

ISSN 2077-3366

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION  
RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL STATE EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION  
«DONETSK STATE UNIVERSITY»

## **ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ ТЕХНОГЕННОГО РЕГИОНА**

Научно-практический журнал

**№ 3**

*Основан в 1999 г.*

## **PROBLEMS OF ECOLOGY AND NATURE PROTECTION OF TECHNOGENIC REGION**

Scientific and practical journal

**No 3**

*Founded in 1999*

**2026**

В журнале «Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона» публикуются статьи преподавателей, научных сотрудников и аспирантов вузов и научно-исследовательских организаций, которые охватывают широкий круг вопросов экологической, а также флористической, фаунистической, биофизической и физиологической направленности, которые касаются проблем экологии и охраны природы.

Предназначен для специалистов в области экологии, ботаники, зоологии, физиологии растений, человека и животных, биофизики, охраны природы, а также для преподавателей и студентов биологических, экологических факультетов и кафедр высших учебных заведений.

#### Редакционная коллегия

|                                                                    |                                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Беспалова С. В., проф., д-р физ.-мат. наук<br>(главный редактор)   | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                                       |
| Горецкий О. С., проф., д-р биол. наук<br>(зам. главного редактора) | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                                       |
| Вардун Т. В., доц., д-р пед. наук                                  | ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ботанический сад<br>ЮФУ, Академия биологии и медицины им. Д. И. Ивановского |
| Глухов А. З., проф., д-р биол. наук                                | ФГБНУ «Донецкий ботанический сад»                                                                                     |
| Горбов С. Н., доц., д-р биол. наук                                 | Научно-технологический университет «Сириус»                                                                           |
| Демченко С. И., доц., канд. биол. наук                             | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                                       |
| Денисова Т. В., доц., д-р биол. наук                               | ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,<br>Академия биологии и медицины им. Д. И. Ивановского                       |
| Казеев К. Ш., проф., д-р геогр. наук                               | ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,<br>Академия биологии и медицины им. Д. И. Ивановского                       |
| Калаев В. Н., проф., д-р биол. наук                                | ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»                                                                    |
| Клименко О. Е., с.н.с., д-р биол. наук                             | ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского<br>хозяйства Крыма»                                                |
| Колесников С. И., проф., д-р с.-х. наук                            | ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,<br>Академия биологии и медицины им. Д.И. Ивановского                        |
| Остапко В. М., проф., д-р биол. наук                               | ФГБНУ «Донецкий ботанический сад»                                                                                     |
| Прокопенко Е. В., доц., канд. биол. наук                           | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                                       |
| Сафонов А. И., доц., канд. биол. наук                              | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                                       |
| Сергеев М. Е., канд. биол. наук                                    | ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН                                                             |
| Труш В. В., доц., д-р биол. наук                                   | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                                       |
| Чемерис О. В., канд. биол. наук<br>(отв. секретарь)                | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                                       |
| Пирко И. Ф., канд. биол. наук<br>(отв. секретарь)                  | ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»                                                                       |

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 (Перечень ВАК РФ с 09.04.2024 г.) по следующим научным специальностям:

**1.5.9. Ботаника (биологические науки); 1.5.15. Экология (биологические науки).**

Журнал включен в Перечень РИНЦ (лицензионный договор № 230-11/2025 от 17 ноября 2025 г.).

#### Адрес издателя:

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации 125009, г. Москва, вн. тер. г. Муниципальный Округ Тверской, ул. Тверская, д. 11, стр. 1;  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донецкий государственный университет» 283001, г. Донецк, ул. Университетская, 24

#### Адрес редакции:

Россия, 283050, г. Донецк, ул. Щорса, 46, к. 310.

Сайт журнала: <https://dongu-ecolog.ru/>

E-mail: [dongu\\_eco@mail.ru](mailto:dongu_eco@mail.ru)

The journal "Problems of Ecology and Nature Protection of Technogenic Region" publishes papers of academic staff, scientific employees and post-graduate students of high schools and research organizations that cover a wide range of questions of ecological, floristic, faunistic, biophysical and physiological orientation related to problems of ecology and nature protection.

It is intended for ecologists, botanists, zoologists, plants physiologists, man and animals physiologists, biophysics, experts in nature protection and for teachers and students of biological and ecological faculties of higher educational institutions.

#### Editorial Board

|                                          |                                                                     |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Bespalova S. V.</b> (Editor-in-Chief) | Donetsk State University                                            |
| <b>Goretsky O. S.</b> (Associate Editor) | Donetsk State University                                            |
| <b>Varduni T. V.</b>                     | Academy of Biology and Medicine                                     |
|                                          | Botanical Garden of Southern Federal University                     |
| <b>Glukhov A. Z.</b>                     | Donetsk Botanical Garden                                            |
| <b>Gorbov S. N.</b>                      | Sirius University of Science and Technology                         |
| <b>Demchenko S. I.</b>                   | Donetsk State University                                            |
| <b>Denisova T. V.</b>                    | Academy of Biology and Medicine                                     |
|                                          | Southern Federal University                                         |
| <b>Kazeev K. Sh.</b>                     | Academy of Biology and Medicine                                     |
|                                          | Southern Federal University                                         |
| <b>Kalaev V. N.</b>                      | Voronezh State University                                           |
| <b>Klimenko O. E.</b>                    | Research Institute of Agriculture of Crimea                         |
| <b>Kolesnikov S. I.</b>                  | Academy of Biology and Medicine                                     |
|                                          | Southern Federal University                                         |
| <b>Ostapko V. M.</b>                     | Donetsk Botanical Garden                                            |
| <b>Prokopenko E. V.</b>                  | Donetsk State University                                            |
| <b>Safonov A. I.</b>                     | Donetsk State University                                            |
| <b>Sergeev M. E.</b>                     | Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity |
| <b>Trush V. V.</b>                       | Donetsk State University                                            |
| <b>Chemeris O.V.</b> (Managing editor)   | Donetsk State University                                            |
| <b>Pirko I. F.</b> (Managing editor)     | Donetsk State University                                            |

The journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the scientific degree of Candidate of Sciences, for the scientific degree of Doctor of Sciences should be published (List of the Higher Attestation Commission of the Russian Federation from April 9, 2024) in the following scientific specialties:

**1.5.9. Botany (biological sciences); 1.5.15. Ecology (biological sciences).**

Journal is included in the List of Russian scientific citation index (license agreement No 230-11/2025 dated 17.11.2025).

#### Publisher's address:

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Tverskoy Municipal District, Tverskaya St., 11, building 1, Moscow, 125009;  
Donetsk State University, 24 Universitetskaya str., Donetsk, 283001.

#### Address of editorial board:

Faculty of Biology, Donetsk State University, Schorsa str., 46, room 310, Donetsk, DPR, 283050.

Web-site of journal: <https://dongu-ecolog.ru/>

E-mail: [dongu\\_eco@mail.ru](mailto:dongu_eco@mail.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

### ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

- Дьякова Н. А.** Определение минерального статуса цветков *Tanacetum vulgare* L. и *Tilla cordata* Mill. в природном заповеднике Воронежской области..... **6**
- Федоров А. В.** Особенности цветения и плодоношения *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire 'Blue Moon' при интродукции в условиях Среднего Предуралья ..... **15**

### ФАУНА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ЖИВОТНОГО МИРА

- Прокопенко Е. В., Иванова А. С.** Факторы, определяющие пораженность листьев каштана конского минами *Cameraria ohridella* Deschka et Dimić, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae): роль температурного режима, освещенности и агротехнических приемов..... **27**

### ФИЗИОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКОЛОГИЯ

- Фрунзе О. В., Горецкий О. С.** Влияние ионов кадмия и свинца на активность ферментов антиоксидантной системы проростков декоративных травянистых растений..... **39**

### ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИОЛОГИИ

- Марцев А. А.** Экологическая память территории старопромышленного региона: от техногенного наследия к здоровью населения (на примере Владимирской области) ..... **49**

## C O N T E N T S

### FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM

- Dyakova N. A.** Determination of the mineral status of *Tanacetum vulgare* L. and *Tilia cordata* Mill. flowers in the nature reserve of the Voronezh region..... **6**
- Fedorov A. V.** Features of flowering and fruiting of *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire ‘Blue Moon’ during introduction in the Middle Urals..... **15**

### FAUNA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE ANIMAL KINGDOM

- Prokopenko E. V., Ivanova A. S.** Factors determining the severity of leaf mining by *Cameraria ohridella* Deschka et Dimić, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae) on the horse chestnut: the role of temperature regime, illumination, and agrotechnical practices..... **27**

### PHYSIOLOGY AND ECOLOGY OF THE PLANT, MYCOLOGY

- Frunze O. V., Goretsky O. S.** The effect of cadmium and lead ions on the activity of enzymes of the antioxidant system of seedlings of ornamental herbaceous plants ..... **39**

### FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF PHYSIOLOGY

- Martsev A. A.** Ecological memory of an old industrial region: technological heritage and public health impact (case study of the Vladimir region) ..... **49**

**ФЛОРА, ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА  
FLORA, ECOLOGY AND PROTECTION OF THE PLANT KINGDOM**

УДК 615.322:574.24(470.322)

DOI: 10.5281/zenodo.23040223

EDN: EEFYGE

© Н. А. Дьякова

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СТАТУСА ЦВЕТКОВ  
*TANACETUM VULGARE* L. И *TILIA CORDATA* MILL. В ПРИРОДНОМ  
ЗАПОВЕДНИКЕ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ***ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»  
Россия, 394006, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1*

**Дьякова Н. А.** Определение минерального статуса цветков *Tanacetum vulgare* L. и *Tilia cordata* Mill. в природном заповеднике Воронежской области. – В статье приведены результаты масс-спектрометрического определения макро- и микроэлементного состава цветков *Tilia cordata* Mill. и *Tanacetum vulgare* L. в одном из природных экотопов Воронежской области. Цветки *T. vulgare* концентрируют калий, фосфор, цинк. Цветки *T. cordata* накапливают калий, фосфор, кальций, цинк, молибден и др. Оба вида не обладают способностью накапливать тяжелые металлы, что делает их безопасными в условиях техногенного загрязнения.

*Ключевые слова:* Воронежская область, *Tanacetum vulgare* L., *Tilia cordata* Mill., элементный состав, макроэлементы, эссенциальные элементы.

**Введение**

Макро- и микроэлементы играют фундаментальную роль в формировании биологической активности лекарственных растений [7, 22]. Эти элементы находятся в тесной связи с высокомолекулярными органическими соединениями (белками, полисахаридами, фенольными комплексами), выступая кофакторами ферментов, стабилизаторами структуры или активными центрами биологически активных веществ. Такая органо-минеральная форма способствует их высокой биодоступности и усвояемости в организме человека по сравнению с неорганическими солями, что усиливает фармакологический эффект суммарных растительных препаратов [19, 21].

Однако наряду с эссенциальными (жизненно необходимыми) элементами растения способны аккумулировать и поллютанты антропогенного происхождения, в частности, токсичные тяжелые металлы, что напрямую влияет на качество и безопасность сырья [2, 4]. В контексте этих данных особую актуальность приобретает изучение элементного состава характерных представителей флоры отдельных регионов [1, 5]. Так, для лекарственного растительного сырья (ЛРС) Центрального Черноземья, в частности, Воронежской области, имеются единичные работы, которые, как правило, ограничиваются анализом 8–10 элементов, что не позволяет составить целостную картину их минерального статуса, выявить видовые особенности аккумуляции и оценить ресурсный потенциал данной фитосферы [5, 6, 22].

Одними из характерных представителей флоры Воронежской области, сырье которой широко заготавливается как в промышленных целях, так и населением для личного пользования, являются пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.) и липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.).

*T. cordata* относится к семейству Malvaceae. Представитель широколиственных лесов, предпочитает плодородные, хорошо дренированные суглинистые почвы со средним увлажнением. Произрастает в составе смешанных и хвойно-широколиственных лесов, чистые насаждения образует редко. Ареал охватывает значительную часть Европы: от юга Скандинавии и Британских островов до европейской территории России, Кавказа, а также

стран Южной и Центральной Европы [11, 13]. Цветки *T. cordata* отличаются сложным химическим составом, определяющим их фармакологическую активность. Полисахариды (до 11 %), включая гетерополисахариды и моносахариды (глюкоза, галактуриновая кислота и др.), обеспечивают обволакивающее действие. Флавоноиды (до 4 %, производные кверцетина и кемпферола) отвечают за противовоспалительный и капилляроукрепляющий эффекты. Эфирное масло (до 0,1 %), содержащее фарнезол, эвгенол, гераниол, что придает характерный аромат и частично обуславливает седативное и противомикробное действие. Кроме того, цветки *T. cordata* содержат фенолкарбоновые кислоты, дубильные вещества, тритерпеновые сапонины, стероиды, цианогенный гликозид самбунигрин [8, 9, 11]. Цветки *T. cordata* богаты нутриентами: витамин С (до 35 %), каротиноиды, аминокислоты (с преобладанием аспарагиновой и глутаминовой кислот). При этом элементный состав растительного сырья изучен недостаточно, известно о накоплении в нем лишь некоторых макро- (K, Ca, Mg) и микроэлементов (Fe и др.) [6, 20].

