

16+

ISSN 2311-1402

НИЖНЕВАРТОВСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА



ВОЗРОЖДЕНИЮ  
САМОЛЁТА

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

2(74)/2026



В

е

с

т

н

и

к



# ВЕСТНИК НИЖНЕВАРТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА



Журнал основан в 2008 г.

включен в Перечень рецензируемых научных изданий,  
утвержденный Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации от 01.12.2015.

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2>

Учредитель: ФГБОУ ВО «Нижневартковский государственный университет»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77 – 80105 от 31.12.2020.

Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 – 79658 от 27.11.2020.

Подписной индекс АО «Почта России» ПП617

Периодичность издания: 4 раза в год / ежеквартально  
Язык издания: русский, английский

Индексируется и размещается: Crossref, Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), НЭБ КиберЛенинка (CyberLeninka), ЭБС IPRbooks, ЭБС «Лань», ZENODO, OpenAIRE, ZDB, Google Академия, Information Matrix for the Analysis of Journals (MIAR), Open Academic Journals Index (OAJI), Polska Bibliografia Naukowa (PBN), Dimensions.

Адрес редакции: Россия, 628616, ХМАО-Югра, г. Нижневартковск, ул. Ленина, 56. тел./факс: (3466) 44-39-50, факс: (3466) 45-18-05  
e-mail: [nvsu@nvsu.ru](mailto:nvsu@nvsu.ru), [red@nvsu.ru](mailto:red@nvsu.ru)

Адрес издательства: Россия, 628616, ХМАО-Югра, г. Нижневартковск, ул. Маршала Жукова, д. 4. Тел./факс: (3466) 24-50-51, e-mail: [izd@nvsu.ru](mailto:izd@nvsu.ru)

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (по состоянию на 29.04.2026 г.) по специальностям: 1.5.15. Экология (биологические науки), 5.6.1. Отечественная история (исторические науки), 5.6.2. Всеобщая история (исторические науки), 5.8.7. Методология и технология профессионального образования (педагогические науки); входит в Единый государственный перечень научных изданий – «Белый список» (уровень 3).



Тип лицензии CC, поддерживаемый журналом: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

Издатель: ФГБОУ ВО «Нижневартковский государственный университет», Россия, 628605, ХМАО-Югра, г. Нижневартковск, ул. Ленина, 56  
Исполнитель: Издательство НВГУ, Россия, 628616, ХМАО-Югра, г. Нижневартковск, ул. Маршала Жукова, д. 4.

ISSN 2311-1402 (Print)

ISSN 2686-8784 (Online)

Подготовлено и отпечатано в издательстве НВГУ  
Изд. лиц. ЛР № 020742. Подписано в печать 17.06.2026  
Дата выхода 25.06.2026  
Формат 60×84 1/8. Гарнитура Times. Усл. печ. листов 9,1.  
Тираж 100 экз. Заказ 2381 Цена: бесплатно

Яковлева А.М., выпускающий редактор  
Вилявин Д.В., технический редактор

16 +

Главный редактор: **Горлов С.И.** (г. Нижневартковск, Россия)

Зам. гл. редактора: **Махутов Б.Н.** (г. Нижневартковск, Россия)

Отв. редактор: **Юмагулова Э.Р.** (г. Нижневартковск, Россия)

Редакционная коллегия:

**Аикин В.А.** (г. Омск, Россия)

**Войтенко А.А.** (г. Москва, Россия)

**Гбоко С.К.** (г. Буаке, Кот-д'Ивуар)

**Горшков-Кантакузен В.А.** (г. Мидлсекс, Великобритания)

**Дайнеко Н.М.** (г. Гомель, Беларусь)

**Ибрагимова Л.А.** (г. Нижневартковск, Россия)

**Еманов А.Г.** (г. Тюмень, Россия)

**Казанский М.М.** (г. Париж, Франция)

**Кулагин А.Ю.** (г. Уфа, Россия)

**Лубышева Л.И.** (г. Москва, Россия)

**Маймерова Г.Ш.** (г. Бишкек, Кыргызстан)

**Медведев С.С.** (г. Санкт-Петербург, Россия)

**Нурбеков Б.Ж.** (г. Астана, Казахстан)

**Синявский Н.И.** (г. Сургут, Россия)

**Солодкин Я.Г.** (г. Нижневартковск, Россия)

**Суртаева Н.Н.** (г. Санкт-Петербург, Россия)

**Талыбов Т.Г.** (г. Нахчыван, Азербайджан)

**Фатуллаев П.У.** (г. Нахчыван, Азербайджан)

**Цысь В.В.** (г. Нижневартковск, Россия)



# BULLETIN

of NIZHNEVARTOVSK  
STATE UNIVERSITY



*Bulletin of Nizhnevartovsk State University was founded in 2008*

*Included in the List of peer-reviewed scientific publications,*

*approved by the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated 01.12.2015*

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2>

The journal is published quarterly by the Publishing House of Nizhnevartovsk State University

Registration certificate PI number FS77-80105 on 31.12.2020.

Registration certificate EL number FS77-79658 on 31.12.2020.

Subscription index in the JSC "Russian post"- PP617.

Quarterly

Language of publication: Russian, English

Indexed: Crossref, Russian Science Citation Index (RSCI), NES Cyber-Leninka (CyberLeninka), EBS IPRbooks, EBS Lan, ZENODO, OpenAIRE, ZDB, Google Academy, Information Matrix for the Analysis of Journals (MIAR), Open Academic Journals Index (OAJI), Polska Bibliografia Naukowa (PBN), Dimensions.

Editorial address: 628616, Russia, Khanty-Mansiysk Autonomous Area – Yugra, Nizhnevartovsk, Lenin Str., 56. tel./fax: (3466) 44-39-50; (3466) 45-18-05  
e-mail: [nvsu@nvsu.ru](mailto:nvsu@nvsu.ru), [red@nvsu.ru](mailto:red@nvsu.ru)

Publisher address: 628616, Russia, Khanty-Mansiysk Autonomous Area – Yugra, Nizhnevartovsk, Marshal Zhukov Str., 4, of. 1001. tel.: (3466) 24-50-51,  
e-mail: [izd@nvsu.ru](mailto:izd@nvsu.ru)

**Editor-in-Chief:** *S.I. Gorlov* (Nizhnevartovsk, Russia)

**Deputy Editor:** *B.N. Makhutov* (Nizhnevartovsk, Russia)

**Executive editor:** *E.R. Yumagulova* (Nizhnevartovsk, Russia)

**Editorial Board:**

*V.A. Aikin* (Omsk, Russia)

*A.A. Voitenko* (Moscow, Russia)

*S.K. Gboko* (Bouake, Côte d'Ivoire)

*V.A. Gorshkov-Kantakuzen* (Middlesex, UK)

*N.M. Daineko* (Gomel, Belarus)

*L.A. Ibragimova* (Nizhnevartovsk, Russia)

*A.G. Emanov* (Tyumen, Russia)

*M.M. Kazansky* (Paris, France)

*A.Yu. Kulagin* (Ufa, Russia)

*L.I. Lubysheva* (Moscow, Russia)

*G.Sh. Maymerova* (Bishkek, Kyrgyzstan)

*S.S. Medvedev* (St. Petersburg, Russia)

*B.Zh. Nurbekov* (Astana, Kazakhstan)

*N.I. Sinyavsky* (Surgut, Russia)

*Ya.G. Solodkin* (Nizhnevartovsk, Russia)

*N.N. Surtaeva* (St. Petersburg, Russia)

*T.G. Talibov* (Nakhchivan, Azerbaijan)

*P.U. Fatullayev* (Nakhchivan, Azerbaijan)

*V.V. Tsys* (Nizhnevartovsk, Russia)

16+



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ISSN 2311-1402 (Print)

ISSN 2686-8784 (Online)

*Prepared and printed in the publishing house of NVGU  
Ed. persons. JIP No. 020742. Signed for printing on 17.06.2026  
Release date 25.06.2026  
Format 60×84 1/8. Times typeface. CONV. print sheets 9.1.  
Circulation 100 copies. Order 2381. Free*

*A.M. Yakovleva, commissioning editor  
D.V. Vilyavin, technical editor*

© Nizhnevartovsk State University, 2026

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENT

Соболева В.А., Голуб В.Б. Мозаичность местообитаний как фактор устойчивости популяции <i>Dimorphopterus spinolae</i> (Heteroptera, Lygaeidae) в процессе постпирогенной сукцессии в восточноевропейской лесостепи .....4	V.A. Soboleva, V.B. Golub The Mosaicity of Habitats as a Factor Of Stability of the Population of <i>Dimorphopterus Spinolae</i> (Heteroptera, Lygaeidae) in the Process of Postpyrogenic Succession in the East-European Forest-Steppe ..... 4
Стариков В.П., Майорова А.Д., Вершинин Е.А., Берников К.А., Егоров С.В., Наконечный Н.В., Сарапульцева Е.С., Федоряева В.Н. Эктопаразиты мелких млекопитающих заказника «Унторский» и их роль в поддержании циркуляции возбудителей природноочаговых инфекций ..... 16	V.P. Starikov, A.D. Mayorova, E.A. Vershinin, K.A. Bernikov, S.V. Egorov, N.V. Nakonechny, E.S. Sarapultseva, V.N. Fedoryaeva Ectoparasites of Small Mammals in the Untorsky Nature Reserve and Their Role in Maintaining the Circulation of Pathogens Causing Natural Focal Infections ..... 16
Кокарев И.А., Ларионов М.В. Биоэкологические аспекты babesиозов и борьба с ними .....31	I.A. Kokarev, M.V. Larionov Bioecological Aspects of Babesiosis and its Control ..... 31
Шаламова Е.Ю., Погоньшева И.А., Рагозин О.Н., Погоньшев Д.А., Кучумов М.С. Показатели деятельности сердца у студенток г. Нижевартовска в зависимости от объема двигательной активности .....40	E.Yu. Shalamova, I.A. Pogonysheva, O.N. Ragozin, D.A. Pogonyshev, M.S. Kuchumov Cardiac Activity Indicators in Female Students of Nizhnevartovsk Depending on Physical Activity Level ..... 40
Сизенцов А.Н., Булгакова М.А., Сальникова Е.В. Перспективы применения бактерий рода <i>Bacillus</i> в биоремедиации почв, загрязнённых свинцом .....50	A.N. Sizenzov, M.A. Bulgakova, E.V. Salnikova Prospects for the Use of Bacillus Bacteria in Bioremediation of Lead-Contaminated Soils ..... 50
Кулагина Л.С., Сторчак Т.В., Кулагин А.А. Инвазионные виды древесных растений на строительных площадках городов России: масштабы, региональные особенности и экономические аспекты компенсационных выплат .....60	L.S. Kulagina, T.V. Storchak, A.A. Kulagin Invasive Woody Plant Species on Construction Sites in Russian Cities: Scale, Regional Features, and Economic Aspects of Compensation Payments ..... 60
Малева М.Г., Игнатова А.С., Соколов Н.А., Борисова Г.Г. Микрозелень <i>Vigna radiata</i> с повышенным содержанием йода: экологически ориентированный подход с использованием PGP-ризобактерий и внекорневого йодирования .....71	M.G. Maleva, A.S. Ignatova, N.A. Sokolov, G.G. Borisova Iodine-Enriched <i>Vigna Radiata</i> Microgreens: an Environmentally Oriented Approach Using PGP- Rhizobacteria and Foliar Iodization ..... 71
Егорова И.Н., Егорова Н.О., Мальцева Е.М. Влияние условий произрастания на содержание дубильных веществ в надземных и подземных органах <i>Sanguisorba officinalis</i> L. ....84	I.N. Egorova, N.O. Egorova, E.M. Maltseva Growing Conditions Effect on the Tannic Substances Content in the <i>Sanguisorba Officinalis</i> L. Above- Ground and Underground Organs ..... 84
Печенкина В.А. Эколого-генетический анализ сортов <i>Secale cereale</i> L., возделываемых в Предуралье .....98	V.A. Pechenkina Ecological-Genetic Analysis of <i>Secale Cereale</i> L. Cultivars Grown in Cis-Urals ..... 98
Чукина Н.В., Глазырина М.А., Филимонова Е.И., Лукина Н.В., Кордюк А.А. Анатомо-морфологические и биохимические характеристики орхидеи <i>Epipactis palustris</i> на техногенных субстратах .....109	N.V. Chukina, M.A. Glazyrina, E.I. Filimonova, N.V. Lukina Anatomical, Morphological, and Biochemical Characteristics of the Orchid <i>Epipactis Palustris</i> on Technogenic Substrates ..... 109
Дьякова Н.А. Минеральный профиль и видовые особенности аккумуляции элементов лекарственными растениями Центрального Черноземья .....123	N.A. Dyakova Mineral Profiles and Species Features of Accumulation of Elements by Medicinal Plants of the Central Black Earth Region ..... 123

V.A. Soboleva, V.B. Golub

## THE MOSAICITY OF HABITATS AS A FACTOR OF STABILITY OF THE POPULATION OF *DIMORPHOPTERUS SPINOLAE* (HETEROPTERA, LYGAEIDAE) IN THE PROCESS OF POSTPYROGENIC SUCCESSION IN THE EAST-EUROPEAN FOREST-STEPPE

Соболева В.А., Голуб В.Б.

### МОЗАИЧНОСТЬ МЕСТООБИТАНИЙ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОСТИ ПОПУЛЯЦИИ *DIMORPHOPTERUS SPINOLAE* (HETEROPTERA, LYGAEIDAE) В ПРОЦЕССЕ ПОСТПИРОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ В ВОСТОЧНОЕВРОПЕЙСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

**Abstract.** Based on the results of quantitative surveys conducted from 2021 to 2024, the dynamics of abundance and spatial distribution of the xerophilic species – the bug *Dimorphopterus spinolae* Signoret (1857) (Heteroptera, Lygaeidae) – were studied on a former fire site in the Usmansky Forest (Voronezh Region), formed after the 2010 fire. The formation of a stable population grouping of the species was established. Significant interannual fluctuations in abundance were revealed, with a peak in 2021 followed by a subsequent decline. During the period of maximum abundance, its average values ranged from 10.88 (in the Calamagrostis-Chenopodium association) to 17.88 (in the Festuca-Calamagrostis association) individuals per 100 sweeps with a standard net. In 2023, with the minimum abundance of the species in different plant associations, it decreased by 2.6–11 times. The main limiting factors for the abundance of *D. spinolae* were high temperature maxima and prolonged drought periods. These factors led to premature drying and hardening of the vegetative parts of the main food plant, *Calamagrostis epigeios*, which worsened its quality for feeding the nymphs and adults of the bug. The greatest decline in the abundance of *D. spinolae* was noted in the most xerophilic area occupied by the Festuca-Calamagrostis association (1.63 individuals per 100 sweeps). Under prolonged abiotic stress towards xerophily, more mesophytic conditions ensured better preservation of the food base and a more favorable microclimate, providing for the preservation of the local population grouping of the species. The obtained data indicate the naturalization of the typical meadow steppe species, the bug *D. spinolae*, in the conditions of a forming xerophilic biotope in

**Аннотация.** На основе результатов количественных учетов 2021–2024 гг. прослежены динамика численности и пространственное распределение ксерофильного вида – клопа *Dimorphopterus spinolae* Signoret (1857) (Heteroptera, Lygaeidae) на участке бывшей гари в Усманском бору (Воронежская область), образовавшейся после пожара 2010 г. Установлено формирование устойчивой популяционной группировки вида. Выявлены значительные межгодовые колебания численности с ее пиком в 2021 г. и последующим снижением. В период с максимальной численностью ее средние значения находились в пределах от 10,88 (вейниково-маревая ассоциация) до 17,88 (типчакково-вейниковая ассоциация) экз./100 взмахов стандартным сачком. В 2023 году с минимальной численностью вида в разных растительных ассоциациях она снизилась в 2,6–11 раз. Основными лимитирующими факторами численности *D. spinolae* явились высокие температурные максимумы и длительные периоды засухи. Эти факторы привели к преждевременному усыханию и жесткости вегетативных частей основного кормового растения, *Calamagrostis epigeios*, что ухудшило его качества для питания личинок и имаго клопа. Наибольшее снижение численности *D. spinolae* отмечено на наиболее ксерофитном участке, занятом типчакково-вейниковой ассоциацией (1,63 экз./100 взмахов). При длительном абиотическом стрессе в направлении ксерофилизации более мезофитные условия обеспечили лучшую сохранность кормовой базы и более благоприятный микроклимат, обеспечив сохранение локальной популяционной группировки вида. Полученные данные свидетельствуют о натурализации типичного лугово-степного вида, клопа *D. spinolae*, в условиях формирующегося на месте гари ксерофитного биотопа и отражают

place of the fire site and reflect the general trend of xerophily in the post-fire ecosystem in the Eastern European forest steppe zone.

**Keywords:** Hemiptera, Heteroptera, post-pyrogenic succession, Usmansky Forest, Voronezh Region.

**About the authors:** *Viktoria A. Soboleva*, ORCID: 0000-0002-9971-2766, Voronezh State University, Voronezh, Russia, v.soboleva@bk.ru; *Viktor B. Golub*, ORCID: 0000-0002-7390-9536, Doctor of Biological Sciences, Voronezh State University, Voronezh, Russia, v.golub@inbox.ru

общую тенденцию ксерофилизации постпирогенной экосистемы в Восточноевропейской лесостепи.

**Ключевые слова:** полужесткокрылые насекомые, Heteroptera, постпирогенная сукцессия, Усманский бор, Воронежская область.

**Сведения об авторах:** *Соболева Виктория Александровна*, ORCID: 0000-0002-9971-2766, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия, v.soboleva@bk.ru; *Голуб Виктор Борисович*, ORCID: 0000-0002-7390-9536, д-р биол. наук, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия, v.golub@inbox.ru

---

Soboleva V.A., Golub V.B. The Mosaicity of Habitats as a Factor Of Stability of the Population of *Dimorphopterus spinolae* (Heteroptera, Lygaeidae) in the Process of Postpyrogenic Succession in the East-European Forest-Steppe // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 4-15. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/01>

Soboleva, V.A., & Golub, V.B. (2026). The Mosaicity of Habitats as a Factor Of Stability of the Population of *Dimorphopterus spinolae* (Heteroptera, Lygaeidae) in the Process of Postpyrogenic Succession in the East-European Forest-Steppe. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 4-15. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/01>

---

## Introduction

Post-fire successions are among the most evident and important manifestations of the transformation of natural ecosystems, and their study is of considerable theoretical and practical interest. Most research on this process has traditionally been focused on coniferous and mixed forest zones, which are the most vulnerable ones to fire disturbance [3; 6; 8]. At the same time, the specific features of recovery processes in the forest steppe zone remain insufficiently studied. In forest steppe areas affected by fire, forestry practice is generally oriented toward artificial reforestation. However, it remains unclear to what extent natural ecosystems in forest steppe conditions are capable of self-recovery after the large-scale loss of the tree and shrub layers, and what new features they acquire during this process.

The 2010 wildfires, which represented a large-scale natural disaster, affected vast areas of the Central Russian forest steppe, causing a profound transformation of forest biocenoses that had developed over centuries and inflicting substantial ecological damage. In the Usmansky Forest (Voronezh Region), the fire had a destructive effect on the soil cover, litter layer, root systems of woody and shrubby vegetation, and the aboveground forest strata. In most of the burned area, complete sanitary logging was subsequently carried out, followed by reforestation through mixed plantations of Scots pine and silver birch. However, artificial reforestation was not implemented on a large area of 84 ha. The greater part of this territory, which retained its initial post-fire appearance after the removal of the remnants of the burned stand, was designated by researchers of Voronezh State University as a permanent monitoring site for a long-term study. The research conducted there is aimed at investigating post-fire succession, the dynamics of developing

phytocoenoses and faunal communities, and in particular assemblages of phytophagous insects under the conditions of natural forest regeneration.

The aim of the study was a comprehensive assessment of the mechanisms maintaining the stability of the population of the xerophilic phytophagous bug *Dimorphopterus spinolae* (Heteroptera, Lygaeidae) through analyzing a long-term dynamics of its abundance and spatial distribution in the heterogeneous conditions of a post-fire ecosystem.

### Materials and Methods

The study was conducted in the southwestern part of the Usmansky Forest (Voronezh Region), within the territory of the *Voronezhsky* Federal Nature Reserve, in the vicinity of the *Venevitinovo* Biocenter of Voronezh State University (20 km northeast of Voronezh; the coordinates of the centre of the study site: 51°48'43.8" N, 39°23'40.9" E; Fig. 1). In zonal terms, the surveyed territory belongs to the Eastern European forest steppe [7]. A mixture of pine and broad-leaved species dominates the unburned forest area, primarily oak, aspen, birch, and black alder. In 2021–2024, we collected material and carried out quantitative surveys of heteropteran insects on former burn sites in order to determine species composition, dominance structure, and population dynamics. Sampling was conducted from May to October, twice a month. Quantitative surveys were performed by using sweep-net sampling, with 100 sweeps on each of the three transects established in different parts of the study site:

1. Transect 1 was located along the southern boundary of the compartment, in close proximity (20–40 m) to the edge of the unburned forest stand (51°48'39.4" N, 39°23'37.8" E). The transect was characterized by a pronounced ecotone effect, with increased shading and humidity due to its proximity to the forest stand. The plant association: *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth – *Chenopodium album* L.

2. Transect 2 was located in the central part of the compartment, the most open and well-sunlit area, on sandy and sandy loam soils (51°48'42.0" N, 39°23'42.8" E). The transect represented the most xerophytic biotope within the study site. The plant association comprises *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin and *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth. 3. Transect 3 was located along the northern boundary of the compartment, near the Klyukvennoye-1 sphagnum bog (51°48'47.3" N, 39°23'42.8" E). The transect exhibits specific microclimatic conditions due to its position at the boundary between the xerophytic burned area and the mesophytic area adjacent to the bog. The plant community comprises *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Chenopodium album* L., and *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin. In addition to the burned areas, control biotopes unaffected by the 2010 fire were also surveyed:

1. A steppe-like site with the elements of ruderal vegetation (vicinity of Maklok settlement; 51°48'29.2" N, 39°24'46.5" E). The open biotope. The phytocoenosis is dominated by xerophytic species: baby's breath (*Gypsophila paniculata* L.), field wormwood (*Artemisia campestris* L.), mugwort (*Artemisia vulgaris* L.), and sandy immortelle (*Helichrysum arenarium* (L.) Moench), motherwort (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.), corn brome (*Bromus squarrosus* L.), hill cinquefoil (*Potentilla collina* Wibel), and desert madwort (*Alyssum desertorum* Stapf).

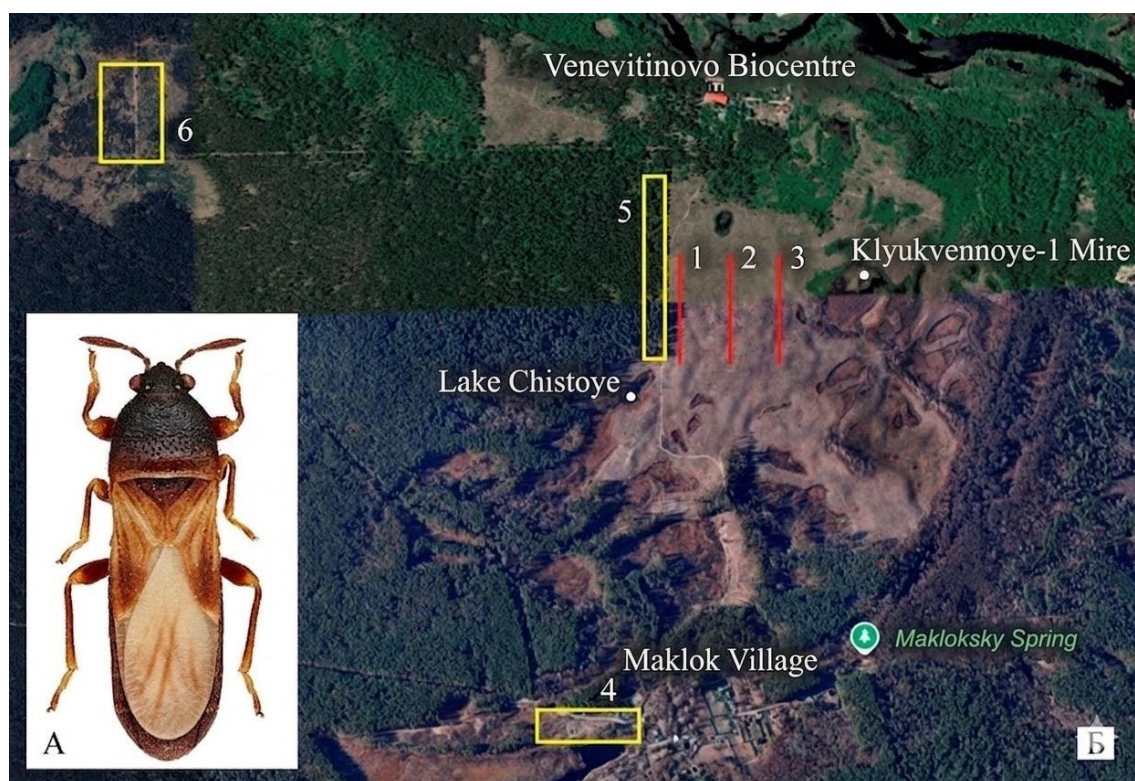
2. The forest edge adjacent to the study site (51°48'35.0" N, 39°23'34.3" E). The tree layer is mixed, with the dominance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and pedunculate oak (*Quercus robur* L.). The shrub layer is well developed; common species included Russian broom (*Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wol.) Klásk.), red elder (*Sambucus racemosa* L.), verrucose spindle tree (*Euonymus verrucosus* Scop.), and low serviceberry (*Amelanchier spicata* (Lam.) K. Koch). The herb layer comprised grass–forb and Aegopodium–Chelidonium associations.



**Fig. 1. Post-fire ecosystem with natural vegetation recovery in the Usmansky Forest (Voronezh Region, 2024)**

Additional sampling of heteropteran insects was carried out in areas with artificial forest plantations (51°47'46.7" N, 39°23'05.3" E). The tree layer is formed by mixed plantations of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and silver birch (*Betula pendula* Roth), with a minor admixture of aspen (*Populus tremula* L.). The shrub layer is sparse, represented by single individuals of dyer's greenweed (*Genista tinctoria* L.), Russian broom (*Chamaecytisus ruthenicus* (Fisch. ex Wol.) Klásk.), and red elder (*Sambucus racemosa* L.). The herb layer is dominated by grasses, primarily wood small-reed (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) and purple small-reed (*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth).

The spatial arrangement of the surveyed biotopes and sampling transects, as well as a photograph of the dominant heteropteran species recorded in the samples, are presented in Figure 2.



**Fig. 2. Study object – the bug *Dimorphopterus spinolae* Signoret (A) and the layout of sampling transects and control biotopes (B) in the Usmansky Forest, Voronezh Region**

1 – Transect 1; 2 – Transect 2; 3 – Transect 3; 4 – steppe-like site (vicinity of Maklok settlement); 5 – forest edge; 6 – artificial forest plantations

Meteorological conditions (mean daily temperatures and snow cover depth) were obtained from the Kordon Usmansky meteorological station by using the data from the weather service RP5 weather service (rp5.ru). Statistical processing of the quantitative data was performed by using the Microsoft Excel software.

### Results and Discussion

Long-term surveys (2021–2024) revealed that the dominant species in the heteropteran assemblage of the studied post-fire area in the Usmansky Forest is the bug *Dimorphopterus spinolae* (Signoret, 1857), belonging to the family Lygaeidae (ground bugs). This trans-Palaearctic species is widely distributed across the southern half of Europe, reaching northwards to Denmark, Germany, Austria, the Czech Republic, Poland, and the forest zone of European Russia. In Asia, it occurs as far as Kazakhstan, southern Siberia, the Russian Far East, Mongolia, and the Korean Peninsula. The southern boundary of its European range runs through Italy, the former Yugoslavia, Moldova, and southern Ukraine, while in Asia it extends through Azerbaijan, Iran, Kyrgyzstan, and Tajikistan [9-11; 14;]. In Voronezh Region, the species was previously recorded from the vicinity of Ramon settlement [2; 11] and the Tellerman Forest [13].

In the Usmansky Forest, single individuals of *D. spinolae* were first recorded by us in 2016 [12]. A gradual increase in abundance of the species made it possible, starting from 2021, to conduct statistically reliable estimates of the population assemblage within the model site.

According to the published data [10; 11] and the authors' own observations, the species is associated with relatively extensive open steppe-like habitats, light and sparsely forested stands, large clearings, and forest edges, mainly on light sandy and sandy loam soils. Trophically, the species is strictly associated with grasses, primarily wood small-reed (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) [4; 10; 11]. In addition, various grass species have been reported as host plants in different regions, including bearded oat-grass (*Melica nutans* L.), northern wheatgrass (*Leymus angustus* (Trin.) Pilg.), sea lyme grass (*Leymus arenarius* (L.) Hochst.), and marram grass (*Ammophila arenaria* (L.) Link) [11; 1; 5; 10; 15]. Almost all of these grass species currently occur on the post-fire model site affected by the 2010 fire, with the dominance of *C. epigeios*.

Our analysis of species abundance across different biotopes revealed a pronounced spatial heterogeneity, correlating with the composition of vegetation formations and microclimatic conditions established on different transects (Table 1).

Table 1

**Mean abundance of *Dimorphopterus spinolae* (Signoret, 1857) on sampling transects of the post-fire succession site in the Usmansky Forest and adjacent areas (Voronezh Region) in 2021–2024 (individuals per 100 sweeps)**

Date of Research	Transect 1 ( <i>Calamagrostis-Chenopodium</i> association)	Transect 2 ( <i>Festuca-Calamagrostis</i> association)	Transect 3 ( <i>Calamagrostis-Chenopodium-Festuca</i> association)	Steppe-like site	Forest edge	Artificial forest plantations
2021	10.88 ± 1.61	17.88 ± 2.54	11.13 ± 1.63	0.71 ± 0.23	2.62 ± 0.73	2.33 ± 0.32
2022	4.78 ± 0.45	4.56 ± 1.06	4.33 ± 1.08			
2023	2.88 ± 0.31	1.63 ± 0.46	4.25 ± 1.06			
2024	4.86 ± 0.46	3.29 ± 1.01	5.29 ± 1.26			

Within the post-fire area, the peak abundance of the population was recorded in 2021. By the time the quantitative surveys were initiated at the model site, more than ten years had passed since the large-scale wildfires of 2010. Over the period, stable and extensive forb-grass phytocoenoses had formed on the burned areas, with a strong dominance of wood small-reed (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), the main host plant of the studied species. The biotopes had developed a structure optimal for *D. spinolae*: open, well sun-exposed sites on light sandy soils. The highest abundance of the species was recorded on Transect 2, characterized by the most xerophytic conditions, which corresponds to the ecological preferences of the species. The weather conditions during the spring-summer period of 2021 were also favourable for overwintering adults and larval development, contributing to high survival and successful reproduction.

In 2022, a sharp decline in abundance was observed across all sampling transects. On the one hand, this may reflect natural cyclic fluctuations in population size. On the other hand, unfavourable weather conditions during critical developmental periods acted as a limiting factor. Conditions during the vegetation period, namely high temperature maxima and prolonged droughts, led to premature drying and increased rigidity of shoots of the main host plant, thereby

reducing their nutritional quality for both larvae and adults. Low precipitation conditions were also recorded during the winter. The mean snow cover depth in the winter of 2022 did not exceed 6.6 cm (Table 2).

Table 2

**Temperature conditions during vegetation periods and snow cover depth  
in the Usmansky Forest (2021–2024)**

	Mean daily temperature, °C				Maximum temperature, °C			
	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024
April	+8.9	+10.2	+9.9	+14.6	+24.1	+23.1	+19.9	+28.2
May	+16.2	+11.9	+14.8	+14.0	+31.5	+27.2	+26.1	+29.5
June	+21.0	+20.5	+17.5	+21.4	+35.0	+30.9	+27.6	+32.1
July	+24.0	+20.9	+20.5	+23.7	+34.4	+32.6	+31.6	+34.9
August	+23.8	+23.4	+21.6	+21.8	+35.7	+31.7	+32.4	+33.5
September	+12.6	+11.9	+16.1	+18.6	+25.9	+22.6	+28.8	+29.3
October	+6.8	+8.6	+7.8	+10.0	+16.7	+21.1	+24.4	+25.4
Mean snow cover depth, cm	23.5	6.6	22.0	20.6				

The negative trend continued in 2023, when *D. spinolae* abundance reached its lowest values over the entire observation period. The decline was especially pronounced on the most xerophytic Transect 2. This indicates the long-term consequences of the 2022 population depression, expressed in reduced reproductive potential. A decrease in the number of adults in the previous season must have resulted in a reduced number of eggs laid and, consequently, low abundance of the 2023 generation. Notably, on Transect 3, influenced by the nearby sphagnum bog, the population density remained substantially higher. This suggests that under a continued abiotic stress, more mesophytic conditions provided better preservation of the food base and a more favourable microclimate, thereby supporting the persistence of the local population.

In 2024, a positive trend in the abundance of *D. spinolae* was observed, expressed as an increase across all sampling transects. A particularly marked rise in abundance was recorded on Transect 3. This increase may indicate the onset of a population recovery phase as a result of adaptation to altered environmental conditions. In addition, the weather conditions during the spring-summer period of 2024 were close to optimal for the species, providing sufficient moisture for host plant development and the absence of extreme temperatures.

The spatial distribution of *D. spinolae* within the study site over the entire observation period was heterogeneous, which is directly associated with the ecological requirements of the species and the specific characteristics of the three sampling transects.

The most suitable habitat for the studied xerophilic species was the *Festuca-Calamagrostis* association along Transect 2. It was the transect, characterized by maximum insolation, sandy soils, and dominance of wood small-reed (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), where the absolute peak abundance was recorded in 2021. However, that habitat also proved to be the least stable under the prolonged climatic stress of 2022–2023, when the most pronounced decline in abundance was observed. Sparse woody and shrub vegetation does not form a reliable wind barrier and does not promote the accumulation and retention of a stable snow cover. This leads to early

snowmelt in spring and, more importantly, to the absence of a stable thermal insulating layer during winter temperature minima. As a result, overwintering adults located in the litter layer or at the bases of grasses are more vulnerable to mortality during frosts and sharp temperature fluctuations in early spring.

Transect 1 (*Calamagrostis-Chenopodium* association) occupied an intermediate position in terms of species abundance during the peak year of 2021. Proximity to the undisturbed forest stand, which provided increased shading and humidity, created conditions that were less optimal for the xerophilic *D. spinolae* compared to Transect 2. However, during the critical periods of 2022–2023, the decline in abundance was not so severe as in the central part of the study site. The ecotone effect must have played a stabilizing role, ensuring a more buffered microclimate and possibly better preservation of host plants during dry periods. The dynamics on this transect reflect a balance between suboptimal conditions in favourable years and greater stability under adverse conditions.

Transect 3 (*Calamagrostis-Chenopodium-Festuca* association) proved to be the most stable habitat for the population persistence during unfavourable periods. In 2021, its abundance values were comparable to those of Transect 1, while remaining lower than those of Transect 2. However, that transect exhibited the smallest amplitude of fluctuations in subsequent years. In 2023, when the abundance reached minimum values on the other transects, it remained the highest across the entire study site, and in 2024 it showed the most pronounced recovery. The boundary position between open xerophytic habitats and the mesophytic area adjacent to the *Klyukvennoye-1* sphagnum bog creates a unique microclimatic regime. This suggests that under drought conditions such xeromesophytic sites function as refugia where host plants stay preserved and conditions remain suitable for the survival of both adults and larvae. Thus, this transect acts as an ecological buffer, contributing to the stability of the population at the scale of the entire study area.

In 2021–2024, we conducted population surveys of *Dimorphopterus spinolae* on control sites unaffected by the 2010 fire, as well as in young plantations established on former burned areas. The habitats were characterized by consistently low abundance of the species, with no significant interannual fluctuations.

The steppe-like site in the vicinity of Maklok settlement is an open xerophytic habitat, generally corresponding to the ecological preferences of the studied species. However, its abundance there was extremely low ( $0.71 \pm 0.23$  individuals per 100 sweeps), and occurrences were sporadic. This allows us to consider this biotope to be a peripheral habitat. The main reason is likely to be the structure of the phytocoenosis: although host grasses are present, they do not form extensive and dense stands comparable to those of *Calamagrostis epigeios* on burned sites.

The forest edge and artificial forest plantations function as buffer refugia with consistently low, but slightly higher than in the steppe-like site, population abundance ( $2.62 \pm 0.73$  and  $2.33 \pm 0.32$  individuals per 100 sweeps, respectively). Their key importance lies in the combination of two factors: the presence of a food base (wood small-reed dominates the herb layer in plantations and is present at the forest edge) and a more moderate microclimate compared to open

burned areas. Shading and wind protection ensure more stable temperature and humidity conditions, thereby reducing the stress caused by weather anomalies. These habitats are not capable of supporting the high population densities typical of post-fire sites during their optimal phase, but they reliably maintain a small resident population of *D. spinolae*.

### Conclusions

Based on the long-term study (2021–2024) of the dynamics of the xerophilic dominant species *Dimorphopterus spinolae* under the conditions of post-fire succession in the Usmansky Forest, the following main conclusions can be drawn.

1. The population of *D. spinolae* exhibits abundance dynamics shaped by the combined influence of successional habitat stages and climatic factors. The population peak observed in 2021 resulted from the formation of extensive grass-dominated communities on burned areas, with the dominance of the main host plant – wood small-reed (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), which created optimal conditions for the species at a specific stage of post-fire recovery. The subsequent sharp decline in 2022–2023 indicates a high sensitivity of the population to abiotic factors, which exert a long-term depressive effect.

2. The key factor ensuring population stability under such dynamics is the habitat heterogeneity. The study revealed a clear functional differentiation of biotopes: open xerophytic sites (Transect 2) act as “corridors”, supporting high abundance during favourable periods but leading to the greatest population losses under stress conditions. At the same time, Transect 1 has been undergoing an active ecotone succession process: woody and shrub vegetation has been expanding from the forest edge, altering microclimatic conditions toward increased shading and humidity. This leads to a gradual replacement of grasses by forest species and an overall thinning of the herb layer, creating increasingly unfavourable conditions for the light- and heat-loving *D. spinolae*. As a result, the population core is being gradually shifted from the forest edge toward open areas. Under these conditions, xeromesophytic ecotones (Transect 3) perform an important function as stable refugia. They provide a buffered microclimate and preserve the food base during stress periods, thereby maintaining a stable population core.

3. Control biotopes unaffected by fire (forest edges and plantations) form a stable low-density population background, functioning as buffer zones.

Thus, the stability of the *Dimorphopterus spinolae* population in forest steppe landscapes is ensured not by a single habitat type, but by a network of functionally diverse environments – from post-fire open habitats to stable mesophytic and xeromesophytic ecotones and buffer forest plantations. The preservation of landscape heterogeneity is a necessary condition for maintaining biodiversity and the stability of populations of specialized species under post-fire ecosystem conditions.

## References

1. Aukema, B., Martens, T., Klunder, N., & Prijs, J. (2017). Nieuwe en interessante Nederlandse wantsen VII (Hemiptera: Heteroptera). *Nederlandse Faunistische Mededelingen*, 48, 45-54.
2. Golub, V.B., & Drapolyuk, I.S. (2005). Otryad Heteroptera. In *Kadastr bespozvonochnykh zhyvotnykh Voronezhskoy oblasti* (pp. 276-316). Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy universitet. (in Russ.).
3. Gongalsky, K.B. (2014). *Lesnye pozgary i pochyennaya fauna*. Moskva: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK. (in Russ.).
4. Gulde, J. (1921). Die Wanzen (Hemiptera – Heteroptera) der Umgebung von Frankfurt am Main und des Mainzer Beckens. *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft*, 37(4), 329-503.
5. Gulde, J. (1936). Die Wanzen Mitteleuropas. Hemiptera Heteroptera Mitteleuropas. Die Wanzen Mitteleuropas. *Hemiptera Heteroptera Mitteleuropas*. Frankfurt a. M. Teil II, 1-104.
6. Jorgensen, A., Alfaro-Sánchez, R., Cumming, S., White, A., Degré-Timmons, G.É., Day, N., Turetsky, M., Johnstone, J.F., Walker, X.J., & Baltzer, J.L. (2023). The Influence of Postfire Recovery and Environmental Conditions on Boreal Vegetation. *Ecosphere*, 14(7), 1-17. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4605>
7. Milkov, F.N., & Gvozdetskiy, N.A. (1986). *Fizicheskaya geografiya SSSR. Obshchiy obzor. Evropeyskaya chast. Kavkaz*. Moskva: Vysshaya shkola. (in Russ.).
8. Payette, S., & Fregeau, M. (2019). Long-term succession of closed boreal forests at their range limit in eastern North America shows resilience to fire and climate disturbances. *Forest Ecology and Management*, 440, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.015>
9. Faune de France (1998). France et régions limitrophes. 84 A. *Hémiptères Lygaeidae Euro-Méditerranéens*. Vol. 1. Généralités. Systématique: première partie. Par Jean Péricart. 468 p.
10. Catalogue of the Heteroptera of the Palaearctic Region (Berend Aukema B. & Christian Rieger eds). Vol. 4. Pentatomorpha I (2001). *The Netherlands Entomological Society*. Wageningen, the Netherlands. P. 35-220.
11. Putshkov, V.G. (1969). *Ligeïdi*. Fauna Ukraïni, 21(3). Kiiïv: Naukova dumka. (in Ukr.).
12. Soboleva, V.A., & Golub, V.B. (2022). Postpirogennyye izmeneniya v strukture kompleksa poluzhestkokrylykh nasekomykh (Hemiptera, Heteroptera) v Usmanskom boru (Voronezhskaya oblast). In *Organizmy, populyatsii i soobshchestva v transformiruyushcheysya srede: Materialy XVII Mezhdunarodnoy nauchnoy ekologicheskoy konferentsii (Belgorod, 22–24 noyabrya 2022 g.)* (ss. 181-184). Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy natsionalnyy issledovatel'skiy universitet. (in Russ.).
13. Svyatodukh, N.Yu., & Golub, V.B. (2015). Ekologicheskie komplekсы poluzhestkokrylykh (Heteroptera) v sostave gerpetobiya Tellermanovskoy dubravy

(Voronezhskaya oblast). *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, (211), 105-118. (in Russ.).

14. Vinokurov, N.N., Kanyukova, E.V., & Golub, V.B. (2010). *Katalog poluzhestkokrylykh nasekomykh (Heteroptera) aziatskoy chasti Rossii*. Novosibirsk: Nauka. (in Russ.). 1

15. Wachmann, E., Melber, A., & Deckert, J. (2007). Wanzen. Band 3, Pentatomomorpha I. Aradidae, Lygaeidae, Piesmatidae, Berytidae, Pyrrhocoridae, Alydidae, Coreidae, Rhopalidae, Stenocephalidae. *Die Tierwelt Deutschlands*. Teil 78, 1-272.

### Литература

1. Aukema B., Martens T., Klunder N., Prijs J. Nieuwe en interessante Nederlandse wantsen VII (Hemiptera: Heteroptera) // *Nederlandse Faunistische Mededelingen*, 2017. Т. 48. Р. 45-54.

2. Голуб В.Б., Драполок И.С. Отряд Heteroptera // Кадастр беспозвоночных животных Воронежской области. Воронеж: ВГУ, 2005. С. 276-316.

3. Гонгальский К.Б. Лесные пожары и почвенная фауна. М.: Тов.-во науч. изд. КМК, 2014. 169 с.

4. Gulde J. Die Wanzen (Hemiptera – Heteroptera) der Umgebung von Frankfurt am Main und des Mainzer Beckens // *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft*, 1921. Bd. 37 (4). P. 329-503.

5. Gulde J. Die Wanzen Mitteleuropas. Hemiptera Heteroptera Mitteleuropas. Die Wanzen Mitteleuropas // *Hemiptera Heteroptera Mitteleuropas*, 1936. Frankfurt a. M. Teil II. P. 1-104.

6. Jorgensen A., Alfaro-Sánchez R., Cumming S., White A., Degré-Timmons G.É., Day N., Turetsky M., Johnstone J.F., Walker X.J., Baltzer J.L. The Influence of Postfire Recovery and Environmental Conditions on Boreal Vegetation // *Ecosphere*. Т. 14(7). P. 1-17. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4605>

7. Мильков Ф.Н., Гвоздецкий Н.А. Физическая география СССР. Общий обзор. Европейская часть. Кавказ. М.: Высшая школа, 1986. 376 с.

8. Payette S., Fregeau M. Long-term succession of closed boreal forests at their range limit in eastern North America shows resilience to fire and climate disturbances // *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol. 440. P. 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.015>

9. Faune de France. France et régions limitrophes. 84 A. // *Hémiptères Lygaeidae Euro-Méditerranéens*. Vol. 1. Généralités. Systématique: première partie. Par Jean Péricart. 1998. 468 p.

10. Catalogue of the Heteroptera of the Palaearctic Region (Berend Aukema B. & Christian Rieger eds). Vol. 4. Pentatomomorpha I // *The Netherlands Entomological Society*. Wageningen, the Netherlands. 2001. P. 35-220.

11. Пучков В.Г. Лигеиди. Фауна України. Київ: Наукова думка, 1969. Т. 21. Вып. 3. 388 с.

12. Соболева В.А., Голуб В.Б. Постпирогенные изменения в структуре комплекса полужесткокрылых насекомых (Hemiptera, Heteroptera) в Усманском бору (Воронежская область) // *Организмы, популяции и сообщества в трансформирующейся среде: Материалы*

XVII Международной научной экологической конференции (Белгород, 22–24 ноября 2022 г.). Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет. С. 181-184.

13. Святодух Н.Ю., Голуб В.Б. Экологические комплексы полужесткокрылых (Heteroptera) в составе герпетобия Теллермановской дубравы (Воронежская область) // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2015. Т. 211. С. 105-118.

14. Винокуров Н.Н., Канюкова Е.В., Голуб В.Б. Каталог полужесткокрылых насекомых (Heteroptera) азиатской части России. Новосибирск: Наука, 2010. 320 с.

15. Wachmann E., Melber A., Deckert J. Wanzen. Band 3, Pentatomomorpha I. Aradidae, Lygaeidae, Piesmatidae, Berytidae, Pyrrhocoridae, Alydidae, Coreidae, Rhopalidae, Stenocephalidae // Die Tierwelt Deutschlands, 2007. Teil. 78. P. 1-272.

дата поступления: 10.10.2025

дата принятия: 20.04.2026

© Soboleva V.A., Golub V.B., 2026

УДК 591.531.213:599+502.72

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/02>

*Стариков В.П., Майорова А.Д., Вершинин Е.А., Берников К.А.,  
Егоров С.В., Наконечный Н.В., Сарapultseva Е.С., Федоряева В.Н.*

## ЭКТОПАРАЗИТЫ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ЗАКАЗНИКА «УНТОРСКИЙ» И ИХ РОЛЬ В ПОДДЕРЖАНИИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ПРИРОДНООЧАГОВЫХ ИНФЕКЦИЙ

*V.P. Starikov, A.D. Mayorova, E.A. Vershinin, K.A. Bernikov,  
S.V. Egorov, N.V. Nakonechny, E.S. Sarapultseva, V.N. Fedoryaeva*

### ECTOPARASITES OF SMALL MAMMALS IN THE UNTORSKY NATURE RESERVE AND THEIR ROLE IN MAINTAINING THE CIRCULATION OF PATHOGENS CAUSING NATURAL FOCAL INFECTIONS

**Аннотация.** В 2019 и 2025 гг. на территории заказника «Унторский» (Октябрьский район, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра) в летне-осенний период проведены учёты мелких млекопитающих (насекомоядные и грызуны) и их эктопаразитов. Всего учтено 966 особей мелких млекопитающих 12 видов, с которых оцёсано 1470 экземпляров эктопаразитов 31 вида. Среди них 8 видов паразитических гамазовых клещей, 2 вида иксодовых клещей, 3 вида вшей и 18 видов блох. Для выявления более полного состава мелких млекопитающих (прокормителей эктопаразитов) использовали два метода учётов – ловчих канавок (направляющих заборчиков) и ловушко-линий. В отношении видового состава прокормителей и паразитирующих на них эктопаразитов эффективнее работали ловчие канавки и направляющие заборчики. Среди гамазовых клещей независимо от способа отлова насекомоядных и грызунов доминировал *Laelaps algericus*. При отсутствии в учётах водяной полевки (депрессия численности), её специфический паразит *Laelaps muris* прокармливался на полевке-экономке. Два вида иксодовых клещей – *Ixodes persulcatus* и *I. apronophorus*, свойственные для северной тайги Западной Сибири, отмечены и на территории заказника «Унторский», доминировал *I. persulcatus*. Среди вшей диких млекопитающих подавляюще преобладал *Hoplopleura acanthopus*, на долю *H. edentula* и *Polyplax hannswrangeli* приходилось менее 2%. Основными прокормителями блох были красная полевка, обыкновенная бурозубка и полевка-экономка. Большинство зарегистрированных эктопаразитов в той или иной степени участвуют в циркуляции возбудителей инфекций в природных очагах туляремии, клещевого энцефалита и клещевого боррелиоза.

**Abstract.** In 2019 and 2025, in the territory of the Untorsky nature reserve (Oktyabrsky district, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra), recorded of small mammals (insectivores and rodents) and their ectoparasites were carried out during the summer-autumn period. A total of 966 individuals of small mammals of 12 species were registered, from which 1,470 specimens of ectoparasites of 31 species were collected. Among them are 8 species of parasitic gamasid mites, 2 species of ixodid ticks, 3 species of lice and 18 species of fleas. To identify a more complete composition of small mammals (hosts of ectoparasites), two methods of surveys were used: ditches with pitfalls or polyethylene guide fences and trap lines. In terms of the species composition of hosts and ectoparasites parasitizing them, ditches with pitfalls or polyethylene guide fences were more effective. Among gamasid mites, regardless of the method of catching insectivores and rodents, *Laelaps algericus* dominated. In the absence of water voles in the records (depression of numbers), their specific parasite *Laelaps muris* fed on the root vole. Two species of ixodid ticks – *Ixodes persulcatus* and *I. apronophorus*, typical for the northern taiga of Western Siberia, were also noted in the territory of the Untorsky nature reserve, with *I. persulcatus* dominating. Among the lice of wild mammals, *Hoplopleura acanthopus* was overwhelmingly predominant, with *H. edentula* and *Polyplax hannswrangeli* accounting for less than 2%. The fleas' main fiddler were the northern red-backed vole, the common shrew, and the root vole. Most registered ectoparasites are involved to varying degrees in the circulation of infectious agents in natural foci of tularemia, tick-borne encephalitis and tick-borne borreliosis.

