru A., Giorgievici A. S., Gaman C. D. [et al.]. Gaman Sodium chloride effect on rye (*Secale cereale*) // Horticulture, Forestry and Biotechnology. 2014. Vol. 18, № 4. P. 147–150.
13. Yousufinia M., Ghasemian A., Safalian O., Asadi A. The effect of NaCl on the growth and K⁺ content of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivares // Annals of Biological Research. 2013. Vol. 4, № 1. P. 80–85.
14. Abdel Latef A. A., Tran L. S. Impacts of priming with silicon on the growth and tolerance of maize plants to alkaline stress // Frontiers in Plant Science. 2016. Vol. 7. P. 243. doi: 10.3389/fpls.2016.00243
15. Ekta Singh A. K., Pandey D. M. Co-expression network analysis of acidic-responsive genes in *Arabidopsis thaliana* signifies hub genes expression and their key role assessment for acidity tolerance in *Oryza sativa* L. // Biologia. 2021. Vol. 76. P. 3175–3190. doi: 10.1007/s11756-021-00837-3
16. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology // Environmental and Experimental Botany. 2015. Vol. 109. P. 212. doi: 10.1016/j.envexpbot.2014.06.021
17. Guo R., Yang Z., Li F. [et al.]. Comparative metabolic responses and adaptive strategies of wheat (*Triticum aestivum*) to salt and alkali stress // BMC Plant Biol. 2015. P. 170. doi: 10.1186/s12870-015-0546-x
18. Noctor G., Lelarge-Trouverie C., Mhamdi A. The metabolomics of oxidative stress // Phytochemistry. 2015. Vol. 112. P. 33. doi: 10.1016/j.phytochem.2014.09.002
19. Anjum N. A., Sharma P., Gill S. S. [et al.]. Catalase and ascorbate peroxidase-representative H₂O₂-detoxifying heme enzymes in plants // Environmental Science and Pollution Research. 2016. Vol. 23. P. 19002–19029. doi: 10.1007/s11356-016-7309-6
20. Sharma I., Ahmad P. Catalase: A Versatile Antioxidant in Plants // Oxidative Damage to Plants: Antioxidant Networks and Signaling. 2014. P. 131–148. doi: 10.1016/B978-0-12-799963-0.00004-6
21. Миннибаева Ф. В., Гордон Л. Х. Продукция супероксида и активность внеклеточной пероксидазы в растительных тканях при стрессе // Физиология растений. 2003. Т. 50, № 3. С. 459–464.
22. Kawano T. Roles of the reactive oxygen species-generating peroxidase reactions in plant defense and growth induction // Plant Cell Reports. 2003. Vol. 21. P. 829–837. doi: 10.1007/s00299-003-0591-z
23. Xie X., He Z., Chen N. [et al.]. The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plants. // BioMed Research International. 2019. Vol. 2019. P. 1–11. doi: 10.1155/2019/9732325

References

1. Chetina O.A., Eremchenko O.Z., Pakhorukov I.V. Accumulation of low-molecular compounds as a response of plants to technogenic salinization. *Ekologiya* = Ecology. 2023;(2):94–102. (In Russ.). doi: 10.31857/S036705972302004X