*T. vulgare* – многолетнее травянистое растение семейства Астровые (Asteraceae). Это евроазиатский синантропный и рудеральный вид, распространенный по всей Европе, в умеренных зонах Азии и натурализовавшийся в Северной Америке. Растет на лугах, по берегам рек, на опушках, а также на нарушенных человеком территориях: у дорог, на пустырях, вблизи промышленных зон. Крайне неприхотлива, засухоустойчива, растет на любых типах почв [11, 17, 18]. Цветки *T. vulgare* отличаются сложным и богатым составом биологически активных соединений: эфирное масло (до 2%), флавоноиды (до 5 %), стероиды, полисахариды (танацетаны), органические кислоты, дубильные и горькие вещества [10–12, 14, 23, 24]. Элементный состав растительного сырья также изучен недостаточно, известно об аккумуляции некоторых эссенциальных (Mn, Cu, Zn) и токсичных (Pb, Cd) микроэлементов из почвы [6, 18].

Цель исследования – установить актуальный минеральный статус и видовые особенности аккумуляции макро- и микроэлементов широко распространенных в Воронежской области модельных видов лекарственного растительного сырья (цветков *T. cordata* и *T. vulgare*).

### Материал и методы исследования

Заготовку цветков *T. cordata* и *T. vulgare* проводили в соответствии с требованиями Государственной фармакопеи [3] в фенофазу цветения растений на территории Воронежского государственного природного биосферного заповедника им. В. М. Пескова (Рамонский район Воронежской области). Выбор локации был обусловлен ее удаленностью от промышленных зон, крупных населенных пунктов и автомагистралей, что минимизирует риск дополнительного химического загрязнения сырья. Цветки срывали, после чего сушили в условиях естественной тени. Параллельно с заготовкой растительного сырья были отобраны пробы почвы с верхнего горизонта (0–20 см).

Пробоподготовку выполняли с использованием системы микроволнового разложения после обработки смесью концентрированных азотной и плавиковой кислот. 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 [21, 22]. Для построения калибровочных графиков использовали серийные многоэлементные стандартные растворы «Perkin-Elmer». Контроль правильности получаемых результатов осуществляли с помощью метода добавок. Все анализы выполняли в трехкратной повторности, после чего данные подвергали статистической обработке при доверительной вероятности  $p \leq 0,05$ .

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

$$\text{КБП} = \frac{C_{\text{рс}}}{C_{\text{почва}}},$$

где  $C_{\text{рс}}$  – концентрация элемента в исследуемом растительном сырье;

$C_{\text{почва}}$  – концентрация соответствующего элемента в образце почвы, отобранной в месте произрастания [6].

### Результаты и обсуждение

Исследование методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой позволило определить 59 элементов в цветках *T. cordata* и *T. vulgare*, заготовленных в Воронежской области (таблица 1).

Таблица 1

**Содержание макро- и микроэлементов в цветках *Tilia cordata* Mill. и *Tanacetum vulgare* L. и коэффициенты их биологического поглощения из почв**

| Элемент                            | Содержание элементов, мкг/г |                             |        | КБП                         |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------|-----------------------------|-----------------------------|
|                                    | Цветки<br><i>T. vulgare</i> | Цветки<br><i>T. cordata</i> | Почва  | Цветки<br><i>T. vulgare</i> | Цветки<br><i>T. cordata</i> |
| 1                                  | 2                           | 3                           | 4      | 5                           | 6                           |
| Макроэлементы                      |                             |                             |        |                             |                             |
| Ca                                 | 5431                        | 14204                       | 19660  | 0,28                        | 0,72                        |
| K                                  | 29489                       | 16505                       | 10500  | <b>2,81</b>                 | <b>1,57</b>                 |
| Mg                                 | 2627                        | 2811                        | 4400   | 0,60                        | 0,64                        |
| Na                                 | 39                          | 38                          | 3300   | 0,01                        | 0,01                        |
| P                                  | 3823                        | 3522                        | 730    | <b>5,24</b>                 | <b>4,82</b>                 |
| Эссенциальные элементы             |                             |                             |        |                             |                             |
| Co                                 | 0,2                         | 0,2                         | 3,3    | 0,07                        | 0,06                        |
| Cr                                 | 0,2                         | 0,2                         | 4,2    | 0,04                        | 0,05                        |
| Cu                                 | 2,3                         | 2,0                         | 3,1    | 0,73                        | 0,64                        |
| Fe                                 | 62,8                        | 117,2                       | 19100  | < 0,01                      | 0,01                        |
| Li                                 | 0,60                        | 0,05                        | 8,50   | 0,07                        | 0,01                        |
| Mn                                 | 41,5                        | 28,4                        | 370,0  | 0,11                        | 0,08                        |
| Mo                                 | 0,4                         | 1,4                         | 0,9    | 0,43                        | <b>1,56</b>                 |
| Ni                                 | 0,98                        | 0,95                        | 2,30   | 0,43                        | 0,41                        |
| Se                                 | 0,004                       | 0,006                       | 8,5    | < 0,01                      | < 0,01                      |
| Si                                 | 641                         | 1119                        | 347000 | < 0,01                      | < 0,01                      |
| V                                  | 0,54                        | 0,28                        | 78,00  | 0,01                        | < 0,01                      |
| Zn                                 | 12,8                        | 13,0                        | 12,0   | <b>1,07</b>                 | <b>1,08</b>                 |
| Токсичные и малоизученные элементы |                             |                             |        |                             |                             |
| Ag                                 | 0,02                        | 0,03                        | 0,19   | 0,11                        | 0,14                        |
| Al                                 | 15                          | 79                          | 31100  | < 0,01                      | < 0,01                      |
| As                                 | 0,03                        | 0,01                        | 0,90   | 0,03                        | 0,01                        |
| Au                                 | 0,006                       | 0,004                       | 0,060  | 0,10                        | 0,07                        |
| Ba                                 | 4,2                         | 15,3                        | 290,0  | 0,01                        | 0,05                        |
| Be                                 | 0,08                        | 0,005                       | 2,00   | 0,04                        | < 0,01                      |
| Bi                                 | 0,002                       | 0,012                       | 0,110  | 0,02                        | 0,11                        |
| Cd                                 | 0,003                       | 0,002                       | 0,02   | 0,13                        | 0,09                        |
| Ce                                 | 0,02                        | 0,08                        | 38,0   | < 0,01                      | < 0,01                      |
| Cs                                 | 0,008                       | 0,008                       | 2,30   | < 0,01                      | < 0,01                      |
| Dy                                 | 0,009                       | 0,009                       | 2,00   | < 0,01                      | < 0,01                      |
| Er                                 | 0,005                       | 0,004                       | 1,20   | < 0,01                      | < 0,01                      |
| Eu                                 | 0,004                       | 0,002                       | 0,650  | 0,01                        | < 0,01                      |

Продолжение табл. 1

| 1     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Ga    | 0,03   | 0,05   | 8,80   | < 0,01 | 0,01   |
| Gd    | 0,007  | 0,008  | 3,00   | < 0,01 | < 0,01 |
| Ge    | 0,001  | 0,017  | 1,10   | < 0,01 | 0,02   |
| Hf    | 0,002  | 0,002  | 1,60   | < 0,01 | < 0,01 |
| Hg    | 0,0002 | 0,0001 | 0,050  | < 0,01 | < 0,01 |
| Ho    | 0,005  | 0,005  | 0,36   | 0,01   | 0,01   |
| La    | 0,01   | 0,04   | 18,00  | < 0,01 | < 0,01 |
| Lu    | 0,001  | 0,001  | 0,16   | 0,01   | 0,01   |
| Nb    | 0,003  | 0,012  | 6,70   | < 0,01 | < 0,01 |
| Nd    | 0,012  | 0,047  | 15,0   | < 0,01 | < 0,01 |
| Pb    | 0,12   | 0,13   | 4,0    | 0,03   | 0,03   |
| Pr    | 0,002  | 0,009  | 4,10   | < 0,01 | < 0,01 |
| Rb    | 24,1   | 3,2    | 63,0   | 0,38   | 0,05   |
| Sb    | 0,014  | 0,011  | 0,41   | 0,03   | 0,03   |
| Sc    | 0,009  | 0,002  | 50,0   | < 0,01 | < 0,01 |
| Sm    | 0,004  | 0,012  | 3,20   | < 0,01 | < 0,01 |
| Sn    | 0,037  | 0,030  | 1,20   | 0,03   | 0,03   |
| Sr    | 27,6   | 59,9   | 73,0   | 0,38   | 0,82   |
| Ta    | 0,0005 | 0,0004 | 0,50   | < 0,01 | < 0,01 |
| Tb    | 0,004  | 0,004  | 0,44   | 0,01   | 0,01   |
| Te    | 0,003  | 0,001  | 0,10   | 0,03   | 0,01   |
| Th    | 0,003  | 0,005  | 5,40   | < 0,01 | < 0,01 |
| Ti    | 9,0    | 11,6   | 2400   | < 0,01 | < 0,01 |
| Tl    | 0,004  | 0,002  | 0,230  | 0,02   | 0,01   |
| Tm    | 0,001  | 0,001  | 0,160  | 0,01   | 0,01   |
| U     | 0,002  | 0,003  | 1,20   | < 0,01 | < 0,01 |
| W     | 0,005  | 0,007  | 0,78   | 0,01   | 0,01   |
| Y     | 0,006  | 0,022  | 9,90   | < 0,01 | < 0,01 |
| Yb    | 0,001  | 0,001  | 1,10   | < 0,01 | < 0,01 |
| Zr    | 0,04   | 0,10   | 78,0   | < 0,01 | < 0,01 |
| Всего | 42252  | 38531  | 439370 |        |        |

Цветки *T. vulgare* обладают высокой избирательностью и эффективностью в накоплении макроэлементов и выраженной барьерной функцией в отношении большинства других элементов. Обладают наивысшей способностью среди всех рассматриваемых элементов к концентрированию фосфора (КБП 5,24). Также цветки *T. vulgare* активно накапливают калий (КБП 2,81), что формирует высокий уровень этих двух жизненно важных макроэлементов в сырье. Цинк – единственный эссенциальный микроэлемент, который цветки *T. vulgare* концентрируют, накапливая его на уровне почвенного содержания (КБП 1,07).

В отношении остальных минеральных компонентов цветки *T. vulgare* проявляют барьерную функцию. Коэффициенты поглощения для абсолютного большинства элементов (натрий, кальций, железо, кремний, алюминий, редкоземельные, тяжелые металлы) крайне низки (КБП < 0,1). Растение практически не транспортирует их из почвы в соцветия. Уровни содержания и КБП кадмия, свинца, мышьяка, ртути также малы. Выделяется необычно высоким содержанием рубидий – 24,1 мкг/г (КБП 0,38) по сравнению с другими элементами.

Таким образом, цветки *T. vulgare* – низкоминерализованное сырье, обогащенное двумя критически важными макроэлементами, что может коррелировать с их фармакологическими свойствами (желчегонное, противовоспалительное). Малое содержание

токсичных элементов указывает на высокую экологическую безопасность сырья в условиях возможного техногенного загрязнения.

Цветки *T. cordata* характеризуются более сбалансированным минеральным статусом с акцентом на накопление не только калия и фосфора, но и кальция, а также некоторых специфических микроэлементов. Как и *T. vulgare*, *T. cordata* активно накапливает в цветках фосфор (КБП 4,82) и калий (КБП 1,57), но при этом значительно лучше концентрирует кальций (КБП 0,72). Это формирует классический для данного вида ЛРС минеральный комплекс (калий, кальций, фосфор), важный для седативного и потогонного действия. Цветки *T. cordata* проявляют уникальную способность к накоплению молибдена (КБП 1,56), цинка (КБП 1,08) и стронция (КБП 0,82). Эти элементы могут играть роль в активации ферментных систем [15, 16].

Барьерная функция у цветков *T. cordata* выражена слабее. В цветки растения в больших количествах транспортируется кальций, стронций, барий, а также имеет более высокие содержания алюминия, железа и редкоземельных элементов (в абсолютных значениях, хотя КБП являются низкими). Как и цветки *T. vulgare*, цветки *T. cordata* обладают очень низкими уровнями и КБП для тяжелых металлов (ртуть, мышьяк, кадмий, свинец), что гарантирует безопасность сырья. Обращает внимание сравнительно высокий КБП для серебра (0,14) и висмута (0,11), хотя их абсолютное содержание крайне низко.

Общее содержание минеральных компонентов в цветках *T. vulgare* составило 42 мг/г, что несколько выше, чем в цветках *T. cordata* (38,5 мг/г) и обусловлено преимущественно более высоким содержанием калия и рубидия.

Цветки *T. vulgare* и *T. cordata* являются представителями ЛРС с высокоизбирательной барьерной функцией для токсичных элементов преимущественно антропогенного происхождения. Это подтверждает гипотезу о том, что минеральное загрязнение чаще и сильнее концентрируется в вегетативных и запасующих органах (корни, листья [5, 10, 11]), чем в репродуктивных.

## Выводы

1. В результате исследования проведен анализ минерального статуса цветков *T. vulgare* и *T. cordata*, произрастающих на особо охраняемой природной территории Воронежской области. Методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой идентифицировано и количественно определено содержание 59 макро- и микроэлементов, что позволило составить детальную характеристику их элементного состава.

2. Установлены видоспецифичные особенности накопления элементов цветками *T. vulgare* и *T. cordata*. Цветки *T. vulgare* характеризуются высокой избирательностью накопления с ярко выраженной аккумуляцией фосфора и калия при минимальном содержании остальных элементов, что формирует низкоминерализованный, но обогащенный ключевыми макронутриентами элементный состав. Цветки *T. cordata* отличаются более сбалансированным минеральным составом с высоким содержанием кальция наряду с калием и фосфором, а также уникальной способностью к накоплению молибдена и стронция.