**Ключевые слова:** паразитические членистоногие, мелкие млекопитающие, северная тайга, Западная Сибирь.

**Сведения об авторах:** Стариков Владимир Павлович, ORCID: 0000-0003-4849-2158, д-р биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия, [starikov\\_vp@inbox.ru](mailto:starikov_vp@inbox.ru); Майорова Антонина Дмитриевна, ORCID: 0000-0003-0091-2715, канд. биол. наук, Ивановский государственный университет, г. Иваново, Россия; Вершинин Евгений Александрович, ORCID: 0000-0003-3322-058X, канд. биол. наук, Иркутский научно-исследовательский противочумный институт Сибири и Дальнего Востока Роспотребнадзора, г. Иркутск, Россия; Берников Кирилл Александрович, ORCID: 0000-0001-9577-8760, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия; Егоров Сергей Владимирович, ORCID: 0000-0003-4758-1028, д-р биол. наук, Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет, г. Иваново, Россия; Наконечный Николай Владимирович, ORCID: 0000-0003-4437-5667, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия; Сарапульцева Екатерина Сергеевна, ORCID: 0000-0001-5302-5453, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия; Федоряева Вероника Николаевна, ORCID: 0000-0002-6516-1580, канд. биол. наук, Сургутский государственный университет, г. Сургут, Россия

**Key words:** parasitic arthropods, small mammals, northern taiga, Western Siberia.

**About the authors:** Vladimir P. Starikov, ORCID: 0000-0003-4849-2158, Doctor of Biological Sciences, Surgut State University, Surgut, Russia, [starikov\\_vp@inbox.ru](mailto:starikov_vp@inbox.ru); Antonina D. Mayorova, ORCID: 0000-0003-0091-2715, Candidate of Biological Sciences, Ivanovo State University, Ivanovo, Russia; Evgeny A. Vershinin, ORCID: 0000-0003-3322-058X, Candidate of Biological Sciences, Irkutsk Scientific Research Anti-Plague Institute of Siberia and the Far East of Rospotrebnadzor, Irkutsk, Russia; Kirill A. Bernikov, ORCID: 0000-0001-9577-8760, Candidate of Biological Sciences, Russian Academy of Sciences, Surgut State University, Surgut, Russia; Sergey V. Egorov, ORCID: 0000-0003-4758-1028, Doctor of Biological Sciences, Verkhnevolzhsky State Agrobiotechnological University, Ivanovo, Russia; Nikolay V. Nakonechny, ORCID: 0000-0003-4437-5667, Candidate of Biological Sciences, Surgut State University, Surgut, Russia; Ekaterina S. Sarapultseva, ORCID: 0000-0001-5302-5453, Surgut State University, Surgut, Russia; Veronika N. Fedoryaeva, ORCID: 0000-0002-6516-1580, Candidate of Biological Sciences, Russian Academy of Sciences, Surgut State University, Surgut, Russia.

Стариков В.П., Майорова А.Д., Вершинин Е.А., Берников К.А., Егоров С.В., Наконечный Н.В., Сарапульцева Е.С., Федоряева В.Н. Эктопаразиты мелких млекопитающих заказника «Унторский» и их роль в поддержании циркуляции возбудителей природноочаговых инфекций // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 16-30. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/02>

Starikov, V.P., Mayorova, A.D., Vershinin, E.A., Bernikov, K.A., Egorov, S.V., Nakonechny, N.V., Sarapultseva, E.S., & Fedoryaeva, V.N. (2026). Ectoparasites of Small Mammals in the Untorsky Nature Reserve and Their Role in Maintaining the Circulation of Pathogens Causing Natural Focal Infections. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 16-30. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/02>

**Введение.** Паразитические членистоногие – важная часть беспозвоночных животных. Многие из них способны сохранять и передавать человеку и животным различных возбудителей протозойных, бактериальных и вирусных инфекций [1; 5]. В Западной Сибири работ по паразитическим членистоногим (гамазовые клещи, иксодовые клещи, вши, блохи и др.) сравнительно много. Большинство из них посвящено отдельным группам [6; 17]. Значительно меньше работ о паразитировании членистоногих на отдельных видах прокормителей [9; 20], а также публикаций, которые бы охватывали практически весь

комплекс паразитических членистоногих на отдельно взятой территории [8; 16]. Заказник «Унторский» одна из немногих территорий, где подобные исследования проведены.

Цель наших исследований заключалась в выявлении комплекса членистоногих, паразитирующих на мелких млекопитающих заказника «Унторский».

**Материалы и методы.** Заказник «Унторский» – особо охраняемая природная территория (Октябрьский район, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра), образован в 1984 г. Заказник расположен в левобережной части бассейна р. Оби (подзона северной тайги лесной зоны Западной Сибири). Исследования проведены в 2019 и 2025 гг., охватывали плакорные и пойменные местообитания. Зверьков добывали с помощью методов ловушко-линий, ловчих канавок и направляющих заборчиков из полиэтиленовой пленки. Всего отработано 3533 давилко-суток и 4065 конусо-суток, учтено 966 особей мелких млекопитающих 12 видов: обыкновенная бурозубка *Sorex araneus* Linnaeus, 1758, крупнозубая бурозубка *S. daphaenodon* Thomas, 1907, средняя бурозубка *S. caecutiens* Lachmann, 1788, равнозубая бурозубка *S. isodon* Turov, 1924, малая бурозубка *S. minutus* Linnaeus, 1766, лесная мышовка *Sicista betulina* Pallas, 1779, лесной лемминг *Myopus schisticolor* Lilljeborg, 1844, рыжая полевка *Myodes glareolus* Schreber, 1780, красная полевка *M. rutilus* Pallas, 1779, тёмная (пашенная) полевка *Agricola agrestis* Linnaeus, 1761, полевка-экономка *Alexandromys oeconomus* Pallas, 1776, мышь-малютка *Micromys minutus* Pallas, 1771. Определение млекопитающих проведено в соответствии со справочником-определителем [15]. С указанных мелких млекопитающих очёсано 1470 экземпляров эктопаразитов (гамазовые и иксодовые клещи, вши и блохи) 31 вида. Гамазовые клещи: *Haemogamasus mandschuricus* Vitzthum, 1930, *Hg. nidi* Michael, 1892, *Hg. ambulans* (Thorell, 1872), *Eulaelaps stabularis* (C.L. Koch, 1839), *Hirstionyssus eusoricis* Bregetova, 1956, *Hi. isabellinus* (Oudemans, 1913), *Laelaps algericus* Hirst, 1925, *L. muris* (Ljungh, 1799). Иксодовые клещи: *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930, *I. apronophorus* Schulze, 1924. Вши: *Hoplopleura acanthopus* (Burmeister, 1839), *H. edentula* Fahrenholz, 1916, *Polyplax hannswrangeli* Eichler, 1952. Блохи: *Amalaraeus penicilliger* (Grube, 1851), *Ceratophyllus gallinae* (Schrank, 1803), *C. indages* Rothschild, 1908, *Megabothris turbidus* (Rothschild 1909), *M. rectangulatus* (Wahlgren, 1903), *M. calcarifer* (Wagner, 1913), *Frontopsylla elata* (Jordan et Rothschild, 1915), *Amphipsylla rossica* Wagner, 1912, *A. sibirica* (Wagner, 1898), *Peromyscopsylla bidentata* (Kolenati, 1863), *P. silvatica* (Meinert, 1896), *Catallagia dacenkoi* Ioff, 1940, *C. ioffi* Scalon, 1950, *Rhadinopsylla integella* Jordan et Rothschild, 1921, *Corrodopsylla birulai* Ioff, 1928, *Palaeopsylla soricis* Dale, 1878, *Ctenophthalmus uncinatus* (Wagner, 1898), *Huyscopsylla talpae* (Curtis, 1826). Эктопаразитов фиксировали в 70%-ном спирте. Определение личинок и нимф иксодовых клещей проведено на препаратах (среда: жидкость Фора-Берлезе). Для диагностики паразитических членистоногих пользовались определителями: И.Г. Иофф и О.И. Скалон [10], Н.Г. Бреgetова [4], Д.И. Благовещенский [3] и Н.А. Филиппова [24]. В работе использованы общепринятые в паразитологии индексы:

индекс встречаемости – ИВ, индекс обилия – ИО и средняя интенсивность заражения зверьков эктопаразитами – ИЗ [2].

**Результаты и обсуждение.** На территории северной тайги Западной Сибири известно обитание представителей 28 видов мелких млекопитающих [19]. Из них три вида постоянно и совместно доминируют: красная полевка повсеместно, преобладание средней бурозубки возрастает в восточном направлении этой подзоны, а обыкновенной бурозубки – в западном. На разных участках северной тайги регистрировалось от 6 до 17 видов насекомоядных и грызунов. В заказнике «Унторский» учтено 12 видов мелких млекопитающих. Здесь группу доминантов составили: обыкновенная бурозубка (46%), красная полевка (22) и малая бурозубка (12), содоминанты – полевка-экономка (9) и средняя бурозубка (7). Участие в сообществе мелких млекопитающих других семи видов (крупнозубая и равнозубая бурозубки, лесная мышовка, лесной лемминг, рыжая полевка, тёмная (пашенная) полевка и мышь-малютка) составило лишь 4%.

Паразитические гамазовые клещи. Из 12 видов мелких млекопитающих, зарегистрированных в заказнике «Унторский», гамазовые клещи паразитировали на четырёх численно преобладающих видах мелких млекопитающих (табл. 1). Количество видов гамазид варьировало от 2 (средняя бурозубка) до 6 (полевка-экономка). Общими клещами для всех прокормителей были *E. stabularis* (космополит) и *Hg. mandschuricus* (восточнопалеарктический вид). Максимальные суммарные показатели обилия гамазид (учёты с помощью ловчих канавок) отмечены для полевки-экономки (1,13). В то же время, на бурозубках этот показатель был в 25–28 раз ниже. Из всех учтённых гамазовых клещей на долю западнопалеарктического вида *L. algericus*, который более свойствен для европейской части России, приходилось до 65% от суммарного обилия всех учтённых гамазид (ловчие канавки). Данная тенденция сохранялась и в учётах ловушко-линиями, показатель ещё выше (73,7%). В видовом отношении учётов гамазовых клещей наиболее эффективно работали ловчие канавки и направляющие заборчики, зарегистрированы все 8 видов. На протяжении последних 10 лет в пойменных биотопах Средней и Нижней Оби наблюдается депрессия численности водяной полевки – основного носителя туляремийной инфекции. Не отмечен этот зверек и в учётах 2019 и 2025 гг. на территории заказника. Специфический паразит этого грызуна – *L. muris*, в отсутствие основного прокормителя может встречаться и на других мелких млекопитающих. В частности, в заказнике «Унторский» этот клещ паразитировал на полевке-экономке, и так или иначе, поддерживал циркуляцию возбудителя – *Francisella tularensis* пойменного очага туляремии. Наряду с *L. muris* также доказано участие в циркуляции туляремийного микроба клещей *Hg. nidi*, *E. stabularis*, *Hi. isabellinus*, а также клещевого энцефалита [22; и др.].

Таблица 1

## Паразитические гамазовые клещи мелких млекопитающих заказника «Унторский»

Прокормители	Осмотрено зверьков	Заражено зверьков	Виды клещей	Число, экз.	ИВ, %	ИО, экз.	ИЗ, экз.
Учеты методом ловчих канавок (заборчиков)							
<i>S. araneus</i>	383	4	<i>Hi. eusoricis</i>	5	1,04	0,01	1,25
		2	<i>E. stabularis</i>	2	0,52	0,005	1,00
		4	<i>Hg. ambulans</i>	4	1,04	0,01	1,00
		2	<i>Hg. nidi</i>	4	0,52	0,01	2,00
		3	<i>Hg. mandschuricus</i>	4	0,78	0,01	1,33
<i>S. caecutiens</i>	67	2	<i>Hg. mandschuricus</i>	2	2,99	0,03	1,00
		1	<i>E. stabularis</i>	1	1,49	0,01	1,00
<i>M. rutilus</i>	147	5	<i>E. stabularis</i>	5	3,40	0,03	1,00
		4	<i>Hg. mandschuricus</i>	5	2,72	0,03	1,25
		1	<i>Hg. ambulans</i>	1	0,68	0,007	1,00
		1	<i>Hg. nidi</i>	1	0,68	0,007	1,00
<i>A. oeconomus</i>	65	5	<i>L. algericus</i>	48	7,69	0,74	9,60
		4	<i>Hi. isabellinus</i>	11	6,15	0,17	2,75
		1	<i>E. stabularis</i>	1	1,54	0,02	1,00
		2	<i>Hg. mandschuricus</i>	8	3,08	0,12	4,00
		3	<i>L. muris</i>	4	4,62	0,06	1,33
		1	<i>Hg. ambulans</i>	1	1,54	0,02	1,00
Учеты методом ловушко-линий							
<i>S. araneus</i>	46	1	<i>Hi. eusoricis</i>	2	2,17	0,04	2,00
			–	–	–	–	
			–	–	–	–	
			–	–	–	–	
<i>S. caecutiens</i>	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–
<i>M. rutilus</i>	20	1	<i>E. stabularis</i>	1	5,00	0,05	1,00
		2	<i>Hg. mandschuricus</i>	2	10,00	0,10	1,00
		1	<i>Hi. eusoricis</i>	1	5,00	0,05	1,00
		1	<i>Hg. nidi</i>	3	5,00	0,15	3,00
<i>A. oeconomus</i>	20	15	<i>L. algericus</i>	142	75,00	7,10	9,47
		7	<i>Hi. isabellinus</i>	28	35,00	1,40	4,00
		2	<i>Hg. nidi</i>	3	10,00	0,15	1,50
		4	<i>Hg. mandschuricus</i>	12	20,00	0,60	3,00
	–	–	–	–	–	–	–
	–	–	–	–	–	–	–

Иксодовые клещи. В северной тайге Западной Сибири известно два вида иксодовых клещей – *I. persulcatus* и *I. apronophorus* [7; 14]. В заказнике «Унторский» эти два вида регистрировались на пяти фоновых видах мелких млекопитающих (табл. 2). Наиболее заклещевлены полевки экономка и красная. На них приходилось более 92% от суммарного обилия (личинки + нимфы) всех прокормителей клещей. Доминировал пастбищный клещ

*I. persulcatus* (80%) – основной хранитель и переносчик вируса клещевого энцефалита, клещевого боррелиоза в Западной Сибири, в том числе на территории Югры. Для него также установлена естественная зараженность возбудителем туляремии [13]. Возбудители клещевого энцефалита, клещевого боррелиоза, а также туляремии могут циркулировать в одной экосистеме [12]. По мнению Э.И. Коренберга [11] любое заболевание, возникшее в результате укуса *I. persulcatus* следует рассматривать как потенциальную микст-инфекцию. Доля гнездово-норового клеща *I. apronophorus* в четыре раза ниже. Он является специфическим паразитом водяной полевки и также принимает непосредственное участие в переносе туляремийного микроба от больных животных, при укусе заражает человека и здоровых животных. В целом необходимо отметить, что показатели обилия иксодовых клещей в северной тайге сравнительно невысокие. Клещи, как правило, встречаются в ограниченных наиболее теплообеспеченных местообитаниях.

Вши. На четырёх видах мелких млекопитающих территории заказника «Унторский» установлено паразитирование трёх видов вшей (табл. 3).

Таблица 2

**Иксодовые клещи мелких млекопитающих заказника «Унторский»**

Виды прокормителей	Осмотрено зверьков	Виды клещей	Личинки					Нимфы				
			Зверьков с клещами	Число, экз.	ИВ, %	ИО, экз.	ИЗ, экз.	Зверьков с клещами	Число, экз.	ИВ, %	ИО, экз.	ИЗ, экз.
Учеты методом ловчих канавок (заборчиков)												
<i>S. araneus</i>	383	<i>I. persulcatus</i>	5	9	1,31	0,02	1,80	5	9	1,31	0,02	1,80
		<i>I. apronophorus</i>	2	5	0,52	0,01	2,50	2	2	0,52	0,005	1,00
<i>S. caecutiens</i>	67	<i>I. persulcatus</i>	2	4	2,99	0,06	2,00	–	–	–	–	–
		<i>I. apronophorus</i>	1	2	1,49	0,03	2,00	1	1	1,49	0,01	1,00
<i>S. minutus</i>	117	<i>I. persulcatus</i>	1	1	0,85	0,009	1,00	–	–	–	–	–
		<i>I. apronophorus</i>	1	4	0,85	0,03	4,00	–	–	–	–	–
<i>M. rutilus</i>	147	<i>I. persulcatus</i>	4	9	2,72	0,06	2,25	11	43	7,48	0,29	3,91
		<i>I. apronophorus</i>	2	5	1,36	0,03	2,50	9	14	6,12	0,01	1,56
<i>A. oeconomus</i>	65	<i>I. persulcatus</i>	3	44	4,62	0,68	14,67	7	58	10,77	0,89	8,29
		<i>I. apronophorus</i>	2	2	3,08	0,03	1,00	4	23	6,15	0,35	5,75
Учеты методом ловушко-линий												
<i>S. araneus</i>	46	<i>I. apronophorus</i>	1	3	2,17	0,07	3,00	–	–	–	–	–
<i>S. minutus</i>	54	<i>I. persulcatus</i>	1	2	1,85	0,04	2,00	3	4	5,56	0,07	1,33
		<i>I. apronophorus</i>	1	2	1,85	0,04	2,00	5	5	9,26	0,09	1,00
<i>A. oeconomus</i>	20	<i>I. persulcatus</i>	1	4	5,00	0,20	4,00	3	5	15,00	0,25	1,67
		<i>I. apronophorus</i>	–	–	–	–	–	2	5	1,00	0,25	2,50

Таблица 3

## Вши мелких млекопитающих заказника «Унторский»

Прокормители	Учеты методом ловчих канавок (заборчиков)							Учеты методом ловушко-линий						
	Осмотрено зверьков	Заражено зверьков	Виды клещей	Число, экз.	ИВ, %	ИО, экз.	ИЗ, экз.	Осмотрено зверьков	Заражено зверьков	Виды клещей	Число, экз.	ИВ, %	ИО, экз.	ИЗ, экз.
<i>S. araneus</i>	383	1	<i>H. acanthopus</i>	2	0,26	0,005	2,00	46	–	–	–	–	–	–
		1	<i>H. edentula</i>	1	0,26	0,003	1,00		–	–	–	–	–	–
<i>S. daphaenodon</i>	12	1	<i>H. acanthopus</i>	1	0,26	0,003	1,00	–	–	–	–	–	–	–
<i>M. rutilus</i>	147	1	<i>P. hannswrangeli</i>	2	0,26	0,005	2,00	54	–	–	–	–	–	–
<i>A. oeconomus</i>	65	3	<i>H. acanthopus</i>	42	4,62	0,65	14,00	20	14	<i>H. acanthopus</i>	122	70,00	6,10	8,71
		1	<i>P. hannswrangeli</i>	2	1,54	0,03	2,00		1	<i>P. hannswrangeli</i>	1	5,00	0,05	1,00

Более всего вшей прокармливала на себе полевка-экономка – почти 98% от суммарного обилия всех зарегистрированных. Среди учтенных вшей доминировал широко распространенный вид – *H. acanthopus* (98,4%). Он также участвует в циркуляции возбудителя туляреминой инфекции [18].

Блохи. В обобщенной сводке в северной тайге Западной Сибири насчитывается 28 видов блох [21]. На территории заказника учтено 18 видов блох, которые паразитировали на 11 видах мелких млекопитающих (табл. 4). Фоновые виды мелких млекопитающих заказника «Унторский» (полевки красная и экономка, бурозубки обыкновенная, средняя и малая) прокармливали на себе от 6 до 17 видов блох. Наибольшие показатели суммарного обилия характерны для красной полевки, обыкновенной бурозубки и полевки-экономки (учёты методом ловчих канавок). Специфика учётов мелких млекопитающих разными методами сказалась на доминировании блох. Так, в учетах с помощью ловчих канавок (заборчиков) доминировали *C. birulai* (56,2%) и *St. uncinatus* (11,1). В качестве содоминантов отмечены *P. soricis* (8,8) и *H. talpae* (6,9). В учетах с помощью ловушко-линий больше отлавливалось грызунов, что не могло не отразиться на составе доминирующих блох: *St. uncinatus* (23,0%), *C. birulai* (18,4), *H. talpae* (14,9) и *M. rectangularis* (13,8), содоминанты – *A. penicilliger* (9,2) и *P. soricis* (6,9). Подавляющее большинство зарегистрированных блох отнесены к группе лесных. Среди редких видов отмечена *F. elata* более свойственная для юга Западно-Сибирской равнины. Блоха *A. rossica* в Западной Сибири впервые отмечена в столь высоких широтах. Ряд видов блох прокармливались на несвойственных видах мелких млекопитающих. Так, в наших учетах

не зарегистрированы азиатский бурундук и обыкновенная белка, однако их специфическая блоха *C. indages* единично отмечена на красной полевке, что косвенно позволяет судить о пребывании этих грызунов на территории заказника. На малой бурозубке и полевке-экономке зарегистрирована птичья блоха – *C. gallinae*. Блохи также могут вовлекаться в циркуляцию ряда природно-очаговых инфекций. В естественных условиях были выделены возбудители туляремии у *A. penicilliger*, *A. rossica*, *M. calcarifer*, возбудители клещевого энцефалита у *C. indages*, *C. gallinae*, *P. soricis*, *M. rectangulatus* и др. [23].

Таблица 4

**Блохи мелких млекопитающих заказника «Унторский»**

Прокормители	Учеты методом ловчих канавок (заборчиков)							Учеты методом ловушко-линий						
	Осмотрено зверьков	Заражено зверьков	Виды клещей	Число, экз.	ИВ, %	ИО, экз.	ИЗ, экз.	Осмотрено зверьков	Заражено зверьков	Виды клещей	Число, экз.	ИВ, %	ИО, экз.	ИЗ, экз.
<i>S. araneus</i>	383	111	<i>C. birulai</i>	334	28,98	0,87	3,01	46	6	<i>C. birulai</i>	13	13,04	0,28	2,17
		33	<i>P. soricis</i>	56	8,62	0,15	1,70		3	<i>P. soricis</i>	4	6,52	0,09	1,33
		11	<i>Ct. uncinatus</i>	11	2,87	0,03	1,00		1	<i>Ct. uncinatus</i>	1	2,17	0,02	1,00
		4	<i>H. talpae</i>	5	1,04	0,01	1,25		-	-	-	-	-	-
		3	<i>M. calcarifer</i>	3	0,78	0,008	1,00		-	-	-	-	-	-
		3	<i>M. rectangulatus</i>	4	0,78	0,01	1,33		-	-	-	-	-	-
		2	<i>A. penicilliger</i>	3	0,52	0,008	1,50		-	-	-	-	-	-
		2	<i>Rh. integella</i>	2	0,52	0,005	1,00		-	-	-	-	-	-
		1	<i>A. sibirica</i>	1	0,26	0,003	1,00		-	-	-	-	-	-
		1	<i>P. silvatica</i>	1	0,26	0,003	1,00		-	-	-	-	-	-
<i>S. minutus</i>	117	16	<i>C. birulai</i>	34	13,68	0,29	2,13	-	-	-	-	-	-	
		2	<i>P. soricis</i>	2	1,71	0,02	1,00	-	-	-	-	-	-	
		1	<i>H. talpae</i>	1	0,85	0,009	1,00	-	-	-	-	-	-	

		1	<i>M. rectangulatus</i>	1	0,85	0,00	0,00	1,00	-	-	-	-	-	-	
		1	<i>P. silvatica</i>	1	0,85	0,00	0,00	1,00	-	-	-	-	-	-	-
		1	<i>C. gallinae</i>	1	0,85	0,00	0,00	1,00	-	-	-	-	-	-	-
<i>S. caecutiens</i>	67	7	<i>C. birulai</i>	8	10,4	0,12	1,14	2	-	-	-	-	-	-	
		3	<i>H. talpae</i>	4	4,48	0,06	1,33	-	-	-	-	-	-	-	
		3	<i>P. silvatica</i>	4	4,48	0,06	1,33	-	-	-	-	-	-	-	
		3	<i>Ct. uncinatus</i>	3	4,48	0,04	1,00	-	-	-	-	-	-	-	
		2	<i>M. calcarifer</i>	2	2,99	0,03	1,00	-	-	-	-	-	-	-	
		2	<i>M. rectangulatus</i>	2	2,99	0,03	1,00	-	-	-	-	-	-	-	
		1	<i>A. penicilliger</i>	1	1,49	0,01	1,00	-	-	-	-	-	-	-	
		1	<i>Rh. integella</i>	1	1,49	0,01	1,00	-	-	-	-	-	-	-	
<i>S. daphaenodon</i>	12	4	<i>C. birulai</i>	12	33,3	1,00	3,00	-	-	-	-	-	-		
		1	<i>P. soricis</i>	2	8,33	0,17	2,00	-	-	-	-	-	-		
		1	<i>Ct. uncinatus</i>	1	8,33	0,08	1,00	-	-	-	-	-	-		
<i>S. isod</i>	-	-	-	-	-	-	1	1	<i>C. birulai</i>	1	100	1	1		
<i>S. betul</i>	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
<i>M. schis</i>	1	1	<i>A. penicilliger</i>	1	100	1,00	1,00	-	-	-	-	-			
<i>M. glar</i>	1	1	<i>M. calcarifer</i>	1	100	1,00	1,00	-	-	-	-	-			
<i>M. rutilus</i>	147	26	<i>Ct. uncinatus</i>	55	17,6	0,37	2,12	54	5	<i>Ct. uncinatus</i>	14	9,26	0,26	2,80	
		21	<i>H. talpae</i>	38	14,2	0,26	1,81		8	<i>H. talpae</i>	13	14,8	0,24	1,63	

<i>A. oeconomus</i>	65	8	<i>C. birulai</i>	10	12,3 1	0,15	1,25	1,89	1,56	1,86	20	1	<i>M. calcarifer</i>	1	5,00	0,05	1,00	1	3	<i>A. penicilliger</i>	7	5,56	0,13	2,33			
		9	<i>Ct. uncinatus</i>	14	13,8 5	0,22	1,56	1,89	1,56	1,86		3	<i>Ct. uncinatus</i>	4	15,0 0	0,20	1,33		4	<i>M. rectangulatus</i>	5	7,41	0,09	1,25			
		9	<i>M. calcarifer</i>	17	13,8 5	0,26	1,89	1,56	1,86	1		<i>A. penicilliger</i>	1	100	1,00	1,00	1		<i>M. calcarifer</i>	1	100	1,00	1,00	1,00			
		-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1	<i>H. talpae</i>	3	33,3 3	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00		1	<i>A. penicilliger</i>	1	100	1,00	1,00		1	<i>M. rectangulatus</i>	1	100	1,00	1,00	1,00	1,00	
		1	<i>Rh. integella</i>	1	0,68	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1	<i>Ct. uncinatus</i>	1	100	1,00	1,00		1	<i>M. rectangulatus</i>	1	100	1,00	1,00	1,00	1,00	
		1	<i>P. bidentata</i>	1	0,68	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1	<i>M. calcarifer</i>	1	100	1,00	1,00		1	<i>M. rectangulatus</i>	1	100	1,00	1,00	1,00	1,00	
		1	<i>F. elata</i>	1	0,68	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1	<i>M. calcarifer</i>	1	100	1,00	1,00		1	<i>M. rectangulatus</i>	1	100	1,00	1,00	1,00	1,00	
		1	<i>P. soricis</i>	2	33,3 3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1	<i>M. calcarifer</i>	1	100	1,00	1,00		1	<i>M. rectangulatus</i>	1	100	1,00	1,00	1,00	1,00	
		1	<i>A. rossica</i>	1	0,68	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00		1	<i>M. calcarifer</i>	1	100	1,00	1,00		1	<i>M. rectangulatus</i>	1	100	1,00	1,00	1,00	1,00	
		1	<i>C. ioffi</i>	2	0,68	0,01	2,00	2,00	2,00	2,00		1	<i>M. calcarifer</i>	1	100	1,00	1,00		1	<i>M. rectangulatus</i>	1	100	1,00	1,00	1,00	1,00	
		1	<i>A. sibirica</i>	6	2,72	0,04	1,50	1,50	1,50	1,50		1	<i>M. calcarifer</i>	1	100	1,00	1,00		1	<i>M. rectangulatus</i>	1	100	1,00	1,00	1,00	1,00	
		1	<i>C. dacenkoi</i>	4	2,72	0,03	1,00	1,00	1,00	1,00		1	<i>M. calcarifer</i>	1	100	1,00	1,00		1	<i>M. rectangulatus</i>	1	100	1,00	1,00	1,00	1,00	
2	<i>M. turbidus</i>	2	1,36	0,01	1,00	1,00	1,00	1,00	2	<i>P. sylvatica</i>	3	3,70	0,06	1,50	2	<i>C. birulai</i>	2	3,70	0,04	1,00	2	<i>P. soricis</i>	2	3,70	0,04	1,00	
2	<i>P. soricis</i>	2	1,36	0,01	1,00	1,00	1,00	1,00	2	<i>M. calcarifer</i>	2	4,08	0,05	1,33	2	<i>C. birulai</i>	2	3,70	0,04	1,00	2	<i>P. soricis</i>	2	3,70	0,04	1,00	
2	<i>M. calcarifer</i>	8	4,08	0,05	1,33	1,33	1,33	1,33	2	<i>M. turbidus</i>	2	1,36	0,01	1,00	2	<i>C. birulai</i>	2	3,70	0,04	1,00	2	<i>P. soricis</i>	2	3,70	0,04	1,00	
4	<i>A. sibirica</i>	6	2,72	0,04	1,50	1,50	1,50	1,50	4	<i>M. calcarifer</i>	4	10,2 0	0,16	1,60	4	<i>C. birulai</i>	4	10,2 0	0,16	1,60	4	<i>P. soricis</i>	4	10,2 0	0,16	1,60	
4	<i>C. dacenkoi</i>	4	2,72	0,03	1,00	1,00	1,00	1,00	4	<i>M. calcarifer</i>	4	10,2 0	0,16	1,60	4	<i>C. birulai</i>	4	10,2 0	0,16	1,60	4	<i>P. soricis</i>	4	10,2 0	0,16	1,60	
6	<i>M. calcarifer</i>	8	4,08	0,05	1,33	1,33	1,33	1,33	6	<i>M. calcarifer</i>	6	10,2 0	0,16	1,60	6	<i>C. birulai</i>	6	10,2 0	0,16	1,60	6	<i>P. soricis</i>	6	10,2 0	0,16	1,60	
14	<i>C. birulai</i>	26	9,52	0,18	1,86	1,86	1,86	1,86	14	<i>M. calcarifer</i>	14	12,3 1	0,15	1,25	14	<i>C. birulai</i>	14	12,3 1	0,15	1,25	14	<i>P. soricis</i>	14	12,3 1	0,15	1,25	
16	<i>P. sylvatica</i>	20	10,8 8	0,14	1,25	1,25	1,25	1,25	16	<i>M. calcarifer</i>	16	12,3 1	0,15	1,25	16	<i>C. birulai</i>	16	12,3 1	0,15	1,25	16	<i>P. soricis</i>	16	12,3 1	0,15	1,25	

		4	<i>M. rectangulatus</i>	6	6,15	0,09	1,50		1	<i>A. sibirica</i>	1	5,00	0,05	1,00
		2	<i>P. soricis</i>	4	3,08	0,06	2,00		1	<i>C. gallinae</i>	1	5,00	0,05	1,00
		2	<i>H. talpae</i>	2	3,08	0,03	1,00		-	-	-	-	-	-
		1	<i>M. turbidus</i>	1	1,54	0,02	1,00		-	-	-	-	-	-
		1	<i>A. penicilliger</i>	1	1,54	0,02	1,00		-	-	-	-	-	-
		2	<i>P. silvatica</i>	2	3,08	0,03	1,00		-	-	-	-	-	-
		1	<i>C. gallinae</i>	1	1,54	0,02	1,00		-	-	-	-	-	-
<i>M. minutus</i>	19	5	<i>C. birulai</i>	10	26,3 2	0,53	2,00	-	-	-	-	-	-	-
		1	<i>M. turbidus</i>	1	5,26	0,05	1,00	-	-	-	-	-	-	
		1	<i>Ct. uncinatus</i>	2	10,5 3	0,11	2,00	-	-	-	-	-	-	
		1	<i>P. soricis</i>	1	5,26	0,05	1,00	-	-	-	-	-	-	

**Заключение.** На мелких млекопитающих заказника «Унторский» установлено паразитирование 31 вида членистоногих четырёх групп – гамазовые и иксодовые клещи, вши и блохи. Для каждой из групп эктопаразитов приведены виды, играющие наибольшую роль в циркуляции возбудителей болезней. Сохранение природных очагов инфекций на территории заказника определяют численно преобладающие прокормители (полевки красная и экономка, бурозубки обыкновенная, малая и средняя). Несомненно, что в результате последующих исследований эктопаразитов млекопитающих заказника на их зараженность патогенами количество видов паразитических членистоногих увеличится. Об этом не следует забывать при изучении эпизоотий различных млекопитающих заказника. Речь идёт о таких животных как лось, бурый медведь, обыкновенная лисица, соболь, ондатра, заяц беляк и другие. При преднамеренном или случайном контакте сотрудников и других посетителей заказника возможны отмеченные заболевания (клещевой энцефалит, клещевой боррелиоз, туляремия). Кроме трансмиссивного механизма заражения человека, заражение возможно и другими путями. В частности, при снятии шкурок ондатр, зайцев (они относятся к высокочувствительным и высоковосприимчивым к туляремии), а также при умывании или купании в зараженных открытых водных источниках.

## Литература

1. Балашов Ю.С. Паразито-хозяйные отношения членистоногих с наземными позвоночными. Л.: Наука, 1982. 320 с.
2. Беклемишев В.Н. Термины и понятия, необходимые при количественном изучении популяций эктопаразитов и нидиколов // Зоологический журнал. 1961. Т. 40, № 2. С. 149-158.
3. Благовещенский Д.И. Отряд Anoplura (Siphunculata) – Вши // Определитель насекомых Европейской части СССР. М.-Л.: Наука, 1964. Т. 1. С. 324-334.
4. Брегетова Н.Г. Гамазовые клещи (Gamasoidea). Краткий определитель. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1956. 247 с.
5. Ващенко В.С. Блохи (Siphonaptera) – переносчики возбудителей болезней человека и животных. Л.: Наука, 1988. 163 с.
6. Давыдова М.С., Никольский В.В. Гамазовые клещи Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 124 с.
7. Ельшин С.В. Зонально-ландшафтные особенности населения мелких млекопитающих и их эктопаразитов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук, Новосибирск, 1983. 22 с.
8. Иголкин Н.И. Комплекс эктопаразитов мелких млекопитающих юго-восточной части Западной Сибири. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1978. 240 с.
9. Иголкин Н.И., Пашкевич В.Ю. Паразитические членистоногие ондатры из Средней Оби // Проблемы экологии. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1967. Т. 1. С. 126-132.
10. Иофф И.Г., Скалон О.И. Определитель блох Восточной Сибири, Дальнего Востока и прилегающих районов. М.: Медгиз, 1954. 275 с.
11. Коренберг Э.И. Инфекции, передающиеся иксодовыми клещами в лесной зоне, и стратегия их профилактики: изменение приоритетов // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2013. № 5. С. 7-17.
12. Коренберг Э.И., Пчелкина А.А., Солошенко И.З., Дунаева Т.Н. Изучение благородных оленей (*Cervus elaphus*) в сопряженных очагах клещевого энцефалита, риккетсиозов, лептоспирозов и туляремии // Зоологический журнал. 1975. Т. 54, Вып. 7. С. 1057-1065.
13. Кормилицына М.И., Коренберг Э.И., Михайлова Т.В., Ковалевский Ю.В. Транквилевский Д.В. Возможное участие таёжного клеща *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 в циркуляции возбудителя туляремии в природных очагах лесного типа // Паразитология. 2019. Т. 53, № 3. С. 209-219. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0031184719030037>
14. Малюшина Е.П. О северной границе распространения иксодес персультатус в Тюменской области // Материалы итоговой научной конференции по природноочаговым болезням. Тюмень, 1963. С. 54-55.
15. Павлинов И.Я., Крусков С.В., Варшавский А.А., Борисенко А.В. Наземные звери: справочник-определитель. М.: Изд-во КМК, 2002. 298 с.

16. Попов В.В., Зуевский А.П. Материалы к зоолого-паразитологической характеристике Тюменской области // Земля Тюменская. Тюмень: ТОКМ, 1965. Вып. 4. С. 102-112.
17. Попов В.М. Иксодовые клещи Западной Сибири. Томск Изд-во Томского ун-та, 1962. 259 с.
18. Соснина У.Ф., Тихвинская М.В. Заражённость вшами водяной полевки в Волжско-Камском крае // Паразитология. 1969. Т. 3, Вып. 4. С. 292-300.
19. Стариков В.П., Вартапетов Л.Г. Географо-экологический анализ мелких млекопитающих северной тайги Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2021. Т. 28, № 1. С. 61-74. <https://doi.org/10.15372/SEJ20210106>
20. Стариков В.П., Вершинин Е.А. Паразитические членистоногие обыкновенной слепушонки *Ellobius talpinus* Pallas, 1770 Южного Зауралья (Курганская область) // Паразитология. 2020. Т. 54, № 2. С. 152-162. <https://doi.org/10.31857/S1234567806020078>
21. Стариков В.П., Егоров С.В., Вершинин Е.А., Берников К.А. Блохи (Siphonaptera) мелких млекопитающих северной тайги Западной Сибири // Российский паразитологический журнал. 2023. Т. 17, № 3. С. 319-330. <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2023-17-3319-330>
22. Тагильцев А.А., Тарасевич Л.Н. Членистоногие убежищного комплекса в природных очагах арбовирусных инфекций. Новосибирск: Наука, 1982. 232 с.
23. Тарасевич Л.Н., Тагильцев А.А., Мальков Г.Б. Материалы вирусологического исследования иксодовых клещей и блох на юге Омской области // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 1969. Т. 38, № 6. С. 705-707.
24. Филиппова Н.А. Иксодовые клещи подсем. Ixodinae // Фауна СССР. Паукообразные. Л.: Наука, 1977. Т. IV. Вып. 4. 396 с.

### References

1. Balashov, Yu.S. (1982). *Parazito-hozyainnye otnosheniya chlenistonogih s nazemnymi pozvonochnymi*. Leningrad: Nauka. (in Russ.).
2. Beklemishev, V.N. (1961). Terminy i ponyatiya neobhodimye pri kolichestvennom izuchenii populyaczij ektoparazitov i nidikolov. *Zoologicheskij zhurnal*, 40(2), 149-158. (in Russ.).
3. Blagoveshchenskij, D.I. Otryad Anoplura (Siphunculata) – Vshi. *Opredelitel' nasekomyh Evropejskoj chasti SSSR*. M.-L.: Nauka, 1964. 1, 324-334. (in Russ.).
4. Bregetova, N.G. (1956). *Gamazovye kleshchi (Gamasoidea)*. Kratkij opredelitel'. M.-L.: Izdatel'stvo AN SSSR. (in Russ.).
5. Vashhenok, V.S. (1988). *Blohi (Siphonaptera) – perenoschiki vozbuditelej boleznej cheloveka i zhivotnyh*. Leningrad: Nauka. (in Russ.).
6. Davydova, M.S., & Nikolskij, V.V. (1986). *Gamazovye kleshhi Zapadnoj Sibiri*. Novosibirsk: Nauka. (in Russ.).

7. Elshin, S.V. (1983). *Zonalno-landshaftnye osobennosti naseleniya melkih mlekopitayushhih i ih ektoparazitov*: Avtoref. dis ... kand. biol. nauk, Novosibirsk. 22 s. (in Russ.).
8. Igolkin, N.I. (1978). *Kompleks ektoparazitov melkih mlekopitayushhih yugo-vostochnoj chasti Zapadnoj Sibiri*. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo universiteta. (in Russ.).
9. Igolkin, N.I., & Pashkevich, V.Yu. (1967). Paraziticheskie chlenistonogie ondatry iz Srednej Obi. In *Problemy ekologii*. (Vol. 1. pp.126-132). Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo universiteta. (in Russ.).
10. Ioff, I.G., & Skalon, O.I. (1954). *Opredelitel' bloh Vostochnoj Sibiri, Dal'nego Vostoka i prilegayushchih rajonov*. M.: Medgiz. (in Russ.).
11. Korenberg, E.I. (2013). Infekczii, predayushhiesya iksodovymi kleshhami v lesnoj zone, i strategiya ih profilaktiki: izmenenie prioritetov. *Epidemiologiya i vakcinoprofilaktika*, 5, 7-17. (in Russ.).
12. Korenberg, E.I., Pchelkina, A.A., Soloshenko, I.Z., & Dunaeva, T.N. (1975). Izuchenie blagorodnyh olenej (*Cervus elaphus*) v sopryazhennyh ochagah kleshhevogo enczefalita, rikketsiozov, leptospirozov i tulyaremii. *Zoologicheskij zhurnal*, 54(7), 1057-1065. (in Russ.).
13. Kormiliczyna, M.I., Korenberg, E.I., Mihajlova, T.V., Kovalevskij, Yu.V., & Trankvilevskij, D.V. (2019). Vozmozhnoe uchastie tayozhnogo kleshha *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 v czirkulyaczii vozбудitelya tulyaremii v prirodnyh ochagah lesnogo tipa. *Parazitologiya*, 53(3), 209-219. (in Russ.). <https://doi.org/10.1134/SOO31184719030037>
14. Malyushina, E.P. (1963). O severnoj granicze rasprostraneniya iksodes persulkatus v Tyumenskoj oblasti. In *Materialy itogovoj nauchnoj konferenczii po prirodnoochagovym boleznyam* (pp. 54-55). Tyumen. (in Russ.).
15. Pavlinov, I.Ya., Kruskop, S.V., Varshavskij, A.A., & Borisenko, A.V. (2002). *Nazemnye zveri: spravochnik-opreделitel'*. M.: Izdatel'stvo KMK. (in Russ.).
16. Popov, V.V., & Zuevskij, A.P. (1965). Materialy k zoologo-parazitologicheskoy karakteristike Tyumenskoj oblasti. In *Zemlya Tyumenskaya* (Iss. 4, pp. 102-112). Tyumen: TOKM. (in Russ.).
17. Popov, V.M. (1962). *Iksodovye kleshhi Zapadnoj Sibiri*. Tomsk: Izdatelstvo Tomskogo universiteta. (in Russ.).
18. Sosnina, U.F., & Tihvinskaya, M.V. (1969). Zarazhyonnost vshami vodyanoj polevki v Volzhsko-Kamskom krae. *Parazitologiy*, 3(4), 292-300. (in Russ.).
19. Starikov, V.P., & Vartapetov, L.G. (2021). Geografo-ekologicheskij analiz melkih mlekopitayushhih severnoj tajgi Zapadnoj Sibiri. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 28(1), 61-74. <https://doi.org/10.15372/SEJ20210106> (in Russ.).
20. Starikov, V.P., & Verшинin, E.A. (2020). Paraziticheskie chlenistonogie obyknovennoj slepushonki *Ellobius talpinus* Pallas, 1770 Yuzhnogo Zauralya (Kurganskaya oblast). *Parazitologiya*, 54(2), 152-162. <https://doi.org/10.31857/S1234567806020078> (in Russ.).
21. Starikov, V.P., Egorov, S.V., Verшинin, E.A., & Bernikov, K.A. (2023). Blohi (Siphonaptera) melkih mlekopitayushhih severnoj tajgi Zapadnoj Sibiri. *Rossiiskij*

*parazitologicheskij zhurnal*, 17(3), 319-330. (in Russ.). <https://doi.org/10.31016/1998-8435-2023-17-3319-330>

22. Tagilczev, A.A., & Tarasevich, L.N. (1982). *Chlenistonogie ubezishhnogo kompleksa v prirodnyh ochagah arbovirusnyh infekcij*. Novosibirsk: Nauka. (in Russ.).

23. Tarasevich, L.N., Tagilczev, A.A., & Malkov, G.B. (1969). Materialy virusologicheskogo issledovaniya iksodovyh kleshhej i bloh na yuge Omskoj oblasti. *Mediczijskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni*, 38(6), 705-707. (in Russ.).

24. Filippova, N.A. (1977). *Iksodovye kleshchi podsem. Ixodinae*. Fauna SSSR. Paukoobraznye. L.: Nauka. IV(4). (in Russ.).

дата поступления: 01.04.2026

дата принятия: 03.06.2026

© Стариков В.П., Майорова А.Д., Вершинин Е.А., Берников К.А., Егоров С.В., Наконечный Н.В., Сарапульцева Е.С., Федоряева В.Н., 2026

Кокарев И.А., Ларионов М.В.

## БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БАБЕЗИОЗОВ И БОРЬБА С НИМИ

I.A. Kokarev, M.V. Larionov

### BIOECOLOGICAL ASPECTS OF BABESIOSIS AND ITS CONTROL

**Аннотация.** Бабезиозы являются природно-очаговыми инфекционным заболеваниями животных и человека, вызываемые простейшими из рода *Babesia*. Основной путь заражения: через укусы клещей, что приводит к развитию множества симптомов. Среди них можно выделить лихорадку, диарею, апатию, слабость, мышечные боли, бледность слизистых оболочек и почечную недостаточность. Эти проявления указывают на начало патологического процесса, который поражает эритроциты. При тяжелом течении бабезиоз может осложниться диссеминированным внутрисосудистым свертыванием крови, кровотечениями, нарушением работы почек с развитием почечной недостаточности, отеком легких, разрывом селезенки и анемией. В связи с этим борьба с данным заболеванием требует комплексного подхода в избавлении и реабилитации. Для терапии заболевания ветеринарные специалисты применяют противопаразитарные препараты группы имидазолинов (например, Фортикарб) и противопротозойные средства (такие как Неозидин М). Неозидин М воздействует на паразитов *Babesia* путем ингибирования аэробного гликолиза и синтеза ДНК, разрушая их цитоскелет. Это происходит за счет подавления активности ферментов ЦОГ-1 и ЦОГ-2, что нарушает превращение арахидоновой кислоты. Кроме того, препарат обладает жаропонижающим, обезболивающим и противовоспалительным эффектами. Фортикарб действует иначе: он блокирует поступление инозитола в эритроциты - вещества, необходимого для жизнедеятельности паразитов. Это приводит к гибели бабезий и нарушению их способности синтезировать полиамины. Помимо указанных препаратов, для успешного лечения заболеваний, вызванных паразитарными микроорганизмами, применяются иммуномодуляторы. Одним из таких препаратов является Гамавит. Это комплекс биологически активных компонентов, которые способствуют оптимизации обменных процессов в организме, включая белковый, витаминный и минеральный обмен. Он помогает восстановить нормальный состав крови и усиливает

**Abstract.** Babesiosis is the natural focal infectious disease of animals and humans caused by protozoa of the genus *Babesia*. The main route of infection is through tick bites, which leads to the development of many symptoms. These include fever, diarrhea, apathy, weakness, muscle aches, pallor of mucous membranes and renal failure. These manifestations indicate the onset of a pathological process that affects red blood cells. With a severe course, babesiosis can be complicated by disseminated intravascular coagulation, bleeding, renal dysfunction with the development of renal failure, pulmonary edema, rupture of the spleen and anemia. In this regard, the fight against this disease requires a comprehensive approach to treatment and rehabilitation. For therapy of the disease, veterinary specialists use antiparasitic drugs of imidazoline group (such as the Forticarb) and antiprotozoal agents (such as the Neosidine M). The Neosidine M affects of the *Babesia* parasites by inhibiting aerobic glycolysis and the DNA synthesis by destroying their cytoskeleton. This occurs by inhibiting the activity of the COX-1 and COX-2 enzymes, which disrupts the conversion of arachidonic acid. In addition, the drug has antipyretic, analgesic and anti-inflammatory effects. The Forticarb acts differently: it blocks the entry of inositol into erythrocytes – the substance necessary for the vital activity of parasites. This leads to the death of babesia and disruption of their ability to synthesize polyamines. In addition to the above drugs, immunomodulators are used for the successful treatment of diseases caused by parasitic microorganisms. One such drug is the Gamavit, which is the combination of biologically active components that help optimize metabolic processes in the body, including protein, vitamin and mineral metabolism. It helps restore normal blood composition and enhances the bactericidal properties of serum. These properties provide

бактерицидные свойства сыворотки. Эти свойства обеспечивают иммуномодулирующий эффект и общее укрепление организма. Содержание работы и применяемые подходы направлены на обеспечение гигиенической и экологической безопасности, как по отношению к домашним млекопитающим, так и к другим живым объектам окружающей среды.

**Ключевые слова:** физиологические параметры, животные, babesiosis, Фортикарб, Гамавит, Неозидин М, эозинофилы, нейтрофилы, анемия, гигиеническое и экологическое значение.

**Сведения об авторах:** *Кокарев Илья Андреевич*, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия, [moll\\_sin@mail.ru](mailto:moll_sin@mail.ru); *Ларионов Максим Викторович*, ORCID: 0000-0003-0834-2462, д-р биол. наук, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Россия, [m.larionow2014@yandex.ru](mailto:m.larionow2014@yandex.ru)

immunomodulatory effects and overall strengthening of the body. The content of the work and the approaches applied are aimed at ensuring hygienic and environmental safety, both in relation to domestic mammals and to other living objects of the environment.

**Keywords:** physiological parameters, animals, babesiosis, Forticarb, Gamavit, Neosidin M, eosinophils, neutrophils, anemia, hygienic and ecological significance.

**About the authors:** *Ilya A. Kokarev*, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH University), Moscow, Russia, [moll\\_sin@mail.ru](mailto:moll_sin@mail.ru); *Maksim V. Larionov*, ORCID: 0000-0003-0834-2462, Doctor of Biological Sciences, Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH University), Moscow, Russia, [m.larionow2014@yandex.ru](mailto:m.larionow2014@yandex.ru).

---

Кокарев И.А., Ларионов М.В. Биоэкологические аспекты babesiosis и борьба с ними // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 31-39. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/03>

Kokarev, I.A., & Larionov, M.V. (2026). Bioecological Aspects of Babesiosis and its Control. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 31-39. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/03>

---

## Введение

Бабезиозы, относящиеся к группе протозоозов, широко распространены в разных регионах и при различных климатических условиях, предусматривающих жизнедеятельность и размножение клещей. Эти паукообразные являются переносчиками простейших вида *Babesia* [15], возбудителей babesiosis. Из-за этого возбудители имеют возможность распространяться на значительные расстояния и поражать диких, домашних и сельскохозяйственных животных, а также людей [1; 3; 6; 9; 13-20]. Неактивное проявление этих заболеваний также заключается в симптомах, которые часто не удается распознать вовремя. В результате патогенез стремительно развивается и переходит в тяжелую фазу, которая сопровождается анемией, полиорганной недостаточностью и высокой летальностью [3; 17]. Исходя из вышеописанного, лечение babesiosis должно быть незамедлительным и достаточно эффективным для предотвращения наступления тяжелой формы данного заболевания [16]. С этой целью в рассматриваемых в данной обзорной статье работах применялись такие препараты, как Гамавит, Фортикарб и Неозидин М. Фортикарб представляет собой препарат, оказывающий антипротозойное действие благодаря блокированию поступления инозитола в эритроциты, что лишает паразитов необходимого для их жизнедеятельности вещества и приводит к их гибели. Дополнительно он нарушает процессы синтеза и использования полиаминов у бабезий [6]. В свою очередь, Неозидин М действует путем подавления аэробного гликолиза и биосинтеза дезоксирибонуклеиновой кислоты у представителей кровяных паразитов. Это в

итоге разрушает их клеточную структуру и вызывает гибель [3; 6]. Данные препараты используются в качестве основных компонентов терапии бабезиозов, однако в связи с потребностью наиболее стремительного начала противопротозойной терапии используются также иммуномодуляторы, способные укрепить иммунитет и усилить реакцию организма в ответ на патогенез. Одним из таких препаратов является Гамавит [13; 14], который стимулирует естественную резистентность, повышает бактерицидную активность сыворотки крови, устойчивость животных к стрессу и чрезмерным нагрузкам.