2. Eremchenko O.Z., Pakhorukov I.V., Shestakov I.E. Development of the Solonchak Process in Soils of Small River Valleys in the Taiga-Forest Zone in Relation to the Production of Potassium Salts. *Eurasian Soil Science*. 2020;53(4):512–522. doi: 10.1134/S1064229320040055
3. Shavrukov Y., Hirai Y. Good and bad protons: genetic aspects of acidity stress responses in plants. *Journal of Experimental Botany*. 2016;67:15. doi: 10.1093/jxb/erv437
4. Bhuyan M.H.M.B., Hasanuzzaman M., Mahmud J.A. et al. Morphophysiological and biochemical responses of *Triticum aestivum* L. to extreme pH: Coordinated actions of antioxidant defense and glyoxalase systems. *Plants*. 2019;24. doi: 10.3390/plants8010024
5. Ivanishchev V.V., Evgrashkina T.N., Boykova O.I., Zhukov N.N. Soil salinization and its impact on plants. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle* = Proceedings of Tula State University. Earth sciences. 2020;(3):28–42. (In Russ.)
6. Mal'tseva A.D., Chetina O.A. Changes in water content in plant leaves under salinity conditions and different pN levels. *Simbioz-Rossiya 2022: sb. st. XIII Mezhdunar. konf. uchenykh-biologov* = Symbiosis-Russia 2022: proceedings of the 13th International conference of scientists of biology. Perm, 2023:559–564. (In Russ.)
7. Miller G., Suzuki N., Ciftci-Yilmaz S., Mittler R. Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell and Environment*. 2010;33:453–467. doi: 10.1111/j.1365-3040.2009.02041.x
8. Sagisaka S. The occurrence of peroxide in a perennial plant *Populus gelrica*. *Plant Physiology*. 1976;57(2):308–309. doi: 10.1104/pp.57.2.308
9. Voskresenskaya O.L., Alyabysheva E.A., Polovnikova M.G. *Bol'shoy praktikum po bioekologii* = A large practical course on bioecology. Yoshkar-Ola: Mar. gos. un-t, 2006:107. (In Russ.)
10. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. et al. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy* = Methods of biochemical research of plants. Leningrad: Agropromizdat, Leningr. otd-nie, 1987:430. (In Russ.)
11. Belozeroval A.A., Bome N.A. Study of the response of spring wheat to salinity by the variability of morphometric parameters of seedlings. *Fundamental'nye issledovaniya* = Fundamental research. 2014;(12):300–306. (In Russ.)
12. Pascaru A., Giorgievici A.S., Gaman C.D. et al. Gaman Sodium chloride effect on rye (*Secale cereale*). *Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 2014;18(4):147–150.
13. Yousufinia M., Ghasemian A., Safalian O., Asadi A. The effect of NaCl on the growth and K⁺ content of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivares. *Annals of Biological Research*. 2013;4(1):80–85.
14. Abdel Latef A.A., Tran L.S. Impacts of priming with silicon on the growth and tolerance of maize plants to alkaline stress. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:243. doi: 10.3389/fpls.2016.00243
15. Ekta Singh A.K., Pandey D.M. Co-expression network analysis of acidic-responsive genes in *Arabidopsis thaliana* signifies hub genes expression and their key role assessment for acidity tolerance in *Oryza sativa* L. *Biologia*. 2021;76:3175–3190. doi: 10.1007/s11756-021-00837-3
16. Demidchik V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. *Environmental and Experimental Botany*. 2015;109:212. doi: 10.1016/j.envexpbot.2014.06.021
17. Guo R., Yang Z., Li F. et al. Comparative metabolic responses and adaptive strategies of wheat (*Triticum aestivum*) to salt and alkali stress. *BMC Plant Biol*. 2015:170. doi: 10.1186/s12870-015-0546-x
18. Noctor G., Lelarge-Trouverie C., Mhamdi A. The metabolomics of oxidative stress. *Phytochemistry*. 2015;112:33. doi: 10.1016/j.phytochem.2014.09.002
19. Anjum N.A., Sharma P., Gill S.S. et al. Catalase and ascorbate peroxidase-representative H₂O₂-detoxifying heme enzymes in plants. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016;23:19002–19029. doi: 10.1007/s11356-016-7309-6
20. Sharma I., Ahmad P. Catalase: A Versatile Antioxidant in Plants. *Oxidative Damage to Plants: Antioxidant Networks and Signaling*. 2014:131–148. doi: 10.1016/B978-0-12-799963-0.00004-6

21. Minibaeva F.V., Gordon L.X. Superoxide production and extracellular peroxidase activity in plant tissues under stress. *Fiziologiya rasteniy* = Plant physiology. 2003;50(3):459–464. (In Russ.)
22. Kawano T. Roles of the reactive oxygen species-generating peroxidase reactions in plant defense and growth induction. *Plant Cell Reports*. 2003;21:829–837. doi: 10.1007/s00299-003-0591-z
23. Xie X., He Z., Chen N. et al. The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plants. *BioMed Research International*. 2019;2019:1–11. doi: 10.1155/2019/9732325

Информация об авторах / Information about the authors

Оксана Александровна Четина

кандидат биологических наук, доцент,
заведующий кафедрой физиологии
растений и экологии почв,
Пермский государственный
национальный исследовательский
университет
(Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15)
E-mail: chetoks@gmail.com

Oksana A. Chetina

Candidate of biological sciences, associate
professor, head of the sub-department
of plant physiology and soil ecology,
Perm State National Research University
(15 Bukireva street, Perm, Russia)

Наталья Сергеевна Жуланова

магистрант,
Пермский государственный
национальный исследовательский
университет
(Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15)
E-mail: ZhulanovaNatalia@yandex.ru

Natalia S. Zhulanova

Master's degree student,
Perm State National Research University
(15 Bukireva street, Perm, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 27.06.2025

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 22.08.2025

Принята к публикации / Accepted 03.09.2025