3. Выявлено, что цветки *T. vulgare* и *T. cordata* обладают эффективной барьерной функцией по отношению к большинству тяжелых металлов, о чем свидетельствуют низкие значения КБП. Накопление токсичных элементов в генеративных органах минимально даже на фоне их высокого содержания в почве, что подтверждает экологическую безопасность и чистоту исследованного сырья, заготовленного в условиях биосферного заповедника.

4. Полученные данные расширяют существующие представления о минеральном статусе цветков *T. vulgare* и *T. cordata*, демонстрируя, что их фармакологическая ценность (противовоспалительное, желчегонное, седативное действие) может быть обусловлена не только органическими соединениями, но и синергичным действием эссенциальных элементов (К, Р, Са, Мо, Zn). Полученные результаты элементного анализа могут быть использованы для разработки стандартизованных препаратов и БАД, направленных на коррекцию элементного статуса человека.

## Список литературы

1. Галенко М. С., Гравель И. В. Оценка рисков воздействия тяжелых металлов и мышьяка, поступающих в организм человека с лекарственными растительными препаратами // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2024. Т. 13, № 4. С. 180–189. DOI: 10.33380/2305-2066-2024-13-4-1934.
2. Галенко М. С., Лаврова О. С., Григорьева В. Ю., Гравель И. В. Изучение содержания тяжелых металлов и мышьяка в сухих экстрактах из лекарственного растительного сырья разных морфологических групп // Фармация. 2024. Т. 73, № 6. С. 5–10. DOI: 10.29296/25419218-2024-06-01.
3. Государственная фармакопея Российской Федерации. Издание XIV. Т. 4. М.: ФЭМБ, 2018. 1834 с.
4. Гравель И. В., Лёвушкин Д. В. Грудной сбор № 4: содержание молибдена, вольфрама, лития, ванадия, титана и циркония // Фармация. 2025. Т. 74, № 4. С. 23–30. DOI: 10.29296/25419218-2025-04-03.
5. 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. DOI: 10.19112/2413-6174-2023-24-3-46-56.
6. Дьякова Н. А. Экологическая оценка сырьевых ресурсов лекарственных растений Воронежской области: монография. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2022. 264 с.
7. Ибаева Х. А., Шамилов А. А., Чеченева К. С., Гравель И. В. Элементный состав плодов черники кавказской и черники обыкновенной // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2024. Т. 27, № 11. С. 85–89. DOI: 10.29296/25877313-2024-11-11.
8. Кароматов И. Д., Абдувохидов А. Т. Липа сердцевидная // Биология и интегративная медицина. 2017. № 8. С. 134–141.
9. Ключко М. В., Родин М. Н., Боков Д. О. Биологическая активность и химический состав сырья липы сердцевидной и липы широколистной // Известия ГГТУ. Медицина, фармация. 2022. № 4. С. 73–78.
10. Кроль Т. А., Зиннатшина Л. В., Балеев Д. Н., Сидельников Н. И., Осипов В. И. Идентификация и количественная оценка фенольных соединений в бутанольной фракции экстракта из цветков пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare*) // Химия растительного сырья. 2021. № 4. С. 129–137. DOI: 10.14258/jcprgm.2021049409.
11. Куркин В. А. Фармакогнозия. 2-е изд. переработ. и доп. Самара: ООО «Офорт», 2007. 1239 с.
12. Куркина А. В. Исследование флавоноидного состава цветков пижмы обыкновенной // Химия растительного сырья. 2011. № 4. С. 209–212.
13. Лелекова Е. В. Структура липовых сообществ на северо-восточной границе широколиственно-хвойных лесов Кировской области // Лесоведение. 2025. № 1. С. 28–40. DOI: 10.31857/S0024114825010035.
14. Пупыкина К. А., Анищенко И. Е., Красюк Е. В., Жигунов О. Ю., Шигапов З. Х. Изучение фенольных соединений трех видов рода *Tanacetum* L. в условиях Башкирского предуралья // Химия растительного сырья. 2024. № 4. С. 161–169. DOI: 10.14258/jcprgm.20240414039.
15. Скальный А. В. Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие. 4-е изд., доп., перераб. М.: Перо, 2019. 294 с.
16. Скальный А. В., Скальная М. Г., Киричук А. А., Тиньков А. А. Медицинская элементология. 2-е изд. Переработ. И доп. М.: Наука, 2021. 199 с.
17. Стоянова Я. В., Стреляева А. В., Кузнецов Р. М., Стреляев Н. Д., Боброва Е. И. Фармакогностическое изучение лекарственного растительного сырья травы пижмы обыкновенной и недопустимой примеси к сырью растений рода Лютик // Вестник

Смоленской государственной медицинской академии. 2023. Т. 22, № 2. С. 215–222. DOI: 10.37903/vsgma.2023.2.29.

18. Тамахина А. Я. Эколого-биологические особенности пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.) в экотопах Кабардино-Балкарской республики // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 1 (35). С. 5–14. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-5-14.

19. Чевидаев В. В., Боков Д. О., Гравель И. В., Самылина И. А. Исследование элементного состава грудного сбора № 2 и его компонентов // Вестник Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. 2024. Т. 14, № 2. С. 171–180. DOI: 10.30895/1991-2919-2023-566.

20. Щукин В. М., Блинкова Е. А., Швецова Ю. Н., Кузьмина Н. Е., Лутцева А. И. Анализ транссредовых переходов элементных токсикантов в цветки липы // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101, № 2. С. 159–166. DOI: 10.47470/0016-9900-2022-101-2-159-166.

21. Dyakova N. A. Features of accumulation of macro- and trace elements by medicinal plant raw materials of Voronezh region // Pharmaceutical Chemistry Journal. 2023. Т. 56, № 11. P. 1471–1476. DOI: 10.1007/s11094-023-02816-1.

22. Dyakova N. A. Features of extraction of rare-earth elements from medicinal plant raw materials into infusions and decoctions // Pharmaceutical Chemistry Journal. 2023. Т. 57, № 5. P. 688–693. DOI: 10.1007/s11094-023-02939-5.

23. Polle A. Ya., Ovodova R. G., Shashkov A. S., Ovodov Yu. S. Some structural features of pectic polysaccharide from tansy, *Tanacetum vulgare* L. // Carbohydrate Polymers. 2002. Vol. 49, No 3. P. 337–344.

24. Xie G., Schepetkin I. A., Quinn M. T. Immunomodulatory activity of acidic polysaccharides isolated from *Tanacetum vulgare* L. // International Immunopharmacology. 2007. Vol. 7. P. 1639–1650.

## References

1. Galenko, M. S. & Gravel, I. V. (2024). Assessment of the risks of impacts of heavy metals and arsenic entering the human body with herbal medicines. *Drug development & registration*, 13(4), 180–189. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2024-13-4-1934> (In Russian).

2. Galenko M. S., Lavrova O. S., Grigorieva V. Yu. & Gravel I. V. (2024). Study of the content of heavy metals and arsenic in dry extracts from medicinal plant materials of different morphological groups. *Farmatsiya*, 73(6), 5–10. <https://doi.org/10.29296/25419218-2024-06-01> (In Russian).

3. Gosudarstvennaya farmakopeya Rossiyskoy Federatsii [State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. (2018). (14<sup>th</sup> ed., Vol. 4). Moscow: FEMB, 1834 p. (In Russian).

4. Gravel I. V. & Levushkin D. V. (2025). Pectoral species No. 4: molybdenum, tungsten, lithium, vanadium, titanium and zirconium content. *Farmatsiya*, 74(4), 23–30. <https://doi.org/10.29296/25419218-2025-04-03> (In Russian).

5. Dunilin, A. D., Trineeva, O. V., Chistyakova, A. S. & Gudkova, A. A. (2023). Elemental composition of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) flowers growing in Voronezh region. *Trace Elements in Medicine*, 24(3), 46–56. <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-3-46-56> (In Russian).

6. D'yakova, N. A. (2022). *Ekologicheskaya otsenka syr'evykh resursov lekarstvennykh rasteniy Voronezhskoy oblasti* [Ecological assessment of raw material resources of medicinal plants of the Voronezh region]. Voronezh: Tsifrovaya poligrafiya, 264 p. (In Russian).

7. Ibaeva, Kh. A., Shamilov, A. A., Checheneva, K. S. & Gravel, I. V. (2024). Mineral content of *Vaccinium arctostaphylos* and *Vaccinium myrtillus* fruits. *Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*, 27(11), 85–89. <https://doi.org/10.29296/25877313-2024-11-11> (In Russian).

8. Karomatov, I. D. & Abduvokhidov, A. T. (2017). Lipa serdtsevidnaya [Heart-shaped linden]. *Biologiya i integrativnaya meditsina*, (8), 134–141. (In Russian).

9. Klochko, M. V., Rodin, M. N. & Bokov, D. O. (2022). Biologicheskaya aktivnost' i khimicheskiy sostav syr'ya lipy serdtsevidnoy i lipy shirokolistnoy [Biological activity and chemical composition of the raw materials of linden cardiac and linden broad-leaved]. *Izvestiya GGTU. Meditsina, farmatsiya*, (4), 73–78. (In Russian).
10. Krol, T. A., Zinnatshina, L. V., Baleev, D. N., Sidelnikov, N. I. & Osipov, V. I. (2021). Identification and content of phenolic compounds in a butanol fraction of extract from the flowers of *Tanacetum vulgare*. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, (4), 129–137. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021049409> (In Russian).
11. Kurkin, V. A. (2007). *Farmakognoziya* [Pharmacognosy] (2<sup>nd</sup> ed.). Samara: OOO «Ofort», 1239 p. (In Russian).
12. Kurkina, A. V. (2011). Issledovanie flavonoidnogo sostava tsvetkov pizhmy obyknovennoy [Study of the flavonoid composition of common tansy flowers]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, (4), 209–212. (In Russian).
13. Lelekova, E. V. (2025). Structure of linden coenoses on the north-eastern border of the broadleaved-coniferous forests area in the Kirov Region. *Russian Journal of Forest Science (Lesovedenie)*, (1), 28–40. <https://doi.org/10.31857/S0024114825010035> (In Russian).
14. Pupykina, K. A., Anishchenko, I. E., Krasnyuk, E. V., Zhigunov, O. Yu. & Shigapov, Z. Kh. (2024). Study of phenolic compounds of three types of the genus *Tanacetum* L. in the conditions of the Bashkir CisUrals. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, (4), 161–169. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240414039> (In Russian).
15. Skal'nyy, A. V. (2019). *Mikroelementy: bodrost', zdorov'e, dolgoletie* [Trace elements: Vigor, health, longevity] (4<sup>th</sup> ed.). Moscow: Pero, 294 p. (In Russian).
16. Skal'nyy, A. V., Skal'naya, M. G., Kirichuk, A. A. & Tinkov, A. A. (2021). *Meditsinskaya elementologiya* [Medical elementology] (2nd ed.). Moscow: Nauka, 199 p. (In Russian).
17. Stoyanova, Ya. V., Strelyaeva, A. V., Kuznetsov, R. M., Strelyaev, N. D. & Bobrova, E. I. (2023). Pharmacognostic study of herb of *Tanacetum vulgare* L. medicinal plant raw materials and unacceptable admixture of the genus *Ranunculus* plants raw materials. *Vestnik Smolenskoys gosudarstvennoy meditsinskoy akademii*, 22(2), 215–222. <https://doi.org/10.37903/vsgma.2023.2.29> (In Russian).
18. Tamakhina, A. Ya. (2022). Ecological and biological features of common tansy (*Tanacetum vulgare* L.) in ecotopes of the Kabardino-Balkarian Republic. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokova*, 1(35), 5–14. <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2022-1-35-5-14> (In Russian).
19. Chevadaev, V. V., Bokov, D. O., Gravel, I. V. & Samylina, I. A. (2024). Study of the elemental composition of Pectoral Species No. 2 and Its components. *Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation*, 14(2), 171–180. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2023-566> (In Russian).
20. Shchukin, V. M., Blinkova, E. A., Shvetsova, Yu. N., Kuz'mina, N. E. & Lutseva, A. I. (2022). Analysis of trans-environment transitions of elemental toxicants in linden flowers. *Hygiene and Sanitation. Gigiena i sanitariya*, 101(2), 159–166. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-159-166> (In Russian).
21. Dyakova, N. A. (2023). Features of accumulation of macro- and trace elements by medicinal plant raw materials of Voronezh region. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 56(11), 1471–1476. <https://doi.org/10.1007/s11094-023-02816-1> (In English).
22. Dyakova, N. A. (2023). Features of extraction of rare-earth elements from medicinal plant raw materials into infusions and decoctions. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 57(5), 688–693. <https://doi.org/10.1007/s11094-023-02939-5> (In English).
23. Polle, A. Ya., Ovodova, R. G., Shashkov, A. S., & Ovodov, Yu. S. (2002). Some structural features of pectic polysaccharide from tansy, *Tanacetum vulgare* L. *Carbohydrate Polymers*, 49(3), 337–344. (In English).

24. Xie, G., Schepetkin, I. A. & Quinn, M. T. (2007). Immunomodulatory activity of acidic polysaccharides isolated from *Tanacetum vulgare* L. *Internatiyonal Immunopharmacology*, 7, 1639–1650. (In English).

Поступила в редакцию 05.01.2026 г.

**Dyakova N. A. Determination of the mineral status of *Tanacetum vulgare* L. and *Tilia cordata* Mill. flowers in the nature reserve of the Voronezh region.** – The article presents the results of mass spectrometric determination of the macro- and microelement composition of *Tilia cordata* Mill. flowers and *Tanacetum vulgare* L. flowers in one of the natural ecotopes of the Voronezh region. *T. vulgare* flowers concentrate potassium, phosphorus, zinc. *T. cordata* flowers accumulate potassium, phosphorus, calcium, zinc, molybdenum, etc. Both species do not have the ability to accumulate heavy metals, which makes them safe in conditions of man-made pollution.