**Цель работы:** проанализировать исследовательские статьи и имеющиеся в них данные о динамических изменениях физиологических показателей собак при применении рассматриваемых в ходе лечения бабезиозов;

Требовалось выявить разницу терапевтических эффектов представленных лекарственных препаратов; описать преобразования физиологических маркеров. Также необходимо было оценить некоторые особенности и абсолютную продуктивность Гамавита, Фортикарба и Неозидина М при лечении бабезиоза у животных [6; 14], т. е. которые являются модельными в оценке соответствующих эколого-физиологических показателей.

**Материалы, методы.** Выполнен подбор, анализ и обобщение содержания статей, посвященных исследованию динамических изменений эозинофилов, базофилов, общих лейкоцитов, а также иных параметров крови испытуемых собак при введении в их организмы Гамавита, Фортикарба и Неозидина М [1; 11; 20]. Оценка значений эколого-физиологических маркеров проводилась с использованием общепринятых методов и приемов. При подготовке и написании данной работы использованы доступные источники открытой информации [1-20].

**Результаты, их обсуждение.** По результатам проводимых исследований в анализируемых в данной обзорной статье научных работах параметры эритроцитов, гемоглобина и гематокрита у собак группы Фортикарб и у животных группы Неозидин М увеличились на 32,43%, 38,48%, 24%, 21,05%, 19,66%, 16,15% соответственно. При этом, показатели базофилов, сегментоядерных нейтрофилов и лейкоцитов увеличились на 42,86%, 22,42%, 20,18%, 61,54%, 8,70%, 118,60%, соответственно. Вышеописанные изменения параметров крови и ее клеток свидетельствуют о более высокой терапевтической эффективности Фортикарба в сравнении с Неозидином М благодаря противоанемической и противопаразитарной активностям [1; 19]. Иные маркеры проводимых исследований в обеих группах изменялись со схожей друг для друга динамикой. В свою очередь, применение Гамавита привело к увеличению эритроцитов, гемоглобина и гематокрита у собак на 75%, 74,61%, 61,45% соответственно, а также повышению значений сегментоядерных нейтрофилов на 62,12% и снижению показателей базофилов и лимфоцитов на 100% и 32,4%, что указывает на крайне высокую эффективность противоанемической активности Гамавита в совокупности с высокой эффективностью способности данного иммуномодулятора усиливать

противопаразитарный ответ иммунной системы организма животных [14]. Сравнительный анализ исследуемых физиологических показателей демонстрирует высокую абсолютную и относительную терапевтическую эффективность средства Фортикарб [3; 6]. Также выявлена значительная эффективность иммуномодулятора Гамавита в качестве дополнительного элемента терапии бабезиоза для лечения анемии и усиления противопаразитарного ответа иммунной системы организма млекопитающих [6; 14].

Результаты свидетельствуют о возможности эффективной борьбы с возбудителями рассматриваемого заболевания из рода *Babesia*, а также об имеющемся инструменте управления иммунной и другими функциональными системами животных. Биологические маркеры у животных свидетельствуют о росте благоприятных проявлений при использовании указанных препаратов. Борьба с возбудителями бабезиоза имеет гигиеническое и экологическое значение [9]. Гигиеническое значение заключается в защите домашних, экспозиционных и сельскохозяйственных животных от данного заболевания. Экологическое значение определяется сокращением опасности распространения данного природно-очагового инфекционного заболевания. Кроме того, целесообразны: организация мониторинга за клещами и комплексный медико-экологический мониторинг за мелкими грызунами, дикими животными, домашними животными и, особенно, за крупным рогатым скотом, лошадьми и другими продуктивными животными [2; 15].

Существенный медико-экологический риск бабезиозы представляют для людей [4; 8; 15] с ослабленным иммунитетом и при ряде других дисфункций организма. Трансмиссивный характер распространения возбудителей бабезиозов определяет фактор их сезонной опасности, преимущественно в периоды массовой активности иксодовых клещей. Необходимо обеспечить мониторинг непосредственно за представителями *Babesia* и организовывать меры борьбы с ними в соответствующих районах с высокой вероятностью бабезиозов. Для населенных мест, сельскохозяйственных и лесохозяйственных территорий, питомников животных и ООПТ такие действия могут иметь определенную значимость в числе первоочередных профилактических, санитарно-гигиенических и эколого-охранных мер.

Полезным также представляется организация биогеографических и экологических исследований, как непосредственных переносчиков бабезиозов [5; 7; 10; 15], так и системное изучение биологических, экологических и медико-географических проявлений особенностей самих возбудителей [2; 5; 10-12; 15; 19; 20], с учетом их видоспецифичности и трансформации средовых факторов. В том числе актуальны более детальное рассмотрение вопросов об их распространении, видовом разнообразии, популяционных характеристиках и динамике биоценологических отношений, о специфике жизнедеятельности и течении паразитических процессов при действии искусственных препаратов, а также поиск наиболее эффективных искусственных и природных средств лимитирования распространения представителей *Babesia* в окружающей среде. Применительно к возбудителям бабезиозов необходимы детальные исследования и

современные сведения о видоспецифичности и географическом разнообразии в проявлении особенностей их биологии и экологии, включительно об экологической толерантности таких протистов к лимитирующим природным и искусственным (включая к фармакопрепаратам) факторам. Это важно для надежности экспертных санитарно-эпидемиологических, ветеринарно-санитарных и медико-экологических оценок, картирования и прогнозирования риска и районов распространения соответствующих трансмиссивных болезней животных и людей, вызываемыми бабезиями. Необходимы сведения о наборе и специфике биоценологических связей бабезий в разных географических регионах с соответствующими эколого-эпидемическими, ландшафтно-климатическими и медико-социальными условиями. Большое значение необходимо придавать изучению биологии, экологии и биогеографии животных-хозяев, организации должного эпизоотического и ветеринарного контроля, а также комплексного биологического мониторинга. Безусловно, целесообразно продолжить взаимосвязанный комплекс физиологических, фармакологических, ветеринарных и медико-экологических исследований по данному научно-практическому направлению.

Отдельный пласт работ заключается в организации планомерной просветительской работы по вопросам биологии и жизнедеятельности, как непосредственно возбудителей бабезиозов, так и их переносчиков. Такая необходимость обусловлена заразностью и сезонностью бабезиозов (и других природно-очаговых инфекций), что представляет реальный риск для животных разных хозяйственных групп, а также для диких животных и людей с ослабленной иммунной системой.

### **Выводы**

Необходимо более тщательно относиться к опасностям поражения животных болезнетворными простейшими. В том числе это касается заболеваний бабезиозами собак, других домашних животных, а также диких и сельскохозяйственных животных [2; 7; 10; 13; 15; 16].

Применение Фортикарба в качестве основного компонента лечения бабезиоза привело к наибольшим положительным изменениям физиологических показателей, снижению анемической и противопаразитарной активностей простейших *Babesia* в сравнении с динамическими преобразованиями аналогичных параметров у группы животных, в терапию которых входил Неозидин М, что свидетельствует о более значительной абсолютной и относительной терапевтической эффективности Фортикарба [6].

Вместе с тем, добавление в комплекс лекарственных препаратов иммуномодулятора Гамавита в значительной степени снижает анемические проявления бабезиоза и усиливает противопаразитарную функцию иммунной системы у животных [13; 14].

По результатам выполненного анализа выявлена высокая абсолютная и относительная пригодность использования Фортикарба в качестве основного компонента лечения бабезиоза, беря во внимание высокую противоанемическую и противопаразитарную

активности данного лекарственного средства. При этом, добавление лекарственного препарата Гамавита в качестве дополнительного компонента и иммуномодулятора позволяет в высокой степени снизить анемические проявления патогенеза и усилить противопротозойную функцию иммунитета собак. Снижается риск развития тяжелых стадий данного заболевания, и предоставляются возможности для корректировки хода лечения.

Необходимо проведение масштабного мониторинга клещей и млекопитающих разных групп, которые могут быть в контакте с этими паукообразными. При необходимости требуются меры борьбы с самими клещами, а также далее непосредственно – с возбудителями бабезиозов, в том числе с использованием действенных препаратов. Полезен медико-экологический мониторинг за млекопитающими разных групп, и, прежде всего, за домашними и сельскохозяйственными животными. Исследования по обширному кругу вопросов по рассмотренной тематике, имеющей в целом эколого-гигиеническое содержание, необходимо продолжить и расширить. Доступные данные, статистические выкладки и картограммы о распространении бабезиозов об этом свидетельствуют.

Поэтому биоэкологический профиль исследований бабезий и их паразитических воздействий на животных и человека сохранит свою актуальность, теоретическую и прикладную значимость, как в рамках непосредственно научных медицинских и медико-географических, ветеринарных и фармакологических изысканий, так и в обширных и интегрированных направлениях географии распространения, в экологии межпопуляционных и межвидовых связей, а также непосредственно – в рамках биологии патологических процессов и всевозможных последствий. Большое значение заключается в необходимости системности научных исследований по рассматриваемой тематике и в повышении точности эколого-эпидемиологических оценок и прогнозов развития / распространения соответствующих природно-очаговых ситуаций.

### Литература

1. Абарыкова О.Л., Кичеева Т.Г. Изменения гематологических показателей у собак при бабезиозе // Аграр. вест. Верхневолжья. 2021. № 4. С. 17-19.
2. Анкудинова Е.С. Диагностика бабезиоза у бездомных собак на юго-востоке Западной Сибири // Вест. молодеж. науки Алтайского ГАУ. 2021. № 1. С. 248-250.
3. Бакриева Р.М., Абдулмагомедов С.Ш. Испытания эффективности препаратов при лечении смешанных пироплазмидозов // Прикаспий. вест. ветер. 2024. № 1. С. 16-20.
4. Баракина Е.В., Тимченко В.Н., Чернова Т.М. Бабезиоз у человека // Дет. инф. 2023. №1. С. 56-61.
5. Василевич Ф.И., Никанорова А.М. Фауно-экологические особенности паразитирования иксодовых клещей Центральной части Восточно-Европейской равнины // Рос. паразитол. журн. 2020. № 3. С. 11-17.

6. Гизатуллина Ф.Г., Кузнецов А.И., Дерхо М.А. Оценка эффективности препаратов Фортикарб и Неозидин м при лечении бабезиоза у собак // Аграр. вест. Верхневолжья. 2024. № 4. С. 27-33.
7. Егоров Д.С., Крючкова Е.Н., Исаев В.А., Егоров С.В. Фауна и экология мелких млекопитающих – прокормителей иксодовых клещей в природных очагах бабезиозов в Ивановской области // Теор. и пр. борьбы с паразит. болез. 2014. С. 90-91.
8. Зеля О.П., Кукина И.В. Бабезиоз человека // Мед. вест. Сев. Кавказа. 2020. № 3. С. 449-455.
9. Казанина М.А. Терапевтический эффект препаратов при лечении ротавирусной инфекции телят // Гиг. и технол. аспекты повыш. продукт. Витебск, 2022. С. 34-36.
10. Ковалевский А.В., Лучникова Е.М., Вдовина Е.Д. Функционирование природного очага бабезиоза собак в Кузнецко-Салаирской горной области (Кемеровская область, Россия) // Паразитол. 2022. № 6. С. 477-494.
11. Кошляк В.В., Тамбиева Ю.Г., Кривко А.С., Веревкин Г.Д. Изменения морфологических и биохимических показателей крови собак при бабезиозе // Вестник ДонГАУ. 2022. № 1. С. 6-11.
12. Нижельская Е.И., Гаркушин Е.В. Лечение собак при бабезиозе: динамика клинических и гематологических показателей // Технол. пищ. и перераб. пром. АПК. 2024. №2. С. 170-175.
13. Персаева Н.С., Кцоева И.И. Сравнительная эффективность применения иммуномодуляторов «Азоксивет» и «Гамавит» при лечении неспецифической бронхопневмонии телят // Актуал. вопр. соверш. технол. произв. и перераб. продукц. сел. хоз. 2024. С. 637-639.
14. Савойская С.Л., Санина В.Ю., Кожевникова Т.Н., Огородникова И.В. Повышение эффективности терапии бабезиоза собак при применении Гамавита // Изв. Оренбург.ГАУ. 2021. № 6. С. 237-241.
15. Сунцова О.В., Рар В.А., Мельцов И.В. [и др.] Иксодовые клещи как переносчики возбудителей бабезиозов человека и животных в Прибайкалье // Acta Biomedica Scientifica. 2024. №6. С. 249-257.
16. Тимербаева Р.Р., Крашенинникова А.А. Лечение бабезиоза собак // Актуал. пробл. ветер. мед., пищ. и биотехнол. 2022. С. 236-239.
17. Ушакова Т.М. Морфофункциональные расстройства гепатобилиарной системы у собак с выраженным гепатопивным синдромом на фоне бабезиоза // Вест. ДонГАУ. 2021. № 4. С. 24-30.
18. Ушакова Т.М., Дерезина Т.Н. Алгоритм комплексной фармакокоррекции расстройств редокс-гомеостаза на фоне коморбидного состояния при бабезиозе и диروفилляриозе у собак // Изв. Оренбург. ГАУ. 2021. №3. С. 220-226.

19. Шелякин И.Д., Семенов С.Н., Ческидова Л.В. Изучение влияния Аминотона на гематологический и биохимический статус собак при терапии бабезиоза // Теор. и практ. борьбы с паразит. болез. 2023. №24. С. 532-537. .
20. Ярных И.Т., Малкова Ю.С. Характеристика мазка крови при бабезиозе // Молодеж. инновац. вест. 2023. №1. С. 191-193. .

### References

1. Abarykova, O.L., & Kicheeva, T.G. (2021). *Izmeneniya gematologicheskix pokazatelej u sobak pri babezioze*. Agrarnyj vestnik Verxnevolzh`ya, 4, 17-19. (in Russ.).
2. Ankudinova, E.S. (2021). *Diagnostika babezioza u bezdomny`x sobak na yugo-vostoke Zapadnoj Sibiri*. Vestnik molodezhnoj nauki Altajskogo GAU, 1, 248-250. (in Russ.).
3. Bakrieva, R.M., & Abdulmagomedov, S.Sh. (2024). *Ispy`taniya e`ffektivnosti preparatov pri lechenii smeshanny`x piroplazmidozov*. Prikaspijskij vestnik veterinarii, 1, 16-20. (in Russ.).
4. Barakina E.V., Timchenko V.N., & Chernova T.M. (2023). *Babezioz u cheloveka*. *Detskie infekcii*, 1, 56-61. (in Russ.).
5. Vasilevich F.I., Nikanorova A.M. (2020). *Fauno-e`kologicheskie osobennosti parazitirovaniya iksodovy`x kleshhej Central`noj chasti Vostochno-Evropejskoj ravniny`*. *Rossijskij parazitologicheskij zhurnal*, 3, 11-17. (in Russ.).
6. Gizatullina, F.G., Kuznecov, A.I., & Derxo, M.A. (2024). *Ocenka e`ffektivnosti preparatov Fortikarb i Neozidin m pri lechenii babezioza u sobak*. *Agrarnyj vestnik Verxnevolzh`ya*, 4, 27-33. (in Russ.).
7. Egorov D.S., Kryuchkova E.N., Isaev V.A., & Egorov S.V. (2014). *Fauna i e`kologiya melkix mlekopitayushhix – prokormitelej iksodovy`x kleshhej v prirodny`x ochagax babeziozov v Ivanovskoj oblasti*. *Teoriya i praktika bor`by` s parazitarny`mi boleznyami*, 90-91. (in Russ.).
8. Zelya O.P., & Kukina I.V. (2020) *Babezioz cheloveka*. *Medicinskij vestnik Severnogo Kavkaza*, 3, 449-455. (in Russ.).
9. Kazanina, M.A. (2022). *Terapevticheskij e`ffekt preparatov pri lechenii rotavirusnoj infekcii telyat* // *Gigienicheskie i texnologicheskie aspekty` povy`sheniya produktivnosti*, 34-36. (in Russ.).
10. Kovalevskij A.V., Luchnikova E.M., & Vdovina E.D. (2022). *Funkcionirovanie prirodnogo ochaga babezioza sobak v Kuzneczko-Salairskoj gornoj oblasti (Kemerovskaya oblast`, Rossiya)*. *Parazitologiya*, 6, 477-494. (in Russ.).
11. Koshlyak, V.V., Tambieva, Yu.G., Krivko, A.S., & Verevkin, G.D. (2022). *Izmeneniya morfologicheskix i bioximicheskix pokazatelej krovi sobak pri babezioze*. *Vestnik DonGAU*, 1, 6-11. (in Russ.).
12. Nizhel`skaya, E.I., & Garkushin, E.V. (2024). *Lechenie sobak pri babezioze: dinamika klinicheskix i gematologicheskix pokazatelej*. *Texnologii pishhevoj i pererabaty`vayushhej promy`shlennosti APK – produkty` zdorovogo pitaniya*, 170-175. (in Russ.).

13. Persaeva, N.S., & Kczoeva, I.I. (2024). Sravnitel'naya e`ffektivnost` primeneniya immunomodulyatorov «Azoksivet» i «Gamavit» pri lechenii nespecificheskoj bronxopnevmonii telyat // *Aktual`ny`e voprosy` sovershenstvovaniya texnologii proizvodstva i pererabotki produkcii sel`skogo xozyajstva*, 637-639. (in Russ.).

14. Savojskaya, S.L., Sanina, V.Yu., Kozhevnikova, T.N., & Ogorodnikova, I.V. (2021). Povy`shenie e`ffektivnosti terapii babezioza sobak pri primeneni Gamavita. *Izvestiya Orenburgskogo GAU*, 6, 237-241. (in Russ.).

15. Sunczova, O.V., Rar, V.A., & Mel`czov, I.V. [i dr.] (2024). Iksodovy`e kleshhi kak perenoschiki vozbuditelej babeziozov cheloveka i zhivotny`x v Pribajkal`e. *Acta Biomedica Scientifica*, 6, 249-257. (in Russ.).

16. Timerbaeva, R.R., & Krashenninnikova, A.A. (2022). Lechenie babezioza sobak // *Aktual`ny`e problemy` veterinarnoj mediciny`, pishhevy`x i biotexnologij*, 236-239.

17. Ushakova, T.M. (2021). Morfofunkcional`ny`e rasstrojstva gepatobiliarnoj sistemy` u sobak s vy`razhenny`m gepatopivny`m sindromom na fone babezioza. *Vestnik DonGAU*, 4, 24-30. (in Russ.).

18. Ushakova, T.M., & Derezhina, T.N. (2021). Algoritm kompleksnoj farmakokorrekcii rasstrojstv redoks-gomeostaza na fone komorbidnogo sostoyaniya pri babezioze i dirofilarioze u sobak. *Izvestiya Orenburgskogo GAU*, 3, 220-226. (in Russ.).

19. Shelyakin, I.D., Semenov, S.N., & Cheskidova, L.V. Izuchenie vliyaniya Aminotona na gematologicheskij i bioximicheskij status sobak pri terapii babezioza. *Teoriya i praktika bor`by` s parazitarny`mi boleznyami*, 24, 532-537. (in Russ.).

20. Yarny`x, I.T., & Malkova, Yu.S. (2023). Xarakteristika mazka krovi pri babezioze. *Molodezhny`j innovacionny`j vestnik*, 1, 191-193. (in Russ.).

дата поступления: 02.06.2026

дата принятия: 13.06.2026

© Кокарев И.А., Ларионов М.В., 2026

*E.Yu. Shalamova, I.A. Pogonysheva, O.N. Ragozin, D.A. Pogonyshv, M.S. Kuchumov*

## CARDIAC ACTIVITY INDICATORS IN FEMALE STUDENTS OF NIZHNEVARTOVSK DEPENDING ON PHYSICAL ACTIVITY LEVEL

*Шаламова Е.Ю., Погоньшева И.А., Рагозин О.Н., Погоньшев Д.А., Кучумов М.С.*

### ПОКАЗАТЕЛИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЕРДЦА У СТУДЕНТОК г. НИЖНЕВАРТОВСКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБЪЕМА ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ

**Abstract.** Physical inactivity as a serious health threat to students is exacerbated in the North by extreme environmental and climatic conditions. The aim of the study was to assess the state of the circulatory system at rest and during graded physical exercise in female students of a northern university, depending on the volume of their organized physical activity. The study involved female students from the Faculty of Physical Culture and Sports (PCS) (n=37) and the Faculty of Ecology and Engineering (EE) (n=51) of Nizhnevartovsk State University (NVSU). The parameters were obtained using volume-compression oscillometry with the АРКО-8-RITs-M device at rest and during a test with graded muscle exercise (20 squats in 30 seconds). Results and Discussion. In female students with higher volumes of organized physical activity (OPA) (Faculty of Physical Culture and Sports), significantly lower values were observed at rest for: systolic blood pressure (SBP, mm Hg); cardiac output (CO, L/min); cardiac index (CI, L/(min. m<sup>2</sup>)); stroke volume (SV, mL); stroke index (SI, mL/m<sup>2</sup>). Following the exercise test, female students from the Faculty of Ecology and Engineering demonstrated higher values for SBP, diastolic blood pressure (DBP), CO, CI, SV, and SI. Conclusion. The study results indicate a pronounced economization of hemodynamic function in females with a higher volume of habitual motor activity, both under resting conditions and during a physical load test with limited duration and muscle group involvement. This economization may be attributed to a partial redistribution of the load from the cardiac muscle to the skeletal musculature, which maintains good functional status due to adequate OPA volume.

**Keywords:** students, northern regions, cardiac output, stroke volume, heart rate, blood pressure.

**Аннотация.** Серьезной угрозой здоровью студенческой молодежи выступает гиподинамия, усугубляющаяся на севере экстремальными природно-климатическими условиями. Цель исследования – оценить показатели системы кровообращения в покое и при дозированной физической нагрузке у студенток северного вуза в зависимости от объема организованной двигательной активности (ОДА). Обследованы студентки факультетов физической культуры и спорта (ФКиС) (n=37), экологии и инжиниринга (ЭиИ) (n=51) НВГУ. Показатели получены методом объемной компрессионной осциллометрии при помощи АРКО-8-РИЦ-М в покое и с дозированной физической нагрузкой (проба Мартине-Кушелевского). Результаты и обсуждение. У девушек с большим объемом ОДА (студентки факультета ФКиС) в условиях мышечного покоя были значимо ниже величины систолического АД (САД, мм рт. ст.), сердечного выброса (СВ, л/мин.), сердечного индекса (СИ, л/(мин. м<sup>2</sup>)), ударного объема (УО, мл), ударного индекса (УИ, мл/м<sup>2</sup>). После выполнения нагрузки, у студенток факультета ЭиИ были выше показатели САД, ДАД, СВ, СИ, УО и УИ. Заключение. Результаты исследования свидетельствуют о выраженной экономизации гемодинамической функции у девушек с большим объемом привычной ОДА в условиях двигательного покоя и в пробе с физической нагрузкой, ограниченной по времени выполнения и вовлеченности мышечных групп. Экономизация может быть обусловлена частичным перераспределением нагрузки с сердечной мышцы на скелетную мускулатуру, имеющую хороший функциональный статус за счет достаточного объема ОДА.

**Ключевые слова:** студенты, север, сердечный выброс, ударный объем, частота сердечных сокращений, артериальное давление.

**About the authors:** *Elena Yu. Shalamova*, ORCID: 0000-0001-5201-4496, Doctor of Biological Sciences, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, [eu.shalamova@hmgma.ru](mailto:eu.shalamova@hmgma.ru); *Irina A. Pogonysheva*, ORCID: 0000-0002-5759-0270, Candidate of Biological Sciences, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, [severina.i@bk.ru](mailto:severina.i@bk.ru); *Oleg N. Ragozin*, ORCID: 0000-0002-5318-9623, Doctor of Medical Sciences, Khanty-Mansiysk State Medical Academy, Khanty-Mansiysk, Russia, [oragozin@mail.ru](mailto:oragozin@mail.ru); *Denis A. Pogonyshchev*, ORCID: 0000-0001-8815-1556, Candidate of Biological Sciences, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, [dapogonyshchev@nvsu.ru](mailto:dapogonyshchev@nvsu.ru); *Mikhail S. Kuchumov*, ORCID: 0000-0003-4714-5023, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, [mixaelok@mail.ru](mailto:mixaelok@mail.ru)

**Сведения об авторах:** *Шаламова Елена Юрьевна*, ORCID: 0000-0001-5201-4496, д-р биол. наук, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, [eu.shalamova@hmgma.ru](mailto:eu.shalamova@hmgma.ru); *Погоньшева Ирина Александровна*, ORCID: 0000-0002-5759-0270, канд. биол. наук, Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, [severina.i@bk.ru](mailto:severina.i@bk.ru); *Рагозин Олег Николаевич*, ORCID: 0000-0002-5318-9623, д-р мед. наук, Ханты-Мансийская государственная медицинская академия, г. Ханты-Мансийск, Россия, [oragozin@mail.ru](mailto:oragozin@mail.ru); *Погоньшев Денис Александрович*, ORCID: 000-0001-8815-1556, канд. биол. наук, Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, [dapogonyshchev@nvsu.ru](mailto:dapogonyshchev@nvsu.ru); *Кучумов Михаил Сергеевич*, ORCID: 0000-0003-4714-5023, Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, [mixaelok@mail.ru](mailto:mixaelok@mail.ru).

Shalamova E.Yu., Pogonysheva I.A., Ragozin O.N., Pogonyshchev D.A., Kuchumov M.S. Cardiac Activity Indicators in Female Students of Nizhnevartovsk Depending on Physical Activity Level // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 40-49. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/04>

Shalamova, E.Yu., Pogonyshchev, I.A., Ragozin, O.N., Pogonyshchev, D.A., & Kuchumov, M.S. (2026). Cardiac Activity Indicators in Female Students of Nizhnevartovsk Depending on Physical Activity Level. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 40-49. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/04>

**Introduction.** National security largely depends on the health status of the population. “Human health is a most important indicator and condition for the development of an individual, the society, and the economy” [14, p. 142]. From an ecological perspective, human health may be negatively affected by adverse environmental factors [5, pp. 8-9]. In northern regions, these include low air temperatures, altered photoperiod, and abrupt weather changes [8]. Adaptation of the human organism to extreme environmental conditions is largely determined by the state of the cardiovascular system (CVS). In turn, the CVS functioning depends on the level of adaptation to various influences, primarily physical exercise, which has a beneficial effect on its function, overall endurance, skeletal muscle condition, and psychological status [1; 10]. Maintaining the optimal level of physical activity is particularly important in northern territories, where during the prolonged cold season people spend considerable time indoors, spontaneous physical activity decreases, and as a result hypoxia is aggravated, “motor deficiency” increases, and skeletal muscle function deteriorates [9, p. 62].

Reduced physical activity negatively affects students’ well-being [20]. Among acquired risk factors for cardiovascular diseases, physical inactivity is one of the most significant [13], and its prevalence increases during the period of university education [11]. The combined effect of these negative influences leads to a deterioration in the health status of modern students. For example,

only one quarter of male students and a half of female students examined at the health centre of Stavropol State Medical University demonstrated favorable hemodynamic status, normal blood pressure values, and normal vascular wall stiffness [12]. For the students of northern regions, the daily volume of habitual physical activity is limited by climatic and weather conditions that hinder walking and outdoor activity. Adverse trends in the health status of student youth highlight the urgent need for continuous monitoring of cardiovascular system function, while “studies addressing cardiovascular risk factors ... in this social group remain clearly insufficient” [11, p. 24]. Exercise tests with graded physical load are widely used to assess the functional state of the circulatory system [19].

Based on the above, the aim of the study was to assess cardiac function parameters at rest and during graded physical exercise in female students of a northern university, depending on the level of organized physical activity.

**Materials and Methods.** The study was conducted at the Laboratory of Human Physiology and Ecology of Nizhnevartovsk State University (NVSU). Female students from the Faculty of Physical Culture and Sports (PCS) ( $n = 37$ ) and the Faculty of Ecology and Engineering (EE) ( $n = 51$ ) were examined. According to the curricula and class schedule, these groups differed in the volume of organized physical activity (OPA): the students of the PCS faculty had at least 8-10 academic hours of in-class physical education per week, whereas the students of the EE faculty had 4 academic hours of physical education per week. Cardiac function parameters were assessed by using the APKO-8-RITs-M device (oscillometric circulatory parameter analyzer, Russia) [2]. The method of volume compression oscillometry provides high reliability in the estimation of circulatory system parameters. The measurements were obtained under resting conditions and during a graded physical exercise test (Martinet–Kushelevsky test), in accordance with standard methodological recommendations [16]. The following cardiovascular parameters were assessed: *heart rate* (HR, beats/min); *systolic blood pressure* (SBP, mm Hg); *diastolic blood pressure* (DBP, mm Hg); *cardiac output* (CO, L/min); *cardiac index* (CI, L/min·m<sup>2</sup>); *stroke volume* (SV, mL); and *stroke index* (SI, mL/m<sup>2</sup>).

The study was conducted in accordance with the principles of the World Medical Association Declaration of Helsinki (2013 revision) and was approved by the Local Ethics Committee of Nizhnevartovsk State University (Protocol No. 1 dated 12.09.2024). Statistical analysis was performed by using Microsoft Excel 2010. Normality of the data distribution was assessed through the Kolmogorov-Smirnov test. Comparison between two independent samples was performed via the non-parametric Mann-Whitney U test [4]. Descriptive statistics are presented as mean (M), median (Me), and interquartile range (Q1–Q3). Differences were considered statistically significant at  $p \leq 0.05$ . Probability values with more than four zeros after the decimal point were reported as  $p < 0.0001$ .

**Results and Discussions.** In female groups with different volumes of organized physical activity (OPA), circulatory system parameters were compared under resting conditions (Table 1) and during graded muscle exercise (Table 2). Heart rate is one of the most important characteristics

of hemodynamic function, representing the integrated outcome of multilevel regulatory mechanisms. As shown, resting heart rate (HR, beats/min) did not differ significantly between the compared groups, and in at least 50% of examined participants (Q1–Q3) it remained within the normal range [2]. After physical exercise, a tendency toward higher HR values was observed in female students of the Faculty of Physical Culture and Sports (PCS).

Table 1

**Cardiac function parameters in female students of NVSU with different levels of organized physical activity under resting conditions**

Parameters	Students of the Faculty of Ecology and Engineering (n=51)	Students of the Faculty of Physical Culture and Sports (n=37)	P
	M/Me (Q <sub>1</sub> -Q <sub>3</sub> )	M/Me (Q <sub>1</sub> -Q <sub>3</sub> )	
HR, beats/min	79.5/77.0 (68.0-89.0)	73.6/75.0 (71.0-80.0)	0.101
SBP, mm Hg	124.8 /125.0 (120.0-130.0)	109.5/107.0 (101.0-120.0)	<0.0001
DBP, mm Hg	57.4/58.0 (49.0-64.0)	54.3/54.0 (49.0-58.0)	0.079
Cardiac output, L/min	5.53/5.60 (4.90-6.10)	4.29/4.30 (4.10-4.80)	<0.0001
Cardiac index, L/(min·m <sup>2</sup> )	3.34/3.30 (3.00-3.80)	2.76/2.90 (2.60-3.20)	0.00009
Stroke volume, mL	74.4/72.0 (61.0-83.0)	57.7/55.0 (53.0-62.0)	<0.0001
Stroke index, mL/m <sup>2</sup>	45.98/46.00 (36.00-57.00)	36.89/37.00 (32.00-41.00)	0.003

Note: p – Mann-Whitney U test.

Table 2

**Cardiac function parameters in female students of NVSU with different levels of organized physical activity during a graded muscle exercise test**

Parameters	Students of the Faculty of Ecology and Engineering (n=51)	Students of the Faculty of Physical Culture and Sports (n=37)	P
	M/Me (Q <sub>1</sub> -Q <sub>3</sub> )	M/Me (Q <sub>1</sub> -Q <sub>3</sub> )	
HR, beats/min	92.7/94.0 (77.0-106.0)	98.6/100.0 (89.0-103.0)	0.089
SBP, mm Hg	128.2/127.0 (118.0-136.0)	117.1/117.0 (108.0-123.0)	0.0001
DBP, mm Hg	56.6/56.0 (51.0-62.0)	50.2/50.0 (47.0-55.0)	0.0002
Cardiac output, L/min	5.8/5.8 (4.7-6.8)	4.9/5.1 (4.3-5.5)	0.0003
Cardiac index, L/(min·m <sup>2</sup> )	3.5/3.4 (3.1-4.0)	3.1/3.1 (2.9-3.5)	0.006
Stroke volume, mL	65.9/65.0 (55.0-75.0)	50.8/54.0 (42.0-57.0)	0.00001
Stroke index, mL/m <sup>2</sup>	40.9/41.0 (30.0-48.0)	32.6/34.0 (29.0-37.0)	0.0008

Note: p – Mann-Whitney U test.

The results of studies on cardiovascular responses to physical exercise are often contradictory and may depend on several factors, including the characteristics of the load itself – duration, intensity, involvement of muscle groups, etc. – as well as the functional state of the organism. Published data on trained individuals indicate that “during standard exercise, trained subjects have a lower heart rate in absolute values, while in relative terms it may be higher than in untrained individuals” [7, p. 103-104].

Among blood pressure parameters, systolic blood pressure (SBP) reflects the cardiac component of hemodynamics; it corresponds to the maximal blood volume ejected into the vascular bed and largely depends on myocardial contractility. Under both resting conditions and during the exercise test, SBP (mm Hg) was significantly higher in female students with a lower volume of OPA. Diastolic blood pressure (DBP), measured at the end of diastole, is determined by blood outflow through the capillary network and heart rate [2]. This is considered to be a so-called vascular component of blood pressure. At rest, a tendency toward lower DBP values was observed in students with a higher volume of OPA; after exercise, the trend became more pronounced and reached statistical significance. According to clinical definitions, *optimal*, *normal*, and *high-normal* blood pressure levels are defined as follows (mm Hg): SBP < 120 and/or DBP < 80; SBP 120-129 and/or DBP 80-84; SBP 130-139 and/or DBP 85-89 [15]. At rest, SBP values in at least 25% of students from the EE faculty corresponded to *high-normal* blood pressure, whereas in 75% of students from the PCS faculty they fell within the *optimal* range. The DBP values in both measurements were within the optimal range according to the 2024 Clinical Guidelines [15], and corresponded to normal values according to the device software (50–71 mm Hg) [2], while the elevated DBP is generally considered to be a more unfavorable indicator than the increased SBP. Such DBP values may be associated with the optimal functional state of the vascular wall in female students, regardless of the volume of organized physical activity.

There is evidence that, depending on the characteristics of physical work, “blood pressure in the brachial artery increases less in trained athletes, but in some cases may also increase more than in untrained individuals,” as “in active regions of the body arterial pressure increases less in trained subjects than in untrained ones, while in inactive regions it may be somewhat higher” [7, p. 104]. During the squat test, the main load is imposed on the large muscles of the lower limbs, resulting in a redistribution of blood flow. Female students of the Faculty of Physical Culture and Sports (PCS) demonstrate a better adaptation to muscular load due to a higher volume of habitual organized physical activity (OPA). Lower indices of central hemodynamics, including systolic and diastolic blood pressure and heart rate, in athletes compared to non-athletes are considered an “advantage in cardiovascular system function” [3, p. 25]. Both components of blood pressure depend on vascular stiffness; therefore, it was suggested that “assessment of vascular stiffness should be included in cardiovascular health screening programs for young people” [11, p. 21]. Cardiac output (CO), defined as the volume of blood ejected by the heart into the main vessels per minute, characterizes the pumping function of the heart. This parameter depends on circulating blood volume and blood flow velocity; additional influencing factors include age, sex, body mass,

and others. Normal CO values are considered to be  $5.0 \pm 1.5$  L/min [2]. At least a half of the female participants in both groups demonstrated CO values within the normal range. At rest and after the squat test, cardiac output was higher in students with a lower level of OPA. Thus, even under a low-intensity physical load, an intensification of cardiovascular function is observed, indicating reduced adaptation and insufficient readiness of the organism to perform such a load. The *cardiac index* (CI) is defined as cardiac output normalized to body surface area. The CI is an individual characteristic of the circulatory system and normally equals  $3.0 \pm 1.0$  L/(min·m<sup>2</sup>) [2]. At rest, the CI values in both groups were within normal limits; however, after exercise, 25% of students from the EE faculty exceeded the upper normal threshold. In both resting and post-exercise conditions, the CI was higher in students with a lower level of OPA.

The myocardial contractile strength defines the *stroke volume* (SV), a volume of blood ejected with each heartbeat into the great vessels; its normal value is  $70 \pm 20$  mL. At rest, normal SV values were observed in female students regardless of the level of organized physical activity (OPA). After the squat test, at least 25% of students from the Faculty of Physical Culture and Sports (PCS) showed the SV values below the lower limit of normal. In both resting and post-exercise conditions, the SV was higher in students from the Faculty of Ecology and Engineering (EE).

The stroke volume normalized to body surface area is defined as *stroke index* (SI), with normal values considered to be  $40 \pm 10$  mL/m<sup>2</sup> [2]. At rest, the SI in at least 25% of students from the EE faculty exceeded the upper limit of normal values; after exercise, almost a quarter of the PCS faculty students demonstrated the SI values below normal. In both measurements, higher SI values were observed in female students with a lower level of OPA.

### Conclusion

Lower values of HR, SBP, DBP, and other functional cardiovascular parameters in females with a higher level of physical activity are considered to be a sign of functional economization and better adaptation [6]. The reduced demand placed on the circulatory system in individuals adapted to physical exercise is explained by “a relatively lower oxygen demand and more efficient oxygen utilization by body tissues” [7, pp. 103-104]. Insufficient physical activity among students leads to a reduction in the functional capabilities of the cardiovascular system and contributes to increased regulatory strain under resting conditions [17; 18, p. 76].

Thus, the results of the study indicate increased regulatory strain of the cardiovascular system in female students with a low level of habitual organized physical activity, and pronounced economization of hemodynamic function in those with a higher level of activity, both at rest and during a limited in duration and in the involvement of muscle groups exercise test. This economization may be attributed to a partial redistribution of workload from the cardiac muscle to the skeletal musculature, which maintains a good functional status due to an adequate level of physical activity. In northern environmental conditions, the improvement of cardiovascular function can be achieved through an increase in students’ physical activity via feasible, systematic, low-intensity exercise programs.

## References

1. Antipina, R.G., Kungurtseva, M.D., & Fetishchev, N.I. (2023). Effect of physical activity on the health and functional system of a person. *Ucheny`e zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*, 5(219), 36-40. (in Russ.). <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2023.05>
2. APKO-8-RICz-M. Analizator parametrov serdechnogo vy`brosa i arterial'nogo davleniya oscillometriceskij. Metodicheskie rekomendacii. Vostochno-evropejskij centr innovacionny`x tehnologij. Moskva, 2006, 35. (in Russ.).
3. Blinkov, S.N., Bashmak, A.F., Mezentseva, V.A., Borodacheva, S.E., & Ishkina, O.A. (2020). Comparative analysis of physical health of students-agrarians of the 1st course, having a different volume of motor activity. *Ucheny`e zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta*, 6(184), 21-27. (in Russ.). <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2020.6>
4. Byuyul', A., & Cefel', P. SPSS: iskusstvo obrabotki informacii. Analiz statisticheskikh dannyh i vosstanovlenie skrytyh zakonomernostej. M., SPb.: DiaSoft, 2005. 602 p. (in Russ.).
5. Vasilieva, T.P., Larionov, A.V., Russkikh, S.V., Tarasenko, E.A., & Vasiliev, M.D. (2024). Conceptual bases for determining the determinants of public health. *Social`ny`e aspekty` zdorov`ya naseleniya*, 4(70). (in Russ.). <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2024-70-4-10>
6. Volkova, T.I., Talantseva, V.K., & Pyanzina, N.N. (2021). Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Fizicheskaya kul'tura. Sport, 1, 9-16. (in Russ.). <https://doi.org/10.24411/2305-8404-2021-10102>
7. Galieva, G.B., Maussymbayeva, A.M., Ozenbaev, M.R., Kilybaev, K.K., & Tokkulina, G.K. (2019). Physiological responses of a trained body on a standard load. *Teoriya i metodika fizicheskoy kul'tury`*, 1(55), 100-104. (in Russ.).
8. Gudkov, A.B., Popova, O.N., & Lukmanova, N.B. (2012). Ecological-physiological characteristic of northern climatic factors literature review. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*, 1, 12-17. (in Russ.).
9. Gulyaeva, S.S. (2018). Multilevel system of physical state improvement among different groups of the Sakha (Yakutia) Republic population. *Pedagogiko-psixologicheskie i mediko-biologicheskie problemy` fizicheskoy kul'tury` i sporta*, 4(13), 55-64. (in Russ.). <https://doi.org/10.14526/2070-4798-2018-13-4-55-64>
10. Dolgov, N.D., & Ananyeva, I.V. (2024). The influence of physical activity on body weight: how physical activity affects shape and health. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*, 110-13, 138-140. (in Russ.).
11. Evsevieva, M.E., Eremin, M.V., Sergeeva, O.V., Simkhes, E.V., Barabash I.V., Kudryavtseva V.D., & Kryuchkov M.S. (2023). Prospective analysis of the major risk factors and vascular status in students during the period of education at a medical university. *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal*, 28(2), 5143. (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5143>
12. Evseyeva M.E., Sergeeva O.V., Kudryavtseva V.D., Penzova V.V., Ovchinnikova O.V., Gachkova I.N., & Kryuchkov M.S. (2023). EVA syndrome and hypertension in young

people according to the work of the University Health Center of the StSMU. *Arterial'naya Gipertenziya*, 29(5), 505-517. (in Russ.). <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2023-29-5-505-517>

13. Ermolenko A.V., & Klimenko I.V. (2024). Risk factors for the development of cardiovascular diseases in students. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, 6, 27. (in Russ.). <https://doi.org/10.17513/spno.33817>

14. Karataeva T.A. (2018). Population Health as an Important Factor of Economic Security. *Vestnik Altajskoj akademii e`konomiki i prava*, 5, 142-145. (in Russ.).

15. Kobalava, Zh.D., Konradi, A.O., Nedogoda, S.V. & dr. (2024) Clinical practice guidelines for Hypertension in adults. *Rossijskij kardiologicheskij zhurnal*. 2024. 29(9), 6117. (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6117>

16. Kondratyeva E., Sologubova, T., Mukhamedova, D., & Shklyar N. (2025). Martine-Kushelevsky test and evaluation of the functional state of the cardiovascular system of KRSU students. *Bulletin of Science and Practice*, 11(1), 195-199. (in Russ.). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/110/20>

17. Pogonysheva I.A., Pogonyshv D.A., Ragozin O.N., & Shalamova E.Yu. (2022). Features of cardiac activity of female students of a north university with different levels of physical activity. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul`tury*, 6, 79-81. (in Russ.).

18. Ryabtsev S.M., & Zhmurova T.A. (2024) Features of adaptive reactions of the cardiovascular system of the body of students in conditions of aerobic exercise of various capacities. *Vestnik MGPU. Seriya: estestvenny`e nauki*. 2(54), 69-79. (in Russ.).

19. Uspenskaya I.M., Pastushenko E.E., Kiseleva I.V., Lazutina N.S., Titunina M.N., & Barakhtenko T.A. (2022) Analysis of the application of the express method of evaluating the results of a functional test with dosed physical activity in the post-canonical period. Part 1. *Sovremennyy`j ucheny`j*, 5, 246-253. (in Russ.).

20. Shestera A.A., Trankovskaya L.V., Kaptsov V.A., & Nagirnaya L.N. Modern characteristics of the health status in higher education students and factors shaping it (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation)*, 103(11), 1361-1367. (in Russ.). <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1361-1367>

## Литература

1. Антипина Р.Г., Кунгурцева М.Д., Фетищев Н.И. Влияние физической нагрузки на здоровье и функциональную систему человека // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2023. №5(219). С. 36-40. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2023.05>

2. АПКО-8-РИЦ-М. Анализатор параметров сердечного выброса и артериального давления осциллометрический. Методические рекомендации. Восточно-европейский центр инновационных технологий. М., 2006. 35 с.

3. Блинков С.Н., Башмак А.Ф., Мезенцева В.А., Бородачева С.Е., Ишкина О.А. Сравнительный анализ физического здоровья студенток-аграриев 1 курса, имеющих

разный объем двигательной активности // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2020. № 6(184). С. 21-27. <https://doi.org/10.34835/issn.2308-1961.2020.6>

4. Бююль А., Цефель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. М., СПб: DiaSoft, 2002. 602 с.

5. Васильева Т.П., Ларионов А.В., Русских С.В., Тарасенко Е.А., Васильев М.Д. Концептуальные основы определения детерминант общественного здоровья // Социальные аспекты здоровья населения. 2024. Т.70. № 4. <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2024-70-4-10>

6. Волкова Т.И., Таланцева В.К., Пьянзина Н.Н. Соматический статус женщин, имеющих разный уровень двигательной активности // Известия Тульского государственного университета. Физическая культура. Спорт. 2021. № 1. С. 9-16. <https://doi.org/10.24411/2305-8404-2021-10102>

7. Галиева Г.Б., Маусумбаева А.М., Озенбаев М.Р., Килыбаев К.К., Токкулинова Г.К. Физиологические реакции тренированного организма на стандартные нагрузки // Теория и методика физической культуры. 2019. № 1(55). С. 100-104.

8. Гудков А.Б., Попова О.Н., Лукманова Н.Б. Эколога-физиологическая характеристика климатических факторов Севера. Обзор литературы // Экология человека. 2012. № 1. С. 12-17.

9. Гуляева С.С. Многоуровневая система повышения физического состояния различных групп населения Республики Саха (Якутия) // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. 2018. Т. 13. № 4. С. 55-64. <https://doi.org/10.14526/2070-4798-2018-13-4-55-64>

10. Долгов Н.Д., Ананьева И.В. Влияние двигательной активности на массу тела: как физическая активность влияет на форму и здоровье // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 110-13. С. 138-140. <https://doi.org/10.18411/trnio-06-2024-733>

11. Евсеева М.Е., Ерёмин М.В., Сергеева О.В., Симхес Е.В., Барабаш И.В., Кудрявцева В.Д., Крючков М.С. Проспективный анализ основных факторов риска и сосудистого статуса у студентов за время обучения в медицинском вузе // Российский кардиологический журнал. 2023. Т. 28. № 2. С. 20-26. <https://doi.org/10.15829/1560-4071-2023-5143>

12. Евсеева М.Е., Сергеева О.В., Кудрявцева В.Д., Пензова В.В., Овчинникова О.В., Гачкова И.Н., Крючков М.С. Синдром EVA и артериальная гипертензия у лиц молодого возраста по данным работы Университетского центра здоровья СтГМУ // Артериальная гипертензия. 2023. Т. 29. № 5. С. 505-517. <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2023-29-5-505-517>

13. Ермоленко А.В., Клименко И.В. Факторы риска развития сердечно-сосудистых заболеваний у студенческой молодежи // Современные проблемы науки и образования. 2024. № 6. С. 27. <https://doi.org/10.17513/spno.33817>

14. Каратаева Т.А. Здоровье населения как важный фактор экономической безопасности // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2018. № 5. С. 142-145.

15. Кобалава Ж.Д., Конради А.О., Недогада С.В. и др. Артериальная гипертензия у взрослых. Клинические рекомендации 2024 // Российский кардиологический журнал. 2024. Т. 29. № 9. С. 230-329. [https://doi.org/ 10.15829/1560-4071-2024-6117](https://doi.org/10.15829/1560-4071-2024-6117)

16. Кондратьева Е.И., Сологубова Т.И., Мухамедова Д.Б., Шкляр А.В. Проба Мартине-Кушелевского и оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы студентов КРСУ // Бюллетень науки и практики. 2025. Т.11. № 1. С. 195-199. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/110/20>

17. Погоньшева И.А., Погоньшев Д.А., Рагозин О.Н., Шаламова Е.Ю. Особенности сердечной деятельности студенток северного вуза с разным уровнем физической активности // Теория и практика физической культуры. 2022. № 6. С. 79-81.

18. Рябцев С.М., Жмурова Т.А. Особенности адаптационно-приспособительных реакций сердечно-сосудистой системы организма студентов в условиях аэробной нагрузки различной мощности // Вестник МГПУ. Серия: естественные науки. 2024. № 2(54). С. 69-79. <https://doi.org/10.25688/2076-9091.2024.54.2.06>

19. Успенская И.М., Пастушенко Е.Е., Киселева И.В., Лазутина Н.С., Титунина М.Н., Барахтенко Т.А. Анализ применения методики экспресс-метода оценки результатов функциональной пробы с дозированной физической нагрузкой в постканикулярный период. Ч. 1 // Современный ученый. 2022. № 5. С. 246-253.

20. Шестёра А.А., Транковская Л.В., Капцов В.А., Нагирная Л.Н. Современная характеристика состояния здоровья студентов высших учебных заведений и факторов, его формирующих (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2024. Т. 103. № 11. С. 1361-1367. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-11-1361-1367>

дата поступления: 25.10.2025

дата принятия: 30.03.2026

© Shalamova E.Yu., Pogonysheva I.A., Ragozin O.N.,  
Pogonyshev D.A., Kuchumov M.S., 2026

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БАКТЕРИЙ РОДА *BACILLUS*  
В БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ СВИНЦОМ

A.N. Sizenzov, M.A. Bulgakova, E.V. Salnikova

PROSPECTS FOR THE USE OF *BACILLUS* BACTERIA  
IN BIOREMEDIATION OF LEAD-CONTAMINATED SOILS

**Аннотация.** Целью настоящего исследования является оценка воздействия бактериального препарата на основе *Bacillus* sp. и свинца, как по отдельности, так и в комбинации, на физиологическое состояние дождевых червей *Eisenia fetida* в контролируемых лабораторных условиях, для предварительной оценки потенциальных рисков и преимуществ применения данного бактериального штамма в биоремедиации свинец-загрязнённых почв. Выделение почвенных изолятов *Bacillus* spp. осуществляли из образцов с территории ПАО «Гайский горно-обогатительный комбинат. Для опыта было протестировано четыре экспериментальные группы: контроль (дистиллированная вода), *Bac*+H<sub>2</sub>O, Pb+H<sub>2</sub>O, Pb+*Bac*. Снижение относительной массы дождевых червей до 68,8%, относительно контроля, к 14-м суткам, зафиксировано в варианте со свинцом без бактерий (Pb+H<sub>2</sub>O). В комбинированной группе (Pb+*Bac*) на протяжении всего периода наблюдений зарегистрировано стабильное превышение показателей, так на 3-й день масса червей превосходила контроль на 11,7%, на 14-й – на 15,6%, а к 21 суткам – 19,3%. Таким образом присутствие бактерий штамма *Bacillus licheniformis* resistantPb нивелирует токсическое действие свинца и способствующий росту червей. Исследование подтверждает целесообразность использования биологических тест-систем, в частности *Eisenia fetida*, для объективной оценки эффективности и безопасности биоремедиационных технологий. Полученные данные подчёркивают потенциал применения бактерий рода *Bacillus* для снижения фитотоксичности тяжёлых металлов и восстановления почвенных экосистем.