**Keywords:** Voronezh region, *Tanacetum vulgare* L., *Tilia cordata* Mill., elemental composition, macronutrients, essential elements.

**Дьякова Нина Алексеевна**

доктор фармацевтических наук, доцент,  
доцент кафедры фармацевтической технологии  
фармацевтического факультета  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
университет», г. Воронеж, РФ.  
E-mail: [ninochka\\_v89@mail.ru](mailto:ninochka_v89@mail.ru)  
ORCID: 0000-0002-0766-3881  
AuthorID: 684554

**Dyakova Nina Alekseevna**

Doctor of Pharmaceutical Sciences, Docent,  
Associate Professor of Department of Pharmaceutical  
Technology, Faculty of Pharmacy,  
Voronezh State University,  
Voronezh, Russian Federation.

© А. В. Федоров

# ОСОБЕННОСТИ ЦВЕТЕНИЯ И ПЛОДОНОШЕНИЯ *WISTERIA FRUTESCENS* SUBSP. *MACROSTACHYA* (TORR. & A. GRAY) J. COMPTON & SCHRIRE ‘BLUE MOON’ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПРЕДУРАЛЬЯ

ФГБОУ ВО МСХ РФ «Российский государственный университет народного хозяйства  
имени В. И. Вернадского»

Россия, 143907, г. Балашиха, Шоссе Энтузиастов, 50

**Федоров А. В.** Особенности цветения и плодоношения *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire ‘Blue Moon’ при интродукции в условиях Среднего Предуралья. – В работе представлены данные исследований по интродукции *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire ‘Blue Moon’ в умеренно-континентальном климате (Среднее Предуралье). Выявлено, что растение может культивироваться при условии воздушно-сухого укрытия на зимний период. Растение имеет две волны цветения – в первой половине июня и во второй половине июля-начале августа. Общая продолжительность цветения за вегетационный период составляет 28–33 суток. В период первой волны цветения в открытом грунте умеренно-континентального климата завязывает плоды и формирует всхожие семена, которые можно использовать для исследований по интродукции и акклиматизации в местном климате.

**Ключевые слова:** Вистерия кустарниковая, глициния, *Wisteria frutescens*, декоративная лиана, интродукция, Среднее Предуралье, цветение, плодоношение.

## Введение

Большое значение для жизни человека и общества во все времена имеет интродукция растений, и ее роль в развитии цивилизации сложно переоценить [2, 9]. Именно благодаря интродукционной деятельности человека появились культурные растения, дающие сырье для промышленности, пищу и лекарства [8, 11, 17]. В целом существование и развитие человечества, общественных формаций связано с наличием и использованием растений [5], если в начале растения были необходимы как источник пищи, витаминов и технического сырья [19], то в современных условиях они являются незаменимым компонентом и элементом для создания комфортных условий для жизни [10, 16–18]. Интродукционная деятельность также способствует сохранению фитобиоразнообразия [16], и в целом играет важную роль в обеспечении устойчивого развития [14, 15, 18].

Глициния (*Wisteria* Nutt.) – это род цветковых растений из семейства бобовых (Fabaceae Lindl.). Род включает четыре вида древесных вьющихся лиан, произрастающих в Китае – глициния китайская (*Wisteria sinensis* (Sims) DC), Японии – глициния короткокистная – *Wisteria brachybotrys* Siebold & Zucc. (син. шелковистая глициния – *Wisteria venusta* Rehder & Wils.) и глициния обильноцветущая – *Wisteria floribunda* (Willd.) DC. (син. японская глициния), в Северной Америке – глициния кустарниковая – *Wisteria frutescens* (L.) Poir. (син. американская глициния) [27].

Предполагается, что глициния появилась в Восточной Азии на границе олигоцена и миоцена. Разрыв между Восточной Азией и восточной частью Северной Америки сформировался в позднем миоцене, что способствовало формированию азиатских видов рода *Wisteria* Nutt. и возникновению *W. frutescens*. А в четвертичном периоде произошло разделение ареалов между *W. sinensis* и видами Японских островов – *W. brachybotrys* и *W. floribunda* [23].

Виды *Wisteria* были вначале завезены во Францию, а затем в Германию и другие страны Европы. Некоторые виды являются популярными декоративными растениями. Название рода также используется в качестве английского названия и может писаться как

wistaria [27]. Название рода дано в честь Каспара Вистера (1761–1818), профессора анатомии Пенсильванского университета [26].

Азиатские виды глицинии более требовательны к теплу, имеют низкую зимостойкость, успешно произрастают на черноморском побережье Краснодарского края и в Крыму. Однако отмечается единичное нахождение в Волгоградской области *W. sinensis*, которая культивируется несколько лет на приусадебном участке в хуторе Филинском. Зимует, но подмерзает, весной снова отрастает от корня, летом цветет, но не обильно [4]. Стебли азиатских видов закручиваются по часовой стрелке [27].

Наибольший интерес для интродукции в Средней полосе и Предуралье представляет вид вистерия кустарниковая – *Wisteria frutescens*, который включает два подвида – *Wisteria frutescens* subsp. *frutescens* и *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire [27]. В отличие от азиатских видов она вырастает выше, ее кистевидные соцветия вдвое короче (самые короткие из рода *Wisteria*), цветки душистые, а поверхность плодов при созревании менее бархатистая. Она не так склонна к образованию корневой поросли, как ее азиатские родственники, что делает ее более удобной для выращивания в саду. Более зимостойким считается северный подвид *W. frutescens* subsp. *macrostachya*, который по некоторым источникам выделяют в отдельный вид вистерия макростехия – *W. macrostachya* (вистерия кентуккийская, болотная глициния, миссисипская глициния и атлантическая глициния) [21, 26]. Тем не менее, в настоящее время эти две разновидности объединены в один вид – глицинию американскую, с ботаническим эпитетом *Wisteria frutescens* [24]. В «Ботаническом саду НИУ «БелГУ» успешно культивируется *W. frutescens* subsp. *macrostachya* сорта 'Blue Moon' [3].

Подвид *W. frutescens* subsp. *macrostachya* – произрастает на юге центральной части США, от Луизианы и Техаса на севере до Кентукки, Иллинойса, Миссури и Оклахомы. Предпочитает влажные почвы. В Миссури она в основном встречается в юго-восточной части региона Бутл, в низинных болотистых лесах и вдоль границ болот, протоков и низовьев рек.

Внешне она очень похожа на *W. frutescens* subsp. *frutescens*, но отличается более длинными соцветиями, меньшей агрессивностью, повышенной зимостойкостью. Вырастает до 4,5–7,5 м [26] и даже до 15 м в высоту и имеет кистевидные соцветия длиной 15–30 см с ароматными цветками от голубовато-фиолетового до белого цвета, похожими на цветки гороха шириной до 2 см [25]. Цветки на кистях распускаются почти одновременно, делая куст ярким украшением сада в период цветения. На смену цветкам приходят свисающие бархатистые ядовитые бобы длиной 10–12 см, которые созревают осенью и могут сохраняться до зимы. Стебли вьются против часовой стрелки и покрыты сложными непарноперистыми темно-зелеными листьями длиной 10–30 см и состоящими из 9–15 яйцевидных листочков, длиной 2–6 см. Со временем стебли этой лианы становятся скрученными и похожими на стволы [26, 22].

У *W. frutescens* subsp. *macrostachya* наибольшую популярность получил сорт 'Blue Moon'. Данный сорт стал настолько распространен и популярен в любительском садоводстве Российской Федерации, что рассматривается вопрос ускоренного размножения с применением технологии *in vitro*. В ходе исследований было выявлено, что для введения глицинии в культуру *in vitro* предпочтительно брать зеленые черенки в качестве эксплантов [3].

Растение считается теневыносливым, но цветет только на частичном или полном освещении. Кроме основной первой волны цветения за вегетацию может отмечаться еще две ремонтантные волны цветения [22].

Все части растения видов глицинии содержат сапонин, в коре накапливается токсичная смола. Для серьезного отравления глицинией достаточно 1–2 бобов с семенами, которое может привести к гастроэнтериту легкой и тяжелой степени, тошноте, частой рвоте, болям в животе и диарее. В серьезных случаях это может привести к обезвоживанию организма. Доказано, что содержащийся в растении вистерин по своей структуре и действию схож

с алкалоидом цитизином, но менее эффективен. У него горьковато-сладкий вкус. Листья глицинии иногда используют в качестве заменителя табака [20].

Сведения о биологических особенностях и технологии выращивания растений рода *Wisteria* в русскоязычных научных литературных источниках носят в основном реферативный характер: описываются основные морфобиологические особенности и технология выращивания на основе популярной литературы [12, 13].

Поэтому исследования биологических особенностей *W. frutescens* при интродукции в условиях Среднего Предуралья являются актуальными.

Цель работы – изучить особенности цветения и плодоношения *W. frutescens* subsp. *macrostachya* при интродукции в условиях Среднего Предуралья.

### Материал и методы исследования

Исследования проводились в Удмуртской Республике, которая находится на востоке Русской равнины в междуречье Вятки и Камы. Согласно природно-сельскохозяйственному районированию России является частью территории Среднего Предуралья в пределах южно-таежной подзоны таежно-лесной зоны [1]. Географическая точка места проведения исследований – 55°54'11" с. ш., 53°20'24" в. д. Метеорологические условия приведены по данным ближайшей метеостанции Сарапул (Удмуртская Республика, Россия).

Объектом исследований были растения *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J.Compton & Schrire, сорт 'Blue Moon' (Блю Мун).

Интродукционное изучение вистерии кустарниковой проводилось с 2017 г. В первом опыте растения высаживались двухлетними саженцами в грунт, для перезимовки стебли укладывали на грунт и прикрывали еловым лапником.

Вторичная высадка двухлетними саженцами производилась в 2020 г. В генеративный этап развития растения вступили в 2023 г., но учет морфомертических показателей не осуществлялся. Наблюдения и учет морфометрических показателей проводился в 2024–2025 гг. Технологию ухода (поливы, рыхление почвы, прополка от сорных растений) проводили в соответствии с общепринятыми методами для декоративных растений открытого грунта.

Почва опытного участка серая лесная. Агрохимические показатели плодородия почвы имели следующие значения: содержание органического вещества 4,7 %;  $pH_{KCl}$  7,1;  $P_2O_5$  – 638 мг/кг;  $K_2O$  – 580 мг/кг;  $CaCO_3$  – 360 мг/кг. Считается, что *W. frutescens* предпочитает слегка кислую влажную суглинистую почву, но может расти на самых разных типах почв с уровнем pH от 6,1 до 7,5 [24]. По приведенным данным можно сделать вывод о высокой пригодности почв опытного участка для выращивания *W. frutescens*.

Для обеспечения перезимовки растения укрывали воздушно-сухим способом. Стебли растений снимали с опоры, компактно укладывали на почву, сворачивая в круг. Над растениями устанавливали металлические дуги в качестве каркаса, высота укрытия составляла 25–30 см. Укрытие производилось нетканым материалом плотностью 60 г/м<sup>2</sup> в два слоя. Укрытие производилось в первой декаде ноября, а снимали в первых числах мая.

Наблюдения, статистическую обработку полученных данных проводили в соответствии с общепринятыми рекомендациями [7]. Наблюдения проводили по двум растениям, произрастающим в коллекции. На растениях учитывались все соцветия и плоды, проводили расчет стандартного отклонения генеральной совокупности. Массу 1 000 семян определяли взвешиванием 100 шт., соответственно по данной выборке рассчитывали стандартное отклонение. Для определения лабораторной всхожести предварительно скарифицированные наждачной бумагой семена проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге (ГОСТ 12038–84), при температуре +25 °C в 4-х кратной повторности по 50 шт. в темноте.

### Результаты и обсуждение

Условия перезимовки для растений *W. frutescens* в зимние периоды 2023–2024 гг. и 2024–2025 гг. складывались благоприятные. Как рискованное, можно отметить понижение

температуры до  $-33^{\circ}\text{C}$  9 декабря 2023 г. при еще не глубоком снеговом покрове – 31 см. Впоследствии зимой 2023–2024 гг. самые низкие температуры отмечены до  $-24^{\circ}\text{C}$  в середине декабря и до  $-26^{\circ}\text{C}$  – 9 февраля 2024 г., при этом глубина снегового покрова составляла в этот период 44–90 см.

Зимой 2024–2025 гг. температурные условия перезимовки складывались менее экстремальные по сравнению с предыдущей зимой. Так, самые низкие температуры отмечены:  $-15^{\circ}\text{C}$  в декабре 2024 г.,  $-21^{\circ}\text{C}$  23 января 2025 г. и  $-19\ldots-20^{\circ}\text{C}$  19–22 февраля 2025 г., при этом высота снегового покрова составляла от 26 см в декабре 2024 г. и до 50 см в феврале 2025 г.

В литературе отмечается высокая морозостойкость *W. frutescens* сорта ‘Blue Moon’. Так, в условиях лабораторного промораживания стебли сорта Blue Moon без повреждений выдерживали понижение до  $-31\ldots-39^{\circ}\text{C}$ . В наших исследованиях растения *W. frutescens*, находящиеся в период зимовки под воздушно-сухим укрытием из нетканого материала в оба года перезимовали без повреждения цветковых почек. У наблюдаемых растений отмечались подмерзания кончиков неодревесневших побегов длиной до 50 см, которые не оказали значительного влияния на рост и цветение растений.