**Ключевые слова:** биоремедиация, свинец (Pb), *Bacillus*, *Eisenia fetida*, токсичность почв, биодоступность.

**Сведения об авторах:** Сизенцов Алексей Николаевич, ORCID: 0000-0003-1099-3117, канд. биол. наук,

**Abstract.** The aim of this study was to evaluate the effect of a bacterial preparation based on *Bacillus* sp. and lead, both separately and in combination, on the physiological state of *Eisenia fetida* earthworms under controlled laboratory conditions, for a preliminary assessment of the potential risks and benefits of using this bacterial strain in the bioremediation of lead-contaminated soils. Soil isolates of *Bacillus* spp. were isolated from samples from the territory of PJSC Gai Mining and Processing Plant. Four experimental groups were tested for the experiment: control (distilled water), *Bac*+H<sub>2</sub>O, Pb+H<sub>2</sub>O, Pb+*Bac*. A decrease in the relative weight of earthworms to 68.8%, relative to the control, by day 14 was recorded in the variant with lead without bacteria (Pb + H<sub>2</sub>O). In the combined group (Pb + *Bac*), a consistently higher value was recorded throughout the observation period: on day 3, worm weight exceeded the control by 11.7%, on day 14 by 15.6%, and by day 21 by 19.3%. Thus, the presence of *Bacillus licheniformis*-resistantPb bacteria neutralizes the toxic effect of lead and promotes worm growth. The study confirms the feasibility of using biological test systems, in particular *Eisenia fetida*, for an objective assessment of the effectiveness and safety of bioremediation technologies. The obtained data highlight the potential of using *Bacillus* bacteria to reduce the phytotoxicity of heavy metals and restore soil ecosystems.

**Keywords:** bioremediation, lead (Pb), *Bacillus*, *Eisenia fetida*, soil toxicity, bioavailability.

**About the authors:** Alexey N. Sizenzov, ORCID: 0000-0003-1099-3117, Candidate of Biological Sciences, Orenburg State University

Оренбургский государственный университет им. В.А. Бондаренко, г. Оренбург, Россия, [asizen@mail.ru](mailto:asizen@mail.ru); Булгакова Марина Александровна, ORCID: 0000-0002-1238-6276, канд. биол. наук, Оренбургский государственный университет им. В.А. Бондаренко, г. Оренбург, Россия, [biosu@mail.ru](mailto:biosu@mail.ru); Сальникова Елена Владимировна, ORCID: 0000-0002-8901-1798, д-р биол. наук, Оренбургский государственный университет имени В.А. Бондаренко, г. Оренбург, Россия, [salnikova\\_ev@mail.ru](mailto:salnikova_ev@mail.ru)

named after V.A. Bondarenko, Orenburg, Russia, [asizen@mail.ru](mailto:asizen@mail.ru); Marina A. Bulgakova, ORCID: 0000-0002-1238-6276, Candidate of Biological Sciences, Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, Orenburg, Russia, [biosu@mail.ru](mailto:biosu@mail.ru); Elena V. Salnikova, ORCID: 0000-0002-8901-1798, Doctor of Biological Sciences, Orenburg State University named after V.A. Bondarenko, Orenburg, Russia, [salnikova\\_ev@mail.ru](mailto:salnikova_ev@mail.ru)

Сизенцов А.Н., Булгакова М.А., Сальникова Е.В. Перспективы применения бактерий рода *Bacillus* в биоремедиации почв, загрязнённых свинцом // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 50-59. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/05>

Sizenov, A.N., Bulgakova, M.A., & Salnikova, E.V. (2026). Prospects for the Use of *Bacillus* Bacteria in Bioremediation of Lead-Contaminated Soils. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 50-59. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/05>

## Введение

Антропогенная деятельность, включающая промышленные выбросы, применение пестицидов и неправильную утилизацию отходов, привела к повсеместному загрязнению почв тяжёлыми металлами [3]. Свинец (Pb), как один из наиболее распространённых и опасных загрязнителей, обладает выраженными токсикологическими свойствами, негативно влияя на здоровье живых организмов и функционирование всей экосистемы [10]. Его накопление в почве нарушает микробиологическую активность, снижает плодородие и представляет прямую угрозу передачи по трофическим цепям [11]. В связи с этим разработка эффективных и устойчивых методов очистки почв от загрязнения свинцом является приоритетной задачей современной экологии и природопользования.

Фиторемедиация и химическая экстракция имеют ряд ограничений, связанных с климатическими условиями, глубиной очистки и высокой стоимостью [12]. Биоремедиация, основанная на использовании метаболического потенциала микроорганизмов и растений, предлагает экономичную и экологически дружественную альтернативу [2]. Среди микроорганизмов особый интерес представляют спорообразующие бактерии рода *Bacillus*, известные своей устойчивостью к неблагоприятным условиям, высокой ферментативной активностью и способностью иммобилизовать или трансформировать тяжёлые металлы за счёт механизмов биосорбции, биопреципитации и внутриклеточного накопления [7].

Из-за высокой токсичности свинца не каждый организм способен его выдержать, но существуют несколько видов рода *Bacillus*, которые проявляют резистентность по отношению к этому металлу. Бактерии проявляют устойчивость к загрязнению свинцом за счет внеклеточного осаждения, испарения, биометилирования, связывания клеточной поверхности, внутриклеточной секвестрации и усиленной продукции сидерофора [15].

*Bacillus* spp. используют *pbp* оперон и активный транспорт в качестве потенциальных стратегий борьбы с токсическими эффектами Pb [4]. Микроорганизмы избавляются от него путем адсорбции через клеточную стенку, поскольку она состоит из органических макромолекул, включая полипептиды, полисахариды и белки, которые обладают способностью адсорбировать Pb с помощью электростатических сил, включая силы Ван-дер-Ваальса, ковалентные или ионные связи [4].

Однако эффективность и безопасность биоремедиационных технологий требуют всесторонней оценки, включая анализ их воздействия на почвенную мезофауну, являющуюся ключевым компонентом почвообразовательных процессов. Дождевые черви *Eisenia fetida* являются стандартным тест-объектом в экотоксикологических исследованиях согласно руководствам OECD и ISO [9; 14], так как они напрямую контактируют с почвой, обладают высокой чувствительностью к загрязнителям и играют важную роль в разложении органического вещества и аэрации почвы. Параметры их выживаемости, роста и поведения служат интегральными индикаторами качества среды.

Целью данного исследования была оценка воздействия бактериального препарата на основе *Bacillus* sp. и свинца, как по отдельности, так и в комбинации, на физиологическое состояние дождевых червей *Eisenia fetida* в контролируемых лабораторных условиях, для предварительной оценки потенциальных рисков и преимуществ применения данного бактериального штамма в биоремедиации свинец-загрязнённых почв.

### Материалы и методы

Предварительный этап проводимых исследований был направлен на выделение металлрезистентных в отношении свинца штаммов *Bacillus* spp. из почвенных образцов с территории ПАО «Гайский горно-обогатительный комбинат», отобранных методом конверта. Выделение почвенных изолятов *Bacillus* spp. осуществляли путем термической обработки 100 г. средней навески в водяной бане при температуре 98°C в течении 90 минут. Один грамм навески почвенного образца суспендировали в 10 мл стерильной дистиллированной воды и проводили серию последовательных разведений от 1:10 до 1:10000. Высев исследуемых микроорганизмов осуществляли на накопительные питательные среды (ГРМ-агар Оболенск: панкреатический гидролизат рыбной муки, натрия хлорид, агар микробиологический), путем переноса 100 мкл суспензии с последующим инкубированием культуры при температуре 37°C в течение 24 часов и идентификацией микроорганизмов на основании культуральных характеристик и окраски по Граму.

Предварительную оценку уровня резистентности выделенных изолятов к химическим соединениям свинца с высоким уровнем диссоциации в водных растворах ( $Pb(NO_3)_2$ ,  $Pb(CH_3COO)_2$ ) осуществляли с использованием метода диффузии в агар (метод лунок) в комбинации с методом серийных разведений. В чашки Петри заливали 20 мл стерильного агаризованного субстрата (ГРМ-агар) с содержанием агар-агара 2,5%. На поверхность субстрата осуществляли высев исследуемых смешанных культур микроорганизмов рода

*Bacillus* spp. «газоном» путем переноса 100 мкл суспензии по МакФарланду (OD 0,1 при длине волны 625 нм). Микробиологическим пробойником в толще субстрата вырезали лунки, в которые вносили по 30 мкл исследуемых растворов с последующим инкубированием микроорганизмов в термостате при температуре 37°C в течение 24 часов. Учет реакции производили путем замера зон ингибирования роста микроорганизмов. Для отбора колоний обладающих высоким потенциалом металлрезистентности использовали метод «реплик» (метод Ледерберга). Специфика метода заключается в переносе популяции бактериальных клеток с одной чашки Петри на множество других с разными концентрациями исследуемых химических соединений, что в свою очередь позволяет быстро находить микроорганизмы, способных расти в присутствии в субстратах с высоким уровнем катионной нагрузки.

Для идентификации выделенных изолятов до уровня вида использовали метод MALDI-TOF масс-спектрометрия. При проведении MALDI-анализа выделенные изолированные культуры микроорганизмов смешивали с матрицей, обладающей оптической абсорбцией в диапазоне используемых длин волн. Процессинг интактных микроорганизмов в MALDI-TOF проводился с предварительной пробоподготовкой включающей добавление спирта, так как анализируемые микроорганизмы обладают высокой спорулирующей способностью. Анализ включал измерение размера и интенсивности пиков обнаруженных молекул с последующей идентификацией на основании выраженных различий маркеров «отпечатков пальцев» биоаналитов [1].

Подготовку чистой культуры *B. licheniformis* resistantPb осуществляли культивированием популяции бактериальных клеток в течение 48 часов на накопительных питательных средах, в качестве которых использовали ГРМ-агар, до наступления стационарной фазы роста. По окончании этапа культивирования биомассу клеток смывали с поверхности питательной среды путем добавления 2 мл стерильного 0,7% раствора NaCl с удалением биомассы стерильным шпателем Дригальского. Биомассу суспендировали в стерильных колбах с доведением оптической плотности до значения 0,1 OD при длине волны 625 нм, что соответствует степени разведения 0,5 по МакФарланду или  $1,5 \times 10^8$  КОЕ/мл. Полученную суспензию вносили в почвенные образцы, в дозировке 100 мл/кг почвы, подвергнутые предварительному загрязнению свинцом в дозе 10 ПДК для почв (60 мг/кг), соответствующей выбор а в качестве источника факториальной ксенобиотической нагрузки использовали водный раствор  $Pb(CH_3COO)_2$  (ЧДА) (0,1098 г/ кг почвы) выбор которого обусловлен тем, что анионный компонент оказывает минимальное влияние на тестируемый штамм в условиях модельного эксперимента.

В работе использовались четыре экспериментальные группы:

1. Контроль: внесение в почву 50 мл дистиллированной воды с дальнейшим перемешиванием до однородности.
2. Вариант 1 (*Bac*): внесение в почву 25 мл суспензии бактерий *Bacillus* sp. + 25 мл дистиллированной воды с дальнейшим перемешиванием до однородности.

3. Вариант 2 (Pb): внесение в почву 25 мл раствора свинца (Pb) + 25 мл дистиллированной воды с дальнейшим перемешиванием до однородности.

4. Вариант 3 (Pb+Bac): внесение в почву 25 мл раствора свинца, перемешивание образца, внесение 25 мл суспензии *Bacillus* sp. и повторное перемешивание.

Влажность почв корректировалась дважды в неделю путём добавления дистиллированной воды. После тщательного перемешивания субстрата с тестируемыми растворами в каждую ёмкость помещали по 10 здоровых половозрелых особей *Eisenia fetida* с развитым клителлумом, стандартизированных по размеру и массе. В течение всего 21-дневного эксперимента червей еженедельно докармливали овсяной мукой из расчёта 0,5 г на червя.

Наблюдения и измерения проводились на 3, 7, 14 и 21 сутки эксперимента. Регистрировались особенности поведения, выживаемость и масса червей. Обработка данных включала расчёт процентного изменения массы тела червей относительно контрольной группы и относительно их исходной массы на первые сутки эксперимента.

Статистическая обработка данных выполнена с расчётом средней арифметической и стандартной ошибки (SE).

### Результаты и обсуждение

В рамках предварительных исследований, направленных на выделение и идентификацию почвенных изолятов микроорганизмов рода *Bacillus*, методом Ледерберга («реплик») с использованием насыщенных субстратов (ГРМ-агар с добавлением  $Pb(CH_3COO)_2$  (ЧДА) в дозах 0,250 моль, 0,125 моль и 0,063 моль) выделен штамм проявляющий максимальные показатели металлтолерантности, идентифицированный как *B. licheniformis* resistantPb. Проведенный сравнительный анализ устойчивости данного штамма к химическим соединениям свинца, позволил установить пороговые значения минимальных ингибирующих доз, так в отношении  $Pb(CH_3COO)_2$  она составила 0,125 моль,  $Pb(NO_3)_2$  – 0,063 моль соответственно (табл. 1).

Важнейшим показателем приемлемости условий эксперимента и острой токсичности является выживаемость тест-организмов. В течение 21 дня эксперимента в контрольных ёмкостях не было зафиксировано ни одной гибели червей. Эталонная выживаемость в 100% сохранилась и во всех опытных вариантах (Bac, Pb, Pb+Bac). Для оценки стимулирующего или угнетающего влияния обработок на рост червей был проведён анализ изменения их массы в процентах к среднему значению массы червей в контроле на соответствующие сутки (табл. 2).

Таблица 1

**Сравнительный анализ токсичности исследуемых соединений свинца  
в отношении *B. licheniformis* resistantPb**

соединения свинца					
Pb(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>			Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		
Моль	концентрация Pb, г/М	зона ингибирования роста, мм	Моль	концентрация Pb, г/М	зона ингибирования роста, мм
1,000	63,697	31,26±0,51	1,000	62,559	33,58±0,95
0,500	31,849	23,49±0,45***	0,500	31,280	27,74±0,53**
0,250	15,924	14,92±0,63***	0,250	15,540	20,30±0,43***
0,125	7,962	9,22±0,31***	0,125	7,820	15,52±0,46***
0,063	3,981	R	0,063	3,910	8,91±0,28***
0,031	1,991	R	0,031	1,955	R
0,016	0,995	R	0,016	0,978	R

Примечание: \*\*p<0,01; \*\*\* p<0,001 (относительно предыдущей концентрации); R – резистентность (отсутствие зон ингибирования роста)

Таблица 2

**Набор массы дождевых червей относительно контроля, %**

Раствор / сутки	3	7	14	21
<i>Vac</i>	87,8±2,0	83,5±1,7	101,9±6,3*	104,3±4,8
Pb	117,1±4,5	104,8±7,6	68,8±2,3**	83,9±4,6*
Pb+ <i>Vac</i>	111,7±3,9	97,8±5,5	115,6±8,6	119,3±7,5

Примечание: \*p<0,05; \*\* p<0,01

В экспериментальной группе *Vac* на 7 сутки отмечено незначительное снижение массы дождевых червей относительно контрольной группы, но к 14 суткам *Eisenia fetida* адаптируется к изменению микробного состава субстрата и показатели массы начинают превышать показатели контроля. Полученные результаты коррелируют с литературными данными и дают возможность предположить благоприятное влияние на загрязненные почвы бактериальной инокуляции в отдаленной перспективе [7].

Вариант опыта Pb оказал наиболее выраженное токсическое воздействие на культуру *Eisenia fetida*. В первые 7 суток эксперимента было отмечено существенное превышение контрольных значений (104,8%), однако уже к 14-му дню опыта масса червей резко сократилась до 68,8% и несмотря на то, что к концу наблюдений зарегистрирована частичная компенсация массы (83,9%), она оставалась ниже контрольного уровня. Проявленная динамика массы червей соответствует картине проявления токсического стресса [10].

Важнейший результат опыта был получен в комбинированной группе Pb+*Vac*. На протяжении всего периода наблюдений зарегистрировано стабильное превышение показателей, так на 3-й день масса червей превосходила контроль на 11,7%, на 14-й – на 15,6%, а к 21 суткам – 19,3%. Таким образом присутствие бактерий штамма *B. licheniformis* resistantPb нивелирует токсическое действие свинца и стимулирует рост.

Наблюдение за изменением массы тела относительно первых суток позволяет зарегистрировать динамику биомассы во всех опытах в ходе эксперимента (табл. 3).

Таблица 3

**Динамика массы дождевых червей относительно первых суток, %**

Раствор / сутки	3	7	14	21
<i>Bac</i>	98,5±5,9	96,4±5,8	88,1±6,9	103,1±8,4
Pb	90,7±7,0	95,1±6,3	86,4±5,4	103,8±6,6
Pb+ <i>Bac</i>	92,7±6,8	91,3±7,6	50,0±3,1**	122,7±8,2***

Примечание: \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\*  $p < 0,001$

В группах с *B. licheniformis* resistantPb и свинцом к 14-му дню было зарегистрировано снижение массы относительно первых суток 88,1% и 86,4% соответственно. В варианте Pb+*Bac* несмотря на значительную утрату массы к 14-м суткам (50,0%), к концу опыта был отмечен рост показателя до 122,7%.

Таким образом, присутствие бактерий штамма *B. licheniformis* resistantPb в червеобитаемом субстрате не только останавливает существенное сокращение массы червей в следствии воздействия свинца, но и обеспечивает стабильное превышение контрольных значений на протяжении эксперимента. Биосорбционные свойства бактерии либо позволяют им связывать ионы свинца на поверхности клеток, либо переводят их малодоступные формы посредством биопреципитации, что, в любом из возможных вариантов, снижает фактическую концентрацию токсиканта в почвенном растворе [8; 16]. Кроме вышеобозначенного можно предположить, что бактериальная деструкция органического вещества почв сокращает энергетические затраты червей, что, вероятно, позволяет компенсировать затраты организма на стресс-реакцию [5; 6].

### Заключение

Подводя итог можно говорить о том, что к 14-м суткам свинец ингибирует набор биомассы дождевыми червями подтверждая тем самым, свое токсическое воздействие. Однако, внесение *B. licheniformis* resistantPb в загрязненную свинцом почву нивелирует негативный эффект металла, что отражается в наборе массы червей, достигающей к 21-м суткам 119,3% относительно контроля. Полученные результаты свидетельствуют о высоком биоремедиационном потенциале исследованного штамма бактерий рода *Bacillus*, способного эффективно снижать токсичность свинца для почвенной мезофауны и стимулировать ее рост. Исследование подтверждает целесообразность использования биологических тест-систем, в частности *Eisenia fetida*, для объективной оценки эффективности и безопасности биоремедиационных технологий [5].

Перспективы дальнейших исследований должны быть направлены на изучение молекулярных механизмов взаимодействия штамма *B. licheniformis* resistantPb как с ионами свинца (иммобилизация, трансформация), так и с организмом дождевых червей. Необходимы прямые химические анализы содержания подвижных форм Pb в почве в

динамике, а также исследования на клеточном и биохимическом уровнях для полного раскрытия природы протекторного эффекта.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания (FSGU-2023-0007)  
соглашение с Минобрнауки России от 15.11.2023 № 075-03-2023-012/8*

### Литература

1. Баранцевич Е.П. Применение MALDI–TOF масс-спектрометрии в клинической микробиологии // Трансляционная медицина. 2014. № 6. С. 23-28.
2. Ahemad M., Kibret M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective // Journal of King Saud University – Science. 2014. Vol. 26, № 1. P. 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>
3. Asif L., Tehami S., Qadeer Y.K., Virani S.S., Lavie C.J., Krittanawong C. Toxic Grounds: A Narrative Review of the Role of Heavy Metal Soil and Water Contamination in Cardiovascular Disease Development // Heart and Mind. 2025. Vol. 9, № 6. P. 527-537. <https://doi.org/10.4103/hm.HM-D-24-00108>
4. Alotaibi B.S., Khan M., Shamim S. Unraveling the Underlying Heavy Metal Detoxification Mechanisms of *Bacillus* Species // Microorganisms. 2021. Vol. 9, № 8. P. 1628. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081628>
5. Calabrese E.J., Baldwin L.A. Hormesis: the dose-response revolution // Annual Review of Pharmacology and Toxicology. 2003. Vol. 43, № 1. P. 175-197. <https://doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.43.100901.140223>
6. Christopher J.M., Sridharan R., Somasundaram S., et al. Bioremediation of aromatic hydrocarbons contaminated soil from industrial site using surface modified amino acid enhanced biosurfactant // Environmental Pollution. 2021. Vol. 289. P. 117917. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117917.7>
7. Dixit R., Malaviya D., Pandiyan K., Singh U.B., Sahu A., Shukla R., Singh B.P., Rai J.P., Sharma P., Lade H., Paul D. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: an overview of principles and criteria of fundamental processes // Sustainability. 2015. Vol. 7, № 2. P. 2189-2212. <https://doi.org/10.3390/su7022189>
8. Gadd G.M. Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation // Microbiology. 2010. Vol. 156, № 3. P. 609-643. <https://doi.org/10.1099/mic.0.037143-0>
9. ISO. ISO 11268-1:1993 Soil quality – Effects of pollutants on earthworms – Part 1: Determination of acute toxicity to *Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*. Geneva: International Organization for Standardization, 1993.
10. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2010. <https://doi.org/10.1201/b10158>
11. Ma Y., Oliveira R.S., Freitas H., Zhang C. Biochemical and molecular mechanisms of plant-microbe-metal interactions: relevance for phytoremediation // Frontiers in Plant Science. 2016. Vol. 7. P. 918. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00918>

12. Mulligan C.N., Yong R.N., Gibbs B.F. Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation // *Engineering Geology*. 2001. Vol. 60, № 1-4. P. 193-207. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00101-0](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00101-0)
13. Nagajyoti P.C., Lee K.D., Sreekanth T.V.M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review // *Environmental Chemistry Letters*. 2010. Vol. 8, № 3. P. 199-216. <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8>
14. OECD. Test No. 222: Earthworm Reproduction Test (*Eisenia fetida/Eisenia andrei*). OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. Paris: OECD Publishing, 2004. <https://doi.org/10.1787/9789264070325-en>
15. Sahoo S., Goli D. Bioremediation of lead by a halophilic bacteria *Bacillus pumilus* isolated from the mangrove regions of Karnataka // *International Journal of Scientific Research*. 2020. Vol. 9, № 7. P. 1337-1343.
16. Van Gestel C.A. Soil ecotoxicology: state of the art and future directions // *ZooKeys*. 2012. № 176. P. 275-296. <https://doi.org/10.3897/zookeys.176.2275>

### References

1. Barancevich, E.P. (2014). Primenenie MALDI–TOF mass–spektrometrii v klinicheskoy mikrobiologii. *Translyacionnaya medicina*, 6, 23-28. (in Russ.).
2. Ahemad, M., & Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King Saud University – Science*, 26(1), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>
3. Asif, L., Tehami, S., Qadeer, Y.K., Virani, S.S., Lavie, C.J., & Krittanawong, C. (2025). Toxic grounds: A narrative review of the role of heavy metal soil and water contamination in cardiovascular disease development. *Heart and Mind*, 9(6), 527-537. <https://doi.org/10.4103/hm.HM-D-24-00108>
4. Alotaibi, B.S., Khan, M., & Shamim, S. (2021). Unraveling the underlying heavy metal detoxification mechanisms of *Bacillus* species. *Microorganisms*, 9(8), 1628. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9081628>
5. Calabrese, E.J., & Baldwin, L.A. (2003). Hormesis: the dose-response revolution. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, 43(1), 175-197. <https://doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.43.100901.140223>
6. Christopher, J.M., Sridharan, R., Somasundaram, S., et al. (2021). Bioremediation of aromatic hydrocarbons contaminated soil from industrial site using surface modified amino acid enhanced biosurfactant. *Environmental Pollution*, 289, 117917. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117917>
7. Dixit, R., Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U.B., Sahu, A., Shukla, R., Singh, B.P., Rai, J.P., Sharma, P., Lade, H., & Paul, D. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: an overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability*, 7(2), 2189-2212. <https://doi.org/10.3390/su7022189>

8. Gadd, G.M. (2010). Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology*, 156(3), 609-643. <https://doi.org/10.1099/mic.0.037143-0>
9. ISO. (1993). ISO 11268-1:1993 Soil quality – Effects of pollutants on earthworms – Part 1: Determination of acute toxicity to *Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*. *International Organization for Standardization*.
10. Kabata-Pendias, A. (2010). Trace elements in soils and plants (4th ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b10158>
11. Ma, Y., Oliveira, R.S., Freitas, H., & Zhang, C. (2016). Biochemical and molecular mechanisms of plant-microbe-metal interactions: relevance for phytoremediation. *Frontiers in Plant Science*, 7, 918. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00918>
12. Mulligan, C.N., Yong, R.N., & Gibbs, B.F. (2001). Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. *Engineering Geology*, 60(1-4), 193-207. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(00\)00101-0](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(00)00101-0)
13. Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., & Sreekanth, T.V.M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 8(3), 199-216. <https://doi.org/10.1007/s10311-010-0297-8>
14. OECD. (2004). Test No. 222: Earthworm reproduction test (*Eisenia fetida*/*Eisenia andrei*). OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 2. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264070325-en>
15. Sahoo, S., & Goli, D. (2020). Bioremediation of lead by a halophilic bacteria *Bacillus pumilus* isolated from the mangrove regions of Karnataka. *International Journal of Scientific Research*, 9(7), 1337-1343.
16. Van Gestel, C.A. (2012). Soil ecotoxicology: state of the art and future directions. *ZooKeys*, (176), 275-296. <https://doi.org/10.3897/zookeys.176.2275>

дата поступления: 19.03.2026

дата принятия: 27.05.2026

© Сизенцов А.Н., Булгакова М.А., Сальникова Е.В., 2026

УДК 581.9:581.524.4

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/06>

L.S. Kulagina, T.V. Storchak, A.A. Kulagin

**INVASIVE WOODY PLANT SPECIES ON CONSTRUCTION SITES IN RUSSIAN CITIES:  
SCALE, REGIONAL FEATURES, AND ECONOMIC ASPECTS OF COMPENSATION  
PAYMENTS**

Кулагина Л.С., Сторчак Т.В., Кулагин А.А.

**ИНВАЗИОННЫЕ ВИДЫ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДКАХ  
ГОРОДОВ РОССИИ: МАСШТАБЫ, РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И  
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОМПЕНСАЦИОННЫХ ВЫПЛАТ**

**Abstract.** Based on tree-level data from engineering-environmental surveys at 9 construction sites in four Russian cities (Ufa, Dmitrov, Moscow, Birobidzhan), the distribution of invasive woody plant species was analyzed. A total of 27.418 trees of 57 species were recorded. The proportion of invasive species ranged from 0% in Birobidzhan to 46.8% in Moscow. The absolute dominant among invasives is *Acer negundo* L. (5.751 individuals, 21% of all trees). Regression analysis of the log-transformed compensation cost (calculated according to regional regulatory documents) showed that, all else being equal (diameter, height, condition, city), invasive trees have, on average, a 9.9% lower cost ( $p < 0.001$ ), which is explained by the reduced species coefficients for box-elder maple already embedded in the existing valuation methods. However, this reduction is insufficient to cover the costs of subsequent invasion control and monitoring. For *A. negundo* L., significant inter-city differences were found: the highest proportion (9.9% of all trees) and the lowest average cost (1,106 RUB) were recorded in Ufa, due to a high number of small-diameter individuals on disturbed lands. In Moscow and Dmitrov, despite lower proportions, the average cost of invasive trees is much higher (6.836 and 6.085 RUB, respectively) due to larger tree sizes and better condition. Invasive herbaceous species (*Heraclеum sosnowskyi* Manden., *Solidago Canadensis* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., etc.) were also recorded at the survey sites, requiring special attention during post-project monitoring. We propose changes to the regulatory framework: introduction of an additional reduction factor (0.1–0.3) for invasive species when calculating compensation costs, mandatory inclusion of post-project monitoring (at least 5 years) with removal of invasive

**Аннотация.** На основе данных подеревных учетов, выполненных в ходе инженерно-экологических изысканий на 9 строительных объектах в четырёх городах России (Уфа, Дмитров, Москва, Биробиджан), проведён анализ распространения инвазионных видов древесных растений. Всего учтено 27 418 деревьев 57 видов. Установлено, что доля инвазионных видов варьирует от 0% в Биробиджане до 46,8% в Москве. Абсолютным доминантом среди инвазиентов является *Acer negundo* L. (5751 особь, 21% от общего числа деревьев). С помощью регрессионного анализа логарифма компенсационной стоимости (рассчитанной по региональным нормативным документам) показано, что при равных таксационных показателях (диаметр, высота, состояние, город) инвазионные деревья имеют в среднем на 9,9% более низкую стоимость ( $p < 0,001$ ), что объясняется заложенными в методиках пониженными породными коэффициентами для клёна ясенелистного. При этом существующее снижение недостаточно для покрытия расходов на последующую борьбу с инвазией и мониторинг. Для *A. negundo* L. выявлены существенные межгородские различия: максимальная доля (9,9% от всех деревьев) и минимальная средняя стоимость (1106 руб.) зафиксированы в Уфе, что связано с высокой долей мелкомерных особей на нарушенных землях. В Москве и Дмитрове, несмотря на меньшую долю, средняя стоимость инвазионных деревьев значительно выше (6836 и 6085 руб. соответственно) за счёт более крупных размеров и лучшего состояния. На участках изысканий зафиксированы также инвазионные травянистые виды (борщевик Сосновского, золотарник канадский, амброзия полыннолистная и др.), требующие особого внимания при слепопроектном мониторинге. Предложены изменения в нормативную базу: введение понижающего коэффициента (0,1–0,3) для инвазионных видов при расчёте компенсационной стоимости, обязательное включение в проекты

seedlings, and priority use of native fast-growing species in compensatory plantings on reclaimed sites.

**Keywords:** invasive species, *Acer negundo*, urban ecosystems, engineering and environmental surveys, compensation cost, urban forest management.

**About the authors:** Lyubov S. Kulagina, ORCID: 0000-0001-6866-0564, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, koolagina@yandex.ru; Tatyana V. Storchak, ORCID: 0000-0002-5926-433X, Candidate of Biological Sciences Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, tatyana.storchak@yandex.ru; Andrey A. Kulagin, ORCID: 0000-0002-7721-2453, Doctor of Biological Sciences, Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, Russia, kulagin-aa@mail.ru.

послепроектного мониторинга (не менее 5 лет) с удалением самосева инвазионтов и приоритетное использование аборигенных быстрорастущих пород в компенсационных посадках.

**Ключевые слова:** инвазионные виды, *Acer negundo*, урбоэкосистемы, инженерно-экологические изыскания, компенсационная стоимость, управление городскими насаждениями.

**Сведения об авторах:** Кулагина Любовь Сергеевна, ORCID: 0000-0001-6866-0564, Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, koolagina@yandex.ru; Сторчак Татьяна Викторовна, ORCID: 0000-0002-5926-433X, канд. биол. наук, Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, tatyana.storchak@yandex.ru; Кулагин Андрей Алексеевич, ORCID: 0000-0002-7721-2453, д-р биол. наук, Нижневартровский государственный университет, г. Нижневартовск, Россия, kulagin-aa@mail.ru.

---

Kulagina L.S., Storchak T.V., Kulagin A.A. Invasive Woody Plant Species on Construction Sites in Russian Cities: Scale, Regional Features, and Economic Aspects of Compensation Payments // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 60-70. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/06>

Kulagina, L.S., Storchak, T.V., & Kulagin, A.A. (2026). Invasive Woody Plant Species on Construction Sites in Russian Cities: Scale, Regional Features, and Economic Aspects of Compensation Payments. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 60-70. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/06>

---

## Introduction

Invasive woody plant species represent a pressing problem in urban green space management [2; 11]. The most aggressive alien species that has spread widely across disturbed habitats in the European part of Russia is box-elder maple *Acer negundo* L. [13; 15; 16]. Its high seed production, rapid growth, and tolerance to pollution allow it to dominate synanthropic communities, displace native species, and transform vegetation cover [9; 16].

Conventional control measures (mechanical removal, chemical treatment) require substantial resources and are often ineffective without a systematic approach [2; 10]. At the same time, large infrastructure projects preceded by engineering-environmental surveys involve complete clearing of woody vegetation within the right-of-way, creating an opportunity for the large-scale elimination of invasive species. To date, however, no comprehensive quantitative estimates have been available on the presence of invasive woody plants at construction sites across different regions of Russia, nor has an analysis been conducted on the economic consequences of their removal under the existing regulatory framework.

In the Russian Federation, the compensation cost for cutting down urban green spaces is calculated according to regional methodologies, which, as a rule, do not differentiate between native and invasive species [1; 8]. Tree-level inventory data contained in

engineering-environmental survey reports remain an under-utilized resource for monitoring invasion processes and informing management decisions (Khorun, Martynyuk, 2016).

The aim of this study is to quantitatively characterize the distribution of invasive woody plant species, identify regional features, and assess the economic aspects of compensation payments for their removal, based on tree-level inventories at nine construction sites in four Russian cities (Ufa, Dmitrov, Moscow, Birobidzhan).

### Materials and Methods

**Study sites.** The initial data were obtained during engineering-environmental surveys at nine construction sites located in four cities: Ufa (three sites: Sipailovskaya St., Kuznetsovskii Zaton micro-district, Nizhegorodka micro-district), Dmitrov (two sites: a bridge on Rogachevskaya St., Tatishcheva St.), Moscow (one site: METK), and Birobidzhan (three sites: BUL, a bridge over the Bira River, and an additional plot). The total sample comprised 27,418 trees.

Table 1

Characteristics of the study objects

City	Natural zone	Sites (number)	Right-of-way area, ha	Main land type	Share of disturbed land
Ufa	Forest-steppe	3	~120	Residential, industrial	High
Dmitrov	Mixed forest zone	2	~45	Urban and suburban	High
Moscow	Mixed forest zone	1	~25	Urban	High
Birobidzhan	Broadleaved–Korean pine forests of the Russian Far East	3	~70	Urban, floodplain	Medium

The sites represent typical disturbed urban and suburban territories (highway shoulders, vacant lots, power-line corridors, garage cooperatives, private sector, clear-cuts). These sites cannot be considered representative of the entire territory of the cities; however, they characterize the most typical habitats where invasive species find optimal conditions for expansion.

**Field methods.** Fieldwork was carried out by the authors in 2020–2025. At each site, a complete inventory of all woody plants with a trunk diameter at breast height (1.3 m)  $\geq$  8 cm was conducted. For each tree, the following parameters were determined: species identity, trunk diameter (to the nearest 1 cm), height (to the nearest 0.5 m), and condition category (“good”, “satisfactory”, “poor”, “hazardous”). The absence of plant species listed in the Red Data Book of the Republic of Bashkortostan [6] and the federal Red Data Book was also recorded.

**Species classification.** Invasive status was assigned based on the “Black Data Book of the Flora of Central Russia” [16] and regional “Black Books”, taking into account current data on species distribution [12; 15]. The main invasive species in the sample is *A. negundo* L.; isolated individuals of *Populus alba* L. (3 trees) and *Ulmus pumila* L. (1 tree) were also recorded, which does not affect the general patterns.

**Non-woody invasive species.** During the surveys, invasive herbaceous plants were recorded at all sites. The most frequent were *Heracleum sosnowskyi* Manden., *Solidago canadensis* L., *Reynoutria sachalinensis* (F.Schmidt) Nakai, *Impatiens glandulifera* Royle, *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & A.Gray, *Bidens frondosa* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronquist, as well as *Ambrosia artemisiifolia* L. in Birobidzhan. These species were not included in the quantitative analysis of woody vegetation but were taken into account when assessing the overall invasive potential of the territories.

**Calculation of compensation cost.** The compensation cost of each tree was determined according to regional regulatory documents.

– For Ufa: Decision of the Council of the City District of Ufa of the Republic of Bashkortostan No. 23/19 of 26.02.2010 “On the Rules for the Protection, Conservation and Reproduction of Forests and Maintenance of Green Spaces...” with amendments.

– For Dmitrov and Moscow: “Methodology for Calculating the Fee for Cutting Down Green Spaces and Determining the Amount of Damage Caused by Their Destruction or Damage on the Territory of Municipalities of Moscow Region” (approved by Protocol No. 53 of the Commission for Administrative Reform in Moscow Region of 29.01.2018).

– For Birobidzhan: Rules of Improvement of the Territory of the Municipal Formation “City of Birobidzhan” (Decision of the City Duma No. 224 of 23.12.2021).

All methodologies are based on multiplying the base cost (or the unit rate per volume of wood) by coefficients that account for diameter, height, condition, and species composition of the tree. For *A. negundo* L., the Moscow Region methodology sets a reduced species coefficient of 0.3 (i.e., the cost is reduced by 70% relative to the most valuable species); the Ufa and Birobidzhan methodologies also include species coefficients that vary depending on the region and land category.

For comparative analysis, the cost of each tree was also calculated using the unified Moscow Region methodology but without applying the species coefficient (species coefficient = 1), which made it possible to assess the influence of this coefficient on the final cost.

**Statistical analysis.** Data were aggregated by city and project, calculating: total number of trees, proportion of invasive species, mean values of diameter, height, and compensation cost. To identify factors influencing the logarithm of compensation cost, a linear regression model was constructed:

$$\ln(\text{Compensation cost}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot D + \beta_2 \cdot H + \beta_3 \cdot V + \beta_4 \cdot \text{Invasive} + \beta_5 \cdot \text{Cond} + \beta_6 \cdot \text{City} + \varepsilon$$

where:

D – trunk diameter, cm;

H – height, m;

V – stem wood volume, m<sup>3</sup>;

Invasive – binary variable (1 – invasive species, 0 – native);

Cond – condition (1 – good ... 4 – hazardous);

City – categorical variable for city (reference – Birobidzhan).

Coefficients were exponentiated to interpret the percentage change in cost. All calculations were performed in the R environment (version 4.5.3) using the dplyr and ggplot2 packages.

## Results

**1. General characteristics of the sample.** In the sample of 27,418 trees, 57 species were recorded. Native species constitute the vast majority (98.2%). Invasive species are almost exclusively represented by *A. negundo* L. (5,751 individuals, 99.9% of all invasive trees). The proportion of invasive species varies sharply among cities (Table 2): the maximum is in Moscow (46.8%), followed by Dmitrov (34.7%) and Ufa (23.8%); in Birobidzhan, invasive woody species are entirely absent (0%). This reflects both climatic constraints for *A. negundo* L. in the Russian Far East and the different history of development and landscaping.

Table 2

**General characteristics of the sample by city**

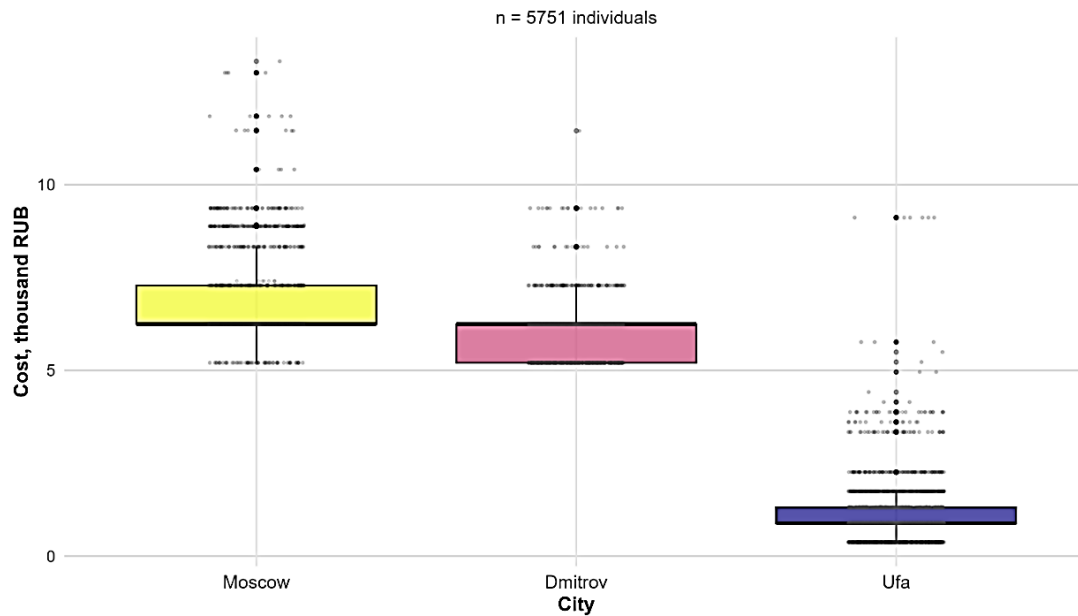
City	Total trees	Number of species	Invasive trees	Invasive proportion, %	Mean diameter, cm	Mean height, m
Moscow	3807	24	1783	46.83	22.6	9.8
Dmitrov	3603	29	1249	34.67	18.7	11.9
Ufa	11461	25	2722	23.75	22.6	13.8

**2. Species composition and distribution of *A. negundo* L.** *A. negundo* L. occurs in three cities: Moscow (1,783 individuals), Dmitrov (1,246 individuals), and Ufa (2,722 individuals). In Ufa, the species is the most numerous but is represented predominantly by young, small-diameter individuals (median diameter 11 cm, average cost 1,107 RUB; Table 3), indicating ongoing active expansion on disturbed lands. In Moscow and Dmitrov, the trees are larger (mean diameter 17.9 and 15.0 cm, respectively), reflecting a longer invasion history, and have a higher average cost. The distribution of compensation cost for *A. negundo* L. by city is shown in Fig.

Table 3

**Population parameters of *A. negundo* L. by city**

City	Number of individuals	Proportion of all trees, %	Mean cost, RUB	Total wood volume, m <sup>3</sup>	Mean diameter, cm	Mean height, m
Dmitrov	1246	4.54	6085	346.6	15.0	10.6
Moscow	1783	6.50	6836	437.9	17.9	6.9
Ufa	2722	9.93	1107	444.3	12.4	7.8



**Fig. Distribution of compensation cost of *A. negundo* L. by city**

**3. Regression analysis of compensation cost.** Linear regression of the log-transformed cost showed high explanatory power ( $R^2 = 0.74$ ). With fixed inventory parameters and city, invasive status leads to an average cost reduction of 9.9% ( $\exp(-0.1043) = 0.901$ ;  $p < 0.001$ ) (Table 4). The negative coefficient for the *is\_invasive* variable is explained by the fact that regional methodologies assign lower species coefficients to *A. negundo* L. compared to most native species.

Table 4

**Regression coefficients (dependent variable – log compensation cost)**

Predictor (variable in model)	Coefficient	Std. Error	t value	p value	exp(coef)	95% CI for exp
Intercept	7.220	0.015	476.4	<0.001	1365.9	1325.9–1407.1
Trunk diameter, cm	0.055	0.0005	116.3	<0.001	1.0567	1.0557–1.0577
Tree height, m	0.036	0.0006	55.1	<0.001	1.0364	1.0351–1.0377
Wood volume, m <sup>3</sup>	-0.210	0.003	-69.7	<0.001	0.8106	0.8059–0.8154
Invasive species (1 – yes, 0 – no)	-0.104	0.010	-10.13	<0.001	0.9010	0.8830–0.9193
Tree condition (1 – good ... 4 – emergency)	-0.198	0.008	-26.35	<0.001	0.8200	0.8080–0.8322
City: Dmitrov (city_name Dmitrov)	0.641	0.013	50.55	<0.001	1.8991	1.8524–1.9469
City: Moscow (city_name Moscow)	0.665	0.013	51.82	<0.001	1.9437	1.8955–1.9932
City: Ufa	-0.892	0.009	-94.07	<0.001	0.4099	0.4024–0.4176

Note: Reference city – Birobidzhan; the model explains 74% of the variance ( $R^2 = 0.74$ ).

**4. Economic aspects of compensation payments.** The total compensation cost of invasive species in the sample amounted to 22.78 million RUB (16.1% of the total payments for all surveyed trees). Regression analysis showed that, for identical inventory characteristics, the cost of *A. negundo* L. is, on average, 9.9% lower than that of native species (Table 4). This difference reflects the reduced species coefficients already embedded in the regulatory methodologies. However, such a reduction does not compensate for the costs of targeted eradication of invasive thickets and subsequent monitoring.

If an additional reduction factor of 0.3 were introduced for invasive species (i.e., the cost would be reduced to 30% of its current level), payments for their removal would decrease by approximately 15.95 million RUB (11.3% of the total compensation sum). These released funds are proposed to be directed specifically to finance post-project monitoring and measures to prevent secondary invasion, which are currently not provided for in project budgets. Such an approach would allow the financial burden to be redistributed toward specialized environmental works without increasing the overall estimated project cost.

The existing system of compensation payments thus already contains elements that take invasive status into account, but their economic effect is insufficient to stimulate active control of invasive species. The proposed adjustment of the regulatory framework would strengthen this incentive and create a permanent source of funding for mandatory post-project monitoring.

#### Discussion

The obtained results confirm that *A. negundo* L. is the dominant invasive species in urbanized landscapes of the European part of Russia, especially on disturbed lands [14; 15]. The high proportion of invasive species in Moscow (46.8%) and Dmitrov (34.7%) reflects the long history of anthropogenic transformation of the territory and, probably, milder climatic conditions compared to Ufa. In Ufa, despite a lower proportion of invasive species in the total number of trees (23.8%), the absolute abundance of *A. negundo* L. is the highest, and the population is characterized by a predominance of young individuals a typical picture of active expansion against the background of ongoing land development [3; 4].

The absence of *A. negundo* L. and other invasive woody species in Birobidzhan is explained by the harsh climatic conditions, geographic isolation, and a different history of introduction [14]. At the same time, invasive herbaceous species (*A. artemisiifolia*, *I. glandulifera*, *Helianthus tuberosus*, etc.) were recorded at the Birobidzhan sites, indicating the need for post-project monitoring regardless of the presence of woody invaders [5].

Regression analysis showed that, for identical inventory characteristics, the compensation cost of *A. negundo* L. is, on average, 9.9% lower than that of native species. This is explained by the effect of reduced species coefficients established in regional methodologies (especially in the Moscow Region methodology) [8]. Consequently, the regulatory framework already indirectly recognizes the lower economic value of box-elder maple; however, this reduction is insufficient to make the targeted removal of invasive thickets and subsequent monitoring economically justified. It should be borne in mind that *A. negundo* L. is capable of forming a persistent soil seed

bank [13]; therefore, a one-time removal of adult individuals does not guarantee eradication of the species. The proposed introduction of an additional reduction factor (0.1–0.3) would release funds that should be purposefully directed toward post-project monitoring (at least 5 years) and control of invasive seedlings, rather than remaining at the disposal of the developer.

Large infrastructure projects can serve as a powerful, albeit unintentional, tool for the local suppression of invasive species [2; 10]. However, to consolidate the effect, mandatory measures that are currently not provided for are necessary: post-project monitoring with removal of self-seeding, and priority use of native species in compensatory plantings. For formal street and highway landscaping, species from the standard assortment (small-leaved lime, Norway maple, European rowan) should be used [7]. Fast-growing pioneer species (silver birch, goat willow) are appropriate on reclaimed and buffer sites, where the main task is the rapid formation of a closed canopy that impedes the secondary spread of invaders.

### Conclusion

1. Invasive woody plant species at the surveyed construction sites in four Russian cities are almost exclusively represented by *A. negundo* L. (5,751 individuals, 21% of the total number of trees). The proportion of invasive species varies from 0% in Birobidzhan to 46.8% in Moscow, reflecting the climatic and historical characteristics of the regions.

2. Regression analysis showed that, for equal inventory parameters, the compensation cost of *A. negundo* L. is, on average, 9.9% lower than that of native species, which is explained by the reduced species coefficients embedded in the valuation methods. The existing reduction is insufficient to fund invasion control measures.

3. The population of *A. negundo* L. in Ufa is characterized by the highest abundance but the lowest average cost (1,107 RUB) due to the predominance of small-diameter individuals; in Moscow and Dmitrov, the cost is significantly higher (6,836 and 6,085 RUB, respectively) due to the larger tree sizes.

4. Invasive herbaceous species were recorded at all sites, which necessitates the mandatory inclusion of measures for their control in post-project monitoring programs.

5. To improve the effectiveness of invasive species management, we propose:

– introducing an additional reduction factor (0.1–0.3) for invasive species in compensation cost calculation methodologies, with the saved funds purposefully directed to monitoring;

– requiring developers to include post-project monitoring (at least 5 years) with removal of invasive seedlings in project designs;

– differentiating compensatory plantings: native ornamental species for street landscaping, fast-growing pioneer species for buffer and reclaimed zones.

The conducted study demonstrates the high potential of engineering-environmental survey data for the scientific substantiation of management decisions in the field of biodiversity conservation and optimization of the regulatory framework.

*The authors express their sincere gratitude to the administration of OJSC "Giprostrimost" (Moscow) for all-round assistance in organising the fieldwork. The study was supported by the Fund for Scientific and Technological Development of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra within the project "Fundamental and applied aspects of ecology and nature management in Western Siberia and adjacent territories" (No. 2025-604-04).*

### References

1. Decision of the Council of the City District of Ufa of the Republic of Bashkortostan No. 23/19 of 26.02.2010 "On the Rules for the Protection, Protection and Reproduction of Forests and the Maintenance of Green Spaces in the City District of Ufa of the Republic of Bashkortostan and the Regulation on the Procedure for Assessing and Compensating for Damage Caused to Forests and the Green Fund in the City District of Ufa of the Republic of Bashkortostan" (as amended on 01.10.2025). (in Russ.).
2. Gaertner, M., Holmes, P.M., & Richardson, D.M. (2016). Managing invasive species in cities: A framework from Cape Town. *Landscape and Urban Planning*, 151, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.03.010>
3. Golovanov, Ya.M., & Abramova, L.M. (2022). Nakhodki invazionnykh vidov rasteniy na yugo-vostoke Orenburgskoy oblasti. Soobshchenie 3. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, (1), 1-10. (in Russ.). <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2022.41.1>
4. Ishbirdina, L.M., & Ishbirdin, A.R. (1991). Sinantropnye drevesnye soobshchestva g. Ufy. (in Russ.). *Botanicheskij zhurnal*, 76(4), 548-555.
5. Khorun, L.V., & Martynyuk, Yu.M. (2016). Proektirovanie regional'noy monitoringovoy seti dlya kontrolya za vnedreniem i rasseleniem invazionnykh vidov rasteniy. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*, (1). Retrieved from <https://clck.ru/3UDfYv> (accessed 30.03.2026). (in Russ.)
6. *Krasnaya kniga Respubliki Bashkortostan*. (2021). Vol. 1: Plants and Fungi. Ed. by V.B. Martynenko. 3rd ed. Moscow: Studiya onlayn. 392 p. (in Russ.)
7. Mayorov, S.R., Vinogradova, Yu.K., & Kuklina, A.G. (2023). Invazionnye rasteniya v gorodskikh ekosistemakh: sovremennoe sostoyanie i perspektivy izucheniya. *Botanicheskij zhurnal*, 108(5), 412-428. (in Russ.)
8. *Metodika rascheta platy za vyrubku zelenykh nasazhdeniy i ischisleniya razmera vreda, prichinnogo ikh unichtozheniem, povrezhdeniem, na territorii munitsipal'nykh obrazovaniy Moskovskoy oblasti* [Methodology for Calculating the Fee for Cutting Down Green Spaces and Determining the Amount of Damage Caused by Their Destruction or Damage in the Municipalities of Moscow Region]. Approved by Protocol No. 53 of the Commission for Administrative Reform in Moscow Region on 29.01.2018. (in Russ.)
9. Mirkin, B.M., & Naumova, L.G. (2012). *Nauka o rastitel'nosti* [The Science of Vegetation]. Ufa: Gilem. 488 p. (in Russ.)