Знание фенологических особенностей, сроков и продолжительности цветения, проявляющихся в жизненном цикле растения в зависимости от региона, имеет важное значение для принятия ряда решений по культивированию растений, имеющих декоративное значение. Этапы развития связанные с цветением и плодоношением имеют особое значение, поскольку дают представление о сроках, продолжительности и интенсивности вегетативных и репродуктивных стадий роста в новых регионах выращивания для успешности интродукции. До настоящего времени фенологические характеристики *W. frutescens* в условиях умеренно-континентального климата Российской Федерации крайне мало изучены, сведения практически отсутствуют. Наблюдения за прохождением фазы цветения и плодоношения в условиях Среднего Предуралья проводятся впервые.

Отмечается, что в условиях естественного ареала произрастания имеет три волны цветения за вегетационный период [22]. В то же время другими авторами указывается на слабое повторное цветение, которое сильно уступает по количеству соцветий первой волне цветения [24]. В наших исследованиях наблюдалось только две волны цветения (табл. 1, рис. 1). В условиях Среднего Предуралья цветение главным образом происходило в первой половине июня и во второй половине июля-начале августа.

Таблица 1

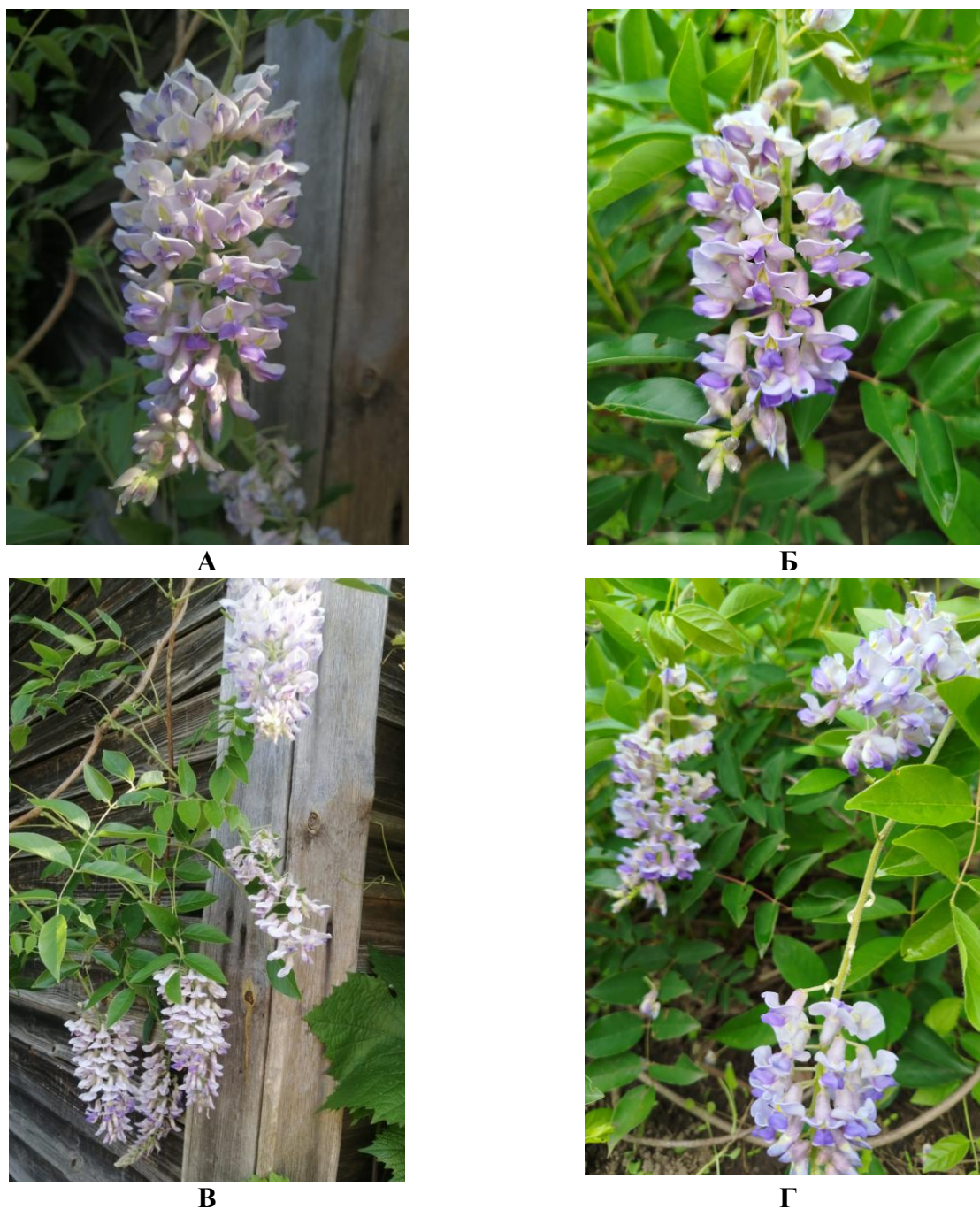
**Фенофазы начала роста побегов и цветения *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire ‘Blue Moon’ в условиях Среднего Предуралья**

| Год  | Дата              |                  |            |                     |            | Продолжительность цветения, сутки |            |
|------|-------------------|------------------|------------|---------------------|------------|-----------------------------------|------------|
|      | Распускание почек | первого цветения |            | повторного цветения |            | первого                           | повторного |
|      |                   | начало           | завершение | начало              | завершение |                                   |            |
| 2024 | 5 мая             | 2 июня           | 15 июня    | 20 июля             | 4 августа  | 13                                | 15         |
| 2025 | 7 мая             | 1 июня           | 17 июня    | 16 июля             | 2 августа  | 16                                | 17         |

Отдельные цветки раскрываются акропетально, начиная с базального конца соцветия и продвигаясь к дистальному. Период цветения обычно длится несколько недель [24]. В наших исследованиях продолжительность первой волны цветения длилась две недели. В 2025 г. она была дольше на 2 суток по сравнению с 2024 г.

Продолжительность второй волны цветения растений была дольше первой на 1–2 суток. Первая волна цветения начиналась через 25–28 суток после начала распускания почек, а вторая – через 70–76 суток.

Таким образом, можно отметить высокую декоративность растений, когда в период цветения они становятся акцентами в садово-парковых композициях в условиях Среднего Предуралья в течение 28–33 суток. А в остальное время могут являться фоном для других акцентов или быть элементами второго плана садовых композиций.



**Рис. 1. Цветение *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire 'Blue Moon' в условиях Среднего Предуралья:**

А – соцветие первого цветения, Б – соцветие повторного цветения, В – вид части куста во время первого цветения, Г – вид части куста во время повторного цветения

В период исследований была отмечена также особенность цветения первой и второй волны цветения. Во время первой волны цветения соцветия располагались равномерно по высоте растения. А в период второй волны цветения соцветия отмечались только в нижней 1/5 части растения.

Эффектные кистевидные соцветия с голубовато-синими цветками, необычные для Среднего Предуралья, имели длину 12,5–16,0 см (табл. 2), что подтверждается данными

других авторов, указывающих на длину соцветий от 7,6–10,2 см [24] до 15–30 см [25]. Каждое соцветие несло по 42,7–58,8 цветков, что было меньше, чем в условиях естественного ареала – 70–90 шт. [24]. Длина соцветия и количество на нем цветков изменялась в зависимости от года исследования, различия составляли соответственно на 3,5 см и 16,1 шт. Пока остается не ясным, с чем связаны изменения в количестве формируемых цветков на соцветии по годам исследований. Возможно, что это связано с условиями вегетационного периода в период закладки цветковых почек. В среднем на одном растении в первую волну цветения было в 2024 г. 16,5 соцветий, в 2025 г. – 22,0 соцветия. В расчете средних показателей завязываемости плодов использовались средние индивидуальные показатели по соцветиям.

Таблица 2

**Значения и стандартные отклонения показателей морфометрических характеристик соцветий и завязываемость плодов *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire ‘Blue Moon’ первой волны цветения в условиях Среднего Предуралья**

| Год  | Длина соцветия, см | Количество на 1 соцветии |           | Завязываемость плодов, % |
|------|--------------------|--------------------------|-----------|--------------------------|
|      |                    | цветков                  | плодов    |                          |
| 2024 | 16,0 ± 4,2         | 58,8 ± 23,2              | 6,6 ± 3,0 | 11,3 ± 4,1               |
| 2025 | 12,5 ± 5,3         | 42,7 ± 15,0              | 4,6 ± 1,5 | 12,5 ± 8,3               |

Цветки *W. frutescens* посещали разнообразные насекомые-опылители. В основном это были виды шмелей рода *Bombus* Latreille и пчела-плотник фиолетовая – *Xylocopa violacea* L. Однако интенсивность посещения цветков насекомыми была невысокая по сравнению другими цветковыми растениями сада в данный период.

Завязываемость плодов была невысокая – менее 13 %. Внешний вид плодов в период формирования представлен на рисунке 2. При повторном цветении завязывание плодов не наблюдалось.



А



Б

**Рис. 2. Плодоношение *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire ‘Blue Moon’ в условиях Среднего Предуралья:**

А – формирование плодов, по состоянию на 28.07.2025 г., Б – плод с созревшими семенами

Плоды собирали после листопада и побурения – в середине I декады ноября и оставляли для созревания и полного высыхания – до начала растрескивания створок бобов. Обычно створки бобов начинали растрескиваться через две недели после перенесения в сухое теплое помещение. Морфометрические данные плодов и семян, сформированных после первой волны цветения приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Значения и стандартные отклонения морфометрических характеристик плодов и семян, всхожести семян первой волны цветения *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire ‘Blue Moon’ в условиях Среднего Предуралья**

| Год  | Длина плода, см | Количество в плоде, шт. |           |                         | M <sub>1000</sub> семян, г | Всхожесть, % |
|------|-----------------|-------------------------|-----------|-------------------------|----------------------------|--------------|
|      |                 | семязачатков            | семян     | Завязываемость семян, % |                            |              |
| 2024 | 7,7 ± 1,9       | 10,0 ± 2,7              | 2,1 ± 1,0 | 22,0 ± 10,4             | 231,0                      | 92,0         |
| 2025 | 8,4 ± 1,9       | 10,0 ± 1,9              | 2,4 ± 1,2 | 24,0 ± 12,4             | 224,7                      | 87,0         |

Наши данные показывают, что в условиях интродукции в Среднем Предуралье плоды *W. frutescens* имели длину 7,7–8,4 см. При этом в них формировалось в среднем всего 2,1–2,4 семян при значительном количестве семязачатков – 10,0 шт. Завязываемость семян в бобе составляла 22,0–24,0 %.

Одним из важных аспектов успешности интродукции растений является возможность генеративного развития и семенного размножения в регионе культивирования. Поэтому у полученных семян были определены показатели массы 1000 семян и лабораторная всхожесть. В культуре, для получения цветущих растений вистерию кустарниковую размножают вегетативно – отводками, черенкованием, прививками, причем молодые растения плохо приживаются после пересадки, и образование новых побегов происходит чрезвычайно медленно [6]. Вегетативно размноженные растения могут зацвести уже через два года. А при выращивании из семян в цветение растения вступают в значительно поздний период. Однако семенной способ размножения позволяет получить растения более устойчивые к неблагоприятным условиям произрастания, приспособленные к местному климату.

Благодаря высокой перспективности использования в декоративном садоводстве *W. frutescens* была включена в программу селекции и генетики древесных растений для ландшафтного дизайна (Woody Landscape Plant Breeding and Genetics Program, WLPBGP). Программа была запущена в 1954 году в Университете Миннесоты (США) с целью выведения новых морозостойких древесных растений для Миннесоты и прилегающих территорий. Такие растения отбираются так, чтобы они могли пережить зимние холода в ландшафтах [24]. Поэтому размножение *W. frutescens* из семян местной репродукции можно считать актуальным для продолжения изучения биологических особенностей *W. frutescens* при интродукции в условиях Среднего Предуралья с целью получения новых форм растений.

В условиях интродукционных исследований масса 1 000 семян *W. frutescens* составляла 224,7–231,0 г. При этом их всхожесть варьировала в зависимости от года исследований от 87 до 92 %.

### Выводы

1. В условиях опытного участка в Среднем Предуралье растения *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* ‘Blue Moon’, высаженные в 2020 г., в 2023/24 и 2024/25 гг. успешно перезимовали при воздушно-сухом укрытии. Повреждения отмечались преимущественно на концах неодревесневших побегов и не влияли на цветение растений.

2. В 2024–2025 гг. наблюдались две волны цветения: первая – в первой половине июня, повторная – во второй половине июля – начале августа. Общая продолжительность цветения составляла 28–33 суток. При повторном цветении соцветия отмечались только в нижней 1/5 части растения.

3. Плоды формировались только после первой волны цветения. Завязываемость плодов составляла менее 13 %, завязываемость семян в бобе – 22,0–24,0 %.

4. Семена местной репродукции имели лабораторную всхожесть 87–92 %, что указывает на перспективность дальнейшего изучения семенного потомства для оценки адаптационного потенциала таксона в условиях Среднего Предуралья.

Исследование выполнено в рамках инициативной научно-исследовательской темы «Устойчивые и эстетически полноценные экосистемы и фитобиоразнообразие населенных пунктов» кафедры экологии и биоресурсов Российского государственного университета народного хозяйства имени В. И. Вернадского (Университета Вернадского).

The study was carried out as part of the research topic "Sustainable and aesthetically valuable ecosystems and phytodiversity of settlements" at the Department of Ecology and Bioresources of the Vernadsky University of the Russian State University for the Humanities.