10. Nikolaeva, A., Golosova, E., & Shelepova, O. (2020). Methods of combating *A. negundo* L. in specially protected natural areas. *BIO Web of Conferences*, 24, 00063. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202400063>
11. Richardson, D.M., & Rejmánek, M. (2011). Trees and shrubs as invasive alien species – a global review. *Diversity and Distributions*. Vol. 17. P. 788-809.
12. Senator, S.A., Kuznetsov, V.A., Zaika, M.A., et al. (2023). Invasive Plants of Russia: Inventory Results, Distribution Patterns and Management Priorities. *Biology*, 12(3), 387. <https://doi.org/10.3390/biology12030387>
13. Veselkin, D.V., Kiseleva, O.A., Ekshibarov, E.D., Dubrovin, D.I., & Korzhinevskaya, A.A. (2018). Bogatstvo i chislennost' prorstkov iz pochvennogo banka semyan v kurtinakh invazionnogo vida *A. negundo* L. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy*, 11(1), 18-25. (in Russ.)
14. Veselkin, D.V., Kiseleva, O.A., Ekshibarov, E.D., Dubrovnyi, D.I., & Korzhinevskaya, A.A. (2021). High canopy cover of invasive *A. negundo* L. affects ground vegetation diversity in urban forests. *Scientific Reports*, 11, 21785. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01363-5>
15. Vinogradova, Yu.K., Mayorov, S.R., & Kostina, M.V. (2022). *Klen yasenelistnyy (A. negundo L.): morfologiya, biologiya i otsenka invazivnosti*. Moscow: KMK Scientific Press. 218 p. (in Russ.)
16. Vinogradova, Yu.K., Mayorov, S.R., & Khorun, L.V. (2010). *Chernaya kniga flory Sredney Rossii*. Moscow: GEOS. 512 p. (in Russ.)

### Литература

1. Решение Совета городского округа г. Уфа Республики Башкортостан от 26.02.2010 № 23/19 «О Правилах охраны, защиты и воспроизводства лесов и содержания зеленых насаждений в городском округе город Уфа Республики Башкортостан и Положении о порядке оценки и возмещения ущерба, нанесенного лесам и зеленому фонду на территории городского округа город Уфа Республики Башкортостан» (с изм. на 01.10.2025).
2. Gaertner M., Holmes P.M., Richardson D.M. Managing invasive species in cities: A framework from Cape Town // *Landscape and Urban Planning*. 2016. Vol. 151. P. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.03.010>
3. Голованов Я.М., Абрамова Л.М. Находки инвазионных видов растений на юго-востоке Оренбургской области. Сообщение 3 // *Вестник Оренбургского государственного педагогического университета*. 2022. № 1 (41). С. 1-10. <https://doi.org/10.32516/2303-9922.2022.41.1>
4. Ишбирдина Л.М., Ишбирдин А.Р. Синантропные древесные сообщества г. Уфы // *Ботанический журнал*. 1991. Т. 76, № 4. С. 548-555.
5. Хорун Л.В., Мартынюк Ю.М. Проектирование региональной мониторинговой сети для контроля за внедрением и расселением инвазионных видов растений // *Известия*

Тулского государственного университета. Естественные науки. 2016. № 1. URL: <https://clck.ru/3UDfYv> (дата обращения: 30.03.2026).

6. Красная книга Республики Башкортостан: в 2 т. Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Студия онлайн, 2021. 392 с.

7. Майоров С.Р., Виноградова Ю.К., Куклина А.Г. Инвазионные растения в городских экосистемах: современное состояние и перспективы изучения // Ботанический журнал. 2023. Т. 108, № 5. С. 412-428.

8. Методика расчета платы за вырубку зеленых насаждений и исчисления размера вреда, причиненного их уничтожением, повреждением, на территории муниципальных образований Московской области. – Утв. протоколом Комиссии по проведению административной реформы в Московской области № 53 от 29.01.2018.

9. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Наука о растительности. Уфа: Гилем, 2012. 488 с.

10. Nikolaeva A., Golosova E., Shelepova O. Methods of combating *A. negundo* L. in specially protected natural areas // BIO Web of Conferences. 2020. Vol. 24. P. 00063. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20202400063>

11. Richardson D.M., Rejmánek M. Trees and shrubs as invasive alien species – a global review // Diversity and Distributions. 2011. Vol. 17. P. 788-809.

12. Senator S.A., Kuznetsov V.A., Zaika M.A., et al. Invasive Plants of Russia: Inventory Results, Distribution Patterns and Management Priorities // Biology. 2023. Vol. 12, № 3. P. 387. <https://doi.org/10.3390/biology12030387>

13. Весёлкин Д.В., Киселева О.А., Екшибаров Е.Д., Дубровин Д.И., Коржиневская А.А. Богатство и численность проростков из почвенного банка семян в куртинах инвазивного вида *A. negundo* L. // Российский журнал биологических инвазий. 2018. Т. 11, № 1. С. 18-25.

14. Veselkin D.V., Kiseleva O.A., Ekshibarov E.D., Dubrovin D.I., Korzhinevskaya A.A. High canopy cover of invasive *A. negundo* L. affects ground vegetation diversity in urban forests // Scientific Reports. 2021. Vol. 11. Art. 21785. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01363-5>

15. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Костина М.В. Клен ясенелистный (*A. negundo* L.): морфология, биология и оценка инвазивности. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2022. 218 с.

16. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Чёрная книга флоры Средней России. М.: ГЕОС, 2010. 512 с.

дата поступления: 31.03.2026

дата принятия: 02.06.2026

© Kulagina L.S., Storchak T.V., Kulagin A.A., 2026

Малева М.Г., Игнатова А.С., Соколов Н.А., Борисова Г.Г.

## МИКРОЗЕЛЕНЬ *VIGNA RADIATA* С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ЙОДА: ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PGP-РИЗОБАКТЕРИЙ И ВНЕКОРНЕВОГО ЙОДИРОВАНИЯ

M.G. Maleva, A.S. Ignatova, N.A. Sokolov, G.G. Borisova

### IODINE-ENRICHED *VIGNA RADIATA* MICROGREENS: AN ENVIRONMENTALLY ORIENTED APPROACH USING PGP-RHIZOBACTERIA AND FOLIAR IODIZATION

**Аннотация.** Дефицит эссенциальных микроэлементов, в частности йода, представляет серьезную угрозу для здоровья населения. В связи с этим поиск эффективных методов биофортификации растительного сырья, включая использование стимулирующих рост растений (PGP) ризобактерий, является актуальной задачей. Цель исследования – сравнить PGP-активность трех штаммов *Pseudomonas* sp. (CTF2, CTF7, STF13), а также их влияние на параметры роста, содержание фотосинтетических пигментов и накопление йода в микрозелени *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek (маш) в сочетании с внекорневой обработкой растворами йодида и йодата калия. Штаммы были выделены из ризосферы *Tussilago farfara* на техногенно нарушенных территориях. Вегетационный эксперимент проводили в гидропонной системе с инокуляцией семян и последующей обработкой растений йодом. Обнаружено, что самой высокой способностью к синтезу индолил-3-уксусной кислоты и активностью 1-аминоциклопропан-1-карбонат-деаминазы обладал штамм STF13. Инокуляция семян этим штаммом приводила к наибольшему увеличению сырой и сухой биомассы 14-суточных проростков, а также индекса их силы роста. Все изученные штаммы повышали содержание хлорофиллов и каротиноидов в среднем на 19% по сравнению с контролем. Внекорневая обработка йодом значительно увеличивала содержание фотосинтетических пигментов (в среднем на 23%) и способствовала накоплению йода в микрозелени: при использовании KI содержание элемента возрастало в 14,3 раза, KIO<sub>3</sub> – в 8,8 раз. Таким образом, сочетание инокуляции семян *V. radiata* перспективными штаммами *Pseudomonas* sp. (особенно STF13 и CTF2) с внекорневой подкормкой йодом повышает биологическую

**Abstract.** The deficiency of essential micronutrients, particularly iodine, poses a serious threat to public health. In this regard, the search for effective methods of biofortification of plant materials, including the use of plant growth-promoting (PGP) rhizobacteria, is a relevant task. The aim of this study was to evaluate the PGP-activity of three *Pseudomonas* sp. strains (CTF2, CTF7, STF13), as well as their effect on growth parameters, photosynthetic pigment content, and iodine accumulation in *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek (mung bean) microgreens in combination with foliar treatment with potassium iodide and potassium iodate solutions. The strains were isolated from the rhizosphere of *Tussilago farfara* growing in technogenically disturbed areas. A vegetation experiment was conducted using a hydroponic system with seed inoculation followed by iodine treatment of the plants. It was found that strain STF13 exhibited the highest ability to synthesize indole-3-acetic acid and the highest 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase activity. Inoculation of seeds with this strain led to the greatest increases in fresh and dry biomass of 14-day-old seedlings, as well as in their growth vigor index. All studied strains increased the content of chlorophylls and carotenoids by an average of 19% compared to the control. Foliar treatment with iodine significantly increased the content of photosynthetic pigments (by 23% on average) and promoted the accumulation of iodine in microgreens: when using KI, the content of the element increased by 14.3 times, KIO<sub>3</sub> – by 8.8 times. Thus, the combination of inoculating *V. radiata* seeds with promising *Pseudomonas* sp. strains (especially STF13 and CTF2) together with foliar iodine application increases the

ценность микрозелени, что подтверждает эффективность данного подхода.

**Ключевые слова:** маш, биофортификация, ростстимулирующие ризобактерии, ростовые параметры, фотосинтетические пигменты, йодид и йодат калия, накопление йода.

**Сведения об авторах:** *Малева Мария Георгиевна*, ORCID: 0000-0003-1686-6071, канд. биол. наук, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, maria.maleva@mail.ru; *Игнатова Алена Сергеевна*, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, ignatovaa1452@gmail.com; *Соколов Никита Александрович*, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, levi2005@yandex.ru; *Борисова Галина Григорьевна*, ORCID: 0000-0001-6663-9948, д-р. географ. наук, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, G.G.Borisova@urfu.ru.

biological value of microgreens, confirming the effectiveness of this approach.

**Keywords:** mung bean, biofortification, plant growth-promoting rhizobacteria, growth parameters, photosynthetic pigments, potassium iodide and potassium iodate, iodine accumulation

**About the authors:** *Maria G. Maleva*, ORCID: 0000-0003-1686-607, Candidate of Biological Sciences, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia, maria.maleva@mail.ru; *Alena S. Ignatova*, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia, ignatovaa1452@gmail.com; *Nikita A. Sokolov*, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia, levi2005@yandex.ru; *Galina G. Borisova*, ORCID: 0000-0001-6663-9948, Doctor of Geographical Sciences, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia, G.G.Borisova@urfu.ru.

Малева М.Г., Игнатова А.С., Соколов Н.А., Борисова Г.Г. Микрозелень *Vigna radiata* с повышенным содержанием йода: экологически ориентированный подход с использованием PGP-ризобактерий и внекорневого йодирования // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 71-83. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/07>

Maleva, M.G., Ignatova, A.S., Sokolov, N.A., & Borisova, G.G. (2026). Iodine-Enriched *Vigna Radiata* Microgreens: an Environmentally Oriented Approach Using PGP-Rhizobacteria and Foliar Iodization. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 71-83. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/07>

## Введение

Проблема дефицита эссенциальных элементов и биологически активных веществ в рационе питания населения является актуальной как для России, так и для зарубежных стран [1; 2; 4; 5; 9]. В настоящее время йод (I) относится к наиболее важным микроэлементам, необходимым для правильного функционирования органов человека и животных [7; 12; 18]. Основная роль йода заключается в участии в биосинтезе гормонов щитовидной железы – тироксина и трийодтиронина, которые регулируют многочисленные физиологические и биохимические процессы [2; 7; 13]. Поэтому его дефицит в продуктах питания представляет серьезную угрозу для здоровья населения во всем мире [9; 14].

Одним из наиболее перспективных подходов к обеспечению сбалансированного и экологически безопасного питания населения является биофортификация, или обогащение растительного сырья и продуктов растениеводства, включая микрозелень [4; 10; 11; 13]. Эксперименты по обогащению различных видов культурных растений микроэлементами путем внесения их в почву или внекорневого опрыскивания проводились многими

авторами [2; 5; 11-14; 18-21]. Результаты этих исследований свидетельствуют о значительном потенциале отдельных видов микрорзелени в борьбе со скрытым голодом в качестве эффективного и экологически безопасного пищевого ресурса.

В последние годы значительный интерес вызывает биообогащение культурных растений и микрорзелени макро- и микроэлементами с использованием PGPR (от англ. “Plant Growth Promoting Rhizobacteria” – ризобактерии, стимулирующие рост растений) [1; 18]. Применение PGPR для биофортификации почв и растений является перспективным благодаря таким свойствам бактерий, как производство фитогормонов и сидерофоров, азотфиксация, солюбилизация соединений фосфора, калия, цинка и других элементов, которые в нерастворимой форме недоступны растениям [1; 8]. Кроме того, многие авторы отмечают, что инокуляция PGPR стимулирует в растениях синтез низкомолекулярных антиоксидантов и витаминов [1; 8; 18]. Тем не менее, биофортификация с использованием PGPR до сих пор не получила широкого применения.

В настоящее время во многих странах мира все более популярным становится выращивание *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek (маш) для пищевых целей. Микрорзелень *V. radiata* привлекает потребителя легкостью получения, вкусовыми достоинствами, широким спектром применения, физиологическим влиянием на организм [6; 11]. Несмотря на растущий интерес к этой культуре, вопросы сочетанного применения PGPR и йодирования остаются вне поля зрения исследователей. Восполняя этот пробел, настоящая работа впервые оценивает возможность улучшения роста и биообогащения микрорзелени *V. radiata* с использованием PGPR в сочетании с внекорневой подкормкой раствором йода.

Таким образом, цель исследования – оценить PGP-свойства трех штаммов ризобактерий (*Pseudomonas* sp.), а также их влияние на параметры роста, содержание фотосинтетических пигментов и накопление йода в микрорзелени *V. radiata* после внекорневой обработки растворами йодида и йодата калия.

### Материалы и методы

Три штамма *Pseudomonas* sp. (CTF2, CTF7 и STF13), отобранные для эксперимента, были выделены в 2023 г. из ризосферы *Tussilago farfara* L. (мать-и-мачеха обыкновенная) сем. Asteraceae, произрастающей на двух техногенно нарушенных участках: CTF2 и CTF7 – вблизи Карабашского медеплавильного предприятия (Челябинская область); STF13 – вблизи рудника «Сафьяновская медь» (Свердловская область). Молекулярно-генетическая идентификация полученных штаммов была проведена с использованием секвенирования генома 16S рНК [18; 19]. Поиск последовательностей гена у отобранных штаммов проводили в базе данных National Center for Biotechnology Information (NCBI), биоинформационный анализ проводили с помощью пакета программ MEGA11.

Отобранные штаммы были протестированы на способность к синтезу индолил-3-уксусной кислоты (ИУК), продукции сидерофоров и аммиака, а также на активность фермента 1-аминоциклопропан-1-карбонат (АЦК)-дезаминазы и устойчивость к разным концентрациям (от 0 до 0,1%) йодида (KI) и йодата калия (KIO<sub>3</sub>), как было описано ранее

[16; 18]. Способность к образованию ИУК оценивали спектрофотометрически при длине волны 530 нм после реакции изолятов с реагентом Сальковского [18]. Способность к продукции сидерофоров оценивали с использованием хромазуrol-S (Fe-CAS) агара, а аммиака – по изменению окраски после инкубации культур с реактивом Несслера [16]. Активность АЦК-дезаминазы определяли спектрофотометрически при длине волны 540 нм после их выращивания в тритиказно-соевом бульоне до достижения стационарной фазы [16]. Для оценки устойчивости изолятов к йоду их подвергали действию возрастающих концентраций (0; 0,001%; 0,01%; и 0,1%) йодида (KI) и йодата (KIO<sub>3</sub>) калия на чашках Петри с Луриа–Бертани (LB) агаром [18]. Измерения проводили в трех независимых повторностях.

Вегетационный эксперимент включал контрольный вариант (неинокулированные растения, НР) и три опытных, с инокуляцией семян *V. radiata* штаммами STF2, STF7 и STF13. Влияние селективных штаммов на прорастание семян оценивали на чашках Петри. Зрелые семена, сходные по размеру и форме, стерилизовали 70%-м этанолом в течение 30 с, затем 2 мин – 4%-м гипохлоритом натрия и несколько раз промывали стерильной дистиллированной водой. Семена оставляли в воде на ночь до набухания, и часть из них инокулировали в течение 2 часов отдельными штаммами (10<sup>8</sup> КОЕ/мл), предварительно выращенными на среде LB. В контрольном варианте использовали только стерильную среду LB. В каждую чашку Петри помещали по 30 семян (по 10 чашек на вариант) и ежедневно фиксировали прорастание семян до полных всходов (5 суток). После этого здоровые проростки переносили в пластиковые проращиватели («Домашний АэроСАД», ООО «СмартГидроКомпания», Россия) с гидропонным питательным раствором [18]. Каждая повторность составляла 3 независимых проращивателя, включающих по 60 проростков. Микрозелень выращивали при следующих условиях: плотность фотосинтетического потока фотонов 180 ± 20 мкмоль/(м<sup>2</sup> с), обеспечиваемая фитолампами (ULI-P10-18W/SPFR IP40); день/ночь режим 14/10 ч при температуре 23 ± 3 °С. На 7-е сутки от замачивания семян проростки опрыскивали 0,01% раствором KI (I<sub>1</sub>) или KIO<sub>3</sub> (I<sub>2</sub>) или просто стерильной водой без йода (0). Общее время экспозиции – 14 суток.

Всхожесть семян (%) определяли как отношение количества семян, проросших за 5 суток, к их общему количеству × 100. Средневзвешенное время прорастания семян (сутки) рассчитывали как отношение суммы произведений количества семян, проросших на день учета, на номер дня, к общему количеству проросших семян [15]. Сырую и сухую биомассу, индекс силы роста, а также содержание фотосинтетических пигментов оценивали у 14-суточных растений *V. radiata*. Индекс силы роста (vigor index II [15]) рассчитывали как произведение процента всхожести (%) на среднюю сухую биомассу одного проростка (г).

Фотосинтетические пигменты экстрагировали из свежих листьев (30 мг) в 80% растворе ацетона. Содержание хлорофиллов *a*, *b* (Хл *a*, Хл *b*) и каротиноидов определяли спектрофотометрически («APEL» PD-303UV, Япония) при 470, 647 и 663 нм и

рассчитывали согласно Lichtenthaler [17]. Содержание йода в сухой надземной биомассе семян определяли по ГОСТ 28458-90 [3] и выражали в мкг/г сухого веса.

Полученные данные были проанализированы с использованием MS-Excel 16.0 и Statistica 13.0. В таблицах и на рисунках представлены средние арифметических значения и их стандартные ошибки. Для определения отдельного и совместного влияния двух факторов (инокуляции бактериальными штаммами и опрыскивания йодом) был проведен однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ ANOVA. Значимость различий между вариантами оценивали с помощью критерия Тьюки при  $p < 0,05$ . Разными латинскими буквами обозначены достоверные различия между вариантами.

### Результаты и их обсуждение

Все изученные штаммы *Pseudomonas* sp. были способны продуцировать ИУК, однако наиболее высокий уровень синтеза отмечен у STF13 (табл. 1). Наиболее высокая активность АЦК-дезаминазы наблюдалась у штаммов STF13 и CTF2, в то время как у штамма CTF7 она была в 7 раз ниже. Все изоляты проявляли способность к продукции сидерофоров, тогда как способность к образованию аммиака была отмечена только у STF13. Тестирование штаммов на устойчивость к соединениям йода показало высокий уровень их йодотолерантности (табл. 1).

Таблица 1

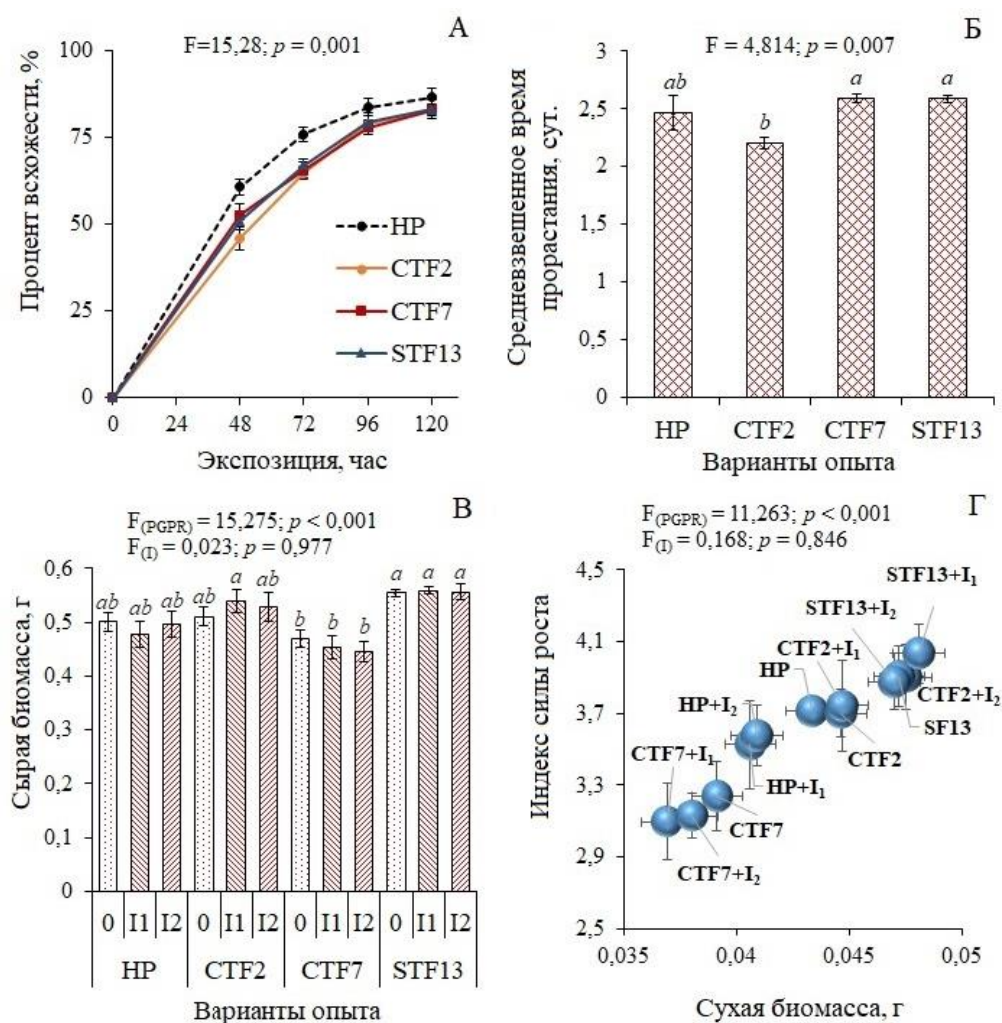
#### Результаты тестирования отобранных штаммов рода *Pseudomonas* sp. на некоторые PGP-свойства и устойчивость к соединениям йода

Штамм	Синтез ИУК, мг/л	Активность АЦК-дезаминазы, нМ/мг белка час	Продукция сидерофоров	Продукция NH <sub>3</sub>	Устойчивость к KI и KIO <sub>3</sub>
CTF2	12,98 ± 0,07 <sup>ab</sup>	88,42 ± 3,47 <sup>a</sup>	+	–	высокая
CTF7	12,20 ± 0,51 <sup>b</sup>	12,62 ± 0,88 <sup>b</sup>	+	–	высокая
STF13	14,25 ± 0,25 <sup>a</sup>	89,81 ± 3,33 <sup>a</sup>	+	+	высокая

Всхожесть семян является одной из важнейших характеристик культурных растений [18]. Через 5 суток экспозиции всхожесть семян *V. radiata* в контрольном варианте составляла 87%. Инокуляция семян всеми отобранными штаммами PGPR снижала всхожесть семян в среднем на 4%, по сравнению с контролем (рис. 1А). Средневзвешенное время прорастания у неинокулированных семян и инокулированных штаммами CTF7 и STF13 практически не отличалось и в среднем составляло 2,5 суток (рис. 1Б). Быстрее всего прорастали семена при заражении штаммом CTF2 (2,2 суток).

Сырая биомасса двухнедельных семян *V. radiata*, инокулированных разными штаммами *Pseudomonas* sp. (CTF2, CTF7, STF13) изменялась незначительно и не зависела от обработки йодом (рис. 1В). Наибольшая ее величина была отмечена при использовании штамма STF13 (в среднем на 13% выше НР и на 22% выше, чем при инокуляции CTF7). Результаты двухфакторного ANOVA подтвердили высокую значимость бактериальной инокуляции на накопление сырой биомассы ( $p < 0,001$ ), тогда как обработка обеими формами йода не приводила к достоверным изменениям (рис. 1В). Индекс силы роста, как

и сухая биомасса растений, были также максимальны у сеянцев, инокулированных штаммом STF13, а минимальны – при инокуляции STF7 (рис. 1Г). Исследования, проведенные нами ранее [1], также показали, что инокуляция семян пшеницы увеличивала биомассу сеянцев на 14% по сравнению с контролем. Согласно результатам ANOVA, фактор бактериальной инокуляции оказывал достоверное влияние на накопление сухой биомассы и, соответственно, на величину индекса силы роста, в то же время влияние опрыскивания йодом было статистически незначимым (рис. 1Г).



**Рис. 1. Процент всхожести (А), средневзвешенное время прорастания (Б) семян; сырая биомасса (В), индекс силы роста и сухая биомасса (Г) 14-суточных растений *V. radiata***

Известно, что хлорофиллы и каротиноиды являются активными иммуномодуляторами в организме человека [4]. Кроме того, каротиноиды являются предшественниками витамина А и обладают антиоксидантными свойствами [18]. Инокуляция семян разными штаммами PGPR без внекорневой подкормки йодом приводила к увеличению содержания Хл а, Хл b и каротиноидов в среднем на 16, 21 и 19%, соответственно (рис. 2А, Б). Аналогичные результаты были получены нами ранее в

горшечном эксперименте на трехнедельной микрозелени гороха [19], где инокуляция штаммом STF2 приводила к существенному (в среднем на 24%) увеличению содержания фотосинтетических пигментов. Также было отмечено [19], что опрыскивание 0,01%-раствором йодида калия совместно с бактериальной инокуляцией вызывала значимый синергический эффект в отношении как хлорофиллов, так и каротиноидов.

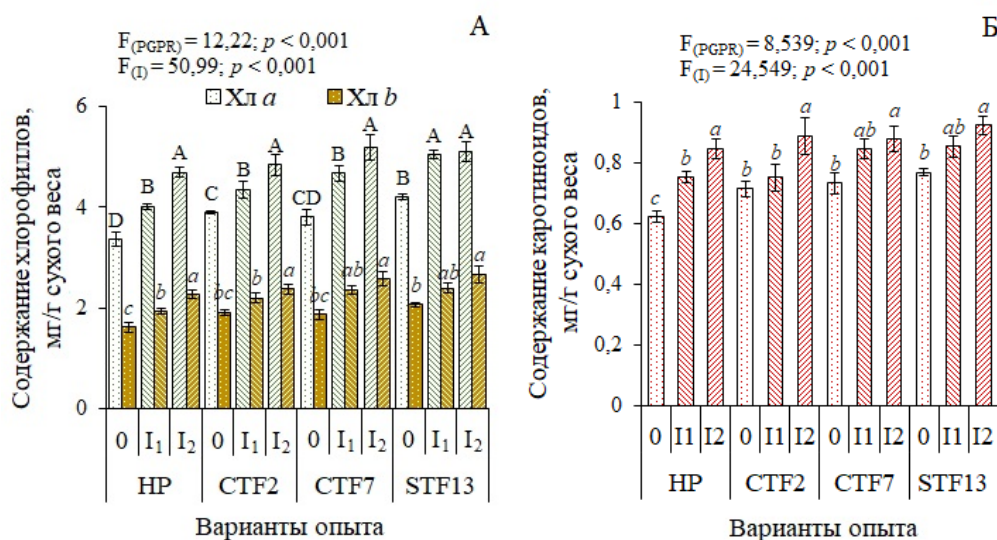


Рис. 2. Содержание хлорофиллов (А) и каротиноидов (Б) в листьях 14-суточных растений *V. radiata*

В нашем эксперименте на *V. radiata* обработка йодом (независимо от инокуляции) также приводила к увеличению содержания как Хл а, так и Хл b (в среднем на 25%), при этом КЮ3 проявлял более высокую эффективность по сравнению с КИ. Анализ изменения содержания каротиноидов выявил сходные тенденции: опрыскивание йодом стимулировало их накопление, увеличивая содержание в среднем на 19%. Как и в случае с хлорофиллами, наибольший эффект оказывал йодат калия (рис. 2Б). Эти результаты согласуются с имеющимися данными [14], свидетельствующими о том, что обработка йодом может стимулировать накопление фотосинтетических пигментов за счет активации антиоксидантных ферментов, защищающих их от окислительного стресса. Известно также [20], что йод способен модулировать экспрессию генов, ответственных за синтез пигментов, чем, по-видимому, объясняются полученные результаты. Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил достоверное влияние на содержание фотосинтетических пигментов в листьях двухнедельной микрозелени *V. radiata* как инокуляции семян штаммами *Pseudomonas* sp., так и внекорневой обработки йодом (рис. 2А, Б).

В вариантах без опрыскивания йодом его содержание в надземной биомассе *V. radiata* было низким (в среднем 1,4 мкг/г сухого веса), при этом статистически значимых различий между НР и инокулированными PGPR не зафиксировано (табл. 2). Обработка побегов КИ

существенно (в среднем в 14 раз) повышала содержание йода в микрозелени *V. radiata*, независимо от инокуляции. В работе Ciriello et al. [9] показано, что при использовании 8 мкМ KI содержание йода в микрозелени *Brassica rapa* L. увеличивалось в 2 раза, а у *Coriandrum sativum* L. и *Ocimum basilicum* L. – в 7 раз.

Таблица 2

#### Накопление йода в надземной биомассе 14-суточных растений *V. radiata*

Варианты опыта	Обработка йодом	Содержание йода, мкг/г сухого веса
Контроль (НР)	0	1,39 ± 0,16 <sup>c</sup>
	I <sub>1</sub>	18,39 ± 2,19 <sup>a</sup>
	I <sub>2</sub>	11,59 ± 1,24 <sup>b</sup>
<i>Pseudomonas</i> sp. STF2	0	1,42 ± 0,05 <sup>c</sup>
	I <sub>1</sub>	20,56 ± 1,21 <sup>a</sup>
	I <sub>2</sub>	13,68 ± 1,17 <sup>b</sup>
<i>Pseudomonas</i> sp. STF7	0	1,29 ± 0,05 <sup>c</sup>
	I <sub>1</sub>	19,87 ± 2,12 <sup>a</sup>
	I <sub>2</sub>	12,54 ± 1,45 <sup>b</sup>
<i>Pseudomonas</i> sp. STF13	0	1,38 ± 0,08 <sup>c</sup>
	I <sub>1</sub>	19,78 ± 1,65 <sup>a</sup>
	I <sub>2</sub>	10,67 ± 1,56 <sup>b</sup>

При опрыскивании KIO<sub>3</sub> содержание йода в побегах *V. radiata* также увеличивалось, однако значения оказались в среднем в 1,6 раза ниже, чем при использовании KI. В целом инокуляция семян PGPR не оказывала статистически значимого влияния на накопление йода в побегах *V. radiata*.

Повышенное накопление йода при обработке KI может быть обусловлено тем, что йодид-ион легче поглощается растительными клетками благодаря более высокой подвижности в растворе и способности проникать через мембраны [12]. Ранее также было отмечено [22], что содержание йода в листьях салата-латука, выращенного в гидропонной системе с использованием KI, было значительно выше по сравнению с KIO<sub>3</sub>.

#### Заключение

Установлено, что штамм *Pseudomonas* sp. STF13, обладавший наивысшей ИУК-синтезирующей и АЦК-дезаминазной активностью, при инокуляции семян вызывал максимальное увеличение сырой и сухой биомассы 14-суточных проростков, а также индекса энергии. Тем не менее, все используемые штаммы повышали содержание хлорофиллов и каротиноидов (в среднем на 19%) по сравнению с неинокулированными растениями. Обработка листьев *V. radiata* йодом не оказывала существенного влияния на массу сеянцев, однако значимо увеличивала содержание фотосинтетических пигментов (в среднем на 23%). При опрыскивании растений растворами KI или KIO<sub>3</sub> содержание йода в микрозелени повышалось в 14,3 и 8,8 раз, соответственно, по сравнению с необработанным вариантом. Однако необходимы дальнейшие исследования, особенно в горшечных экспериментах, для подтверждения положительных эффектов, наблюдаемых при сочетании изученных штаммов с внекорневой подкормкой йодом.

Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания FEUZ-2024–0011.

### Литература

1. Борисова Г.Г., Малева М.Г., Дарказанли М., Собенин А.В., Карпухин М.Ю. Влияние Zn-солубилизирующих PGP-ризобактерий на рост и содержание биогенных элементов в сеянцах пшеницы озимой в условиях микрокосма // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24(12). С. 1636-1647. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1636-1647>
2. Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Надежкин С.М. Перспективы обогащения сельскохозяйственных растений йодом и селеном (обзор) // Микроэлементы в медицине. 2015. Т. 16(3). С. 12-19.
3. ГОСТ 28458-90. Растительные корма. Способ определения йода. Москва: Стандартинформ, 2006.
4. Елисеева Л.Г., Белкин Ю.Д., Сими́на Д.В., Осман А., Молодкина П.Г., Сантурян Т.А. Новые направления разработки обогащенных пищевых продуктов для здорового питания // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. Т. 4(118). С. 50-55. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.009>
5. Елисеева Л.Г., Сими́на Д.В., Сидоренко Ю.И., Токарев П.И., Сантурян Т.А. Разработка подходов биофортификации микрозелени при выращивании в фитотроне городского типа // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2024. Т. 86(4). С. 84-92. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-4-84-92>
6. Курьянович А.А., Кинчарова М.Н., Титова И.А. Выращивание проростков маша (*Vigna radiata* L.(R) Wilczek) для пищевых целей // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4(56). С. 25-30. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-25-30>
7. Платонова Н.М. Йодный дефицит: современное состояние проблемы // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2015. Т. 11(1). С. 12-21. <https://doi.org/10.14341/ket2015112-21>
8. Тимофеева А.М., Галямова М.Р., Седых С.Е. Биологическая активность почвенных бактерий, стимулирующих рост растений: фиксация азота, солубилизация фосфата, синтез сидерофоров. Перспективы разработки микробных консорциумов // Агрохимия. 2024. № 5. С. 85-95. <https://doi.org/10.31857/S0002188124050111>
9. Ciriello M., Formisano L., El-Nakhel C., Zarrelli A., Giordano M., De Pascale S., Kyriacou M., Roupheal Y. Iodine biofortification of four microgreens species and its implications for mineral composition and potential contribution to the recommended dietary intake of iodine // Scientia Horticulturae. 2023. Vol. 320. P. 112229. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112229>
10. Consentino B.B., Ciriello M., Sabatino L., Vultaggio L., Baldassano S., Vasto S., Roupheal Y., La Bella S., De Pascale S. Current acquaintance on agronomic biofortification to modulate the yield and functional value of vegetable crops: A review // Horticulturae. 2023. Vol. 9. P. 219. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020219>

11. Dhaliwal S.S., Sharma V., Shukla A., Kaur M., Kaur J., Verma V., Singh P., Barek V., Gaber A., Hossain A. Biofortification of mungbean (*Vigna radiata* L. (Wilczek)) with boron, zinc and iron alters its grain yield and nutrition // *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. P. 3506. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30539-6>
12. Dobosy P., Nguyen H.T.P., Záray G., Strelci C., Ingerle D., Ziegler P., Radtke M., Buzanich A.G., Endrédi A., Fodor F. Effect of iodine species on biofortification of iodine in cabbage plants cultivated in hydroponic cultures // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14(1). P. 15794. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66575-z>
13. Golubkina N., Moldovan A., Kekina H., Kharchenko V., Sekara A., Vasileva V., Skrypnik L., Tallarita A., Caruso G. Joint biofortification of plants with selenium and iodine. New field of discoveries // *Plants*. 2021. Vol. 10. P. 1352. <https://doi.org/10.3390/plants10071352>
14. Kiferle C., Martinelli M., Salzano A.M., Gonzali S., Beltrami S., Salvadori P.A., Hora K., Holwerda H.T., Scalonì A., Perata P. Evidences for a nutritional role of iodine in plants // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. P. 671–683. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.616868>
15. Khan S., Ullah A., Ullah S., Saleem M.H., Okla M.K., Al-Hashimi A., Chen Y., Ali S. Quantifying temperature and osmotic stress impact on seed germination rate and seedling growth of *Eruca sativa* Mill. via hydrothermal time model // *Life*. 2022. Vol. 12. P. 400. <https://doi.org/10.3390/life12030400>
16. Kumar A., Tripti, Voropaeva O., Maleva M., Panikovskaya K., Borisova G., Rajkumar M., Bruno L.B. Bioaugmentation with copper tolerant endophyte *Pseudomonas lurida* strain EOO26 for improved plant growth and copper phytoremediation by *Helianthus annuus* // *Chemosphere*. 2021. Vol. 266. P. 128983. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128983>
17. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes // *Methods in Enzymology*. 1987. Vol. 148. P. 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
18. Maleva M., Borisova G., Tripti, Tugbaeva A., Ahamuefule C., Salata A., Kumar A. Biofortification of pea microgreens through zinc-solubilizing bacteria inoculation with foliar iodine application // *Agriculture and Forest*. 2024. Vol. 70(2). P. 123-134. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.70.2.9>
19. Maleva M., Borisova G., Tugbaeva A., Ilyin V., Kumar A. Synergy of new zinc solubilizing PGPR strain *Pseudomonas* sp. CTF2 with foliar iodine application enhances growth and biofortification of pea seedlings // *Microbiology*. 2024. Vol. 93(1). P. S82-S86. <https://doi.org/10.1134/S0026261724609333>
20. Medrano-Macías J., Leija-Martínez P., González-Morales S., Juárez-Maldonado A., Benavides-Mendoza A. Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. P. 1146. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01146>
21. Şahin Ö. Combined iodine, iron and zinc biofortification of tomato fruit // *Journal of the Institute of Science and Technology*. 2020. Vol. 10(3). P. 2242-2251. <https://doi.org/10.21597/jist.691758>

22. Voogt W., Holwerda H.T., Khodabaks R. Biofortification of lettuce (*Lactuca sativa* L.) with iodine: the effect of iodine form and concentration in the nutrient solution on growth, development and iodine uptake of lettuce grown in water culture // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2010. Vol. 90(5). P. 906-913. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3902>

### References

1. Borisova, G.G., Maleva, M.G., Darkazanli, M., Sobenin, A.V., & Karpuxin, M.Yu. (2004). Vliyanie Zn-solyubiliziruyushhix PGP-rizobakterij na rost i sodержanie biogenny`x e`lementov v seyanczax pshenicy ozimoy v usloviyax mikrokozma. *Agrarny`j vestnik Urala*, 24(12), 1636-1647. (in Russ.). <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-12-1636-1647>

2. Golubkina, N.A., Kekina, E.G., & Nadezhkin, S.M. (2015). Perspektivy` obogashheniya sel`skoxozyajstvenny`x rastenij jodom i selenom (obzor). *Mikroe`lementy` v medicine*, 16(3), 12-19. (in Russ.).

3. GOST 28458-90. Rastitel`ny`e korma, Sposob opredeleniya joda. Moskva: Standartinform, 2006. (in Russ.).

4. Eliseeva, L.G., Belkin, Yu.D., Simina, D.V., Osman, A., Molodkina, P.G., & Santuryan, T.A. (2022). Novy`e napravleniya razrabotki obogashhenny`x pishhevy`x produktov dlya zdorovogo pitaniya. *Mezhdunarodny`j nauchno-issledovatel`skij zhurnal*, 4(118), 50-55. (in Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.118.4.009>

5. Eliseeva, L.G., Simina, D.V., Sidorenko, Yu.I., Tokarev, P.I., & Santuryan, T.A. (2024). Razrabotka podxodov biofortifikacii mikrozeleni pri vy`rashhivanii v fitotrone gorodskogo tipa. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenerny`x texnologij*, 86(4), 84-92. (in Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-4-84-92>

6. Kur`yanovich, A.A., Kincharova, M.N., & Titova, I.A. (2021). Vy`rashhivanie prorostkov masha (*Vigna radiata* L.(R) Wilczek) dlya pishhevy`x celej. *Vestnik Ul`yanovskoj gosudarstvennoj sel`skoxozyajstvennoj akademii*, 4(56), 25-30. (in Russ.). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-25-30>

7. Platonova, N.M. (2015). Jodny`j deficit: sovremennoe sostoyanie problemy` (2015). *Klinicheskaya i e`ksperimental`naya tireoidologiya*, 11(1), 12-21. (in Russ.). <https://doi.org/10.14341/ket2015112-21>

8. Timofeeva, A.M., Galyamova, M.R., & Sedy`x, S.E. (2024). Biologicheskaya aktivnost` pochvenny`x bakterij, stimuliruyushhix rost rastenij: fiksaciya azota, solyubilizaciya fosfata, sintez sideroforov. Perspektivy` razrabotki mikrobnny`x konsorciumov. *Agroximiya*, 5, 85-95. (in Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0002188124050111>

9. Ciriello, M., Formisano, L., El-Nakhel, C., Zarrelli, A., Giordano, M., De Pascale, S., Kyriacou, M., & Rouphael, Y. (2023). Iodine biofortification of four microgreens species and its implications for mineral composition and potential contribution to the recommended dietary intake of iodine. *Scientia Horticulturae*, 320, 112229. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112229>

10. Consentino, B.B., Ciriello, M., Sabatino, L., Vultaggio, L., Baldassano, S., Vasto, S., Roupheal, Y., La Bella, S., & De Pascale, S. (2023). Current acquaintance on agronomic biofortification to modulate the yield and functional value of vegetable crops: A review. *Horticulturae*, 9, 219. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020219>
11. Dhaliwal, S.S., Sharma, V., Shukla, A., Kaur, M., Kaur, J., Verma, V., Singh, P., Berek, V., Gaber, A., & Hossain, A. (2023). Biofortification of mungbean (*Vigna radiata* L. (Wilczek)) with boron, zinc and iron alters its grain yield and nutrition. *Scientific Reports*, 13, 3506. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30539-6>
12. Dobosy, P., Nguyen, H.T.P., Záray, G., Strelci, C., Ingerle, D., Ziegler, P., Radtke, M., Buzanich, A.G., Endrédi, A., & Fodor, F. (2024). Effect of iodine species on biofortification of iodine in cabbage plants cultivated in hydroponic cultures. *Scientific Reports*, 14(1), 15794. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66575-z>
13. Golubkina, N., Moldovan, A., Kekina, H., Kharchenko, V., Sekara, A., Vasileva, V., Skrypnik, L., Tallarita, A., & Caruso, G. (2021). Joint biofortification of plants with selenium and iodine. New field of discoveries. *Plants*, 10, 1352. <https://doi.org/10.3390/plants10071352>
14. Kiferle, C., Martinelli, M., Salzano, A.M., Gonzali, S., Beltrami, S., Salvadori, P.A., Hora, K., Holwerda, H.T., Scaloni, A., & Perata, P. (2021). Evidences for a nutritional role of iodine in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 671-683. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.616868>
15. Khan, S., Ullah, A., Ullah, S., Saleem, M.H., Okla, M.K., Al-Hashimi, A., Chen, Y., & Ali, S. (2022) Quantifying temperature and osmotic stress impact on seed germination rate and seedling growth of *Eruca sativa* Mill. via hydrothermal time model. *Life*, 12, 400. <https://doi.org/10.3390/life12030400>
16. Kumar, A., Tripti, Voropaeva, O., Maleva, M., Panikovskaya, K., Borisova, G., Rajkumar, M., & Bruno, L.B. (2021). Bioaugmentation with copper tolerant endophyte *Pseudomonas lurida* strain EOO26 for improved plant growth and copper phytoremediation by *Helianthus annuus*. *Chemosphere*, 266, 128983. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128983>
17. Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic membranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
18. Maleva, M., Borisova, G., Tripti, Tugbaeva, A., Ahamuefule, C., Salata, A., & Kumar, A. (2024). Biofortification of pea microgreens through zinc-solubilizing bacteria inoculation with foliar iodine application. *Agriculture and Forest*, 70(2), 123-134. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.70.2.9>
19. Maleva, M., Borisova, G., Tugbaeva, A., Ilyin, V., & Kumar, A. (2024). Synergy of new zinc solubilizing PGPR strain *Pseudomonas* sp. CTF2 with foliar iodine application enhances growth and biofortification of pea seedlings. *Microbiology*, 93(1), S82-S86. <https://doi.org/10.1134/S0026261724609333>

20. Medrano-Macías, J., Leija-Martínez, P., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A., & Benavides-Mendoza, A. (2016). Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1146. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01146>

21. Şahin, Ö. (2020). Combined iodine, iron and zinc biofortification of tomato fruit. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 2242-2251. <https://doi.org/10.21597/jist.691758>

22. Voogt, W., Holwerda, H.T., & Khodabaks, R. (2010). Biofortification of lettuce (*Lactuca sativa* L.) with iodine: the effect of iodine form and concentration in the nutrient solution on growth, development and iodine uptake of lettuce grown in water culture (2010). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(5), 906-913. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3902>

дата поступления: 01.04.2026

дата принятия: 03.06.2026

© Малева М.Г., Игнатова А.С., Соколов Н.А., Борисова Г.Г., 2026

УДК 574.24: 615.322

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/08>

I.N. Egorova, N.O. Egorova, E.M. Maltseva

**GROWING CONDITIONS EFFECT ON THE TANNIC SUBSTANCES CONTENT IN THE SANGUISORBA OFFICINALIS L. ABOVE-GROUND AND UNDERGROUND ORGANS**

Егорова И.Н., Егорова Н.О., Мальцева Е.М.

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПРОИЗРАСТАНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ДУБИЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В НАДЗЕМНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ОРГАНАХ SANGUISORBA OFFICINALIS L.**

**Abstract.** For the great burnet (*Sanguisorba officinalis* L.) raw material rational harvesting, as well as ensuring its comprehensive, waste-free utilization, it is necessary to assess the influence of growing locations, age, vegetation phase, climatic, and soil conditions on the tannins accumulation in its above-ground and underground organs. The research was conducted during the period 2018–2020. Raw material harvesting was carried out in three natural cenopopulations (CP): CP I – floodplain grass-herbaceous meadow, CP II – dryland herbaceous meadow, CP III – birch forest, during different vegetation periods. The tannin content in the raw material was determined by permanganatometric titration in accordance with the requirements of the XV edition State Pharmacopoeia. It was found that in the herb maximum tannins amount accumulates during the flowering phase (6.096–9.323%) and the minimum during the fruiting period (4.049–7.998%). Rhizomes and roots are characterized by the presence of two accumulation maxima: at the beginning of vegetation (19.194–24.698%) and during the flowering period (21.310–26.595%). The tannin content in the fruiting phase decreases in underground organs by an average of 1.3 times, and in the above-ground organs – by 1.2 times. The studies showed that the moisture level and light availability, soil factors (high content of humus, phosphorus, potassium) contribute to greater tannin accumulation. Its highest content was observed in the above-ground and underground organs of burnet in CP I and CP II. The calculated extremality hydrothermal coefficient ( $K_{extr.}$ ) ranged from 0.22 to 0.26 in the study years. The highest  $K_{extr.}$  was obtained for 2019 (0.26), which showed the lowest tannin content. The tannin accumulation patterns obtained data in the great burnet above-ground and underground organs have a practical importance for the pharmaceutical industry.

**Аннотация.** Для организации рациональной заготовки растительного сырья кровохлёбки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.), а также обеспечения комплексного, безотходного использования данного растения, необходимо оценить влияние мест произрастания, возраста, фазы вегетации, климатических и почвенных условий на накопление дубильных веществ её надземными и подземными органами. Исследования проводились в период 2018–2020 гг. Заготовку сырья осуществляли в трех природных ценопопуляциях (ЦП): ЦП I – заливной злаково-разнотравный луг, ЦП II – суходольный разнотравный луг, ЦП III – березовый лес, в разные периоды вегетационного развития. Содержание дубильных веществ в сырье определяли методом перманганатометрического титрования в соответствии с требованиями ГФ XV издания. Установлено, что максимальное количество дубильных веществ накапливается в траве в фазу цветения (6,096–9,323%), а минимальное в период плодоношения (4,049–7,998%). Для корневищ и корней, характерно наличие двух максимумов накопления, в начале вегетации (19,194–24,698%) и в период цветения (21,310–26,595%). Содержание дубильных веществ в фазу плодоношения снижается в подземных органах в среднем 1,3 раза, в траве – 1,2 раза. Исследования показали, что уровень влагообеспеченности и освещённости, почвенный фактор (высокое содержание гумуса, фосфора, калия) способствуют большему накоплению дубильных веществ. Наибольшее их содержание отмечено в надземных и подземных органах кровохлёбки в ЦП I и ЦП II. Рассчитанный гидротермический коэффициент экстремальности ( $K_{экстр.}$ ) в годы изучения составил от 0,22 до 0,26. Наибольший  $K_{экстр.}$  получен для 2019 года (0,26), в котором было отмечено наименьшее содержание танинов. Полученные данные о закономерности накопления дубильных веществ надземными и подземными органами кровохлёбки лекарственной имеют практическое значение для фармацевтической промышленности.

**Key words:** tannins, quantitative determination, *Sanguisorba officinalis* L., medicinal plant raw materials, habitats, Kemerovo Region – Kuzbass.

**About the authors:** *Irina N. Egorova*, ORCID: 0000-0002-0559-3154, Candidate of Biological Sciences, Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS, Kemerovo, Russia, nir\_kem@mail.ru; *Natalya O. Egorova*, ORCID: 0009-0002-7964-9541, Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russia, n.o.egorova@mail.ru; *Elena M. Maltseva*, ORCID: 0000-0003-4874-3420, Candidate of Pharmaceutical Sciences, Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russia, elen-malceva@yandex.ru

**Ключевые слова:** дубильные вещества, количественное определение, *Sanguisorba officinalis* L., лекарственное растительное сырье, места произрастания, Кемеровская область – Кузбасс.

**Сведения об авторах:** *Егорова Ирина Николаевна*, ORCID: 0000-0002-0559-3154, канд. биол. наук, Федеральный исследовательский центр угля и углекислоты СО РАН, г. Кемерово, Россия, nir\_kem@mail.ru; *Егорова Наталья Олеговна*, ORCID: 0009-0002-7964-9541, Кемеровский государственный медицинский университет, г. Кемерово, Россия, n.o.egorova@mail.ru; *Мальцева Елена Михайловна*, ORCID: 0000-0003-4874-3420, канд. фарм. наук, Кемеровский государственный медицинский университет, г. Кемерово, Россия, elen-malceva@yandex.ru

Egorova I.N., Egorova N.O., Maltseva E.M. Growing Conditions Effect on the Tannic Substances Content in the *Sanguisorba Officinalis* L. Above-Ground and Underground Organs // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 84-97. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/08>

Egorova I.N., Egorova N.O., & Maltseva E.M. (2026). Growing Conditions Effect on the Tannic Substances Content in the *Sanguisorba Officinalis* L. Above-Ground and Underground Organs. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 84-97. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/08>

## Introduction

Among tannin-containing medicinal plants of Kemerovo Region (Kuzbass), *Sanguisorba officinalis* L. (Rosaceae) is one of the representatives. In the territory of the region, it forms fairly large stands suitable for industrial harvesting of raw material [5]. Due to a complex of biologically active compounds (BAC), including hydrolysable and condensed tannins, *S. officinalis* exhibits a wide spectrum of pharmacological (anti-inflammatory, antimicrobial, antifungal, antioxidant, antiviral, antiproliferative, etc.) activity [3; 7; 18; 28].

In official medicine, the underground organs of the plant – rhizomes and roots – are used, while the herb is applied in folk medicine [12; 21; 22]. In recent years, the integrated utilization of the great burnet has attracted increasing interest from the scientific community [7; 10].

The accumulation of tannins in different plant organs is influenced by a wide range of biotic and abiotic factors, as well as by age, developmental stage, and habitat conditions [9; 11; 13; 17; 24].

The literature presents contradictory data regarding tannin accumulation in *S. officinalis*. Most studies focus on rhizomes and roots – the medicinal plant raw material included in the State Register of Medicinal Products of the Russian Federation (2015). Some authors report that the highest tannin content in underground organs occurs at the beginning of vegetation [22], while others indicate the budding stage [20], flowering [2; 8; 13. 27], fruiting [9; 14; 20], or the end of the vegetation period [6]. There is limited information available on tannin content in the herb of

great burnet across vegetation phases. Some data suggest that maximum accumulation in the herb should occur during the flowering stage [4].

According to literature data, herbaceous plants, including *S. officinalis*, growing on soils sufficiently supplied with available phosphorus [16; 23], tend to accumulate higher levels of tannins [22].

Earlier studies by N. O. Egorova [4; 5] presented results on tannin content in rhizomes and roots of *S. officinalis*, growing in selected districts of the region, as well as the distribution of tannins among plant organs. However, no published data are available on tannin accumulation across vegetation phases in both above-ground and underground organs of *S. officinalis* growing in the Kemerovo Region (Kuzbass).

**The aim** of this study is to evaluate the influence of certain habitat-related factors on tannin accumulation in the above-ground and underground organs of *Sanguisorba officinalis* L. growing in Kemerovo Region (Kuzbass).

### Materials and methods

The object of the study was the great burnet raw material (*Sanguisorba officinalis* L., Rosaceae), including herb and rhizomes with roots, collected in three cenopopulations (CPs) located in Topkinsky District of Kemerovo Region (Kuzbass).

CP I – floodplain grass-herbaceous meadow (55.364814° N, 85.795937° E). Soil moisture is provided by both groundwater and atmospheric precipitation. Mean light intensity is 90,704.0 lux. The soil is heavy loam with pH (salt extract) of 5.6, humus content of 7.3%, elevated levels of available phosphorus (106 mg/kg), very high levels of available potassium (340 mg/kg), and increased nitrate content (25.1 mg/kg). The occurrence of *S. officinalis* was relatively abundant (score 3). Yields of fresh raw material ranged from 124.59 to 301.97 g/m<sup>2</sup> for rhizomes with roots and from 143.43 to 688.03 g/m<sup>2</sup> for herb.

CP II – dryland herbaceous meadow (55.360304° N, 85.793537° E). The site was fully exposed to sunlight, with an average illumination of 73,343.3 lux. Moisture supply is provided exclusively by atmospheric precipitation. The soil is heavy loam. Soil acidity (pH salt extract) is 5.8, humus content ranges up to 6.2%, available phosphorus is elevated (114 mg/kg), exchangeable potassium is very high (345 mg/kg), and nitrate content is moderate (17.8 mg/kg). Yields of fresh raw material ranged from 91.12 to 127.78 g/m<sup>2</sup> for rhizomes with roots and from 213.14 to 225.79 g/m<sup>2</sup> for herb.

CP III – birch forest (55.355562° N, 85.819864° E). The birch was the dominant tree species. The shrub layer is poorly developed. Mean illumination is 59,938.4 lux. Moisture supply is atmospheric. The soil is heavy loam. Soil acidity (pH salt extract) is 5.6, humus content is 5.6%, available phosphorus content is moderate (73 mg/kg), exchangeable potassium content is high (180 mg/kg), and nitrate content is moderate (11.8 mg/kg). Yields of fresh raw material ranged from 21.55 to 25.66 g/m<sup>2</sup> for rhizomes with roots and from 36.98 to 66.60 g/m<sup>2</sup> for herb.

The productivity of *S. officinalis* rhizomes and roots at the study sites was calculated through the model specimen method, while above-ground biomass productivity was assessed using the sampling plot method.

Raw material was collected from June to September in 2018 and 2019, and from May to August in 2020, during different vegetation phases (fully expanded leaf phase, budding phase, flowering phase, and fruiting phase), in accordance with established requirements. Drying of the raw material was carried out naturally in the shade. The raw material was stored in paper bags in a cool dry place.

Simultaneously, soil samples were collected from the root zone of *S. officinalis* (0–20 cm depth). Agrochemical soil parameters were assessed at the accredited testing centre of the Kemerovo branch of RosAgrokhimsluzhba Federal State Budgetary Institution in accordance with the following standards: GOST 26483-85 (soil extract pH), GOST 26213-2021, sections 1 and 2 (organic matter, %), GOST 26204-91 (mass fraction of available phosphorus (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) and potassium (K<sub>2</sub>O) compounds, mg/kg), and GOST 26951-86 (nitrate content, mg/kg).

Illumination (lux) at the study sites was measured by using a TESTO 540 luxmeter.

The tannin content in the raw material was assessed in accordance with the requirements of General Pharmacopoeial Monograph OFS.1.5.3.0008 in the 15th edition of the State Pharmacopoeia of the Russian Federation through the Leventhal permanganate metric method (Method 1). A total of 108 plant samples were analyzed.

Climatic conditions of Topkinsky District were evaluated by using data from the Topki meteorological station. Two indicators were used to characterize weather conditions during the 2018–2020 vegetation periods: precipitation amount (mm) and mean daily air temperature (t, °C).

According to the data from the Topki meteorological station, the years of the study differed markedly in weather conditions during the vegetation period, which is clearly demonstrated by the data presented in Table 1.

Table 1

**Temperature regime and precipitation during the vegetation periods of 2018–2020**

Months	Long-term average	Years		
		2018	2019	2020
<i>Mean daily air temperature, °C</i>				
May	10.4	6.2	10.0	14.6
June	17.2	19.0	15.7	15.6
July	18.7	17.5	18.2	18.5
August	16.3	15.9	17.6	17.9
September	10.0	10.5	10.5	10.0
Sum of mean monthly temperatures during the vegetation	72.6	69.1	72.0	76,6
<i>Precipitation, mm</i>				
May	53	59	30	56
June	69	82	58	32
July	78	71	73	156

August	75	37	69	42
September	60	57	45	69
Total monthly precipitation during the vegetation period	335.0	306.0	275.0	355.0

Notes: <https://clck.ru/3UHoUT>, <https://clck.ru/3UHoXJ>.

To analyze the influence of temperature and precipitation on tannin accumulation during the vegetation periods from 2018 to 2020, the extremality hydrothermal coefficient (Kextr.) proposed by Zykova I.D. (2015) was used. This coefficient represents the ratio of the mean temperature during the observation months (May-September) to the mean precipitation amount for the same period [29].

All experiments were performed in triplicate. The obtained data were processed by using MS Office 2013 software. The paper discusses values considered statistically significant at  $p \leq 0.05$ .

### Results and Discussion

The study results are presented in Table 2. Quantitative assessment of tannin content in *Sanguisorba officinalis* showed that their accumulation depends on the vegetation phase, weather conditions, and habitat conditions.

Table 2  
Tannin content in the herb, rhizomes, and roots of *S. officinalis* (mean values, %) during 2018–2020

Vegetation phase	Collection Date	Raw material	Tannin content, %		
			CP I	CP II	CP III
FLP	12.06.18	Hb.	8.698±0.108	8.773 ± 0.056	6.362 ± 0.053
		Rh.&Rt.	24.698±0.112	24.367 ± 0.184	23.565 ± 0.049
	12.06.19	Hb.	5.822±0.073	5.669 ± 0.056	4.398 ± 0.055
		Rh.&Rt.	22.207±1.086	23.060 ± 0.041	20.980 ± 0.066
	24.05.20	Hb.	7.697±0.070	7.768±0.137	5.946 ± 0.047
		Rh.&Rt.	22.667±0.624	23.216 ± 0.054	19.194 ± 0.146
BP	15.07.18	Hb.	8.880±0.080	8.966 ± 0.155	6.968 ± 0.032
		Rh.&Rt.	23.320±0.570	23.878 ± 0.178	23.06 ± 0.083
	13.07.19	Hb.	6.679±0.045	6.135 ± 0.058	5.929 ± 0.083
		Rh.&Rt.	22.746±0.066	22.365 ± 0.176	20.22 ± 0.362
	30.06.20	Hb.	7.776±0.058	7.292 ± 0.125	6.165 ± 0.074
		Rh.&Rt.	22.157±0.057	20.944 ± 0.205	18.14 ± 0.104
FP	04.08.18	Hb.	9.323 ± 0.050	9.105 ± 0.033	7.622 ± 0.089
		Rh.&Rt.	26.225 ± 0.126	26.304 ± 0.117	25.370 ± 0.127
	08.08.19	Hb.	7.146 ± 0.048	6.587 ± 0.137	6.096 ± 0.055
		Rh.&Rt.	25.853 ± 1.083	25.165 ± 0.612	23.54 ± 0.105
	17.07.20	Hb.	8.797 ± 0.058	8.959 ± 0.071	6.465 ± 0.051
		Rh.&Rt.	24.798 ± 0.083	26.595 ± 0.169	21.31 ± 0.603

FrP	16.09.18	Hb.	7.998 ± 0.047	7.514 ± 0.038	5.824 ± 0.042
		Rh.&Rt.	23.484 ± 0.074	24.742 ± 0.075	19.498 ± 0.248
	07.09.19	Hb.	5.485 ± 0.045	5.013 ± 0.068	4.049 ± 0.047
		Rh.&Rt.	19.436 ± 0.050	17.844 ± 0.322	15.396 ± 0.446
	23.08.20	Hb.	6.460 ± 0.057	6.179 ± 0.069	5.627 ± 0.531
		Rh.&Rt.	19.858 ± 0.274	19.022 ± 0.228	19.170 ± 0.054

Notes: FLP – fully expanded leaf phase; BP – budding phase; FP – flowering phase; FrP – fruiting phase; Herb (Hb.) – above-ground parts; Rhizomes and roots (Rh.&Rt.) – underground organs of *Sanguisorba officinalis*.

At the beginning of the vegetation period, *Sanguisorba officinalis* is characterized by a relatively high tannin content both in the herb (4.398–8.773%) and in the underground organs (19.194–24.698%) (Table 2, Figs. 1, 2). During this period, the plant actively increases the vegetative mass of the basal leaf rosette and forms vegetative shoots, therefore, intensive synthesis of many organic compounds, including tannins, occurs in the assimilating tissues [3; 10]. These compounds gradually accumulate during vegetation and development of the vegetative organs, reaching their maximum during the flowering phase (6.096–9.323%) (Fig. 1), when plants accumulate substances performing protective functions, including this group of biologically active compounds [19; 26].

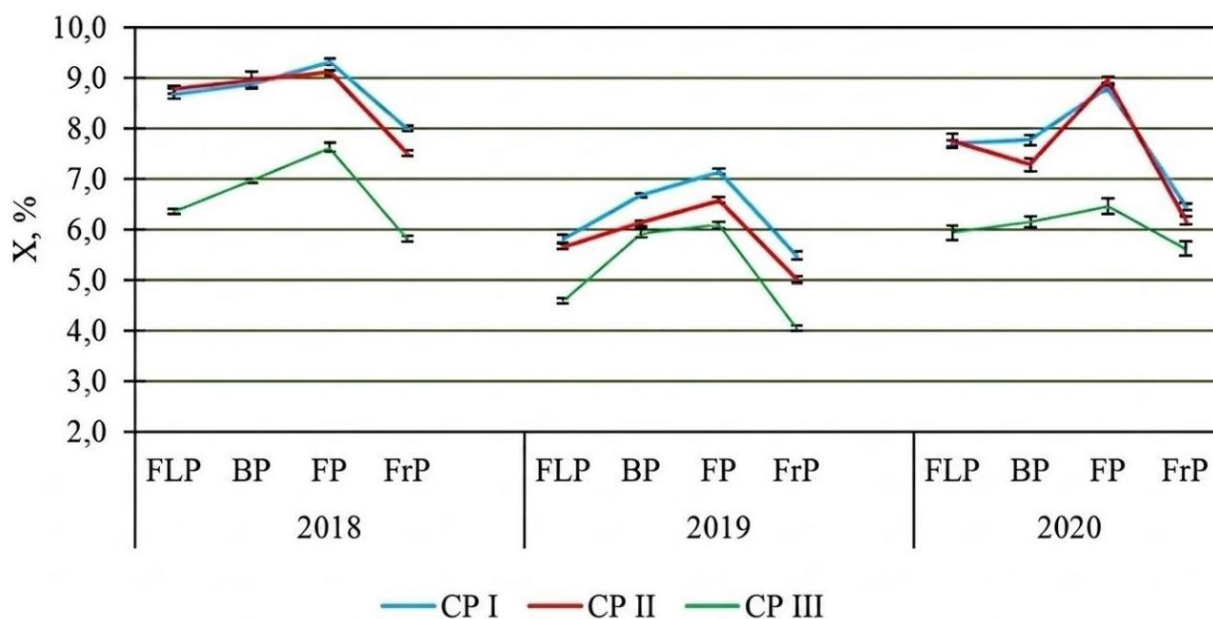
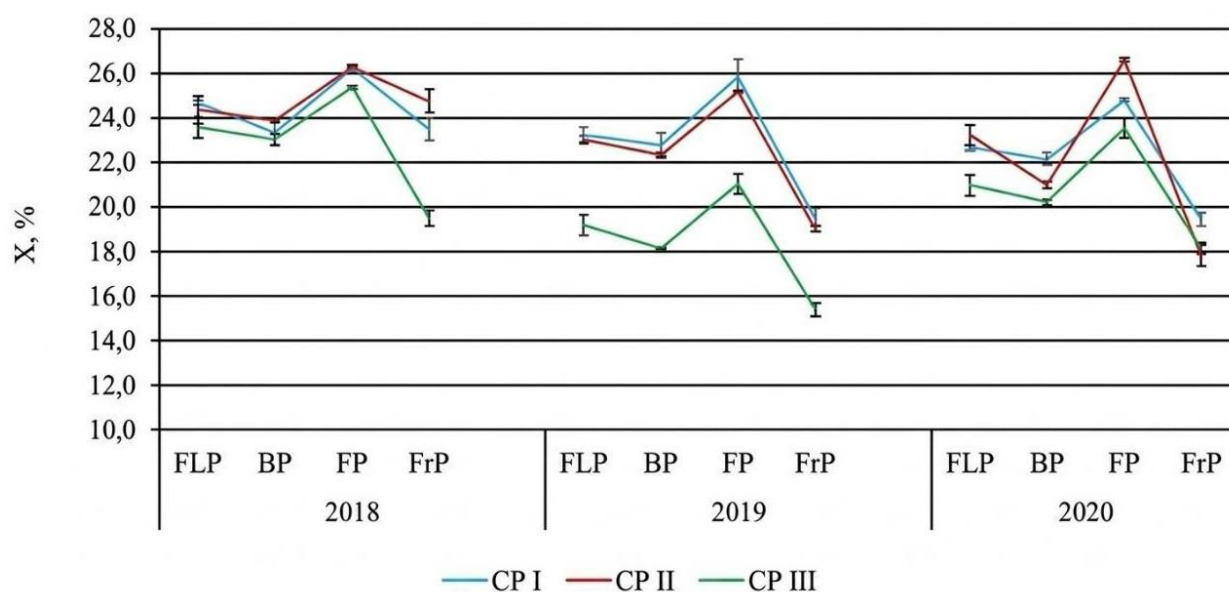


Fig. 1. Dynamics of tannin accumulation (X%) in the herb of *S. officinalis* during the study period (2018–2020) by phenological phases



**Fig. 2. Dynamics of tannin accumulation (X%) in the rhizomes and roots of *S. officinalis* during the study period (2018–2020) by phenological phases**

A decrease in tannin content in the herb of *S. officinalis* occurs during the fruiting period, reaching 4.049–7.998% (Fig. 1), which is associated with the plant's preparation for deep physiological dormancy at the end of the vegetation period. During this time, all physiological processes slow down, and the intensity of photosynthesis decreases, resulting in reduced tannin synthesis, as these compounds are then used exclusively for maintenance functions [25].

For rhizomes and roots, two peaks of tannin accumulation can be distinguished: during the fully expanded leaf phase (FLP) and during the flowering phase (FP). In the first case, tannin content ranged from 19.194 to 24.698%, and in the second from 21.31 to 26.595% (Table 2, Fig. 2). During the period of active plant growth, the amount of tannins in the underground organs decreases, as at this stage they are required for the formation of vegetative plant organs, after which the second accumulation maximum occurs during flowering. Subsequently, during the fruiting phase, a gradual decrease in tannin content up to 15.396–24.742% was observed. During this period, tannin content in rhizomes and roots decreased on average by 1.3 times, and in the herb by 1.2 times. This pattern of tannin accumulation is also characteristic of other higher plants [1; 11].

Thus, the study demonstrated that regardless of habitat conditions, *S. officinalis* showed a similar pattern of tannin accumulation during the years of observation (Figs. 1, 2), both in the herb and in rhizomes with roots, depending on the vegetation phase. This confirms previously published data on the variability in the content of this group of natural compounds [1; 9; 11; 13; 25].

Many researchers have noted that the determining factors for the synthesis of polyphenolic compounds in plants are illumination under conditions of optimal moisture availability [9; 13; 25]. The maximum tannin content in the rhizomes and roots of *S. officinalis* under conditions of sufficient moisture and illumination only confirms this observation. Conversely, in drier habitats the quantitative content of tannins decreases, which is explained by the fact that under water deficit

phenolic compounds are utilized to perform protective functions (Figs. 1, 2) [8; 25]. Our study established that under the conditions of Kemerovo Region (Kuzbass), the levels of moisture availability and illumination during the study years (2018–2020) were among the key factors determining the synthesis and accumulation of tannins in all organs of *S. officinalis* (Table 2, Figs. 1, 2). Thus, in the studied cenopopulations, the highest tannin content in both above-ground and underground organs was recorded in CP I and CP II compared with CP III (Table 2, Figs. 1, 2). Considering that illumination at both sites is relatively high (from 90,704.0 to 73,343.3 lux), we assume that the limiting factor affecting tannin accumulation in *S. officinalis* growing at these sites is primarily the level of moisture availability [9; 11; 13; 17], since moisture deficiency negatively affects all metabolic processes occurring in the plant organism [11].

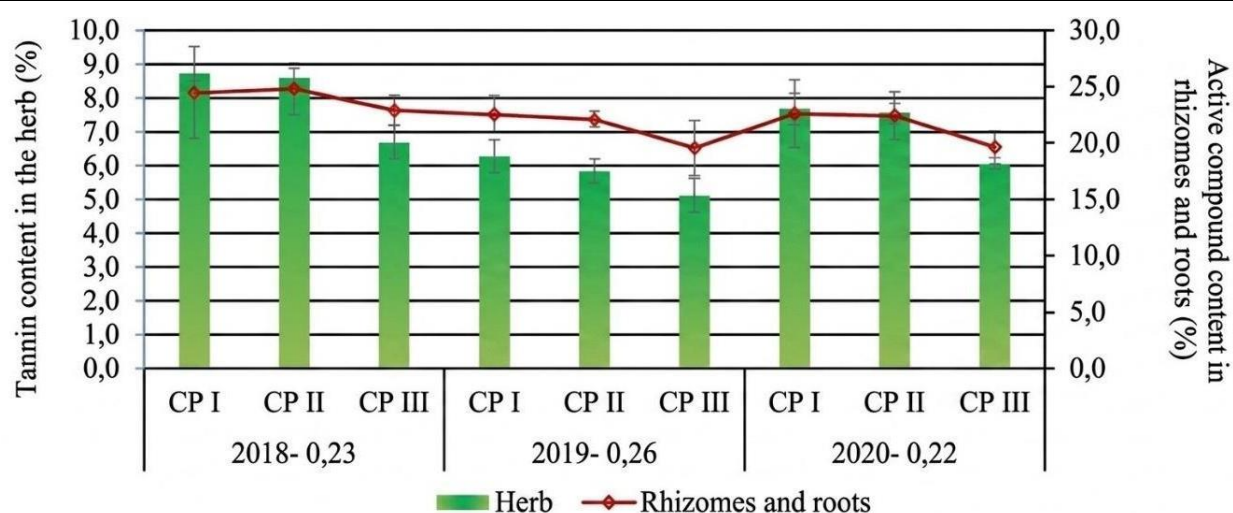
Considering the influence of illumination on tannin accumulation in *S. officinalis*, it can be noted that plants collected from shaded habitats — the understory of the birch forest (CP III) — contained lower amounts of tannins than plants growing in areas with sufficient solar insolation (CP I, CP II) (Figs. 1, 2).

Correlation analysis showed that tannin content in the herb, rhizomes, and roots of *S. officinalis* correlated with soil moisture ( $r = 0.71$ ,  $r = 0.67$ ,  $p < 0.05$ ) and habitat shading ( $r = 0.68$ ,  $r = 0.39$ ,  $p < 0.05$ ).

When studying the influence of soil conditions on tannin accumulation in *S. officinalis*, a relationship was established between tannin content and the levels of humus, phosphorus, and potassium in the soil. Based on the data of Prosyannikova O.I. (2007) and the agrochemical characteristics of soils at the study sites, these soils correspond to those of the forest-steppe zone of the Kuznetsk Basin (district B) [15]. The highest tannin content was observed in samples collected from the floodplain grass-herbaceous meadow (CP I) and the dryland herbaceous meadow (CP II), while the lowest tannin content was recorded in the understory of the birch forest (CP III).

The closest relationship between tannin accumulation in *S. officinalis* and soil parameters was established for the content of available potassium compounds ( $K_2O$ ), both in the herb ( $r = 0.65$ ) and in the underground organs ( $r = 0.73$ ), as well as available phosphorus compounds ( $P_2O_5$ ) ( $r = 0.59$  and  $r = 0.73$ , respectively). A moderate correlation was observed between tannin content and soil humus levels in both the above-ground ( $r = 0.49$ ) and underground ( $r = 0.50$ ) plant organs.

Assessment of the influence of temperature and precipitation on tannin content during the vegetation period (May-September) in the study years (2018–2020) was carried out by using the extremality hydrothermal coefficient (EC) [8]. For this purpose, averaged data on tannin content in the herb, rhizomes, and roots during the studied periods were obtained (Fig. 3).



**Fig. 3. Dependence of tannin content (TC) in *S. officinalis* on the extremality hydrothermal coefficient (EC) during the study years (2018–2020)**

The EC values during the study years ranged within close limits from 0.22 to 0.26. As noted by I.D. Zykova (2015), this indicator makes it possible to assess the extremality of weather conditions during the study period. The highest EC value was obtained for 2019 (0.26). It was that year that was characterized by the lowest tannin content in *S. officinalis*, both in the herb and in the rhizomes with roots (Fig. 3).

During the study period, a rather strong negative correlation was revealed between tannin content in the herb and EC ( $r = -0.79$ ), as well as a moderate negative correlation for rhizomes and roots ( $r = -0.39$ ). This confirms the undeniable influence of these environmental factors (temperature and precipitation) on the quantitative tannin content in the great burnet during the vegetation periods of the study years.

### Conclusion

The study results demonstrated that the accumulation of tannins in *Sanguisorba officinalis* L. (Rosaceae) within the territory of Kemerovo Region – Kuzbass is influenced by the following factors: sufficiently moist soils rich in humus and nutrients (high phosphorus and potassium content), high illumination of the habitats, and warm humid weather during the vegetation period. The maximum tannin content in the above-ground and underground organs of the great burnet occurs at the middle of the mass flowering phase.

Identifying the patterns of tannin accumulation in plants is of great practical importance for the proper organization of medicinal plant raw material harvesting and its comprehensive utilization.

*The work was carried out under the state assignments of the Federal Coal and Coal Chemistry Research Centre, the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Project No. 124041100075-7, and the state assignment of Kemerovo State Medical University, Project No. 056-00034-25-02.*

## References

1. Anczupova, T.P., & Mazur L.V. (2015). Èkologo–cenoticheskaya i fitoximicheskaya xarakteristika Kakalii kop`evidnoj Zapadnogo Zabajkal`ya. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya, Geografiya.* (in Russ.).
2. Brezgun, N.N. (1993). *Lekarstvenny`e rasteniya central`noj chasti Rossii.* M.: Slog (in Russ.).
3. Chen, J. F., Tan, L., Ju, F., Kuang, Q.X., Yang, T.L., Deng, F., Gu, Y.C., Jiang, L.S., Deng, Y., & Guo, D. (2022). Phenolic glycosides from *Sanguisorba officinalis* and their anti-inflammatory effects. *Nat Prod Res*, 36(8), 2097-2104. <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1849202>
4. Egorova, N.O. (2019). Soderzhanie dubil`ny`x veshhestv v nadzemny`x i podzemny`x chastyax *Sanguisorba officinalis* L. iz flory` Kemerovskoj oblasti. *Sbornik: Razvitie – 2019. Nauchnoe e`lektronnoe izdanie.* (ss. 231-238). Kemerovo. (in Russ.)
5. Egorova, N.O. (2021). Ocenka sodержaniya dubil`ny`x veshhestv v sy`r`e *Sanguisorba officinalis* L, proizrastayushhej na territorii Kemerovskoj oblasti. *Sbornik: Razvitie – 2021. Nauchnoe e`lektronnoe izdanie.* (ss. 210-218). Kemerovo. (in Russ.).
6. Gammerman, A.F., & Grom, I. I. (1976). *Dikorastushhie lekarstvenny`e rasteniya SSSR.* M.: Medicina (in Russ.).
7. Gawron-Gzella, A. (2016). Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Sanguisorba officinalis* L. Extracts. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 4, 244-249. <https://doi.org/10.1007/s11094-016-1431-0>
8. Ikonnikova, I.A. (2016). Issledovanie sodержaniya dubil`ny`x veshhestv i vy`razhennosti antioksidantnoj aktivnosti v kornevishhax i kornyax krovolebki lekarstvennoj (*Sanguisorba officinalis* L.), zagotovlenny`x v razlichny`x rajonax Orenburgskoj oblasti. *Science Time.* (4 ,28), 347-353. (in Russ.).
9. Kazeeva, A.R., & Pupy`kina K.A. (2015). Izuchenie sodержaniya osnovnoj gruppy` biologicheskii aktivny`x veshhestv v krovolebke lekarstvennoj v razny`e fazy` vegetacii rasteniya. *Tradicionnaya medicina*, (2, 41), 37-38. (in Russ.).
10. Kazeeva, A.R., Pupy`kina, K.A., Denisova, S.G., Shajdullina, G.G., & Reut, A.A. (2019). Fitoximicheskoe issledovanie travy` *Sanguisorba officinalis* L. v respublike Bashkortostan. *Ximiya rastitel`nogo sy`r`ya*, (4), 279-84. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019045371>
11. Kireeva, T.B., & Titova, E.A. (2006). Èkologicheskie i ontogeneticheskie osobennosti nakopleniya dubil`ny`x veshhestv v trave dushicy oby`knovennoj v usloviyax Udmurtii. *Biologiya*, (10), 85-96. (in Russ.).
12. Minaeva, V.G. (1997). *Lekarstvenny`e rasteniya Sibiri.* Novosibirsk: Nauka (in Russ.).
13. Muxametgaliev, N.R., Idrisova, G. I., & Gilazieva, G. Z. (2015). Sravnitel`ny`j analiz sodержaniya dubil`ny`x veshhestv v kornevishhax krovolebki lekarstvennoj (*Sanguisorba*

*officinalis* L.). *Ucheny`e zapiski Kazanskogo universiteta. Kn.2. Estestvenny`e nauki*, (157), 58-68. (in Russ.).

14. Nosov, A.M. (2004). *Lekarstvenny`e rasteniya*. M.: E`ksmo (in Russ.).

15. Prosyannikova, O.I. (2007) *Pochvenno-agroximicheskoe rajonirovanie i primeneniye udobrenij v Kemerovskoj oblasti*. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat (in Russ.).

16. Rabotnov, T.A. (1984). *Lugovedenie, Uchebnik – 2-e izd.* M. Izd-vo MGU (in Russ.).

17. Samojlov, V.I., Fedorov, S.V., & Petrovskaya, N.V. (2012). Vliyanie faktorov okruzhayushhej sredy` na nakoplenie biologicheskii aktivny`x veshhestv v lekarstvenny`x rasteniyax. *Fiziologiya rastenij*, (59, 4), 623-630. (in Russ.).

18. Saparkly`cheva, S.E., & Chapalda, T.L. (2020). Antimikrobnaya aktivnost` krovoxlebki lekarstvennoj (*Sanguisorba officinalis* L.). *Agrarnoe obrazovanie i nauka*, (2), 10. (in Russ.).

19. Scalbert, A., Johnson, I.T., & Saltmarsh, M. (2005). Polyphenols: antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), 215S-217S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215S>

20. Sery`x, G.I. (1983). Krovoxlebka lekarstvennaya – *Sanguisorba officinalis* L. *Atlas arealov i resursov lekarstvenny`x rastenij SSSR*. M.: Kartografiya (in Russ.).

21. Soboleva, L. S., & Kry`lova I.L. (1990). *Zelenaya apteka Tatarii*. Kazan`: Tatarskoe knizhnoe izdatel`stvo. (in Russ.).

22. Telyat`ev, V. V. (1997). *Polezny`e rasteniya Central`noj Sibiri*. Irkutsk: Vost-Sib. knizh. izd-vo. (in Russ.).

23. Xalilova, R.S., & Karomatov I.D.(2021). Krovoxlebka lekarstvennaya, al`pijskaya. *Biologiya i integrativnaya medicina*. (3,50), 153-173. (in Russ.).

24. Xozyainova, N.V. (1989). Morfologo-biologicheskie osobennosti *Sanguisorba officinalis*: special`nost` 03.00.05 «Botanika»: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata biologicheskix nauk. Moskva (in Russ.).

25. Zaprometov, M.N. (1994). *Fenol`ny`e soedineniya: rasprostraneniye, metabolizm i funkcii v rasteniyax*. M. (in Russ.).

26. Zaynab, M., Fatima, M., Abbas, S., Sharif, Y., Umair, M., Zafar, M.H., & Bahadar, K. (2018). Role of secondary metabolites in plant defense against pathogens. *Microb Pathog*, 124, 198-202. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.08.034>

27. Zemlinskij, S.E. (1958). *Lekarstvenny`e rasteniya SSSR*. M.: Medgiz (in Russ.).

28. Zheng, Y., Lee, S. Y., Lee, Y., Lee, T.K., Kim, J.E., Kim, T.H., & Kang, I.J. (2023). Standardized *Sanguisorba officinalis* L. Extract Inhibits Adipogenesis and Promotes Thermogenesis via Reducing Oxidative Stress. *Antioxidants (Basel)*, 12(4), 882. <https://doi.org/10.3390/antiox12040882>

29. Zy`kova, I.D. (2015). Izmeneniye sostava e`firnogo masla volodushki kozelecelistnoj (*Bupleurum scorzonerifolium* L.), proizrastayushhej v Sibirskom regione, v zavisimosti ot meteorologicheskix uslovij. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, (7.), 33-38. (in Russ.).

### Литература

1. Анцупова Т.П., Мазур Л.В. Эколого–ценотическая и фитохимическая характеристика Какалии копьевидной Западного Забайкалья // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, География. 2015. № 4. С. 6-11.
2. Брезгун Н.Н. Лекарственные растения центральной части России. М.: Слог, 1993. 316 с.
3. Chen J.F. , Tan L., Ju F ., Kuang Q.X., Yang L., Deng F., Gu Y.C., Jiang L.S. , Deng Y., Guo D. Phenolic glycosides from *Sanguisorba officinalis* and their anti-inflammatory effects // Nat Prod Res. 2022. Apr.36 (8). P. 2097-2104. <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1849202>
4. Егорова Н.О. Содержание дубильных веществ в надземных и подземных частях *Sanguisorba officinalis* L. из флоры Кемеровской области // в сборнике: Развитие – 2019. Научное электронное издание. Кемерово, 2019. С. 231-238.
5. Егорова Н.О. Оценка содержания дубильных веществ в сырье *Sanguisorba officinalis* L, произрастающей на территории Кемеровской области // в сборнике: Развитие – 2021. Научное электронное издание. Кемерово, 2021. С. 210-218.
6. Гаммерман А.Ф., Гром И.И. Дикорастущие лекарственные растения СССР. М.: Медицина, 1976. 286 с.
7. Gawron-Gzella A., Witkowska-Banaszczak E., Bylka W., Dudek-Makuch M., Odwrot A., Skrodzka N. Chemical Composition, Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Sanguisorba officinalis* L. Extracts // Pharmaceutical Chemistry Journal. 2016. Vol. 50. № 4. P. 244-249. <https://doi.org/10.1007/s11094-016-1431-0>
8. Иконникова И.А. Исследование содержания дубильных веществ и выраженности антиоксидантной активности в корневищах и корнях кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.), заготовленных в различных районах Оренбургской области // Science Time. 2016. № 4 (28). С. 347-353.
9. Казеева А.Р., Пупыкина К.А. Изучение содержания основной группы биологически активных веществ в кровохлебке лекарственной в разные фазы вегетации растения // Традиционная медицина. 2015. № 2 (41). С. 37-38.
10. Казеева А.Р., Пупыкина К.А, Денисова С.Г., Шайдуллина Г.Г., Реут А.А. Фитохимическое исследование травы *Sanguisorba officinalis* L. в республике Башкортостан // Химия растительного сырья. 2019. № 4. С. 279-84. <https://doi.org/10.14258/jcprgm.2019045371>
11. Киреева Т.Б., Титова Е.А. Экологические и онтогенетические особенности накопления дубильных веществ в траве душицы обыкновенной в условиях Удмуртии // Биология. 2006. 10. С. 85-96.
12. Минаева В.Г. Лекарственные растения Сибири. Новосибирск: Наука, 1997. 368 с.

13. Мухаметгалиев Н.Р., Идрисова Г.И., Гилазиева Г.З. Сравнительный анализ содержания дубильных веществ в корневищах кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.) // Ученые записки Казанского университета. Кн. 2 . Естественные науки. 2015. Т. 157. С. 58-68.
14. Носов А.М. Лекарственные растения. М.: Эксмо, 2004. 350 с.
15. Просяникова О.И. Почвенно-агрохимическое районирование и применение удобрений в Кемеровской области. Кемерово: Кузбассвузиздат, 2007. 212 с.
16. Работнов Т.А. Луговедение, Учебник. 2-е изд. М. Изд-во МГУ, 1984. 320 с.
17. Самойлов В.И., Федоров С.В., Петровская Н.В. Влияние факторов окружающей среды на накопление биологически активных веществ в лекарственных растениях // Физиология растений. 2012. № 59(4). С. 623-630.
18. Сапарклычева С.Е., Чапалда Т.Л. Антимикробная активность кровохлебки лекарственной (*Sanguisorba officinalis* L.) // Аграрное образование и наука. 2020. № 2. С. 10.
19. Scalbert A., Johnson I. T., Saltmarsh M. Polyphenols: antioxidants and beyond // The American Journal of Clinical Nutrition. 2005. № 81 (1 Suppl). P. 215S-217S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215S>
20. Серых Г.И. Кровохлебка лекарственная – *Sanguisorba officinalis* L. // Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений СССР / Гл. ред. П.С. Чиков. М.: Картография, 1983. С. 252.
21. Соболева Л.С., Крылова И.Л. Зеленая аптека Татарии. Казань: Татарское книжное издательство, 1990. 156 с.
22. Телятьев В.В. Полезные растения Центральной Сибири. Иркутск: Вост-Сиб. книж. изд-во, 1997. 398 с.
23. Халилова Р.С., Кароматов И. Д. Кровохлебка лекарственная, альпийская // Биология и интегративная медицина. 2021. № 3 (50). С. 153-173.
24. Хозяинова Н.В. Морфолого-биологические особенности *Sanguisorba officinalis*: специальность 03.00.05 «Ботаника»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук: Москва, 1989. 16 с.
25. Запрометов М.Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях. М., 1994. 240 с.
26. Zaynab M., Fatima M., Abbas S., Sharif Y., Umair M., Zafar M.H., Bahadar K. Role of secondary metabolites in plant defense against pathogens // Microb Pathog. 2018. Nov. 124. P. 198-202. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2018.08.034>
27. Землинский С.Е. Лекарственные растения СССР. М.: Медгиз, 1958. 610 с.
28. Zheng Y., Lee S. Y., Lee Y., Lee T.K., Kim J. E., Kim T.H., Kang I.J. Standardized *Sanguisorba officinalis* L. Extract Inhibits Adipogenesis and Promotes Thermogenesis via Reducing Oxidative Stress // Antioxidants (Basel). 2023. Apr.4. № 12 (4). P. 882. <https://doi.org/10.3390/antiox12040882>

29. Зыкова И.Д. Изменение состава эфирного масла володушки козелецелистной (*Vipleurum scorzonerifolium* L.), произрастающей в Сибирском регионе, в зависимости от метеорологических условий // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 7. С. 33-38.

дата поступления: 10.10.2025

дата принятия: 20.04.2026

© Егорова И.Н., Егорова Н.О., Мальцева Е.М., 2026

УДК 57.047

<https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/09>

Печенкина В.А.

**ЭКОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОРТОВ *SECALE CEREALE* L., ВОЗДЕЛЫВАЕМЫХ В ПРЕДУРАЛЬЕ**

V.A. Pechenkina

**ECOLOGICAL-GENETIC ANALYSIS OF *SECALE CEREALE* L. CULTIVARS GROWN IN CIS-URALS**

**Аннотация.** В работе представлен эколого-генетический анализ зараженности сортов озимой ржи (*Secale cereale* L.), возделываемых в условиях Предуралья, вирусами желтой карликовости ячменя (BYDV) и полосатой мозаики пшеницы (WSMV). Актуальность исследования обусловлена возрастающей ролью вирусных инфекций в снижении продуктивности зерновых культур, а также необходимостью выявления устойчивых генотипов в условиях изменяющегося климата при одновременном усилении фитосанитарной нагрузки на агроценозы. Цель работы – изучение зараженности вирусами желтой карликовости ячменя (BYDV) и полосатой мозаики пшеницы (WSMV) посевов озимой ржи в Предуралье. Для достижения поставленной цели использован метод обратной транскрипции с последующей полимеразной цепной реакцией в реальном времени (ОТ-ПЦР-РВ). Объектами исследования служили 8 сортов отечественной селекции, выращиваемые на территории Предуралья. Установлено, что вирус BYDV является доминирующим патогеном и выявляется у большинства исследованных сортов, тогда как WSMV характеризуется более низкой встречаемостью. Выявлены значительные различия между сортами по степени зараженности, что косвенно свидетельствует о генетически обусловленной устойчивости. Отдельные сорта продемонстрировали пониженную восприимчивость, что позволяет рассматривать их как перспективный исходный материал для дальнейшей селекции. Научная новизна работы заключается в получении новых данных о распространенности вирусных инфекций ржи в условиях Предуралья с использованием высокочувствительных методов диагностики. Практическая значимость результатов исследований заключается в возможности использования результатов при разработке мероприятий по фитосанитарному мониторингу и подбору устойчивых сортов. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением спектра анализируемых патогенов и изучением молекулярных механизмов устойчивости растений.

**Ключевые слова:** озимая рожь, *Secale cereale* L., вирусные болезни растений, BYDV, WSMV, ПЦР в

**Abstract.** Ecological and genetic analysis of winter rye (*Secale cereale* L.) cultivars cultivated in the Cis-Ural region for infection with barley yellow dwarf virus (BYDV) and wheat streak mosaic virus (WSMV) is presented in this study. The relevance of this research stems from the growing impact of viral infections on grain crop productivity and the need to identify resistant genotypes in the context of climate change and increasing phytosanitary pressure on agroecosystems. The aim of this work was to assess the prevalence of Barley yellow dwarf virus (BYDV) and Wheat streak mosaic virus (WSMV) in winter rye crops in the Cis-Urals region. To achieve this, we used reverse transcription followed by real-time polymerase chain reaction (RT-PCR). The objects of study comprised eight domestically bred cultivars grown in the Cis-Ural region. It was established that BYDV is the dominant pathogen, detected in the majority of the studied cultivars, whereas WSMV exhibits a lower incidence rate. Significant inter-cultivar differences in infection rates were revealed, indirectly indicating genetically determined resistance. Certain cultivars demonstrated reduced susceptibility, positioning them as promising source material for further breeding. The scientific novelty of the work lies in obtaining new data on the prevalence of viral infections in rye within the Cis-Ural region using highly sensitive diagnostic methods. Practical significance of the research is attributed to the potential application of the results in developing phytosanitary monitoring strategies and selecting resistant cultivars. Future research prospects involve expanding the range of analyzed pathogens and investigating the molecular mechanisms of plant resistance.

**Keywords:** winter rye, *Secale cereale* L., plant viral diseases, BYDV, WSMV, real-time PCR, cultivar resistance, phytosanitary monitoring

реальном времени, устойчивость сортов, фитосанитарный мониторинг

**Сведения об авторе:** Печенкина Виктория Андреевна, ORCID: 0000-0003-4241-4482, p\_viktoria2@mail.ru, ПГНИУ, ПФИЦ УрО РАН, г. Пермь, Россия

**About the author:** Viktoria A. Pechenkina, ORCID: 0000-0003-4241-4482, p\_viktoria2@mail.ru, PSU, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

Печенкина В.А. Эколого-генетический анализ сортов *Secale cereale* L., возделываемых в предуралье // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 98-108. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/09>

Pechenkina V.A. (2026). Ecological-Genetic Analysis of *Secale Cereale* L. Cultivars Grown in Cis-Urals. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 98-108. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/09>

### Введение.

В последние десятилетия в агроэкосистемах отмечается усиление роли биотических стрессовых факторов, среди которых особое значение приобретают фитопатогенные вирусы. Их распространение связано с интенсификацией сельского хозяйства, изменением климатических условий и расширением ареалов насекомых-переносчиков вирусов, что приводит к увеличению фитосанитарной нагрузки на посевы зерновых культур.

Озимая рожь (*Secale cereale* L.) является одной из наиболее экологически пластичных зерновых культур, способной формировать стабильные урожаи в условиях пониженного плодородия почв, неблагоприятных температурных режимов и неустойчивого увлажнения. Высокий уровень адаптивности ржи во многом обусловлен перекрестным опылением, обеспечивающим значительное генетическое разнообразие и, как следствие, потенциал устойчивости к стрессовым факторам различной природы [4; 7; 10; 12]. Культура отличается исключительной зимостойкостью: в период перезимовки она противостоит комплексу неблагоприятных факторов – вымерзанию, выпреванию, вымоканию, образованию ледяных корок. Весной рожь эффективно использует запасы талых вод, что даёт ей дополнительное преимущество в регионах с неустойчивым увлажнением [10]. Рожь способна использовать агроклиматический потенциал различных регионов страны. Благодаря этим преимуществам рожь относится к стратегическим культурам России [12].

В современном мировом производстве зерна рожь играет меньшую роль, чем пшеница или ячмень, однако в Российской Федерации она остаётся одной из важнейших хлебных культур, особенно в регионах со сложными природно-климатическими условиями [4; 6; 10; 17]. Помимо высокой адаптивности, рожь представляет интерес и с точки зрения пищевой ценности. В её зерне содержится широкий спектр питательных и биологически активных веществ: белки, углеводы, пищевые волокна, макроэлементы (фосфор, калий, натрий, магний, кальций), микроэлементы (железо), витамины, ненасыщенные жирные кислоты [4].

Известно, что урожай озимой ржи и его качество зависят от действия факторов внешней среды и преодолеть их негативное влияние можно за счет создания экологически

устойчивых сортов. Важно учитывать характер адаптивных реакций сортов в различных экологических условиях [9; 13].

Несмотря на высокую устойчивость культуры к абиотическим факторам, биотические факторы представляют серьезную угрозу для реализации ее продукционного потенциала. Посевы озимой ржи поражаются болезнями практически в течение всего вегетационного периода. Симптомы инфицированности вирусами часто схожи с такими абиотическими факторами, как засуха, холод, переувлажнение, недостаток питательных веществ и др. Вирусы и вызываемые ими болезни распространяются шире из-за того, что идет активный обмен семенным фондом и интенсификация выращивания зерновых. В связи с чем необходим постоянный мониторинг вирусов современными молекулярно-генетическими методами диагностики [11; 15; 21].

Фитопатогенные вирусы являются серьезной угрозой для сельского хозяйства, в том числе для культуры ржи посевной (*Secale cereale* L.). Вирусные заболевания, такие как Желтая карликовость ячменя (BYDV – Barley yellow dwarf) и Полосатая мозаика пшеницы (WSMV – Wheat streak mosaic virus), способны нанести значительный ущерб урожаю злаковых культур [15; 21]. В связи с этим, исследование зараженности указанными вирусами сортов ржи является актуальной задачей.

Вирус WSMV может естественным образом инфицировать многие виды растений семейства злаковых. На зерновых культурах вирус WSMV обычно вызывает симптомы полосатой мозаики, но также может вызывать некроз побегов и общее замедление роста растений. В некоторых случаях симптомы WSMV можно спутать с симптомами других вирусов злаков [15; 18]. Вирусы желтой карликовости (YDV) передаются тлями и широко распространены в регионах, где возделываются зерновые культуры, вызывая значительные потери урожая и ухудшение качества зерна. Инфекция BYDV нарушает функцию флоэмы, приводя к уменьшению кущения, хлорозу листьев, замедлению роста и потерям урожая [16]. BYDV наносит наибольший вред в условиях прохладного климата, а вредоносность WSMV проявляется активнее в южных регионах [8]. Урожай зерновых культур при инфицировании BYDV снижается на 60%, а при инфицировании WSMV снижается на 18–65% [3].

Сложность диагностики вирусных заболеваний обусловлена сходством их симптоматики с проявлениями абиотических стрессов, а также известно, что несколько вирусов могут инфицировать хозяина и изменять проявление симптомов, все это затрудняет своевременное выявление инфекции при визуальной оценке [10; 20]. В связи с вышеперечисленным применение молекулярно-генетических методов, в частности ОТ-ПЦР в реальном времени, является наиболее надежным инструментом для точной идентификации патогенов.

В настоящее время остаётся недостаточно изученным уровень распространенности вирусных инфекций в посевах озимой ржи в условиях Предуралья, а также степень устойчивости современных сортов отечественной селекции к данным патогенам.

Отсутствие подобных данных ограничивает возможности научно обоснованного подбора сортов и разработки эффективных мер фитосанитарного контроля.

Цель работы – изучение зараженности вирусами желтой карликовости ячменя (BYDV) и полосатой мозаики пшеницы (WSMV) посевов озимой ржи в Предуралье.

#### **Материал и методы.**

В 2023 и 2024 годах на территории Предуралья были проведены исследования зараженности посевов озимой ржи вирусами WSMV и BYDV. В исследовании были использованы 8 сортов озимой ржи (*Secale cereale*) отечественной селекции: Ника 3, Викрас, Паром, Чусовая, Лика, Ритм, Памяти Кунакбаева и Графиня. Исследованные сорта включали как допущенные к использованию в Волго-Вятском регионе допуска (Паром, Памяти Кунакбаева, Лика, Графиня), так и находящиеся на государственном сортоиспытании (Ника 3, Викрас, Чусовая, Ритм). В местах выращивания сортов почва дерново-подзолистая [21]. Вблизи посевов находятся потенциальные места резервации вирусной инфекции.

Оценка наличия патогенов в образцах озимой ржи проведена методом ПЦР в реальном времени. Материалом для выделения РНК послужили фрагменты подфлаговых листьев, собранные во время генеративного периода. Выделение нуклеиновых кислот производилось из 20 мг растительного материала в стерильных условиях по модифицированному СТАВ методу [19], с использованием в качестве сорбента PVPP (polyvinylpolypyrrolidone) [5]. Всего было собрано и проанализировано 80 образцов (по 10 образцов каждого сорта) *S. cereale*. Концентрацию и качество нуклеиновых кислот определяли на спектрофотометре NanoDrop2000.

Методом обратной транскрипции выделенную РНК перевели в кДНК в процессе полимеразной цепной реакции в реальном времени (ОТ-ПЦР-РВ). Работы осуществлялись на термоциклере CFX96 (Bio-Rad, USA) с использованием реактивов производства ООО «НПФ Синтол». Наборы реактивов состояли из: реакционной смеси; положительного контрольного образца (ПКО), содержащего фрагменты кДНК исследуемого вируса; ДНК-полимеразы и обратной транскриптазы (synTaq+RT); отрицательного контрольного образца (ОКО). Каждый из использованных наборов реагентов специфичен для обнаружения фрагментов вирусов (Желтой карликовости ячменя и Полосатой мозаики пшеницы). Канал флуоресценции FAM (синий) качественно определяет наличие в пробе РНК вируса. Второй канал флуоресценции HEX (зеленый) является внутренним положительным контролем [1]. Каждая проба была проанализирована индивидуально.

ПЦР-РВ проведена при условиях, предусмотренных в инструкции производителя ООО «НПФ Синтол». Интерпретация результатов ОТ-ПЦР-РВ проведена в программе Bio-Rad CFX Manager согласно инструкции компании ООО «НПФ Синтол».