### Список литературы

1. Агроклиматические ресурсы УАССР / под ред. Е. Т. Россовской. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 115 с.
2. Базилевская Н. А., Мауринь А. М. Интродукция растений. Теории и практические приемы: Учебное пособие. Рига: ДГУ им. П. Стучки, 1984. 91 с.
3. Бродаева Ж. А., Кулько С. В., Ткаченко Н. Н., Пертова И. В., Тохтарь Л. А. Получение стерильной культуры глицинии макростахии сорта Blue moon в условиях *in vitro* // Научный альманах. 2019, № 5-2 (55). С. 153–156. EDN: HSFECD.
4. Бялт В. В., Сагалаев В. А., Фирсов Г. А. Конспект дендрофлоры Нижнехопёрского природного парка (Волгоградская область, Россия). М.: Изд-во РОСА, 2023. 168 с.
5. Вавилов Н. И. Происхождение и география культурных растений. Л.: Наука, 1987. 440 с.
6. Джигоева К. Э. Создание коллекции многолетних дикорастущих лиан // Студенческая наука – агропромышленному комплексу: Научные труды студентов Горского Государственного аграрного университета (Владикавказ, 11–12 апреля 2018 г.). Том Выпуск 55 (Часть 1). Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2018. С. 96–98. EDN: XVGETJ
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 350 с.
8. Жуковский П. М. Культурные растения и их сородичи. Л.: Колос, 1971. 751 с.
9. Карпун Ю. Н. Основы интродукции растений // Hortus Botanicus. 2004. Т. 2. С. 17–32. EDN: SJQUNX.
10. Кузьмина Н. М., Федоров А. В. Особенности использования сортов рода *Canna* L. в ландшафтном строительстве городов Удмуртии // Цветоводство: теоретические и практические аспекты: Тезисы Второй Международ. науч. конф. (Ялта, 09–13 ноября 2020 г.). Ялта: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2020. С. 45. EDN: UCTVMD.
11. Кузьмина Н. М., Федоров А. В. Биоэкологические особенности *Juglans regia* (Juglandaceae) при интродукции в условиях Среднего Предуралья // Растительные ресурсы. 2022. Т. 58, № 4. С. 366–375. DOI: 10.31857/S0033994622040070. EDN: CRIUSK.
12. Пупкова Е. С., Неуймин С. И. Технология возделывания глицинии // Молодежь и аграрная наука: Сборник тезисов, подготовленный в рамках Всеросс. научно-практ. конф. «Молодежь и аграрная наука – 2021» (Екатеринбург, 14–17 ноября 2021 г.). Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2021. С. 61–62. EDN: OZEPZR.

13. Пупкова Е. С., Карпунин М. Ю. История растения: глициния // Современные технологии в сельском хозяйстве и ландшафтной архитектуре: сборник статей (тезисов), (Екатеринбург, 16 октября 2022 г.). Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2022. С. 21–22. EDN: BWEQFM.
14. Федоров А. В. Биологические особенности некоторых тыквенных культур в условиях Среднего Предуралья // Научные труды Чебоксарского филиала Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина РАН. 2016. № 8. С. 167–170. EDN: CWYPBI.
15. Федоров А. В. Научно-организационная деятельность в Южном опорном пункте в период создания Удмуртского ботанического сада // Сплав садового искусства, заповедного дела и экотуризма: материалы регион. научно-практ. конф. (Ижевск, 25 декабря 2020 г.). Ижевск: Шелест, 2020. С. 29–32. EDN: AKCCVN.
16. Федоров А. В. Отдел интродукции и акклиматизации растений УдмФИЦУрО РАН: итоги тридцатилетней интродукционной деятельности на удмуртской земле // Труды по интродукции и акклиматизации растений / Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук. Т. Вып. 1. Ижевск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», 2021. С. 242–249. EDN: MDPWNW.
17. Федоров А. В., Ардашева О. А., Зорин Д. А., Кузьмина Н. М., Леконцева Т. Г. Климатические и биологические особенности интродукции теплолюбивых культур в условиях Среднего Предуралья // Современные проблемы интродукции и сохранения биоразнообразия растений: материалы Всеросс. науч. конф. с международ. участием, посвященной 85-летию Ботанического сада имени профессора Б. М. Козо-Полянского и 80-летию Е. А. Николаева (Воронеж, 20 июля 2022 г.). Воронеж: Цифровая полиграфия, 2022. С. 108–117. DOI: 10.17308/978-5-907283-86-2-2022-111-121. EDN: MLCHDV.
18. Федоров А. В., Кузьмина Н. М. Особенности роста, развития и декоративность представителей рода *Hydrangea* в условиях города // Биологическое разнообразие. Интродукция растений: Сборник научных статей. С.-Петербург: Первый ИПХ, 2021. С. 172–176. DOI: 10.24412/cl-36598-2021-1-172-176. EDN: WHDCON.
19. Федоров А. В., Швецов А. М., Несмелова Л. А. Особенности интродукции некоторых видов рода *Raphanus* L. в Среднем Предуралье. Ижевск: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «Шелест»», 2018. 149 с. EDN: YWNXAL.
20. Jacqueline Kupper, Daniel Demuth. Giftpflanzen für Klein und Heimtiere: Pflanze erkenne, gift benennen, richtig therapieren. Georg Thieme Verlag. 2010. P. 86. ISBN 9783830410348.
21. Jarantoski K. S. *Wisteria frutescens* and *W. macrostachya* // Journal of the American Association of Botanical Gardens and Arboreta. 1988. No 3 (1). P 33.
22. Brandenburg David M. National Wildlife Federation Field Guide to Wildflowers of North America. Andrew Stewart Publishing, Inc. 2010. P. 241.
23. Mao-Qin Xia, Ren-Yu Liao, Jin-Ting Zhou, Han-Yang Lin, Jian-Hua Li, Pan Li, Cheng-Xin Fu, and Ying-Xiong Qiu. Phylogenomics and biogeography of *Wisteria*: Implication on plastome evolution among inverted repeat-lacking clade (IRLC) legumes // J. Syst. Evol. 2021. P. 1–13, 2021. DOI:10.21203/rs.2.14871/v1.
24. Stan C. Hokanson, Steven McNamara, Kathryn Zuzek, Mike Zins, and Nancy Rose. *Wisteria frutescens*, American *Wisteria*, 'Betty Matthews' First Editions® Summer Cascade // HortScience. 2015. Vol. 50(2). P. 317–319.
25. Thompson Ralph L. Woody Vegetation and Floristic Affinities of Mingo Wilderness Area, a Northern Terminus of Southern Floodplain Forest, Missouri // Castanea. 1980. Vol. 45 (3). P. 194–212.
26. *Wisteria macrostachya* 'Blue Moon' – Plant Finder // [Электронный ресурс]. Missouri botanical garden.

URL: <https://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?taxonid=265854> (дата обращения: 12.02.2026).

27. *Wisteria* Nutt. The International Plant Names Index and World Checklist of Vascular Plants // Royal Botanic Gardens, Kew. [Электронный ресурс]. URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:332065-2> (дата обращения: 12.02.2026).

## References

1. *Agroklimaticheskiye resursy UASSR* (1974). / pod red. E. T. Rossovskey. L.: *Gidrometeoizdat*. 115 p. (In Russian).
2. Bazilevskaya, N. A. & Maurin, A. M. (1984) *Introduktsiya rasteniy. Teorii i prakticheskiye priyemy*: Uchebnoye posobiye. Riga: DGU im. P. Stuchki. 91 p. (In Russian).
3. Brodayeva, Zh. A., Kulko, S. V., Tkachenko, N. N., Pertova, I. V. & Tokhtar L. A. (2019). Establishment of an in vitro sterile culture of *Wisteria macrostachya* cv. 'Blue Moon'. *Nauchnyy almanakh*, 5-2 (55), 153–156. EDN: HSFECD. (In Russian).
4. Byalt, V. V., Sagalayev, V. A. & Firsov, G. A. (2023). *Konspekt dendroflory Nizhnekhoperskogo prirodnogo parka (Volgogradskaya oblast. Rossiya)*. Moscow: Izd-vo ROSA. 168 p. (In Russian).
5. Vavilov, N. I. (1987) *Proiskhozhdeniye i geografiya kulturnykh rasteniy*. Leningrad: Nauka. 440 p. (In Russian).
6. Dzhioyeva, K. E. (2018) Establishing a Collection of Perennial Wild-Growing Vines In *Student Science for the Agro-Industrial Complex: Scientific Papers by Students of Gorsky State Agrarian University, Vladikavkaz, April 11–12, 2018. Issue 55 (Part 1)*. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University, 96–98. EDN: XVGETJ. (In Russian).
7. Dospikhov, B. A. (2011) *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy)*. Moscow: Alians, 350 p. (In Russian).
8. Zhukovskiy, P. M. (1971). *Kulturnyye rasteniya i ikh sorodichi*. Leningrad: Kolos. 751 p. (In Russian).
9. Karpun, Yu. N. (2004). The main problems of introduction. *Hortus Botanicus*. 2, 17–32. EDN: SJQUNX. (In Russian).
10. Kuzmina, N. M. & Fedorov, A. V. (2020). Specifics of using *Canna* L. cultivars in urban landscaping in Udmurtia in *Floriculture In: Theoretical and Practical Aspects: Abstracts of the Second International Scientific Conference, Yalta, November 9–13, 2020*. Yalta: Arial Publishing House and Printing Company Limited Liability Company, 45. EDN: UCTVMD. (In Russian).
11. Kuzmina, N. M. & Fedorov, A. V. (2022). Bioecological characteristics of *Juglans regia* (Juglandaceae) upon introduction in the Middle Cis-Urals. *Plant Resources*. 58, 4, 366–375. <https://doi.org/10.31857/S0033994622040070>. EDN: CRIUSK. (In Russian).
12. Pupkova, Ye. S. & Neuymin, S. I. (2021). *Wisteria* cultivation technology in *Youth and Agricultural Science* In: Collection of abstracts prepared for the All-Russian Scientific and Practical Conference "Youth and Agricultural Science – 2021", Yekaterinburg, November 14–17, 2021. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University, 61–62. EDN: OZEPZR. (In Russian).
13. Pupkova, Ye. S. & Neuymin, S. I. (2022). Plant History: *Wisteria* in *Modern Technologies in Agriculture and Landscape Architecture: Collection of Articles (Abstracts)* (Yekaterinburg, October 16, 2022). Yekaterinburg: Ural State Agrarian University, 21–22. EDN: BWEQFM. (In Russian).
14. Fedorov, A. V. (2016). Biological characteristics of certain cucurbit crops in the Central Cis-Urals. *Scientific Papers of the Cheboksary Branch of the N. V. Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences*. 8, 167–170. EDN: CWYPBI. (In Russian).
15. Fedorov, A. V. (2020). Scientific and organizational activities at the Southern Field Station during the establishment of the Udmurt Botanical Garden In: *A Fusion of Garden Art, Nature Conservation, and Ecotourism: Proceedings of the Regional Scientific and Practical Conference, Izhevsk, December 25, 2020*. Izhevsk: Shelest, 29–32. EDN: AKCCVH. (In Russian).

16. Fedorov, A. V. (2021). Department of Plant Introduction and Acclimatization, UdmFRC UB RAS: Results of Thirty Years of Plant Introduction Activities in Udmurtia In *Proceedings on Plant Introduction and Acclimatization*. Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Issue 1. Izhevsk: Federal State Budgetary Institution of Science "Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", 242–249. EDN: MDPWNW. (In Russian).
17. Fedorov, A. V., Ardasheva, O. A., Zorin, D. A., Kuzmina, N. M. & Lekontseva, T. G. (2022). Climatic and biological aspects of the introduction of thermophilic crops in the Central Cis-Urals In: *Modern Problems of Plant Introduction and Biodiversity Conservation*: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with International Participation, dedicated to the 85<sup>th</sup> anniversary of the Professor B. M. Kozo-Polyansky Botanical Garden and the 80<sup>th</sup> anniversary of E. A. Nikolaev, Voronezh, July 20, 2022. Voronezh: Tsifrovaya Poligrafiya, 108–117. <https://doi.org/10.17308/978-5-907283-86-2-2022-111-121>. EDN: MLCHDV. (In Russian).
18. Fedorov, A. V. & Kuzmina, N. M., (2021). Growth, development, and ornamental characteristics of *Hydrangea* species in an urban environment In: *Biological Diversity. Plant Introduction: Collection of Scientific Papers*. St. Petersburg: Pervy IPH., 172–176. <https://doi.org/10.24412/cl-36598-2021-1-172-176>. EDN: WHDCON. (In Russian).
19. Fedorov, A. V., Shvetsov, A. M. & Nesmelova, L. A. (2018). *Osobennosti introduksii nekotorykh vidov roda Raphanus L. v Srednem Predural'ye*. Izhevsk: Obshchestvo s ogranichennoy otvetstvennost'yu «Izdatel'stvo «Shelest»». 149 p. EDN: YWNLXAL. (In Russian).
20. Jacqueline Kupper & Daniel Demuth (2010). Giftige Pflanzen für Klein und Heimtiere: Pflanze erkenne, gift benennen, richtig therapieren. *Georg Thieme Verlag*, 86. ISBN 9783830410348. (In German).
21. Jarantoski, K. S. (1988). *Wisteria frutescens* and *W. macrostachya*. *Journal of the American Association of Botanical Gardens and Arboreta*, 3(1), 33. (In English).
22. Brandenburg, David M. (2010) National Wildlife Federation Field Guide to Wildflowers of North America. *Andrew Stewart Publishing, Inc.*, 241. (In English).
23. Mao-Qin Xia, Ren-Yu Liao, Jin-Ting Zhou, Han-Yang Lin, Jian-Hua Li, Pan Li, Cheng-Xin Fu & Ying-Xiong Qiu (2021). Phylogenomics and biogeography of *Wisteria*: Implications on plastome evolution among inverted repeat-lacking clade (IRLC) legumes. *J. Syst. Evol*, 1–13. <https://doi.org/10.21203/rs.2.14871/v1>. (In English).
24. Stan, C., Hokanson, Steven McNamara, Kathryn Zuzek, Mike Zins & Nancy Rose. (2015). *Wisteria frutescens*, American *Wisteria*, 'Betty Matthews' First Editions® Summer Cascade. *HortScience*, 50(2), 317–319. (In English).
25. Thompson, Ralph L. (1980). Woody Vegetation and Floristic Affinities of Mingo Wilderness Area, a Northern Terminus of Southern Floodplain Forest, Missouri. *Castanea*, 45(3), 194–212. (In English).
26. *Wisteria macrostachya* 'Blue Moon' – Plant Finder. Missouri botanical garden. Retrieved from: <https://www.missouribotanicalgarden.org/PlantFinder/PlantFinderDetails.aspx?taxonid=265854> (accessed 12.02.2026). (In English).
27. *Wisteria* Nutt. The International Plant Names Index and World Checklist of Vascular Plants. Royal Botanic Gardens, Kew. Retrieved from: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:332065-2> (accessed 12.02.2026). (In English).