#### **Результаты и обсуждение.**

В ходе исследования было проанализировано 8 сортов озимой ржи, возделываемых в Предуралье. Установлено, что доля образцов, инфицированных вирусом жёлтой

карликовости ячменя (BYDV), составила 43,8%, тогда как уровень заражённости вирусом полосатой мозаики пшеницы (WSMV) не превышал 11,3% (табл.). При этом наблюдается значительная вариабельность значений порогового цикла (St), отражающая различную степень вирусной нагрузки у исследованных растений.

Анализ зараженности по сортам показал значительную вариабельность восприимчивости сортов к вирусу BYDV. Установлено, что максимальная доля инфицированных растений отмечена у сорта Ритм (90%), а также у сортов Графиня (80%) и Лика (70%), что свидетельствует о их высокой восприимчивости к данному патогену. Средний уровень зараженности характерен для сортов Паром (60%), Ника 3 и Чусовая (по 50%). В то же время у сортов Викрас и Памяти Кунакбаева вирус не обнаружен (0%), что позволяет рассматривать их как потенциально устойчивые формы.

Наиболее низкие значения St (менее 15 циклов), зафиксированные у отдельных образцов сортов Ника 3 и Чусовая, свидетельствуют о высокой концентрации вируса и интенсивном развитии инфекционного процесса, а также может косвенно указывать на повышенную восприимчивость сортов. В то же время у ряда сортов (Викрас, Памяти Кунакбаева) вирус не обнаружен, что может указывать на их относительную устойчивость или отсутствие контакта с источником инфекции. Наиболее высокая встречаемость вируса отмечена у сортов **Паром, Лика и Ритм**, где фиксировались значения St в диапазоне 30–35 циклов, что свидетельствует о наличии вируса в умеренной концентрации.

Зараженность вирусом WSMV носила значительно более ограниченный характер и не превышала 20%. Наиболее часто данный вирус выявлялся у сортов Паром, Графиня и Лика (по 20%), тогда как у большинства сортов он не был обнаружен. Это может свидетельствовать о меньшей распространенности данного патогена в исследуемых агроценозах. Вирус WSMV выявлен преимущественно при значениях St выше 28–30 циклов, что указывает на низкую вирусную нагрузку и, вероятно, менее активное его распространение в агроценозе.

Таблица

**Зараженность сортов озимой ржи вирусами BYDV (Вирус желтой карликовости ячменя) и WSMV (Вирус полосатой мозаики пшеницы) в условиях Предуралья с использованием метода ОТ-ПЦР-РВ**

№	Сорт	BYDV, цикл	WSMV, цикл	№	Сорт	BYDV, цикл	WSMV, цикл
1	Викрас	-	-	41	Графиня	34,79	-
2		-	-	42		-	28,92
3		-	-	43		33,61	-
4		-	-	44		-	-
5		36,70	-	45		-	-
6		-	-	46		-	16,66
7		-	-	47		-	-
8		-	-	48		34,53	-
9		-	-	49		34,64	-
10		12,80	-	50		35,07	30,19

11	Ника 3	12,28	-	51	Памяти Кунакбаева	-	-
12		-	-	52		-	-
13		-	-	53		-	-
14		24,45	-	54		-	-
15		28,40	-	55		-	-
16		-	-	56		-	-
17		30,13	-	57		-	-
18		32,35	-	58		-	-
19		-	-	59		-	-
20		-	-	60		-	31,92
21	Чусовая	6,08	-	61	Лица	30,18	-
22		1,60	-	62		-	-
23		2,38	-	63		33,44	32,60
24		30,90	-	64		-	-
25		-	-	65		-	-
26		-	-	66		-	-
27		-	-	67		-	-
28		-	-	68		-	21,63
29		31,45	-	69		-	-
30		-	-	70		34,59	-
31	Паром	32,72	-	71	Ритм	-	30,62
32		34,46	-	72		30,52	-
33		-	1,26	73		20,93	-
34		28,86	-	74		32,67	-
35		31,36	-	75		33,61	-
36		27,71	-	76		34,53	-
37		31,77	3,22	77		34,79	-
38		-	-	78		35,07	-
39		-	-	79		13,79	-
40		-	-	80		19,13	-

Примечание: BYDV – Barley yellow dwarf (Вирус желтой карликовости ячменя), WSMV – Wheat streak mosaic virus (Вирус полосатой мозаики пшеницы), цикл – пороговый цикл (Сt), № – порядковый номер образца, - – отсутствие патогена

В результате молекулярно-генетического анализа установлено, что заражённость исследованных сортов озимой ржи вирусами BYDV и WSMV носит неравномерный характер и существенно варьирует в зависимости от сорта. Анализ распределения инфицированных растений показывает, что в условиях Предуралья формируется устойчивый инфекционный фон, обусловленный наличием переносчиков и благоприятными условиями для циркуляции вирусов. Выявленные различия в зараженности сортов отражают их генетически обусловленную устойчивость к вирусным инфекциям. Сорта с низкой частотой инфицирования могут рассматриваться как перспективные для возделывания в условиях повышенного фитосанитарного риска.

Полученные результаты указывают на выраженную сортовую специфику устойчивости, что подтверждает значительную роль сорта в формировании устойчивости к вирусным инфекциям и подчеркивает необходимость учета данного фактора при подборе сортов для возделывания в условиях повышенного фитосанитарного риска. Результаты

также согласуются с тем фактом, что вирус желтой карликовости ячменя наносит наибольший вред в условиях прохладного климата.

По наблюдениям НИИСХ Северо-Востока и Фаленской селекционной станции на территории Нечерноземной зоны России из-за засоренности злаковыми сорняками посевов и обочин полей, а также из-за распространения тлей усиливается вирусная нагрузка на посевах зерновых культур, особенно часто появляются болезни с симптомами желтух, покраснения, закукливания [2]. На исследованной территории были отмечены злаковые сорняки по обочинам полей, что является негативным фактором для фитосанитарной обстановки посевов. Согласно данным фитосанитарного обзора на исследованной территории в 2023 и 2024 годах был резкий скачок заселенности злаковыми тлями, которые являются переносчиками вирусов (особенно BYDV) [3; 22; 23]. Все это может объяснять присутствие вирусов, а также большое число зараженных BYDV растений в посевах озимой ржи. Таким образом, для выращивания в условиях повышенной вирусной нагрузки в условиях Предуралья рекомендуются сорта озимой ржи Викрас и Памяти Кунакбаева, поскольку они оказались менее восприимчивы к вирусам в проведенном исследовании.

#### **Заключение.**

Проведенное исследование позволило установить особенности распространения вирусных инфекций в посевах озимой ржи в условиях Предуралья. Показано, что вирус желтой карликовости ячменя является доминирующим патогеном (43,8% зараженности исследованных проб), тогда как вирус мозаики пшеницы встречается реже (11,3% зараженности исследованных проб). Выявлены существенные различия в степени зараженности между сортами, что свидетельствует о наличии генетически обусловленной устойчивости. Установлено, что отдельные сорта (Викрас и Памяти Кунакбаева) характеризуются пониженной восприимчивостью к вирусной инфекции и могут быть рекомендованы для использования в селекционных программах и производстве.

Применение метода ОТ-ПЦР-РВ подтвердило его высокую чувствительность и информативность при диагностике фитопатогенов, что делает его эффективным инструментом фитосанитарного мониторинга. Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных данных при выборе устойчивых сортов и разработке мер по снижению вирусной нагрузки в агроценозах Предуралья. Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением спектра изучаемых вирусов, анализом взаимодействия патогенов и растений, а также использованием молекулярных маркеров устойчивости.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (тема No 122032200247-7).*

## Литература

1. Артемьева Т.А., Карпухин М.Ю. Сравнение методов ИФА и ПЦР анализа при определении вирусной патологии у растений картофеля // Молодежь и наука. 2019. № 78. С. 35.
2. Баталова Г.А. Селекция зерновых культур на иммунитет на северо-востоке Европейской территории России // Зерновое хозяйство России. 2017. № 3(51). С. 8-11.
3. Богоутдинов Д.З., Кастальева Т.Б., Гирсова Н.В. Вирусные заболевания зерновых культур в Самарской области // Вестник Оренбургского государственного университета. 2017. №. 4 (204). С. 46-52.
4. Кибкало И.А., Сафонова И.В. Изучение современных сортов озимой ржи по технологическим свойствам зерна // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2026. № 187(1). С. 98-110.
5. Нечаева Ю.С., Бельтюкова Н.Н., Пришнивская Я.В., Тайман К.Е. Оптимизация методик выделения ДНК некоторых хвойных видов растений Пермского края // Материалы международной конференции «Синтез знаний в естественных науках: Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование». Пермь, 2011. С. 278-282.
6. Овеснов С.А. Конспект флоры Пермской области. Пермский областной комитет по охране природы. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 1997. 252 с.
7. Парфенова Е.С., Псарева Е.А. Адаптивность сортов озимой ржи по урожайности в условиях Кировской области // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25. № 4. С. 561-570. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.561-570>
8. Приходько Ю.Н., Живаева Т.С., Лозовая Е.Н., Башкирова И.Г., Каримова Е.В., Калашников А.А., Шнейдер Ю.А. Вирус полосатой мозаики пшеницы (*Tritimovirus tritici*) - распространенность на пшенице в Российской Федерации и генетические особенности выявленных изолятов // Зерновое хозяйство России. 2025. Т. 17, № 2. С. 94-102. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2025-97-2-94-102>
9. Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 5. С. 617-626.
10. Чугаева В.В., Будько А.С., Карпович О.Н. Хозяйственная и биологическая характеристика нового сорта озимой тетраплоидной ржи залесная // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №. 2. С. 47-50.
11. Шешегова Т.К., Щеклеина Л.М., Уткина Е.И. Иммунологическая характеристика сортов озимой ржи // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 4. С. 30-35.
12. Яркова Т.М., Машкин В.С. Анализ и повышение эффективности производства зерна озимой ржи в Пермском крае // Научный аспект. 2023. Т. 9. № 12. С. 1050-1055.
13. Devi B.M., Guruprasath S., Balu P., Chattopadhyay A., Thilagar S.S., Dhanabalan K.V., Choudhary M., Moparthi S., Jailani A.A.K. Dissecting Diagnostic and Management

Strategies for Plant Viral Diseases: What Next?. *Agriculture*. 2024. 14. 284. <https://doi.org/10.1007/s00284-025-04280-4>

14. Hafeez A., Ali B., Javed M. A., Saleem A., Fatima M., Fathi A., ... Souady F. A. Plant breeding for harmony between sustainable agriculture, the environment, and global food security: an era of genomics-assisted breeding // *Planta*. 2023. Т. 258. №. 5. С. 97. <https://doi.org/10.1007/s00425-023-04252-7>

15. Khorina N.A., Lopatkin A.A., Zhivaeva T.S., Prikhodko Y.N., Shneyder Y.A. Barley stripe mosaic virus—a serious pathogen affecting the export potential of the Russian Federation // *Plant H. Quar.* 2023. Т. 1. С. 32-46.

16. Kim N.K. Lee H.J., Kim S.M., Jeong R.D. Incidence and distribution of Barley yellow dwarf virus infecting oats in Korea // *Research in Plant Disease*. 2022. Т. 28. №. 1. С. 32-38. <https://doi.org/10.5423/RPD.2022.28.1.32>

17. Pomortsev A.V., Dorofeev N.V., Zorina S.Y., Katysheva N.B., Sokolova L.G., Zhuravkova A. S., Mikhailova E. V. Evaluation of population and hybrid varieties of winter rye in the conditions of Eastern Siberia // *Agronomy*. 2023. Т. 13. №. 5. С. 1431. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051431>

18. Pozhylov I., Snihur H., Shevchenko T., Budzanivska I., Liu W., Wang X., Shevchenko O. Occurrence and characterization of wheat streak mosaic virus found in mono-and mixed infection with high plains wheat mosaic virus in winter wheat in Ukraine // *Viruses*. 2022. Т. 14. №. 6. С. 1220. <https://doi.org/10.3390/v14061220>

19. Rogers S.O., Bendich A.J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues // *Plant Molecular Biology*. 1985. V. 1. № 19. P. 69-76.

20. Roy S.D., Ramasamy S., Obbineni J.M. An evaluation of nucleic acid-based molecular methods for the detection of plant viruses: a systematic review // *VirusDisease*. 2024. Т. 35. № 2. С. 357-376. <https://doi.org/10.1007/s13337-024-00863-0>

21. Tanu, Singh V.K., Pandey A., Gahlaut V., Kumar A. Viral Challenges in Wheat: Comprehensive Diagnosis and Innovative Management Approaches // *Current Microbiology*. 2025. Т. 82. № 7. С. 294. <https://doi.org/10.1007/s00284-025-04280-4>

22. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Пермском крае в 2023 г. Федеральное бюджетное учреждение «Россельхозцентр». URL: <https://clck.ru/3UDXuR> (дата обращения: 02.03.2026).

23. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Пермском крае в 2024 г. Федеральное бюджетное учреждение «Россельхозцентр». URL: <https://clck.ru/3UDXto> (дата обращения: 02.03.2026).

24. Почвенная карта РФ. URL: <https://soil-db.ru/map> (дата обращения: 29.03.2026).

## References

1. Artemyeva, T.A., & Karpukhin, M. Yu. (2019). Comparison of ELISA and PCR analysis methods for detecting viral pathology in potato plants. *Youth and Science*. (78). 35. (in Russ.)

2. Batalova, G.A. (2017). Breeding of grain crops for immunity in the northeast of the European territory of Russia. *Grain Economy of Russia*. 3(51). 8-11. (in Russ.)
3. Bogoutdinov, D Z., Kastaleva, T.B., & Girsova, N.V. (2017). Viral diseases of grain crops in Samara Oblast: Bulletin of Orenburg State University. 4(204). 46-52. (in Russ.)
4. Kibkalo, I.A., & Safonova, I.V. (2026). Study of modern winter rye varieties for grain technological properties. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 187(1). 98-110. (in Russ.)
5. Nechaeva, Yu.S., Beltyukova, N.N., Prishnivskaya, Ya.V., & Taiman, K.E. (2011). Optimization of DNA extraction methods for some coniferous plant species of Perm Krai. In *Proceedings of the international conference "Synthesis of knowledge in natural sciences: The Mine of the Future: projects, technologies, equipment"*. 278-282. (in Russ.)
6. Ovesnov, S.A. (1997). *Synopsis of the flora of Perm Oblast*. Perm: Perm State National Research University. 252. (in Russ.)
7. Parfenova, E.S., & Psareva, E.A. (2024). Adaptability of winter rye varieties for grain yield in the conditions of Kirov Oblast. *Agricultural Science of Euro-North-East*. 25(4). 561-570. (in Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.561-570>
8. Prikhodko, Yu.N., Zhivaeva, T.S., Lozovaya, E.N., Bashkirova, I.G., Karimova, E.V., Kalashnikov, A.A., & Shneyder, Yu.A. (2025). Wheat streak mosaic virus (*Tritimovirus tritici*) – prevalence on wheat in the Russian Federation and genetic characteristics of the revealed isolates. *Grain Economy of Russia*. 17(2). 94-102. (in Russ.). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2025-97-2-94-102>
9. Rybas, I.A. (2016). Increasing adaptability in grain crop breeding: *Agricultural Biology*. 51(5). 617-626. (in Russ.)
10. Chugaeva, V.V., Budko, A.S., & Karpovich, O.N. (2025). Economic and biological characteristics of a new winter tetraploid rye variety Zalesnaya. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. (2). 47-50. (in Russ.)
11. Sheshegova, T.K., Shchekleina, L.M., & Utkina, E.I. (2018). Immunological characterization of winter rye varieties. *Agricultural Science of Euro-North-East*. (4). 30-35. (in Russ.)
12. Yarkova, T.M., & Mashkin, V.S. (2023). Analysis and improvement of winter rye grain production efficiency in the Perm region. *Scientific aspect*. 9(12). 1050-1055. (in Russ.)
13. Devi, B.M., Guruprasath, S., Balu, P., Chattopadhyay, A., Thilagar, S.S., Dhanabalan, K.V., Choudhary, M., Moparthy, S., Jailani, A.A.K. (2024) Dissecting Diagnostic and Management Strategies for Plant Viral Diseases. *What Next?: Agriculture*. 14(2). 284. <https://doi.org/10.1007/s00284-025-04280-4>
14. Hafeez, A., Ali, B., Javed, M.A., Saleem, A., Fatima, M., Fathi, A., ... & Soudy, F.A. (2023). Plant breeding for harmony between sustainable agriculture, the environment, and global food security: an era of genomics-assisted breeding. *Planta*. 258(5). 97. <https://doi.org/10.1007/s00425-023-04252-7>

15. Khorina, N.A., Lopatkin, A.A., Zhivaeva, T.S., Prikhodko, Y.N., & Shneyder, Y.A. (2023). Barley stripe mosaic virus—a serious pathogen affecting the export potential of the Russian Federation. *Plant H.* 1. 32-46.
16. Kim, N.K., Lee, H.J., Kim, S.M., & Jeong, R.D. (2022). Incidence and distribution of Barley yellow dwarf virus infecting oats in Korea. *Research in Plant Disease.* 28(1). 32-38. <https://doi.org/10.5423/RPD.2022.28.1.32>
17. Pomortsev, A.V., Dorofeev, N.V., Zorina, S.Y., Katysheva, N.B., Sokolova, L.G., Zhuravkova, A.S., & Mikhailova, E.V. (2023). Evaluation of population and hybrid varieties of winter rye in the conditions of Eastern Siberia. *Agronomy.* 13(5). 1431. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051431>
18. Pozhylov, I., Snihur, H., Shevchenko, T., Budzanivska, I., Liu, W., Wang, X., & Shevchenko, O. (2022). Occurrence and characterization of wheat streak mosaic virus found in mono-and mixed infection with high plains wheat mosaic virus in winter wheat in Ukraine. *Viruses.* 14(6). 1220. <https://doi.org/10.3390/v14061220>
19. Rogers, S.O., & Bendich, A.J. (1985). Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. *Plant molecular biology.* 5(2). 69-76.
20. Roy, S.D., Ramasamy, S., & Obbineni, J.M. (2024). An evaluation of nucleic acid-based molecular methods for the detection of plant viruses: a systematic review. *Virus Disease.* 35(2). 357-376. <https://doi.org/10.1007/s13337-024-00863-0>
21. Tanu, Singh, V.K., Pandey, A., Gahlaut, V., & Kumar, A. (2025). Viral Challenges in Wheat: Comprehensive Diagnosis and Innovative Management Approaches. *Current Microbiology.* 82(7). 294. <https://doi.org/10.1007/s00284-025-04280-4>
22. Review of the phytosanitary condition of agricultural crops in the Perm Territory in 2023 // Federal State Budgetary Institution “Russian Agricultural Center” (FSBI “Rosselkhoztsentr”). URL: <https://clck.ru/3UDXuR> (reference’s date: 02.03.2026).
23. Review of the phytosanitary condition of agricultural crops in the Perm Territory in 2024 // Federal State Budgetary Institution “Russian Agricultural Center” (FSBI “Rosselkhoztsentr”). URL: <https://clck.ru/3UDXto> (reference’s date: 02.03.2026).
24. Soil map of the Russian Federation. URL: <https://soil-db.ru/map> (accessed: 29.03.2026)

дата поступления: 07.04.2026

дата принятия: 08.06.2026

© Печенкина В.А., 2026

Чукина Н.В., Глазырина М.А., Филимонова Е.И., Лукина Н.В., Кордюк А.А.

## АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОРХИДЕИ *EPIPACTIS PALUSTRIS* НА ТЕХНОГЕННЫХ СУБСТРАТАХ

N.V. Chukina, M.A. Glazyrina, E.I. Filimonova, N.V. Lukina

### ANATOMICAL, MORPHOLOGICAL, AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE ORCHID *EPIPACTIS PALUSTRIS* ON TECHNOGENIC SUBSTRATES

**Аннотация.** Целью исследования было изучение анатомо-морфологических и биохимических показателей дремлика болотного (*Epipactis palustris* (L.) Crantz, Orchidaceae), произрастающего в растительных сообществах, формирующихся на золоотвалах Нижнетуринской и Рефтинской государственных районных электростанций и в естественном растительном сообществе. Анатомо-морфологические параметры листьев изучали на поперечных срезах с использованием системы обработки изображений «SIAMS Mesoplant». Содержание пигментов, низкомолекулярных антиоксидантов, а также уровень перекисного окисления липидов в листьях исследовали стандартными спектрофотометрическими методами. Показано, что у *E. palustris* в условиях золоотвалов происходило уменьшение высоты генеративных побегов, площади листовой пластинки и количества цветков. Растения, произрастающие в трансформированных местообитаниях, накапливали в листьях меньше азота и фосфора, что связано с дефицитом данных элементов в зольных субстратах. В условиях золоотвалов у растений *E. palustris* происходило увеличение внутренней ассимилирующей поверхности листа, что является адаптивной реакцией фотосинтетического аппарата на повышение уровня освещения и снижение доступности воды в субстрате. В листьях растений, произрастающих на золоотвалах, происходило снижение концентрации фотосинтетических пигментов: хлорофилла *a* и каротиноидов. При этом у изученных орхидей увеличивался синтез в листьях неэнзиматических антиоксидантов: аскорбиновой кислоты, пролина и фенольных соединений. Результаты комплексного исследования показали, что золоотвалы могут являться временными местообитаниями для сохранения генофонда *E. palustris*.

**Ключевые слова:** *Epipactis palustris*, золоотвал, ценопопуляции, морфологические параметры, пигменты, антиоксиданты

**Abstract.** The aim of this study was to investigate the anatomical, morphological, and biochemical parameters of *Epipactis palustris* (L.) Crantz growing in plant communities formed on ash dumps of the Nizhneturinskaya and Reftinskaya state power stations and in a natural plant community. Anatomical and morphological parameters of leaves were studied using the SIAMS Mesoplant image processing system. The content of pigments and non-enzymatic antioxidants, as well as the level of lipid peroxidation in leaves, were analyzed using standard spectrophotometric methods. It was shown that in *E. palustris* growing on ash dumps, the height of generative shoots, leaf area, and the number of flowers decreased. Plants growing in transformed habitats accumulated less nitrogen and phosphorus in leaves due to deficiency of these elements in the ash substrates. On ash dumps, *E. palustris* exhibited an increase in the leaf internal assimilating surface, which is photosynthetic apparatus adaptive response to increased insolation and reduced substrate water availability. In the leaves of plants growing on ash dumps, the content of chlorophyll *a* and carotenoids was decreased. Under such unfavorable conditions, the content of non-enzymatic antioxidants (ascorbic acid, proline, and soluble phenol) was increased in *E. palustris* leaves. The results of this comprehensive study indicate that disturbed habitats (ash dumps) can serve as temporary habitats for the conservation of the gene pool of *E. palustris*.

**Key words:** *Epipactis palustris*, ash dump, coenopopulations, morphophysiological parameters, pigments, antioxidants

**About the authors:** Nadezhda V. Chukina, ORCID: 0000-0001-5517-0240, Candidate of Biological Sciences, Ural Federal University

**Сведения об авторах:** Чукина Надежда Владимировна, ORCID: 0000-0001-5517-0240, канд. биол. наук, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, nady\_dicusar@mail.ru; Глазырина Маргарита Александровна, ORCID: 0000-0001-8258-270X, канд. биол. наук, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, Margarita.Glazyrina@urfu.ru; Филимонова Елена Ивановна, ORCID: 0000-0001-6937-0139, канд. биол. наук, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, Elena.Filimonova@urfu.ru; Лукина Наталия Валентиновна, ORCID: 0000-0001-6425-6214, канд. биол. наук, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, natalia.lukina@urfu.ru; Кордюк Анастасия Александровна, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия, kordyuk.nasta@mail.ru

named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia, nady\_dicusar@mail.ru; Margarita A. Glazyrina, ORCID: 0000-0001-8258-270X, Candidate of Biological Sciences, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia, Margarita.Glazyrina@urfu.ru; Elena I. Filimonova, ORCID: 0000-0001-6937-0139, Candidate of Biological Sciences; Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia, Elena.Filimonova@urfu.ru; Natalia V. Lukina, ORCID: 0000-0001-6425-6214, Candidate of Biological Sciences, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia, natalia.lukina@urfu.ru; Anastasia A. Kordyuk, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia, kordyuk.nasta@mail.ru

Чукина Н.В., Глазырина М.А., Филимонова Е.И., Лукина Н.В., Кордюк А.А. Анатомо-морфологические и биохимические характеристики орхидеи *Epipactis palustris* на техногенных субстратах // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 109-122. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/10>

Chukina N.V., Glazyrina M.A., Filimonova E.I., & Lukina N.V. (2026). Anatomical, Morphological, and Biochemical Characteristics of the Orchid *Epipactis Palustris* on Technogenic Substrates. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 109-122. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/10>

**Введение.** В настоящее время все более актуальной становится проблема сохранения биологического разнообразия. Изменения естественной среды обитания приводят к исчезновению многих видов, в том числе представителей семейства Orchidaceae Juss. В то же время в последние десятилетия некоторые виды редких орхидей обнаружены в антропогенно нарушенных местообитаниях, в том числе на промышленных отвалах [3; 16]. Одним из таких видов является *Epipactis palustris* (L.) Crantz. Вид внесен в Красные книги 49 регионов России, в том числе и в Красную книгу Свердловской области, где ему присвоена II категория – уязвимый вид [9; 10].

Дремлик болотный (*Epipactis palustris* (L.) Crantz), семейство Orchidaceae Juss. – евразийский бореальный геофит, длиннокорневищный травянистый многолетник, высотой до 50 см. Вид цветет в июне-июле. Размножается преимущественно вегетативно с помощью ветвления корневища, семенное возобновление встречается нечасто. Обычно вид слабо инфицируется микоризой, но на бедных почвах и в затененных местообитаниях доля микоризной инфекции увеличивается [3; 5]. Из всех видов рода *Epipactis* Zinn он наиболее декоративен, легко поддается культивированию, очень перспективен для интродукции [3].

*E. palustris* имеет узкую экологическую нишу. Он светолюбив, может встречаться на территориях с небольшим затенением. По отношению к влаге – гигрофит, выдерживает периодическое затопление и недостаточную аэрацию почвы. Не требователен к содержанию гумуса в почве и ее богатству азотом. *E. palustris* предпочитает глинистые и торфянистые почвы с нейтральной и щелочной реакцией среды, с большим содержанием кальция. В связи с этим чаще всего встречается на известковых низинных осоковых болотах, а также в заболоченных лесах с несильным затенением [3; 5]. *E. palustris* может встречаться во вторичных местообитаниях: канавах с высокой влажностью, известняковых карьерах [3]. Численность *E. palustris* сокращается преимущественно из-за антропогенного воздействия, особенно в результате загрязнения окружающей среды и осушения, торфоразработки и выпаса скота.

В настоящее время накоплено достаточное количество данных об экологических приспособлениях орхидных и о роли микоризы в адаптации этих растений к негативным факторам среды [3; 5]. Однако исследований, посвященных изучению физиолого-биохимических параметров орхидных, особенностей их мезоструктурного аппарата, функционированию антиоксидантной системы в стрессовых условиях мало. Фрагментарны данные и о фотосинтетической активности орхидей, произрастающих в трансформированных местообитаниях. В связи с этим, изучение адаптивных особенностей *E. palustris* является важным для разработки мер по его охране и интродукции.

**Цель исследования** – комплексная оценка анатомо-морфологических и биохимических характеристик *E. palustris*, произрастающего в техногенно нарушенных и естественных местообитаниях.

**Объекты и методы исследования.** Исследования проводили в Свердловской области (Средний Урал) в июне-июле 2021–2023 гг. Район исследований расположен в таежной зоне подзоне южной тайги. Климат района – умеренно-континентальный, продолжительная (5–6 месяцев) холодная зима, относительно теплое лето (3 месяца). Среднегодовые температуры за годы наблюдений составили 1,9°C – 3,3°C; средние суммы осадков: 429,8 мм – 469,2 мм.

Изучены три ценопопуляции *E. palustris*: две из них в растительных сообществах, формирующихся на золоотвалах, одна – в естественном растительном сообществе.

Первая ценопопуляция *E. palustris* (ЦП1) изучена на золоотвале Нижнетуринской государственной районной электростанции (НТГРЭС), расположенном в 19 км от г. Нижняя Тура на месте бывшего Вогульского болота и занимающего площадь около 440 га (58°41'47" N; 60°01'19" E). Золоотвал заливался пульпой с 1992 г. по 2015 г. посекционно. Каких-либо рекультивационных мероприятий на нем не проводилось. *E. palustris* впервые был обнаружен в 2017 г. на участке хвощово-зеленомошно-маршанциевого ивняка [14]. К 2022 г. на данной территории сформировался разреженный подрост *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth и *Betula pubescens* Ehrh. высотой до 3–3,5 м. Проективное покрытие (ПП) древесного яруса в среднем составляло 20%. За 5 лет в

растительном сообществе произошло увеличение ПП кустарникового яруса (до 45%) и увеличение видового разнообразия. В составе травяно-кустарничкового яруса (ПП 35%) доминировали *Equisetum fluviatile* L., *E. palustris*, встречались также группы *Hieracium umbellatum* L. Численность *E. palustris* составляла 164 растений на 15 м<sup>2</sup>. Мониторинговые наблюдения показали, что по мере высыхания зольного субстрата и трансформации растительного покрова происходила миграция ценопопуляции *E. palustris* на более увлажненные участки золоотвала НТГРЭС [4].

Вторая ценопопуляция *E. palustris* (ЦП2) изучена на полигоне аварийных сбросов золы Рефтинской государственной районной электростанции (РГРЭС), расположенном рядом с рекультивированным золоотвалом №1 в 18 км от г. Асбеста (57°07'33" N; 61°44'04" E). Полигон выведен из эксплуатации в середине 1980-х годов. ЦП2 *E. palustris* обнаружена в ивняке тростниково-вейниковом, формирующемся на зольном субстрате. Древесный ярус не выражен. Кустарниковый ярус представлен *Salix cinerea* L., *Salix myrsinifolia* Salisb., *Salix triandra* L., *Salix pentandra* L., *Salix phylicifolia* L. (ПП 55%). В травяно-кустарничковом ярусе преобладали *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *E. palustris*, *Melilotus albus* Medik. и др., ПП варьировало от 50 до 95%. Численность *E. palustris* составляла 602 растения на 15 м<sup>2</sup>.

Контрольная ценопопуляция (ЦПК) *E. palustris* изучена в естественном растительном сообществе на территории гидрологического и зоологического памятника природы «Болото Багаряк» (56°22'38" N; 60°50'07" E) (Сысертский муниципальный округ). *E. palustris* произрастал в прибрежной зоне на заболоченной прогалине, расположенной на месте выхода известняковых жил. Растительность прогалины отличалась от окружающего лесного массива и была представлена разнотравно-осоковым ивняком. Слабо выраженный древесный ярус состоял из *P. sylvestris*, *Betula humilis* Schrank, *B. pubescens*, *B. pendula*. Высота древостоя достигала 3–4 м, ПП древесного яруса составляла 30%. В кустарниковом ярусе встречались *S. myrsinifolia* и *S. pentandra*. В травяно-кустарничковом ярусе (ПП 40–85%) доминировали осоки. Численность *E. palustris* составляла 434 растений на 15 м<sup>2</sup>.

Изучение морфологических параметров *E. palustris* проводили в полевых условиях. У генеративных побегов измеряли: высоту (см), длину соцветия (см), подсчитывали число цветков и листьев (шт.), обводили на бумагу листья срединной формации. Расчет площади листьев производили в программе JMicroVision 1.2.7 в лабораторных условиях.

В каждом местообитании отбирали образцы почвы с глубины корнеобитаемого слоя. Определение рН и минерализации субстратов проводили в водной вытяжке (навеска 10 г, объем раствора 25 мл) кондуктометром PCE-PHD 1 (Испания). Общий органический углерод (С) определяли методом Тюрина; обменный Са и Mg –титрованием; гигроскопическую влажность – методом высушивания, при 105°C в сушильном шкафу [1].

Для изучения биохимических и анатомических показателей во всех местообитаниях отбирали по 3–5 листьев с 5–10 генеративных побегов (усредненная навеска листьев). Определение содержания общего азота и фосфора в листьях проводили после мокрого

озолени сухой навески смесью кислот:  $H_2SO_4$  и  $HClO_4$  (10:1). Общий азот определяли с реактивом Несслера, фосфор – по реакции молибдата аммония в кислой среде при длине волны 400 нм и 640 нм, соответственно [18].

Для изучения мезоструктурных характеристик высечки листьев фиксировали в 3,5% растворе глутарового альдегида (рН 7,0). На поперечных срезах листьев, изготовленных на замораживающем микротоме МЗ-2 (Россия), определяли: толщину листа, толщину мезофилла и эпидермиса, а также размеры хлоропластов. Размеры клеток мезофилла, их количество в единице площади листа определяли на клеточных мацератах на световом микроскопе Meiji MT 4300L (Япония) согласно методике [7]. На основании измеренных показателей мезоструктуры рассчитывали интегральные параметры: индекс поверхности наружных мембран клеток (ИМК) и наружных мембран хлоропластов (ИМХ) [7]. Измерения проводили в 30-кратной повторности в программе SIAMS MesoPlant (Россия).

Содержание продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ), аскорбиновой кислоты, пролина, а также фенолов и флавоноидов в листьях орхидей определяли спектрофотометрически на приборе PD-303UV (Япония) согласно методике [2]. ПОЛ рассчитывали по количеству малонового диальдегида (МДА), измеряя опытный экстракт при длинах волн 520 и 600 нм, свободный пролин определяли по реакции с ацидингидриновым реактивом при 520 нм, аскорбиновую кислоту при 240 нм. Концентрацию общих фенольных соединений и флавоноидов определяли в 70% этанольном экстракте после настаивания навески мелко измельченных листьев в течении 24 часов в темноте. Реактив Фолина-Чокальтеу, использовали для определения фенолов (расчет проводили по рутину), хлорид алюминия – для флавоноидов, в качестве стандарта использовалась галловая кислота. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях определяли спектрофотометрически в 80% ацетоновых экстрактах при длинах волн 470, 624, 647 и 663 нм и рассчитывали по методике [21].

Физиолого-биохимические показатели определяли в 3-кратной биологической и 3–5 кратных аналитических повторностях. Показатели рассчитывали на сухой вес листа (с.в.). Статистический анализ данных проводили с использованием непараметрического критерия Манна-Уитни, при уровне значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и обсуждение.** Исследования показали, что для зольных субстратов (ЦП1, ЦП2), по сравнению с почвой заболоченного берега оз. Багаряк (ЦПК) характерно существенно более низкое содержание общего органического углерода, Са, Mg и гигроскопической влаги. Реакция среды субстрата с золоотвала НТГРЭС и почвы из естественного местообитания была нейтральной, с золоотвала РГРЭС – слабощелочной. При этом почвы из естественного местообитания характеризовались более высокой минерализацией (табл. 1).

Таблица 1

**Агрохимические показатели почвы исследуемых участков на золоотвалах  
Нижнетуринской и Рефтинской ГРЭС и в контрольном местообитании**

№ ЦП	рН <sub>H2O</sub>	Общий органический углерод, %	Гигровлага, %	Содержание, мг-экв/100 г субстрата		Общее содержание солей, мг/л
				Ca	Mg	
ЦП1	6,58–6,97	4,53	0,37	1,7	0,3	31,33
ЦП2	7,79–7,90	2,08	0,18	1,2	0,8	72,00
ЦПК	6,63–7,18	13,89	5,55	11,4	8,6	267,00

Анализ морфологических параметров показал, что высота генеративных побегов *E. palustris*, произрастающих на золоотвалах, была на 20–25% меньше, чем в естественном местообитании. Средняя длина соцветия в ЦП1 и ЦП2 была больше, а число цветков меньше, чем на ЦПК. Общее число листьев на побег статистически значимо не различалось. Средняя площадь листа срединной формации у орхидей с нарушенных местообитаний была меньше, по сравнению с контролем, в ЦП1 – на 28%, в ЦП2 – на 11% (табл. 2).

Таблица 2

**Морфологическая характеристика *E. palustris*, произрастающего на золоотвалах  
Нижнетуринской и Рефтинской ГРЭС и в контрольном местообитании**

Параметры	ЦП1	ЦП2	ЦПК
Высота побега, см	39,40±2,75a	42,17±1,45a	52,03±2,08b
Длина соцветия, см	9,32±0,67ab	10,70±0,47b	8,66±0,58a
Число цветков, шт.	6,18±0,62a	10,22±0,62b	11,56±0,91c
Число листьев срединной формации, шт. на побег	5,94±0,24b	4,35±0,13a	6,00±0,14b
Площадь листа срединной формации, см <sup>2</sup>	13,8±1,1a	17,1±1,3b	19,2±0,9c

*Примечание:* Представлены средние арифметические значения ± SE (n = 30). Разными латинскими буквами отмечены достоверные различия между участками при p < 0,05.

Как было отмечено ранее, содержание азота и доступность фосфора (важнейших структурных элементов растений) в зольных субстратах низкие [14]. Исследования показали, что в листьях орхидей из ЦП1 и ЦП2, наблюдается снижение содержания общего азота (%) (1,90±0,03 и 2,00±0,03 соответственно) и фосфора (%) (0,24±0,01 и 0,21±0,01) по сравнению с ЦПК (азота – 3,67±0,01; фосфора – 0,29±0,01).

Растения способны приспосабливаться к неблагоприятным условиям среды на клеточно-тканевом уровне благодаря перестройкам фотосинтетического аппарата, что выражается в изменении мезоструктурных характеристик листа. Эти преобразования можно рассматривать как показатель адаптивных способностей растения [13].

Для листьев *E. palustris* характерен гомогенный мезофилл. Главная фотосинтезирующая ткань представлена губчатым мезофиллом, состоящим из клеток неправильной формы, часто с большой долей межклетников. Установлено, что у растений *E. palustris* во всех изученных местообитаниях толщина листа статистически значимо не различалась. Толщина верхнего и нижнего эпидермиса была больше в ЦП2 (табл. 3). Толщина мезофилла – больше у растений в ЦП1. В листьях изученных растений в условиях

золоотвалов достоверно увеличивалось число клеток мезофилла в единице площади листа, но при этом уменьшались их размеры. Полученные результаты соответствуют литературным данным, в которых отмечено, что орхидеи, заселяющие зольные субстраты, характеризующиеся низкими значениями гигровлаги, приобретают ксероморфные черты в строении листа [15].

Удельная поверхностная плотность листа (УППЛ) – важная анатомо-морфологическая характеристика, отражающая структурную плотность листовой пластинки, которая может изменяться в зависимости от факторов среды [13]. У растений *E. palustris*, из ЦП1, ЦП2 и ЦПК УППЛ статистически значимо не различалась (табл. 3). Аналогичные результаты были получены для орхидеи *Platanthera bifolia* (L.) Rich., произрастающей на золоотвалах [15].

Таблица 3

**Мезоструктурные параметры *E. palustris*, произрастающего на золоотвалах Нижнетуринской и Рефтинской ГРЭС и в контрольном местообитании**

Параметры	ЦП1	ЦП2	ЦПК
УППЛ, мг/см <sup>2</sup>	370,22±16,69a	368,90±10,68a	361,27±13,07a
Толщина листа, мкм	199,92±6,49a	190,76±3,39a	190,70±3,06a
Толщина верхнего и нижнего эпидермиса, мкм	54,92±2,92a	73,24±1,64b	63,39±3,66a
Толщина мезофилла, мкм	145,00±6,08b	117,52±3,06a	127,31±3,06a
Количество клеток мезофилла, 10 <sup>3</sup> /см <sup>2</sup>	150,39±6,94c	122,88±4,81b	99,14±4,09a
Объем клетки мезофилла, 10 <sup>3</sup> мкм <sup>3</sup>	63,34±4,89a	88,17±4,47b	104,32±5,67c
Количество хлоропластов в клетке, шт.	68,93±2,23a	72,63±2,01a	71,73±1,81a
Количество хлоропластов, 10 <sup>6</sup> /см <sup>2</sup>	9,61±0,44b	8,92±0,35b	7,12±0,33a
Объем хлоропласта, мкм <sup>3</sup>	52,67±2,01a	46,57±1,74a	52,02±1,88a
ИМК, см <sup>2</sup> /см <sup>2</sup>	16,19±0,75b	16,73±0,66b	12,09±0,50a
ИМХ, см <sup>2</sup> /см <sup>2</sup>	7,00±0,17b	5,53±0,14a	4,97±0,11a

*Примечание:* Представлены средние арифметические значения ± SE (n = 30). Разными латинскими буквами отмечены достоверные различия между участками при p < 0,05.

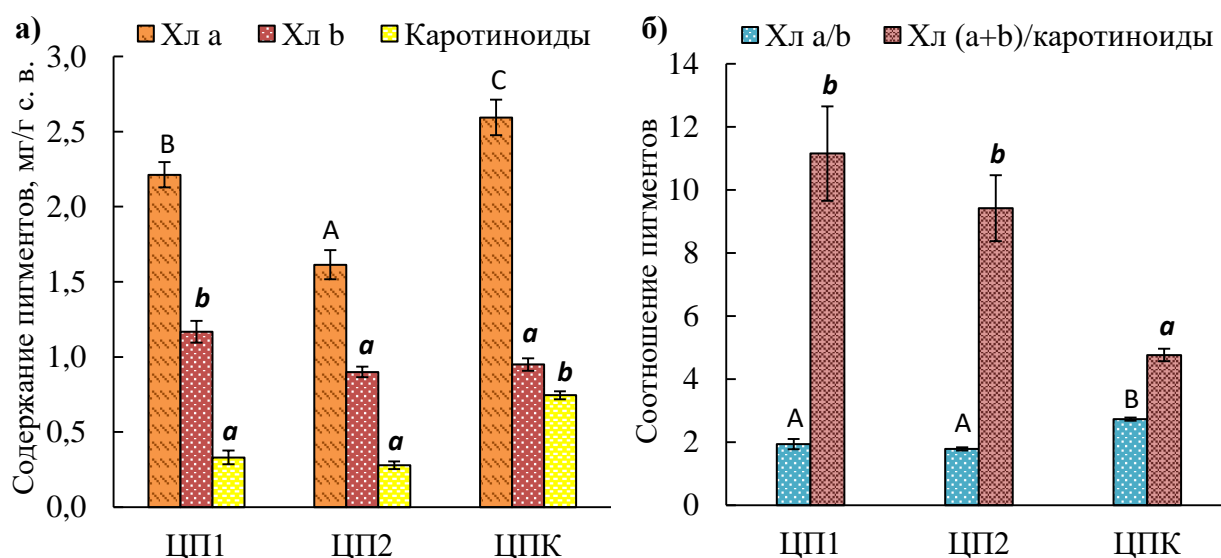
Число хлоропластов в клетке мезофилла и их размеры у растений в исследованных ценопопуляциях статистически значимо не различались, что говорит о стабильности этих показателей, мало подверженных фенотипическим изменениям и согласуется с литературными данными [12; 15; 18].

Листья орхидей, произрастающих в условиях золоотвалов, характеризовались достоверно большими значениями ИМК по сравнению с растениями из естественного фитоценоза (табл. 3), что свидетельствует об увеличении общей ассимилирующей поверхности мезофилла, которая обеспечивает фотосинтетическую деятельность растений. Вероятно, это связано с более высокой освещенностью на данных участках по сравнению с естественным фитоценозом, вследствие меньшей степени сформированности древесного и травяно-кустарничкового ярусов. Сходные изменения были также отмечены ранее для орхидей, колонизирующих техногенные субстраты [18]. Индекс поверхности наружных

мембран хлоропластов (ИМХ), связанный с интенсивностью фотосинтеза, был выше в ЦП1; в ЦП2 этот показатель не отличался от ЦПК (табл. 3).

Известно, что под действием негативных стрессовых факторов окружающей среды у растений нарушаются физиолого-биохимические процессы в клетках, в том числе и процесс фотосинтеза. Наиболее чувствителен к стрессу является пигментный комплекс растений. Разнообразные по природе стрессовые воздействия, в том числе недостаточная обеспеченность элементами минерального питания, такими как азот и фосфор, нередко приводят к снижению синтеза фотосинтетических пигментов в листе [17; 19].

Исследования показали, что в листьях *E. palustris* из ЦП1 и ЦП2, содержание хлорофилла *a* уменьшилось на 14% и 27% соответственно по сравнению с контрольными растениями. Отмечено также, что в условиях золоотвалов у орхидей существенно снижалась концентрация каротиноидов (более чем в два раза). При этом содержание хлорофилла *b* в листьях орхидей из ЦП2 достоверно не отличалось от контроля, а у растений из ЦП1 было немного выше (рис. 1). Соотношение фотосинтетических пигментов играет важную роль в приспособлении растений к разным экологическим условиям, в большей степени к уровню солнечной радиации [11]. В условиях золоотвалов у растений *E. palustris* соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* снижалось по сравнению с контрольными, а отношение суммы хлорофиллов к каротиноидам, напротив, возрастало. Это связано с более существенным снижением доли каротиноидов в общем пуле фотосинтетических пигментов листа (рис. 1).



**Рис. 1. Содержание фотосинтетических пигментов (а) и их соотношения (б) в листьях *E. palustris*, произрастающего на золоотвалах Нижнетуринской и Рефтинской ГРЭС и в контрольном местообитании. Разными латинскими буквами отмечены достоверные различия между участками при  $p < 0,05$**

Растения в техногенных местообитаниях зачастую подвергаются одновременному воздействию стрессовых факторов. Одной из неспецифических ответных реакций растений

является окислительный взрыв, связанный с активацией прооксидантных реакций, что приводит к перекисному окислению липидов (ПОЛ) [8]. У *E. palustris* содержание продуктов ПОЛ статистически значимо не различалось во всех изученных местообитаниях (табл. 4).

Известно, что в процессе жизнедеятельности в растительной клетке постоянно образуются активные формы кислорода (АФК). При умеренных концентрациях они выступают сигнальными молекулами, а при стрессе их количество в клетке резко возрастает, что, в свою очередь, активирует синтез антиоксидантов (АО) [6]. У растений одним из самых распространенных АО является аскорбиновая кислота. Этот метаболит играет важную роль в защите растений от окислительного стресса, о чем свидетельствует усиление его синтеза в неблагоприятных условиях среды [8]. Выявлено статистически значимое повышение содержания аскорбиновой кислоты в листьях *E. palustris* из ЦП1 и ЦП2 по сравнению с растениями контрольной ценопопуляции (ЦПК) – на 28 и 38% соответственно (табл. 4).

Таблица 4

**Биохимические показатели *E. palustris*, произрастающего на золоотвалах Нижнетуринской и Рефтинской ГРЭС и в контрольном местообитании**

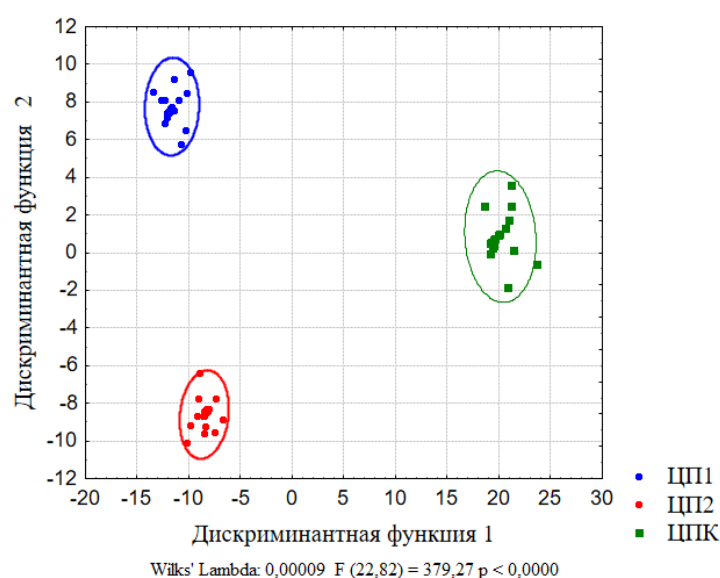
Показатели	ЦП1	ЦП2	ЦПК
ПОЛ, ТБКРП/г с. в.	187,69±5,10a	186,31±3,54a	172,55±9,70a
Фенолы, мг/г с. в.	37,86±1,01b	49,96±0,69c	31,11±1,31a
Флавоноиды, мг/г с. в.	13,99±0,75a	24,08±1,15b	11,93±0,74a
Пролин, мкг/г с. в.	638,27±12,21c	464,70±6,79b	274,65±11,69a
Аскорбиновая кислота, мг/ г с. в.	7,14±0,42b	8,30±0,40b	5,15±0,32a

*Примечание:* Представлены средние арифметические значения ± SE. Разными латинскими буквами отмечены достоверные различия между участками при  $p < 0,05$ .

Аминокислота пролин также выступает в роли стрессового метаболита. Исследования показали, в листьях растений *E. palustris*, произрастающих на золоотвалах, уровень накопления пролина был выше в 2,3 раза в ЦП1, и в 1,6 раз в ЦП2 по сравнению с ЦПК. Известно, что *E. palustris* является гигрофитом, и поэтому чувствителен к стрессу, вызванному недостатком воды. Вероятнее всего, в данном случае пролин выступает в роли осмопротектора. Показано, что у растений, в том числе и у орхидных, содержание пролина может увеличиваться в условиях засухи, что способствует их адаптации к водному дефициту [20; 22]. Как уже отмечалось выше (табл. 1), содержание гигроскопической влаги в исследованных образцах почвы с золоотвалов было существенно меньше, чем в контроле.

Фенольные соединения, в том числе и флавоноиды, обладая функцией антиоксидантов, также повышают устойчивость растений к стрессовым факторам [6; 8]. Анализ содержания общих фенольных соединений в листьях *E. palustris* показал, что их количество достоверно увеличивалось у орхидей, произрастающих на золоотвалах (табл. 4).

Дискриминантный анализ по биохимическим параметрам листьев *E. palustris* показал, что по дискриминантной функции 1 отделилась контрольная ценопопуляция. Основными параметрами, определяющими это разделение, были: содержание хлорофилла *a* (-0,98), каротиноидов (2,0), пролина (-0,85) и фенолов (-0,46) в листьях растений. По дискриминантной функции 2, разделяющими параметрами являлись: содержание хлорофилла *a* (-1,25), пролина (0,94), аскорбата (-0,79) и флавоноидов (-0,70) в листьях растений (рис. 2).