*Поступила в редакцию 16.06.2026 г.*

**Fedorov A. V. Features of flowering and fruiting of *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire 'Blue Moon' during introduction in the Middle Urals.** – The paper presents research data on the introduction of *Wisteria frutescens* subsp. *macrostachya* (Torr. & A. Gray) J. Compton & Schrire 'Blue Moon' in a temperate continental climate (Middle Urals). It was revealed that the plant can be successfully cultivated under the condition of air-dry shelter for the winter period. The plant has two flowering waves – in the first

half of June and in the second half of July-early August. The total duration of flowering during the growing season is 28–33 days. During the first wave of flowering in open ground in a moderately continental climate, it produces fruits and forms viable seeds that can be used for research on introduction and acclimatization in the local climate.

*Keywords:* *Wisteria frutescens*, wisteria, ornamental vine, introduction, Middle Urals, flowering, fruiting.

***Федоров Александр Владимирович***

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
профессор кафедры экологии и биоресурсов  
ФГБОУ ВО МСХ РФ «Российский государственный  
университет народного хозяйства имени  
В. И. Вернадского», г. Балашиха, МО, РФ.  
E-mail: [udmgarden@mail.ru](mailto:udmgarden@mail.ru)  
ORCID: 0000-0003-2759-2037  
AuthorID: 2190697

***Fedorov Aleksandr Vladimirovich***

Doctor of Agricultural Sciences, Professor;  
Professor of the Department of Ecology and  
Bioresources of the RSUNE of the Ministry of  
Agriculture of Russia,  
Balashikha, Russian Federation.

© Е. В. Прокопенко, А. С. Иванова

**ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОРАЖЕННОСТЬ ЛИСТЬЕВ КАШТАНА  
КОНСКОГО МИНАМИ *CAMERARIA OHRIDELLA* DESCHKA ET DIMIĆ, 1986  
(LEPIDOPTERA, GRACILLARIIDAE): РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА,  
ОСВЕЩЕННОСТИ И АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ***ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»  
Россия, 283050, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46*

*Прокопенко Е. В., Иванова А. С. Факторы, определяющие пораженность листьев каштана конского минами *Cameraria ohridella* Deschka et Dimić, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae): роль температурного режима, освещенности и агротехнических приемов.* – В полевые сезоны 2024 и 2025 гг. в г. Макеевка (Донецкая Народная Республика) исследовано влияние факторов, определяющих пораженность листьев конского каштана минами каштановой моли. Сумма эффективных температур (СЭТ) является ключевым фактором, определяющим уровень повреждения листьев минами, причем эта зависимость носит нелинейный характер: рост СЭТ стимулирует увеличение площади мин, однако при достижении высоких значений темпы роста повреждений замедляются. Сочетание высокого уровня освещенности и групповой посадки деревьев способствует развитию мин в большей степени, чем затенение и одиночная посадка. В ходе исследования не было выявлено статистически значимого эффекта осенней уборки листового опада. Однако данный вывод имеет ограничения, обусловленные особенностями сбора материала: фактор уборки был пространственно привязан к конкретным локациям, что не позволяет статистически разделить влияние самого агроприема и локальных условий среды.

*Ключевые слова:* *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić, *Aesculus hippocastanum* L., фитосанитарные мероприятия, сумма эффективных температур, инвазивные виды, городские древесные насаждения.

**Введение**

Каштановая минирующая моль *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae) – инвазивный фитофаг, наносящий значительный урон конскому каштану (*Aesculus hippocastanum* L.) и значительно расширивший свой ареал за последние десятилетия. В Донбассе каштановая моль зарегистрирована с 2006 г., а к 2008–2009 гг. массовое поражение насаждений каштана было зафиксировано в Донецке, Макеевке, Авдеевке и ряде других городов региона [6].

Прогнозирование динамики численности и вредоносности каштановой моли представляет собой актуальную научную и практическую задачу. Исследования в этой области сосредоточены на оценке влияния на вредителя температурного режима, микроклиматических условий мест произрастания пораженных деревьев и агротехнических методов борьбы.

Концепция суммы эффективных температур (СЭТ), или градусо-дней развития, широко применяется для прогнозирования фенологии насекомых-фитофагов и *C. ohridella* в частности. Для моделирования роста мин в зависимости от накопленной суммы градусо-дней использовали логистическое уравнение Ферхюльста [12]. Было показано, что, несмотря на значительные различия в условиях среды обитания (в частности, освещенности листьев), личинки *C. ohridella* способны частично компенсировать эти различия и завершать развитие при сходных кумулятивных суммах градусо-дней. Это открывает возможность использования СЭТ в качестве надежного предиктора хода развития вредителя.

В Никитском ботаническом саду выявлена высокая корреляция динамики численности каштановой моли с температурными условиями (коэффициент корреляции 0,8,  $p < 0,0001$ ), установлено, что имаго первой генерации появляются при сумме эффективных температур

в среднем 33,6 °С, второй генерации – при 491,0 °С, третьей – при 1092,3 °С [4]. В условиях восточной лесостепи Украины было показано, что температурный фактор является одним из ключевых для прогнозирования фенологии каштановой минирующей моли [16]. Необходимо отметить, что, несмотря на значительное количество исследований влияния температурного фактора для развития этого вида, региональные различия в пороговых значениях требуют калибровки моделей для региональных климатических условий.

Освещенность листовой поверхности рассматривается как фактор, модифицирующий как физиологические свойства растения-хозяина, так и непосредственные условия развития личинок минирующей моли. Было показано, что наибольшее количество особей *C. ohridella* регистрируется на листьях с освещенной стороны кроны, наименьшее – с затененной [8]. Предполагается, что это обусловлено биохимическими особенностями листьев на освещенной стороне: снижение концентрации полифенолов ослабляет химическую защиту растения, тогда как накопление углеводов повышает питательную ценность тканей, делая их более привлекательными для фитофагов. Подтверждением выраженных физиологических различий служит и тот факт, что содержание хлорофилла в листьях каштана в условиях затенения в 1,3 раза выше, чем на освещенной стороне, что свидетельствует о физиологических различиях листовой пластинки в зависимости от светового режима [9].

На роль освещенности листьев в развитии каштановой моли существует и противоположная точка зрения: сниженная освещенность оказывает сильное благоприятное воздействие на развитие вредителя [11]. Различия выводов могут быть объяснены разными экспериментальными условиями (лабораторные либо полевые исследования, саженцы либо взрослые деревья).

В то же время, как было отмечено выше, несмотря на существенные различия в микроклиматических условиях (температуре и инсоляции) между освещенными и затененными листьями, личинки *C. ohridella* могут завершать развитие при сходной кумулятивной сумме градусо-дней [12]. Это указывает на значительную пластичность вредителя, что важно учитывать при построении прогностических моделей: освещенность влияет на численность и особенности развития личинок, но не изменяет фундаментальных температурных закономерностей.

Поскольку *C. ohridella* зимует на стадии куколки в опавших листьях, уборка листового опада рассматривается как один из основных методов контроля их численности и вредоносности. Эффективность этого метода, однако, оценивается в литературе неоднозначно.

С одной стороны, была показана значительная польза уборки листового опада для снижения степени поражения листьев минами в следующем сезоне: площадь поврежденной листовой поверхности уменьшалась в среднем более чем на 90 % в начале июня, на три четверти в конце июля и на треть в конце августа [14]. Было отмечено, что близость участков без уборки листьев снижает эффективность метода.

В то же время в исследованиях, проведенных в Донбассе, уборка опавшей листвы в осенний период не являлась действенным методом снижения численности каштановой моли [1, 3, 7].

Таким образом, эффективность уборки листового опада варьирует в зависимости от региональных условий, масштаба применения и сопутствующих агротехнических факторов. В условиях городской среды полное удаление всех опавших листьев с обширных территорий технически трудно реализуемо, что снижает практическую ценность метода. Кроме того, удаление опада удаляет не только зимующих куколок вредителя, но и паразитоидов, что может снижать потенциал биологического контроля.

Комплексные прогностические модели для *C. ohridella* разрабатываются по нескольким направлениям. Первый подход основан на использовании суммы эффективных температур для прогнозирования фенологии вредителя. Модель, основанная на градусо-днях, продемонстрировала прогностический потенциал, пригодный для планирования мер борьбы с каштановой молью в природных условиях [12].

Второй подход связан с прогнозированием динамики инвазии *C. ohridella* в недавно заселенных этим вредителем регионах [10]. Эта модель была валидирована на основе первых наблюдений 2002–2004 гг. и применена для прогноза распространения каштановой моли в Великобритании на период 2005–2008 гг. Эта модель представляет собой один из успешных примеров априорного моделирования инвазии.

Третий подход включает использование современных технологий дистанционного зондирования: предложено применение искусственного интеллекта и БПЛА-визуализации для оценки уровней заражения каштанов в городских насаждениях. Выявлена значительная корреляция между предсказаниями ИИ и экспертными оценками. Тепловые аномалии, регистрируемые в кронах деревьев и обусловленные нарушением транспирации вследствие минирования листьев, также продемонстрировали тесную связь с уровнем заражения, что подтверждает их диагностическую ценность для прогностических моделей [13].

Необходимость изучения каштановой минирующей моли в Донбассе и, в частности, выявления факторов, определяющих ее вредоносность, обусловлена несколькими причинами. К ним относятся высокая поврежденность деревьев, широкое распространение вредителя, его специфические адаптации к местным климатическим условиям и, что особенно важно, неэффективность традиционных методов борьбы. Последнее обстоятельство делает актуальным поиск новых регионально-ориентированных подходов к защите городских насаждений. Цель настоящей работы – установить ведущие факторы, определяющие динамику повреждения листьев конского каштана минами каштановой моли.

### Материал и методы исследования

**Сбор данных.** В работе использованы агрегированные данные по пораженности листьев каштана конского минами каштановой моли (доля площади листа, занятая минами) для пяти точек сбора материала в г. Макеевке (табл. 1) в вегетационные сезоны 2024 и 2025 гг.

Случайным образом из разных частей кроны на высоте 1,5–1,7 м отбирались по 30 сложных листьев. В 2024 г. листья собирали в последней декаде каждого месяца с апреля по сентябрь, в 2025 г. – с мая по август. Было обработано 1 200 сложных листьев.

Листья сканировали в цветном режиме, полученные изображения обрабатывали в программе ImageJ: определяли общую площадь листовой пластинки и суммарную площадь мин.

Таблица 1

Точки сбора материала в г. Макеевка

| № точек | Адрес, координаты                                            | Год сбора | Освещенность | Характер посадок | Уборка листьев |
|---------|--------------------------------------------------------------|-----------|--------------|------------------|----------------|
| 1       | Зеленый микрорайон, 64<br>48°3'14"N, 38°1'23"E               | 2024–2025 | Хорошая      | Группа           | Проводилась    |
| 2       | Ул. Лебедева<br>48°3'19"N, 38°1'13"E                         | 2024–2025 | Снижена      | Одиночное        | Проводилась    |
| 3       | Ул. Подъемная,<br>пгт. Красная звезда<br>48°2'5"N, 38°2'10"E | 2024–2025 | Хорошая      | Группа           | Не проводилась |
| 4       | Зеленый микрорайон,<br>10А<br>48°2'50"N, 38°1'36"E           | 2025      | Хорошая      | Группа           | Не проводилась |
| 5       | Ул. Московская, 66<br>48°2'33"N, 37°58'21"E                  | 2024      | Снижена      | Одиночное        | Не проводилась |

Для каждого наблюдения фиксировались: категория освещенности (хорошая / сниженная), тип посадки (групповая / одиночная) и наличие осенней уборки листьев

(проводилась / не проводилась). Освещенность оценивали качественно (визуально) с присвоением бинарного статуса: «хорошая» или «снижена», инструментальная верификация значений не проводилась.

Суммы эффективных температур (СЭТ) рассчитывались по формуле:

$$T_{\text{эфф}} = \frac{T_{\text{max}} + T_{\text{min}}}{2} - T_{\text{пор}},$$

где  $T_{\text{max}}$  и  $T_{\text{min}}$  – суточные максимальная и минимальная температуры воздуха °С;

$T_{\text{пор}}$  – пороговая температура развития вида, °С.