**Рис. 2. Дискриминантный анализ по биохимическим параметрам *E. palustris*, произрастающего на золоотвалах Нижнетуринской и Рефтинской ГРЭС и в контрольном местообитании**

**Заключение.** Для орхидей *E. palustris*, колонизирующих золоотвалы на Среднем Урале, отмечено снижение высоты генеративных побегов, количества цветков и площади листовой пластинки. Растения, произрастающие в трансформированных местообитаниях, накапливали в листьях меньше азота и фосфора вследствие дефицита данных биогенных элементов в зольных субстратах. В условиях золоотвалов у *E. palustris* происходило увеличение внутренней ассимилирующей поверхности листа, что является адаптивной реакцией фотосинтетического аппарата на повышение уровня инсоляции и снижение доступности воды в субстрате. В листьях *E. palustris*, произрастающего на золоотвалах, происходило снижение количества фотосинтетических пигментов: хлорофилла *a* и каротиноидов; при этом отмечено увеличение синтеза неэнзиматических антиоксидантов: аскорбиновой кислоты, пролина и растворимых фенольных соединений. Полученные данные могут быть полезны для разработки эффективных мер по охране орхидных и их дальнейшей интродукции.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (тема № FEUZ-2026-0017).*

## Литература

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
2. Борисова Г.Г., Малева М.Г., Некрасова Н.Ф., Чукина Н.В. Методы оценки антиоксидантного статуса растений: учеб.-метод. пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. 72 с.
3. Вахрамеева М.Г., Варлыгина Т.И., Татаренко И.В. Орхидные России (биология, экология и охрана). Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2014. 437 с.
4. Глазырина М.А., Филимонова Е.И., Лукина Н.В., Кордюк А.А. Динамика ценопопуляционных показателей *Epipactis palustris* (L.) Crantz, произрастающего в техногенном местообитании // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. Книга 2. (г. Киров, 23–24 апреля 2025 г.). Киров: Вятский государственный университет, 2025. С. 236-241.
5. Ефимов П.Г. Орхидные северо-запада европейской России (Ленинградская, Псковская, Новгородская области). Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 220 с.
6. Загоскина Н.В., Назаренко Л.В. Активные формы кислорода и антиоксидантная система растений // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия «Естественные науки». 2016. Т. 2, № 2 (22). С. 9-23.
7. Иванова Л.А., Пьянков В.И. Структурная адаптация мезофилла листа к затенению // Физиология растений. 2002. Т. 49. С. 467-480.
8. Колупаев Ю.Е., Ястреб Т.О. Физиологические функции неэнзиматических антиоксидантов растений // Вісник Харківського національного аграрного університету. 2015. №2. С. 6-25.
9. Красная книга Российской Федерации. Растения и грибы / отв. ред. Д.В. Гельтман. Москва: ВНИИ «Экология», 2024. 944 с.
10. Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы / отв. ред. Н.С. Корытин. Екатеринбург: Мир, 2018. 450 с.
11. Маслова Т.Г., Марковская Е.Ф., Слемнев Н.Н. Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81, № 4. С. 297-310.
12. Мокроносов А.Т., Борзенкова Р.А. Методика количественной оценки структуры и функциональной активности фотосинтезирующих тканей и органов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1978. Т. 61, № 3. С. 119-133.
13. Мокроносов А.Т., Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты. Москва: Academia, 2006. 445 с.
14. Филимонова Е.И., Глазырина М.А., Лукина Н.В., Борисова Г.Г., Чукина Н.В., Малева М.Г., Грошева С.Н. *Epipactis palustris* (L.) Crantz на золоотвале Нижнетуринской ГРЭС и в естественном местообитании // Ученые записки Петрозаводского государственного университета, 2018. № 3(172). С. 58-66.

15. Чукина Н.В., Борисова Г.Г., Малева М.Г., Лукина Н.В., Синенко О.С., Филимонова Е.И., Елькина А.В. Особенности мезоструктуры листа и фотосинтез у орхидеи *Platanthera bifolia* в условиях золотвала // Субтропическое и декоративное садоводство. 2021. № 78. С. 142-150. <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-78-142-149>
16. Adamowski W. Expansion of native orchids in anthropogenous habitats // Polish Botanical Studies. 2006. V. 22. P. 35-44.
17. Ashraf M., Harris P.J.C. Photosynthesis under stressful environments: An overview // Photosynthetica. 2013. V. 51, № 2. P. 163-190.
18. Chukina N., Elkina A., Borisova G., Sinenko O., Kiseleva I., Filimonova E., Maleva M. Photosynthetic apparatus plasticity contributes to successful survival of *Epipactis atrorubens* (Orchidaceae) in adverse conditions of serpentine dumps // Revista Brasileira de Botanica. 2024. V. 47, № 2. P. 261-273. <https://doi.org/10.1007/s40415-024-00990-4>
19. Dhami N., Cazzonelli C.I. Environmental impacts on carotenoid metabolism in leaves // Plant Growth Regul. 2020. V. 92, № 3. P. 455-477
20. Furlan A.L., Bianucci E., Giordano W., Castro S., Becker DF. Proline metabolic dynamics and implications in drought tolerance of peanut plants // Plant Physiol Biochem. 2020. V. 151. P. 566-578. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.04.010
21. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes // Methods in enzymology. 1987. V. 148, № 4. P. 350-382.
22. Tay S., He J., Yam T.W. CAM plasticity in epiphytic tropical orchid species responding to environmental stress // Botanical Studies. 2019. V. 60. P. 7. <https://doi.org/10.1186/s40529-019-0255-0>

### References

1. Arinushkina, E.V. (1970). *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv*. Moskva: Izd-vo MGU. (in Russ.).
2. Borisova, G.G., Maleva, M.G., Nekrasova, N.F., & Chukina, N.V. (2012). *Metody` ocenki antioksidantno-go statusa rastenij: ycheb.-metod. posobie*. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta. (in Russ.).
3. Vakhrameeva, M.G., Varly`gina, T.I., & Tatarenko, I.V. (2014). *Orkhidny`e Rossii (biologiya, e`kologiya i okhrana)*. Moskva: Tovarishestvo nauchny`kh izdanij KMK. (in Russ.).
4. Glazyrina, M.A., Filimonova, E.I., Lukina, N.V., & Kordyuk, A.A. (2025). Dinamika cenopopulyacionny`hk pokazatelej *Epipactis palustris* (L.) Crantz, proizrastayushhego v tekhnogennom mestoobitanii. *E`kologiya rodnogo kraja: problemy` i puti ikh resheniya: materialy` II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* (ss. 236-241). Kirov: Vyatskij gosudarstvenny`j universitet. (in Russ.).
5. Efimov, P.G. (2012). *Orkhidny`e severo-zapada evropejskoj Rossii (Leningradskaya, Pskovskaya, Novgorodskaya oblasti)*. Moskva: Tovarishestvo nauchny`kh izdanij KMK. (in Russ.).

6. Zagoskina, N.V., & Nazarenko, L.V. (2016). Aktivny`e formy` kisloroda i antioksidantnaya sistema rastenij. *Vestnik Moskovskogo gorodskogo pedagogicheskogo universiteta. Seriya «Estestvenny`e nauki»*, 2(2(22)), 9-23. (in Russ.).
7. Ivanova, L.A., & P`yankov, V.I. (2002). Strukturnaya adaptaciya mezofilla lista k zatneniyu. *Fiziologiya rastenij*, 49, 467-480. (in Russ.).
8. Kolupaev, Yu.E., & Yastreb, T.O. (2015). Fiziologicheskie funkcii nee`nzimaticeskikh antioksidantov rastenij. *Vestnik Khar`kovskogo nacional`nogo universiteta*, 2, 6-25. (in Russ.).
9. *Krasnaya kniga Rossijskoj Federacii. Rasteniya i griby`* (2024). / otv. red. D.V. Gel`tman. Moskva: VNII «E`kologiya». (in Russ.).
10. *Krasnaya kniga Sverdlovskoj oblasti: zhivotny`e, rasteniya, griby`* (2018). / otv. red. N.S. Kory`tin. Ekaterinburg: Mir. (in Russ.).
11. Maslova, T.G., Markovskaya, E.F., & Slemnev, N.N. (2020). Funkcii karotinoidov v list`yakh rastenij (obzor). *Zhurnal obshhej biologii*, 81(4), 297-310. (in Russ.).
12. Mokronosov, A.T., & Borzenkova, R.A. (1978). Metodika kolichestvennoj ocenki struktury` i funkcional`noj aktivnosti fotosinteziruyushhikh tkanej i organov. *Trudy` po prikladnoj botanike, genetike i selekcii*, 61(3), 119-133. (in Russ.).
13. Mokronosov, A.T., Gavrilenko, V.F., & Zhigalova, T.V. (2006). *Fotosintez. Fiziologo-e`kologicheskie i biokhimicheskie aspekty`*. Moskva: Academia. (in Russ.).
14. Filimonova, E.I., Glazy`rina, M.A., Lukina, N.V., Borisova, G.G., Chukina, N.V., Maleva, M.G., & Grosheva, S.N. (2018). *Epipactis palustris* (L.) Crantz na zolootvale Nizhneturinskoj GRE`S i v estestvennom mestoobitanii. *Ucheny`e zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*, 3(172), 58-66. (in Russ.).
15. Chukina, N.V., Borisova, G.G., Maleva, M.G., Lukina, N.V., Sinenko, O.S., Filimonova, E.I., & El`kina, A.V. (2021). Osobennosti mezostruktury` lista i fotosintez u orkhidei *Platanthera bifolia* v usloviyakh zolootvala. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo*, 78, 142-150. (in Russ.). <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2021-78-142-149>
16. Adamowski, W. (2006). Expansion of native orchids in anthropogenous habitats. *Polish Botanical Studies*, 22, 35-44.
17. Ashraf, M., & Harris, P.J.C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(2), 163-190.
18. Chukina, N., Elkina, A., Borisova, G., Sinenko, O., Kiseleva, I., Filimonova, E., & Maleva, M. (2024). Photosynthetic apparatus plasticity contributes to successful survival of *Epipactis atrorubens* (Orchidaceae) in adverse conditions of serpentine dumps. *Revista Brasileira de Botanica*, 47(2), 261-273. <https://doi.org/10.1007/s40415-024-00990-4>
19. Dhami, N., & Cazzonelli, C.I. (2020). Environmental impacts on carotenoid metabolism in leaves. *Plant Growth Regul*, 92(3): 455-477.
20. Furlan, A.L., Bianucci, E., Giordano, W., Castro, S., & Becker, DF. (2020). Proline metabolic dynamics and implications in drought tolerance of peanut plants. *Plant Physiol Biochem*, 151, 566-578. doi: 10.1016/j.plaphy.2020.04.010

21. Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in enzymology*, 148(4), 350-382.

22. Tay, S., He, J., & Yam, T.W. (2019). CAM plasticity in epiphytic tropical orchid species responding to environmental stress. *Botanical Studies*, 60, 7. <https://doi.org/10.1186/s40529-019-0255-0>

дата поступления: 03.04.2026

дата принятия: 08.06.2026

© Чукина Н.В., Глазырина М.А., Филимонова Е.И., Лукина Н.В., Кордюк А.А., 2026

УДК 574.24: 615.322

https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/11

Дьякова Н.А.

## МИНЕРАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ И ВИДОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫМИ РАСТЕНИЯМИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ

N.A. Dyakova

### MINERAL PROFILES AND SPECIES FEATURES OF ACCUMULATION OF ELEMENTS BY MEDICINAL PLANTS OF THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

**Аннотация.** Лекарственные растения широко используются как традиционной, так и в народной медицине, при этом способны накапливать не только жизненно необходимые, но и токсичные элементы. Цель работы – изучение минерального профиля и видовых особенностей аккумуляции макро- и микроэлементов лекарственными растениями заповедной зоны Воронежской области на примере трав полыни горькой (*Artemisia absinthium* L.), тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) и пустырника пятилопастного (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.). Заготовку растительного сырья проводили в фенофазу цветения производящих растений в Воронежском государственном природном биосферном заповеднике. Параллельно с заготовкой растительного сырья были отобраны пробы почвы с верхнего горизонта (0–20 см) с места произрастания для последующего сравнительного анализа. Методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой определяли элементный состав растительных и почвенных образцов после предварительной пробоподготовки методом кислотного и микроволнового разложения. В образцах почв и растительного сырья определено 59 элементов. Все изученные растения – активные аккумуляторы фосфора, калия, цинка и меди, что подчеркнуто их жизненно необходимым значением в физиологии растений. Однако произрастая на одной и той же почве, лекарственные растения формируют различный минеральный профиль надземной части, отражающий их адаптационные стратегии. Выявленные особенности к гипераккумуляции меди полынью горькой, кобальта и никеля пустырником пятилопастным, лития тысячелистником создают специфический минеральный профиль, который может модулировать активность ферментов, участвующих в синтезе алкалоидов, терпеноидов, флавоноидов, т.е. напрямую влиять на фармакологический потенциал сырья. Проведённый анализ подчёркивает, что оценка лекарственного растительного сырья должна включать не только анализ основных биологически активных соединений, но и полный скрининг микро- и

**Abstract.** Medicinal plants are widely used in both traditional and folk medicine and are capable of accumulating not only essential but also toxic elements. The purpose of the work is to study the mineral profile and species characteristics of the accumulation of macro- and microelements by medicinal plants in the protected area of the Voronezh region using the herbs *Artemisia absinthium* L., *Achillea millefolium* L., and *Leonurus quinquelobatus* Gilib. as examples. Harvesting of plant raw materials was carried out in the phenophase of flowering plants in the Voronezh State Natural Biosphere Reserve. In parallel with the collection of plant materials, soil samples were collected from the upper horizon (0–20 cm) at the growing site for subsequent comparative analysis. Inductively coupled plasma mass spectrometry was used to determine the elemental composition of the plant and soil samples after preliminary sample preparation using acid and microwave digestion. Fifty-nine elements were identified in soil and plant material samples. All studied plants are active accumulators of phosphorus, potassium, zinc, and copper, underscoring their vital importance in plant physiology. However, even when grown in the same soil, medicinal plants develop different mineral profiles in their aboveground parts, reflecting their adaptive strategies. The identified hyperaccumulation of copper by wormwood, cobalt and nickel by motherwort, and lithium by yarrow create a specific mineral profile that can modulate the activity of enzymes involved in the synthesis of alkaloids, terpenoids, and flavonoids, thereby directly influencing the pharmacological potential of the raw materials. The analysis underscores that the evaluation of medicinal plant materials should include not only an analysis of the main biologically active compounds but also a

макроэлементного состава с учётом уникальной биогеохимической стратегии каждого вида.

**Ключевые слова:** Воронежский государственный природный биосферный заповедник, полыни горькой трава, пустырника пятилопастного трава, тысячелистника обыкновенного трава; микроэлементный состав, коэффициент биологического поглощения.

**Сведения об авторе:** Дьякова Нина Алексеевна, Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Россия, Ninochka\_V89@mail.ru

comprehensive screening of the micro- and macroelement composition, taking into account the unique biogeochemical strategy of each species.

**Keywords:** Voronezh State Natural Biosphere Reserve, wormwood bitter grass, motherwort five-lobed grass, yarrow grass, microelement composition, biological absorption coefficient.

**About the author:** Nina A. Dyakova, Voronezh State University, Voronezh, Russia, Ninochka\_V89@mail.ru

---

Дьякова Н.А. Минеральный профиль и видовые особенности аккумуляции элементов лекарственными растениями Центрального Черноземья // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2026. № 2(74). С. 123-135. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/11>

Dyakova, N.A. (2026). Mineral Profiles and Species Features of Accumulation of Elements by Medicinal Plants of the Central Black Earth Region. *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2(74), 123-135. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/26-2/11>

---

**Введение.** Современными научными данными убедительно доказывается важное значение макро- и микроэлементов в процессе формирования фармакологической активности лекарственного растительного сырья (ЛРС) [3; 6; 19]. Установлено, что минеральные компоненты тесно сопряжены с высокомолекулярными органическими структурами растений, выполняя функции кофакторов в ферментативных системах, обеспечивая пространственную стабильность биомолекул или входя в состав активных центров физиологически активных соединений [1; 2; 14; 15]. При этом ЛРС выступает не только накопителем эссенциальных элементов, но и депо для техногенных загрязнителей, в том числе тяжелых металлов, что является критическим фактором, определяющим доброкачественность и безопасность фитопрепаратов [2; 11]. В свете вышеизложенного особую значимость приобретает региональные исследования минерального профиля ЛРС. Для лекарственных растений, произрастающих в условиях Центрально-Черноземного региона, в научной литературе представлены лишь фрагментарные сведения, ограниченные, как правило, анализом ограниченного перечня химических элементов. Это существенно затрудняет формирование комплексного представления об их минеральном профиле и не позволяет в полной мере охарактеризовать видоспецифичную накопительную способность ЛРС [8; 9].

К числу типичных представителей лекарственной флоры Центрального Черноземья, в том числе Воронежской области, обладающих широким спектром применения, относятся такие виды, как тысячелистник обыкновенный, полынь горькая и пустырник пятилопастной [13].

Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) – многолетнее травянистое растение, типичный синантропный вид с высокой экологической пластичностью [13]. Трава

тысячелистника обыкновенного известна кровоостанавливающим, противовоспалительным, бактерицидным, ранозаживляющим, спазмолитическим и желчегонным действием [23; 26]. Биологическая активность тысячелистника обусловлена сложным комплексом биологически активных соединений, включающим эфирное масло (до 0,9%), флавоноиды, сесквитерпеновые лактоны, алкалоиды, дубильные вещества, органические кислоты, витамины, а также макро- и микроэлементы [13; 15; 20; 23].

Полынь горькая (*Artemisia absinthium* L.) – многолетнее травянистое растение, синантропный рудеральный вид с широким ареалом [13]. Полыни горькой трава оказывает желчегонное, спазмолитическое, противовоспалительное, гепатопротекторное, антисептическое и противопаразитарное действие [12; 21; 22]. Наиболее значимыми группами биологически активных соединений являются эфирное масло (до 0,8%), горькие сесквитерпеновые лактоны (до 0,4%), флавоноиды (до 1,8%), дубильные вещества (до 10%), фенолкарбоновые кислоты, кумарины, лигнаны, сапонины, органические кислоты, витамины группы В, С и РР. Растение также накапливает значительное количество макро- (калий, кальций, магний) и микроэлементов (цинк, медь, железо, марганец) [3; 4; 15; 16; 19].

Пустырник пятилопастной (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.) – многолетнее травянистое растение, типичный рудеральный евроазиатский вид [13]. Пустырника пятилопастного трава используется как седативное, кардиотоническое, спазмолитическое и диуретическое средство [18; 24; 25]. Фармакологическая активность пустырника обусловлена комплексом биологически активных соединений: флавоноиды (до 1,5%), иридоиды, алкалоиды (до 0,4%), дубильные вещества (до 2,5%), эфирное масло, сапонины, аскорбиновая кислота, каротиноиды. Накапливает широкий спектр макро- (калий, кальций, магний) и микроэлементов, проявляя способность к концентрации селена, молибдена, бора и никеля, что важно учитывать при заготовке сырья [9; 10].

**Цель исследования** – изучение минерального профиля и видовых особенностей аккумуляции макро- и микроэлементов лекарственными растениями заповедной зоны Воронежской области на примере трав полыни горькой, тысячелистника обыкновенного и пустырника пятилопастного.

**Материалы и методы исследования.** Заготовку ЛРС проводили в фенотазу цветения производящих растений на территории Воронежского государственного биосферного заповедника [5]. Траву срезали, затем сушили в условиях естественной тени. Параллельно отбирали пробы почвы верхнего горизонта (0–20 см) с целью последующего сравнительного анализа.

Пробоподготовку выполняли с использованием системы микроволнового разложения после обработки смесью концентрированных азотной и плавиковой кислот. Полученный после разложения раствор количественно переносили в мерную пробирку, выполняя трехкратное смывание реактора деионизованной водой (порциями по 1 мл). Для проведения анализа методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой аликвотную часть раствора разбавляли в 10 раз 0,5% раствором азотной кислоты. Определение

микроэлементного состава выполняли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «ELAN-DRC» в соответствии с методическими указаниями МУК 4.1.1483-03. Контроль правильности получаемых результатов осуществляли с помощью метода добавок [7]. Все анализы выполняли в трехкратной повторности, после чего данные подвергали статистической обработке при доверительной вероятности  $p \leq 0,05$  (t-критерий Стьюдента 4,30).

Для анализа способности ЛРС накапливать химические элементы из почвы был рассчитан коэффициент биологического поглощения (КБП). Расчет проводили по формуле (1):

$$\text{КБП} = C_{\text{лрс}} / C_{\text{почва}} \quad (1)$$

где:  $C_{\text{лрс}}$  – концентрация элемента в ЛРС;  $C_{\text{почва}}$  – концентрация элемента в почве [14].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Анализ, выполненный методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, позволил идентифицировать в образцах ЛРС и сопряженной почве 59 химических элементов (табл. 1). Полученные данные легли в основу распределения элементов по трем категориям: макроэлементы (концентрация которых превышает 0,1%), эссенциальные (биогенные) микроэлементы, а также токсичные и недостаточно изученные элементы [1; 14]. При сопоставлении видовых особенностей накопления установлено, что максимальное суммарное содержание изученных микро- и макроэлементов зафиксировано в траве пустыrnика пятилопастного (58,1 мг/г). Полученные результаты коррелируют с имеющимися в литературе данными о том, что наиболее высокой накопительной способностью как в отношении токсикантов, так и в отношении биогенных веществ отличаются растения, характеризующиеся развитой поверхностью листовых пластинок и наличием опушения [13].

Таблица 1

Результаты исследования минерального профиля ЛРС и почв

Элемент	Содержание элемента, мкг/г				КБП		
	<i>A. millefolium.</i>	<i>L. quinquelobatus</i>	<i>A. absinthium</i>	Почва	<i>A. millefolium</i>	<i>L. quinquelobatu</i>	<i>A. absinthium</i>
Макроэлементы							
Ca	10938 ± 856	16905 ± 996	10009 ± 741	19660 ± 838	0,56	0,86	0,51
K	14535 ± 702	30612 ± 796	25933 ± 616	10500 ± 502	1,38	2,92	2,47
Mg	2407 ± 148	4019 ± 258	1983 ± 146	4400 ± 146	0,55	0,91	0,45
Na	39 ± 1,8	56 ± 2,9	41 ± 1,1	3300 ± 79	0,01	0,02	0,01
P	2813 ± 89	4330 ± 77	4267 ± 99	730 ± 91	3,85	5,93	5,85
Эссенциальные микроэлементы							
Co	0,21 ± 0,026	0,56 ± 0,069	0,20 ± 0,025	3,3 ± 0,41	0,06	0,17	0,06
Cr	0,38 ± 0,047	0,34 ± 0,042	0,59 ± 0,073	4,2 ± 0,52	0,09	0,08	0,14
Cu	6,55 ± 0,81	6,47 ± 0,80	12,54 ± 1,56	3,1 ± 0,38	2,11	2,09	4,05
Fe	115 ± 14,3	192 ± 23,8	185,0 ± 22,9	19100 ± 1368	0,01	0,01	0,01

Li	1,644 ± 0,204	0,284 ± 0,035	0,074 ± 0,009	8,50 ± 1,05	0,19	0,03	0,01
Mn	38,3 ± 4,75	60,3 ± 7,48	45,67 ± 5,66	370,0 ± 45,9	0,10	0,16	0,12
Mo	1,15 ± 0,14	0,67 ± 0,08	0,925 ± 0,115	0,9 ± 0,11	1,32	0,77	1,06
Ni	0,86 ± 0,11	1,39 ± 0,17	1,09 ± 0,14	2,30 ± 0,29	0,37	0,60	0,47
Se	0,028 ± 0,003	0,030 ± 0,003	0,041 ± 0,004	8,5 ± 1,05	<0,01	<0,01	<0,01
Si	1623 ± 91	1499 ± 86	1262,4 ± 78	347000 ± 528	<0,01	<0,01	<0,01
V	0,58 ± 0,01	0,76 ± 0,05	0,25 ± 0,02	78,00 ± 2,67	0,01	0,01	<0,01
Zn	19,6 ± 2,4	27,0 ± 3,3	25,27 ± 3,13	12,0 ± 1,5	1,63	2,25	2,11
Токсичные и малоизученные микроэлементы							
Ag	0,073 ± 0,006	0,028 ± 0,004	0,014 ± 0,001	0,19 ± 0,01	0,38	0,15	0,07
Al	116,5 ± 8,4	191,4 ± 13,7	135,6 ± 7,8	31100 ± 856	<0,01	0,01	<0,01
As	0,210 ± 0,015	0,19 ± 0,012	0,364 ± 0,025	0,90 ± 0,07	0,23	0,21	0,40
Au	0,0013 ± 0,0001	0,0032 ± 0,0003	0,0055 ± 0,0004	0,060 ± 0,005	0,02	0,05	0,09
Ba	9,31 ± 0,85	70,3 ± 5,7	11,98 ± 0,49	290,0 ± 24,0	0,03	0,24	0,04
Be	0,008 ± 0,001	0,015 ± 0,001	0,001 ± 0,0001	2,00 ± 0,2	<0,01	0,01	<0,01
Bi	0,012 ± 0,001	0,001 ± 0,0001	0,004 ± 0,0004	0,110 ± 0,008	0,11	0,01	0,04
Cd	0,022 ± 0,002	0,034 ± 0,002	0,025 ± 0,002	0,02 ± 0,002	0,96	1,48	1,09
Ce	0,13 ± 0,01	0,18 ± 0,02	0,15 ± 0,01	38,0 ± 4,7	<0,01	<0,01	<0,01
Cs	0,022 ± 0,001	0,019 ± 0,002	0,04 ± 0,003	2,30 ± 0,12	0,01	0,01	0,02
Dy	0,011 ± 0,001	0,011 ± 0,001	0,01 ± 0,001	2,00 ± 0,13	0,01	0,01	0,01
Er	0,005 ± 0,0005	0,0069 ± 0,0005	0,005 ± 0,0004	1,20 ± 0,10	<0,01	0,01	<0,01
Eu	0,002 ± 0,0002	0,001 ± 0,0001	0,003 ± 0,0002	0,650 ± 0,045	<0,01	<0,01	<0,01
Ga	0,044 ± 0,003	0,069 ± 0,004	0,065 ± 0,005	8,80 ± 0,09	0,01	0,01	0,01
Gd	0,0102 ± 0,001	0,019 ± 0,002	0,012 ± 0,001	3,00 ± 0,17	<0,01	0,01	<0,01
Ge	0,002 ± 0,0002	0,0087 ± 0,001	0,003 ± 0,0002	1,10 ± 0,14	<0,01	0,01	<0,01
Hf	0,0077 ± 0,0006	0,015 ± 0,001	0,006 ± 0,0005	1,60 ± 0,12	<0,01	0,01	<0,01
Hg	0,0027 ± 0,0002	0,0041 ± 0,0003	0,0045 ± 0,0005	0,050 ± 0,006	0,05	0,08	0,09
Ho	0,006 ± 0,0005	0,007 ± 0,0006	0,002 ± 0,0002	0,36 ± 0,03	0,02	0,02	0,01
La	0,065 ± 0,004	0,086 ± 0,007	0,07 ± 0,007	18,00 ± 0,73	<0,01	<0,01	<0,01
Lu	0,002 ± 0,0002	0,003 ± 0,0002	0,001 ± 0,0001	0,16 ± 0,02	0,01	0,02	0,01
Nb	0,017 ± 0,001	0,029 ± 0,002	0,024 ± 0,002	6,70 ± 0,42	<0,01	<0,01	<0,01
Nd	0,08 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,061 ± 0,005	15,0 ± 1,2	0,01	0,01	<0,01
Pb	0,27 ± 0,02	0,23 ± 0,02	0,35 ± 0,03	4,0 ± 0,4	0,07	0,06	0,09
Pr	0,015 ± 0,002	0,021 ± 0,002	0,016 ± 0,002	4,10 ± 0,51	<0,01	0,01	<0,01
Rb	9,5 ± 0,67	5,68 ± 0,23	27,66 ± 2,17	63,0 ± 7,8	0,15	0,09	0,44
Sb	0,023 ± 0,002	0,031 ± 0,003	0,061 ± 0,005	0,41 ± 0,03	0,06	0,08	0,15
Sc	0,84 ± 0,05	0,92 ± 0,06	0,54 ± 0,04	50,0 ± 3,2	0,02	0,02	0,01
Sm	0,017 ± 0,001	0,047 ± 0,002	0,011 ± 0,001	3,20 ± 0,23	0,01	0,01	<0,01
Sn	0,33 ± 0,02	0,42 ± 0,03	0,46 ± 0,04	1,20 ± 0,06	0,28	0,35	0,38
Sr	81,6 ± 5,1	65,2 ± 4,1	24,9 ± 2,1	73,0 ± 5,1	1,12	0,89	0,34
Ta	0,001 ± 0,0001	0,0017 ± 0,0001	0,002 ± 0,0002	0,50 ± 0,04	<0,01	<0,01	<0,01
Tb	0,006 ± 0,0005	0,005 ± 0,0004	0,002 ± 0,0002	0,44 ± 0,04	0,01	0,01	<0,01
Te	0,061 ± 0,006	0,053 ± 0,005	0,004 ± 0,0005	0,10 ± 0,01	0,61	0,53	0,04
Th	0,016 ± 0,002	0,016 ± 0,002	0,021 ± 0,002	5,40 ± 0,47	<0,01	<0,01	<0,01
Ti	12,5 ± 1,07	19,2 ± 1,38	9,52 ± 1,02	2400 ± 198	0,01	0,01	<0,01
Tl	0,0032 ± 0,0003	0,0069 ± 0,0004	0,0016 ± 0,0002	0,230 ± 0,03	0,01	0,03	0,01
Tm	0,004 ± 0,0004	0,003 ± 0,0003	0,001 ± 0,0001	0,160 ± 0,012	0,03	0,02	0,01
U	0,0052 ± 0,0004	0,0069 ± 0,0007	0,016 ± 0,0015	1,20 ± 0,11	<0,01	0,01	0,01
W	0,0098 ± 0,0011	0,0096 ± 0,0011	0,15 ± 0,01	0,78 ± 0,07	0,01	0,01	0,19
Y	0,043 ± 0,004	0,069 ± 0,007	0,054 ± 0,004	9,90 ± 1,11	<0,01	0,01	0,01
Yb	0,005 ± 0,0004	0,005 ± 0,0004	0,005 ± 0,0004	1,10 ± 0,11	<0,01	<0,01	<0,01
Zr	0,21 ± 0,01	0,36 ± 0,03	0,26 ± 0,02	78,0 ± 9,7	<0,01	<0,01	<0,01
Всего	32771 ± 764	58066 ± 400	43979 ± 653	439370 ± 482			

Почвенный покров участков сбора образцов характеризуется достаточной обеспеченностью основными макроэлементами (калий, кальций, магний). Анализ содержания приоритетных токсичных элементов (свинец, никель, ртуть, кадмий, мышьяк) показал, что их концентрации в почве не превышают значений регионального геохимического фона, а в ряде случаев оказываются ниже его. Выявленные уровни накопления экотоксикантов позволяют сделать вывод об отсутствии выраженной техногенной нагрузки на территории заготовки сырья [8; 14].

Тысячелистник обыкновенного трава проявляет избирательную способность к концентрированию фосфора (КБП 3,85) и калия (КБП 1,38). Интенсивное накопление фосфора, по-видимому, обусловлено его ключевой ролью в энергетическом обмене (участие в составе АТФ и АДФ) и процессах биосинтеза физиологически активных соединений. Повышенное относительно почвенных концентраций содержание калия, выступающего главным осмотическим регулятором растительной клетки, является широко распространенной закономерностью для многих видов растений [2; 11]. Несмотря на значительное содержание кальция в почвенном субстрате, растение эффективно лимитирует поступление этого элемента (КБП 0,56), аналогичная картина наблюдается и для натрия (КБП 0,01). Подобное явление, вероятно, отражает адаптационные механизмы к произрастанию на почвах с умеренным содержанием данных элементов либо специфику метаболических путей, не требующих высоких концентраций этих катионов [2].

Среди эссенциальных микроэлементов трава тысячелистника характеризуется повышенным поглощением меди (КБП 2,11), цинка (КБП 1,63) и молибдена (КБП 1,32), которые выполняют кофакторную роль в ферментативных системах. Медь является структурным компонентом оксидаз, цинк входит в состав дегидрогеназ и синтаз, а молибден необходим для функционирования нитратредуктазы [2; 11]. Выявленная аккумуляция этих элементов косвенно свидетельствует о высокой интенсивности окислительно-восстановительных и биосинтетических реакций в растительном организме. Накопление фосфора, меди и цинка может быть сопряжено с проявлением таких фармакологических свойств тысячелистника, как противовоспалительное и ранозаживляющее действие [1; 17]. Примечательной физиологической особенностью исследуемого вида ЛРС является заметное накопление стронция (КБП 1,12), выступающего биохимическим аналогом кальция [2; 11]. Избирательная аккумуляция стронция на фоне сдерживания поступления кальция (КБП 0,56) может указывать на несовершенство дискриминационных механизмов транспортных систем, которые недостаточно четко дифференцируют эти двухвалентные катионы, однако при этом растение обладает эффективными путями элиминации избыточного кальция. Не исключено также наличие у стронция специфических функций в метаболизме тысячелистника.

Тысячелистник обыкновенный имеет хорошо выраженные барьерные свойства в отношении широкого спектра токсичных элементов. Для большинства тяжелых металлов, токсикантов и редкоземельных элементов (включая алюминий, хром, свинец, уран и

другие) значения КБП находятся в пределах 0,01–0,1, что подтверждает существование надежных механизмов корневой эксклюзии. Исключение составляет литий, КБП которого достигает 0,19. Известно, что литий способен модулировать нейромедиаторный обмен [1; 17], что потенциально может быть соотнесено с некоторыми аспектами нейротропного действия тысячелистника (седативный, спазмолитический эффекты).

Полыни горькой трава также обладает ярко выраженной избирательностью в процессе накопления химических элементов. Исследуемое сырье характеризуется исключительно высокой способностью к концентрации фосфора (КБП 5,85) и калия (КБП 2,47). При этом поступление кальция и натрия в растительный организм существенно ограничено (соответствующие показатели составляют 0,51 и 0,01), что типично для видов, адаптированных к произрастанию на почвах, не склонных к засолению и с умеренным содержанием кальция [2; 11].

Полынь горькая демонстрирует уникальные аккумулятивные свойства в отношении меди (КБП 4,05). Известно, что медь выступает кофактором целого ряда ключевых ферментативных систем – оксидаз, цитохромоксидазы, супероксиддисмутазы, которые принимают непосредственное участие в процессах тканевого дыхания, обезвреживании активных форм кислорода, а также в биосинтезе фенольных соединений и терпеноидов [2; 17]. Можно предположить наличие прямой корреляции между интенсивным накоплением меди и продукцией специфических вторичных метаболитов – горьких сесквитерпеновых лактонов (в частности, абсинтина и артабсина), с которыми связаны основные фармакологические эффекты полыни (стимуляция аппетита, желчегонное действие) [1; 17]. Помимо меди, трава полыни горькой активно накапливает цинк (КБП 2,11) и молибден (КБП 1,06), тогда как поглощение никеля оценивается как умеренное (КБП 0,47).

Изучение барьерных функций полыни горькой показало, что при достаточно низких значениях КБП для большинства токсичных элементов (алюминий, свинец, хром, редкоземельные металлы) растение обнаруживает повышенную аккумуляцию кадмия (КБП 1,09). Также обращает на себя внимание значительное содержание рубидия (КБП 0,44), являющегося биохимическим аналогом калия, и мышьяка (КБП 0,40), который проявляет сходство с фосфором [2; 11]. Данные факты свидетельствуют о наличии у полыни горькой мощной, но недостаточно селективной системы поглощения элементов из почвенного раствора, что можно рассматривать как важную видоспецифичную характеристику, требующую обязательного контроля при заготовке и использовании ЛРС.

Пустырника пятилопастного трава характеризуется наиболее выраженной универсальной аккумулятивной способностью в отношении широкого круга макро- и микроэлементов среди исследованных видов. Растение демонстрирует исключительно высокое поглощение фосфора (КБП 5,93) и калия (КБП 2,92), что указывает на его повышенную потребность в фосфатах, задействованных в синтезе фосфолипидных компонентов мембран, нуклеотидов и других жизненно важных соединений [2]. Содержание магния в ЛРС практически соответствует его концентрации в почве (КБП 0,91),

однако абсолютные значения достаточно велики, что обусловлено значимостью данного элемента для образования хлорофилла и функционирования магний-зависимых АТФаз [2]. Накопление кальция также находится на уровне, близком к почвенному (КБП 0,86). Примечательно, что соотношение кальция и фосфора в сырье сохраняется примерно 4:1, что сходно с другими анализируемыми видами, несмотря на существенные различия в абсолютных концентрациях элементов.

Пустырник пятилопастной активно накапливает в надземной части цинк (КБП 2,25) и медь (КБП 2,09), причем их содержание отличается высокими абсолютными значениями. Помимо этого, для растения характерны значительные коэффициенты накопления кобальта, никеля и марганца. Это свидетельствует о высокой активности ферментных комплексов, в которых данные металлы выполняют кофакторные функции (кобальт – в витамине В12, марганец – в супероксиддисмутазе и др.) [2; 11; 17]. Интенсивное поглощение фосфора, калия, магния, а также широкого спектра микроэлементов (кобальт, молибден, бор) может вносить вклад в реализацию фармакологических эффектов пустырника – кардиотонического, седативного и диуретического [1; 17].

Барьерные механизмы пустырника пятилопастного, ограничивающие поступление токсичных элементов, проявляются слабее по сравнению с тысячелистником обыкновенным и полынью горькой. Наиболее показательным в этом отношении является высокий коэффициент накопления кадмия (КБП 1,48). Растение не только не препятствует поступлению этого токсиканта, но и, вероятно, активно транспортирует его в надземные органы, задействуя системы переноса, предназначенные для физиологически близких элементов (например, цинка или кальция). Также следует отметить относительно повышенные показатели накопления ртути, бария и таллия, что требует дополнительного внимания при оценке безопасности сырья.

Таким образом, все рассматриваемые виды ЛРС – активные аккумуляторы фосфора и калия, особенно пустырника пятилопастного и полыни горькой травы, что подчёркивает критическую роль фосфора и калия в физиологии данных растений. Полыни горькой трава резко выделяется как супераккумулятор меди (КБП 4,05). У остальных растений КБП меди также высок (на уровне 2,1), что указывает на универсальную важность этого элемента для ферментативных систем.

Тысячелистника обыкновенного (в большей степени) и полыни горькой травы обладают высокой селективностью в минеральном питании. Они активно накапливают эссенциальные элементы (калий, фосфор, цинк, медь), и блокируют поступление остальных, что характеризует их метаболизм как высокоспециализированный. Пустырника пятилопастного трава характеризуется более низкой селективностью в накоплении элементов, что может быть адаптацией к нестабильным условиям или быстрому росту. Самый тревожный градиент отмечен для кадмия – от умеренного накопления (в тысячелистника обыкновенного и полыни горькой травах) к активному (в пустырника пятилопастного траве).

Выявленные особенности к гипераккумуляции меди полынью горькой, кобальта и никеля пустырником пятилопастным, лития тысячелистником создают специфический минеральный профиль, который может модулировать активность ферментов, участвующих в синтезе алкалоидов, терпеноидов, флавоноидов [1; 11; 17], т. е. напрямую влиять на фармакологический потенциал сырья. Данное предположение требует отдельного исследования и может явиться перспективным для дальнейшего изучения.

**Выводы.** Результаты исследования элементного профиля лекарственных трав Центрального Черноземья показывают, что даже растущие на одном почвенном субстрате растения используют принципиально разные стратегии минерального питания, детерминированные их генетикой и экологической нишей. Проведённый анализ подчёркивает, что оценка лекарственного растительного сырья должна включать не только анализ основных биологически активных соединений, но и полный скрининг микро- и макроэлементного состава с учётом уникальной биогеохимической стратегии каждого вида. Изученные особенности элементного профиля лекарственных трав могут служить основой для разработки стандартизованных препаратов и БАД, направленных на коррекцию элементного статуса человека.

### Литература

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатия. М.: Медицина, 1991. 496 с.
2. Афиногенов Ю.П., Бусыгина И.А., Гончаров Е.Г. Биогенные элементы и их физиологическая роль. – Воронеж: Издательский Дом ВГУ, 2008. 143 с.
3. Ботов А.Ю., Северин А.П., Яцюк В.Я., Сипливая Л.Е. Элементный состав некоторых растений семейства Asteraceae // Научные Ведомости Белгородского Государственного Университета. Серия: Медицина. Фармация. 2011. № 22-2. С. 164-166.
4. Бузук Г.Н., Эльяшевич Е.Г. Фармакогностическая характеристика полыни горькой *Artemisia absinthium* L. Обзор литературы // Вестник фармации. 2009. № 4 (46). С. 87-97.
5. Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Т. 4. М.: ФЭМБ, 2018. 1883 с.
6. Гравель И.В., Иващенко Н.В., Самылина И.А. Микроэлементный состав спазмолитического сбора и его компонентов // Фармация. 2011. № 1. С. 9-11.
7. Дунилин А.Д., Тринеева О.В., Чистякова А.С., Гудкова А.А. Элементный состав каштана конского (*Aesculus hippocastanum* L.) цветков, произрастающего в Воронежской области // Микроэлементы в медицине. 2023. Т. 24, № 3. С. 46-56. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-3-46-56>
8. Дьякова Н.А., Сливкин А.И., Гапонов С.П. Эколого-гигиеническая оценка состояния почв антропогенных экосистем Воронежской области // Известия

Калининградского государственного технического университета. 2020. № 59. С. 61-72.  
DOI:10.46845/1997-3071-2020-59-61-72

9. Дьякова Н.А. Анализ накопления тяжелых металлов и мышьяка травой *Leonurus quinquelobatus* Gilib. // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2021. № 2 (54). С. 48-56. <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06>

10. Загурская Ю.В. Систематика, морфология и лекарственные свойства растения *Leonurus quinquelobatus* Gilib // Успехи современного естествознания. 2014. № 12. С. 56-59.

11. Ильин В.Б. Элементарный химический состав растений. Новосибирск: Наука, 1985. 129 с.

12. Кароматов И.Д., Каххорова С.И. Лекарственное растение полынь горькая – химический состав, лечебные свойства // Биология и интегративная медицина. 2018. № 9(26). С. 84-101.

13. Куркин В.А. Фармакогнозия. Самара: Офорт, 2004. 1179 с.

14. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999. 610 с.

15. Попов А.И. Элементный состав надземной части *Achillea millefolium* L. // Растительные ресурсы. 1993. Т. 29, № 3. С. 100-105.

16. Северин А.П., Сипливая Л.Е., Яцюк В.Я. Изучение химического состава водных извлечений растений рода *Artemisia* L. // International journal of applied and fundamental research. 2011. № 3. С. 144.

17. Скальный А.В., Скальная М.Г., Киричук А.А., Тиньков А.А. Медицинская элементология. М.: Наука, 2021. 199 с.

18. Хишова О.М., Голяк Ю.А. Фармакологическое действие и применение в медицине пустырника // Вестник фармации. 2003. № 4. С. 54-56.

19. Чибрик Т.С. Изменчивость микроэлементного состава *Artemisia absinthium* L. // Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2014. № 11. С. 106-113.

20. Шаталина Н.В., Первышина Г.Г., Ефремов А.А., Гордиенко Г.П., Агафонова Е.А., Гончаров Д.В. Содержание некоторых биологически активных веществ в траве тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium*), произрастающего в Красноярском крае // Химия растительного сырья. 2002. № 3. С. 13-16.

21. Beshay E.V.N. Therapeutic efficacy of *Artemisia absinthium* against *Hymenolepis nana*: in vitro and in vivo studies in comparison with the anthelmintic praziquantel // Journal of Helminthology. 2018. Vol. 92, № 3. P. 298-308. <https://doi.org/10.1017/S0022149X17000529>

22. Bora K.S., Sharma A. Neuroprotective effect of *Artemisia absinthium* L. on focal ischemia and reperfusion-induced cerebral injury // Journal of Ethnopharmacology. 2010. Vol. 129, № 3. P. 403-409. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.04.015>

23. Falconieri D., Piras A., Porcedda S., Marongiu B., et al. Chemical composition and biological activity of the volatile extracts of *Achillea millefolium* // Natural Product Communications. 2011. Vol. 6, No. 10. P. 1527-1530. <https://doi.org/10.1177/1934578X1100601034>

24. Marciniuk P., Gawrońska B., Marciniuk J., Joachimiak A.J. Taxonomic individuality of *Leonurus cardiaca* and *Leonurus quinquelobatus* in view of morphological and molecular studies // *Plant Systematics and Evolution*. 2014. Vol. 300, № 2. P. 255-261. <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0878-6>

25. Rącz G., Rącz-Kotilla E. Sedative and antihypertensive activity of *Leonurus quinquelobatus* // *Planta Medica*. 1989. Vol. 55, № 1. P. 97. <https://doi.org/10.1055/s-2006-961847>

26. Saeidnia S., Gohari A.R., Mokhber-Dezfuli N., Kiuchi F. A review on phytochemistry and medicinal properties of the genus *Achillea* // *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*. – 2011. Vol. 19, № 3. P. 173-186. <https://doi.org/10.1007/s00000-011-0123>

### References

1. Avtsyn, A.P., Zhavoronkov, A.A., Rish, M.A., & Strochkova, L.S. (1991). *Mikroelementozy cheloveka: etiologiya, klassifikatsiya, organopatiya* [Human microelementoses: etiology, classification, organopathy]. Moscow: Meditsina. (in Russ.).

2. Afinogenov, Yu.P., Busygina, I.A., & Goncharov, E.G. (2008). *Biogennye elementy i ikh fiziologicheskaya rol'*. Voronezh: Izdatel'skii Dom VGU. (in Russ.).

3. Botov, A.Yu., Severin, A.P., Yatsyuk, V.Ya., & Siplivaya, L.E. (2011). Elementnyi sostav nekotorykh rastenii semeistva Asteraceae. *Nauchnye Vedomosti Belgorodskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Meditsina. Farmatsiya*, (22-2), 164-166. (in Russ.).

4. Buzuk, G.N., & El'yashevich, E.G. (2009). Farmakognosticheskaya kharakteristika polyni gor'koi *Artemisia absinthium* L. Obzor literatury. *Vestnik farmatsii*, (4), 87-97. (in Russ.)

5. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiiskoi Federatsii. Izdanie XIV*. T. 4. (2018). Moscow: FEMB. (in Russ.).

6. Gravel', I.V., Ivashchenko, N.V., & Samylina, I.A. (2011). Mikroelementnyi sostav spazmoliticheskogo sbora i ego komponentov. *Farmatsiya*, (1), 9-11. (in Russ.).

7. Dunilin, A.D., Trineeva, O.V., Chistyakova, A.S., & Gudkova, A.A. (2023). Elementnyi sostav kashtana konskogo (*Aesculus hippocastanum* L.) tsvetkov, proizrastayushchego v Voronezhskoi oblasti. *Mikroelementy v meditsine*, 24(3), 46-56. (in Russ.). <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-3-46-56>

8. D'yakova, N.A., Slivkin, A.I., & Gaponov, S.P. (2020). Ekologo-gigienicheskaya otsenka sostoyaniya pochv antropogennykh ekosistem Voronezhskoi oblasti. *Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, (59), 61-72. (in Russ.). <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2020-59-61-72>

9. D'yakova, N.A. (2021). Analiz nakopleniya tyazhelykh metallov i mysh'yaka travoi *Leonurus quinquelobatus* Gilib. *Vestnik Nizhnevertovskogo gosudarstvennogo universiteta*, (2), 48-56. (in Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/21-2/06>

10. Zagurskaya, Yu.V. (2014). Sistematika, morfologiya i lekarstvennye svoistva rasteniya *Leonurus quinquelobatus* Gilib. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, (12), 56-59. (in Russ.).

11. П'ин, В.В. (1985). *Elementarnyi khimicheskii sostav rastenii*. Novosibirsk: Nauka. (in Russ.).
12. Karomatov, I.D., & Kakhkhorova, S.I. (2018). Lekarstvennoe rastenie polyn' gor'kaya – khimicheskii sostav, lechebnye svoistva. *Biologiya i integrativnaya meditsina*, (9), 84-101. (in Russ.).
13. Kurkin, V.A. (2004). *Farmakognoziya*. Samara: Ofort. (in Russ.).
14. Perel'man, A.I., & Kasimov, N.S. (1999). *Geokhimiya landshafta*. Moscow: MGU. (in Russ.).
15. Popov, A.I. (1993). Elementnyi sostav nadzemnoi chasti *Achillea millefolium* L.. *Rastitel'nye resursy*, 29(3), 100-105. (in Russ.).
16. Severin, A.P., Siplivaya, L.E., & Yatsyuk, V.Ya. (2011). Izuchenie khimicheskogo sostava vodnykh izvlechenii rastenii roda *Artemisia* L. *International journal of applied and fundamental research*, (3), 144. (in Russ.).
17. Skal'nyi, A.V., Skal'naya, M.G., Kirichuk, A.A., & Tin'kov, A.A. (2021). *Meditsinskaya elementologiya*. Moscow: Nauka. (in Russ.).
18. Khishova, O.M., & Golyak, Yu.A. (2003). Farmakologicheskoe deistvie i primenenie v meditsine pustyrnika. *Vestnik farmatsii*, (4), 54-56. (in Russ.).
19. Chibrik, T.S. (2014). Izmenchivost' mikroelementnogo sostava *Artemisia absinthium* L. *Ekosistemy, ikh optimizatsiya i okhrana*, (11), 106-113. (in Russ.).
20. Shatalina, N.V., Pervyshina, G.G., Efremov, A.A., Gordienko, G.P., Agafonova, E.A., & Goncharov, D.V. (2002). Soderzhanie nekotorykh biologicheskii aktivnykh veshchestv v trave tysyachelistnika obyknovennogo (*Achillea millefolium*), proizrastayushchego v Krasnoyarskom krae. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, (3), 13-16. (in Russ.).
21. Beshay, E.V.N. (2018). Therapeutic efficacy of *Artemisia absinthium* against *Hymenolepis nana*: in vitro and in vivo studies in comparison with the anthelmintic praziquantel. *Journal of Helminthology*, 92(3), 298-308. <https://doi.org/10.1017/S0022149X17000529>
22. Bora, K.S., & Sharma, A. (2010). Neuroprotective effect of *Artemisia absinthium* L. on focal ischemia and reperfusion-induced cerebral injury. *Journal of Ethnopharmacology*, 129(3), 403-409. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.04.015>
23. Falconieri, D., Piras, A., Porcedda, S., Marongiu, B., et al. (2011). Chemical composition and biological activity of the volatile extracts of *Achillea millefolium*. *Natural Product Communications*, 6(10), 1527-1530. <https://doi.org/10.1177/1934578X1100601034>
24. Marciniuk, P., Gawrońska, B., Marciniuk, J., & Joachimiak, A. J. (2014). Taxonomic individuality of *Leonurus cardiaca* and *Leonurus quinquelobatus* in view of morphological and molecular studies. *Plant Systematics and Evolution*, 300(2), 255-261. <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0878-6>
25. Rącz, G., & Rącz-Kotilla, E. (1989). Sedative and antihypertensive activity of *Leonurus quinquelobatus*. *Planta Medica*, 55(1), 97. <https://doi.org/10.1055/s-2006-961847>

26. Saeidnia, S., Gohari, A.R., Mokhber-Dezfuli, N., & Kiuchi, F. (2011). A review on phytochemistry and medicinal properties of the genus *Achillea*. *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, 19(3), 173-186. <https://doi.org/10.1007/s00000-011-0123>

дата поступления: 21.02.2026

дата принятия: 03.06.2026

© Дьякова Н.А., 2026