Данные о суточных температурах за 2024–2025 гг. получены из онлайн-архива метеонаблюдений по г. Макеевка [5]. Согласно литературным данным [1, 2], нижние пороги развития составляют: для яйца – +9,5 °С, для личинки – +9,2 °С, для куколки – +10,0 °С. В настоящей работе для обобщенного расчета фенологических фаз использован единый порог +10,0 °С как лимитирующий для стадии куколки.

*Статистический анализ.* Исходные значения долей площади листа, пораженных минами, подвергались логит-трансформации:

$$\text{Logit} = \ln \left( \frac{p+0,001}{1-p+0,001} \right),$$

где  $p$  – доля площади, занятая минами от площади листовой пластинки.

Малая константа (0,001) добавлена для избегания неопределенности при  $p = 0$  или  $p = 1$ . Все расчеты выполнены в среде R версии 4.3.1 [15].

Для проверки гипотез о влиянии факторов на уровень поврежденности листьев минами использовались множественные линейные регрессионные модели с Logit в качестве зависимой переменной. В базовую модель включались предикторы: СЭТ (непрерывная переменная), категориальный фактор «Режим» (объединяющий освещенность и тип посадки: «хорошая\_группа» против «снижена\_одиночное») и бинарный фактор «Уборка» (1 – проводилась, 0 – нет). Выбор режима как комбинированного фактора обусловлен полной коллинеарностью освещенности и типа посадки в исходных данных (все точки с хорошим освещением имели групповую посадку, а со сниженным – одиночную).

Далее оценивались модели с добавлением: взаимодействия СЭТ × Уборка (для проверки зависимости эффекта уборки от температуры); полиномиального члена второй степени для СЭТ (учет возможной нелинейности); фиксированного фактора «Точка» вместо режима – для контроля локальных различий между точками сбора.

Значимость коэффициентов оценивалась с помощью t-критерия, качество моделей – по скорректированному коэффициенту детерминации ( $R^2_{\text{adj}}$ ) и F-тесту. Уровень значимости принят  $\alpha = 0,05$ .

## Результаты и обсуждение

Множественная линейная регрессия (зависимая переменная – Logit) продемонстрировала высокую объясняющую способность: модель объяснила 73,4 % вариации логита пораженности листьев минами ( $R^2 = 0,734$ , скорректированный  $R^2 = 0,712$ ;  $F = 33,13$ ,  $p < 0,001$ ). Значимость отдельных предикторов представлена в таблице 2.

Сумма эффективных температур (СЭТ) оказалась высокосignificantным предиктором ( $p < 0,001$ ): при увеличении СЭТ на 1 градусо-день логарифм шансов пораженности возрастает в среднем на 0,004. Режим выращивания также значимо влиял на уровень повреждений ( $p = 0,025$ ): переход от «снижена\_одиночное» к «хорошее\_группа» сопровождался ростом Logit на 1,32 единицы при прочих равных условиях. Влияние уборки листьев оказалось статистически незначимым ( $p = 0,569$ ), хотя знак коэффициента указывал на тенденцию к снижению повреждений. Возможно, это связано с тем, что опавшие листья

были убраны не полностью и оставшегося количества перезимовавших куколок хватило для интенсивного заражения.

Таблица 2

**Оценки коэффициентов регрессионной модели**

| Предиктор              | Коэффициент ( $\beta$ ) | Стандартная ошибка | t-значение | p-значение |
|------------------------|-------------------------|--------------------|------------|------------|
| Intercept              | -7,5780                 | 0,7080             | -10,700    | < 0,001    |
| СЭТ                    | 0,0040                  | 0,0004             | 9,730      | < 0,001    |
| Режим (хорошая_группа) | 1,3200                  | 0,5640             | 2,340      | 0,025      |
| Уборка (проводилась)   | -0,3180                 | 0,5520             | -0,580     | 0,569      |

Для проверки гипотезы о том, что эффективность уборки листьев модифицируется температурным режимом (т. е. эффект агротехнического приема зависит от уровня СЭТ), в регрессионную модель было введено взаимодействие факторов «СЭТ × Уборка». Добавление данного члена взаимодействия не привело к улучшению качества модели: коэффициент взаимодействия был незначим ( $p = 0,982$ ) (табл. 3), а скорректированный  $R^2$  снизился до 0,704. Модель в целом осталась статистически значимой, однако эта значимость, как и в базовой модели, обеспечивается исключительно факторами СЭТ и «Режим» ( $R^2 = 0,7341$ ,  $F = 24,16$ ,  $p = 1,185 \times 10^{-5}$ ). При этом фактор СЭТ сохраняет высокую значимость ( $p < 0,001$ ); фактор «Режим» остается значимым ( $p = 0,027$ ), а главный эффект фактора «Уборка» по-прежнему незначим ( $p = 0,747$ ). Эффект взаимодействия «СЭТ : Уборка» статистически не отличим от нуля ( $p = 0,982$ ): оценка коэффициента крайне мала ( $1,895 \times 10^{-5}$ ), при этом его стандартная ошибка превышает ее в 44 раза (0,000842).

Таблица 3

**Оценки коэффициентов регрессионной модели**

| Предиктор              | Коэффициент ( $\beta$ ) | Стандартная ошибка | t-значение | p-значение |
|------------------------|-------------------------|--------------------|------------|------------|
| Intercept              | -7,5680                 | 0,8500             | -8,9000    | < 0,001    |
| СЭТ                    | 0,0040                  | 0,0006             | 6,7600     | < 0,001    |
| Уборка (проводилась)   | -0,3370                 | 1,0380             | -0,3250    | 0,747      |
| Режим (хорошая_группа) | 1,3190                  | 0,5730             | 2,3000     | 0,027      |
| СЭТ : Уборка           | $1,895 \times 10^{-5}$  | 0,0008             | 0,0220     | 0,982      |

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии модифицирующего влияния температуры на эффективность уборки листьев. Поскольку включение взаимодействия не улучшило объяснительную способность модели (скорректированный  $R^2$  снизился), в дальнейшем анализе мы опирались на базовую модель без учета взаимодействия.

Для проверки гипотезы о нелинейном характере зависимости между суммой эффективных температур и уровнем повреждений была построена регрессионная модель с полиномом второй степени для переменной СЭТ. Полиномиальная регрессионная модель продемонстрировала высокую объяснительную способность: коэффициент детерминации составил 0,808 (скорректированный  $R^2 = 0,786$ ), остаточная стандартная ошибка – 1,475. Модель статистически высокосignификантна в целом ( $F = 36,75$ ;  $p < 0,001$ ). По сравнению с базовой моделью, включение квадратичного члена привело к существенному росту объясненной дисперсии (с 71,2 % до 78,6 %) и снижению остаточной ошибки (с 1,71 до 1,475), что подтверждает нелинейный характер зависимости пораженности листьев от суммы

эффективных температур. Влияние режима выращивания сохранилось ( $p = 0,022$ ), тогда как эффект уборки листьев остался незначимым ( $p = 0,471$ ) (табл. 4).

Таблица 4

## Оценки коэффициентов полиномиальной регрессионной модели

| Предиктор                     | Коэффициент ( $\beta$ ) | Стандартная ошибка | t-значение | p-значение |
|-------------------------------|-------------------------|--------------------|------------|------------|
| Intercept                     | -3,3095                 | 0,4751             | -6,9660    | < 0,001    |
| СЭТ (линейная компонента)     | 16,6438                 | 1,4767             | 11,2710    | < 0,001    |
| СЭТ (квадратичная компонента) | -5,4161                 | 1,4801             | -3,6590    | < 0,001    |
| Режим (хорошая_группа)        | 1,1706                  | 0,4886             | 2,3960     | 0,022      |
| Уборка (проводилась)          | -0,3477                 | 0,4765             | -0,7300    | 0,471      |

Полученные результаты указывают на нелинейный характер связи с наличием точки насыщения: рост суммы эффективных температур стимулирует увеличение площади минирования, однако при достижении высоких значений СЭТ темпы роста повреждений замедляются (отрицательный квадратичный коэффициент,  $p < 0,001$ ). Вероятно, это связано с тепловым стрессом для фитофага или преждевременным усыханием листовых пластинок в периоды экстремальной жары, что лимитирует дальнейшее развитие мин.

Для контроля возможных локальных эффектов в регрессионную модель был введен фиксированный фактор «Точка сбора» (категориальная переменная с базовым уровнем «Точка 4»). Целью анализа являлась оценка систематических различий между точками сбора, не объясненных факторами СЭТ и «Уборка», а также проверка устойчивости эффекта уборки при учете локальных условий. Результаты регрессионного анализа представлены в таблице 5.

Таблица 5

## Оценки коэффициентов регрессионной модели

| Предиктор | Коэффициент ( $\beta$ ) | Стандартная ошибка | t-значение | p-значение |
|-----------|-------------------------|--------------------|------------|------------|
| Intercept | -6,6390                 | 0,95230            | -6,9700    | < 0,001    |
| СЭТ       | 0,0040                  | 0,0004             | 9,4400     | < 0,001    |
| Точка 1   | 0,0513                  | 1,0382             | 0,0490     | 0,961      |
| Точка 2   | -1,2184                 | 1,0382             | -1,1740    | 0,249      |
| Точка 3   | 0,5762                  | 1,0382             | 0,5550     | 0,583      |
| Точка 5   | -0,9662                 | 1,1358             | -0,8510    | 0,401      |

Температурный фактор СЭТ сохраняет высокую статистическую значимость ( $p < 0,001$ ), при этом величина коэффициента практически не изменяется (0,004). Ни один из уровней фактора «Точка» не достигает порога статистической значимости (все  $p > 0,2$ ), что свидетельствует об отсутствии систематических локальных различий между точками отбора проб после учета влияния СЭТ. Добавление фактора «Точка» не привело к улучшению качества модели: коэффициент детерминации  $R^2 = 0,737$  сопоставим с базовой моделью ( $R^2 = 0,734$ ), тогда как скорректированный  $R^2$  снизился с 0,712 до 0,698. Остаточная стандартная ошибка несколько возросла (с 1,71 до 1,75). Модель в целом остается статистически значимой ( $F = 19,01$ ;  $p < 0,001$ ), однако эта значимость, как и в предыдущих моделях, обеспечивается исключительно фактором СЭТ.

Таким образом, точка сбора материала не является значимым фактором: пространственная гетерогенность участков не объясняет дополнительной вариации зависимой переменной сверх того, что уже учтено температурным режимом. Это свидетельствует о том, что выявленные закономерности влияния СЭТ на пораженность

листьев носят универсальный характер и не зависят от локальных условий в изученном диапазоне.

Следует отметить, что факторы «Уборка» и «Точка сбора» в данном исследовании оказались конфаундированы: уборка листового опада проводилась систематически только на двух участках (Точки 1 и 2), тогда как на остальных точках данный агротехнический прием не применялся. В условиях такого дизайна эксперимента статистически невозможно разделить эффект уборки от эффекта локальных условий конкретного участка (микроклимата, исходной плотности популяции вредителя, истории биоценоза и т.д.). Любое наблюдаемое различие между группами «с уборкой» и «без уборки» может быть обусловлено как самим агроприемом, так и спецификой места его применения. Модель с фактором «Точка» не превосходит базовую модель по качеству (скорректированный  $R^2$  ниже) и не содержит новой информации. Следовательно, для дальнейшего анализа предпочтительнее использовать более простую аддитивную модель, в которой главный эффект уборки оценивается (хотя и оказывается статистически незначимым).

Проведенный регрессионный анализ выявил несколько закономерностей. Во всех моделях сумма эффективных температур оказывалась высокосignификантным предиктором ( $p < 0,001$ ), причем связь с Logit имела нелинейный характер. После фазы активного роста повреждений при высоких значениях СЭТ наблюдается замедление темпов минирования, вероятно, обусловленное лимитирующим действием экстремальных температур на развитие личинок и ускоренным усыханием листьев. Включение квадратичного полинома достоверно улучшало качество модели (скорректированный  $R^2$  возрос с 0,712 до 0,786; F-тест для полинома значим,  $p < 0,001$ ).

Режим выращивания («хорошее освещение + групповая посадка» против «сниженное освещение + одиночная посадка») также значимо влиял на уровень повреждений во всех вариантах ( $p \approx 0,02-0,03$ ). Оценки коэффициентов (в линейной модели +1,32, в полиномиальной +1,17) показывают, что при прочих равных условиях в первом режиме Logit выше, т. е. мины развиваются интенсивнее. Это согласуется с представлениями о том, что хорошая освещенность и высокая плотность растений создают более благоприятный микроклимат для вредителей. Следует учитывать, что классификация освещенности носила субъективный характер, так как выполнялась без инструментального контроля. Это могло внести дополнительную вариативность, однако жесткая связь данного фактора с типом посадки позволяет рассматривать объединенный показатель «Режим» как надежный интегральный признак условий произрастания.

Освещенность влияет на качество листьев как питательного субстрата филофагов и минеров. Хорошее освещение усиливает фотосинтез, что приводит к образованию более тонких, сочных и богатых питательными веществами листьев. Для минирующих насекомых, личинки которых питаются мезофиллом, такие листья являются более привлекательным и питательным субстратом. Имеет значение и температурный режим. На хорошо освещенных участках температура листовой поверхности выше, чем в тени. Это ускоряет развитие яиц и личинок, сокращая сроки генерации и увеличивая число поколений за сезон. Кроме того, многие виды минирующих молей предпочитают откладывать яйца на хорошо освещенные листья, так как там выше вероятность успешного развития потомства [8, 9].

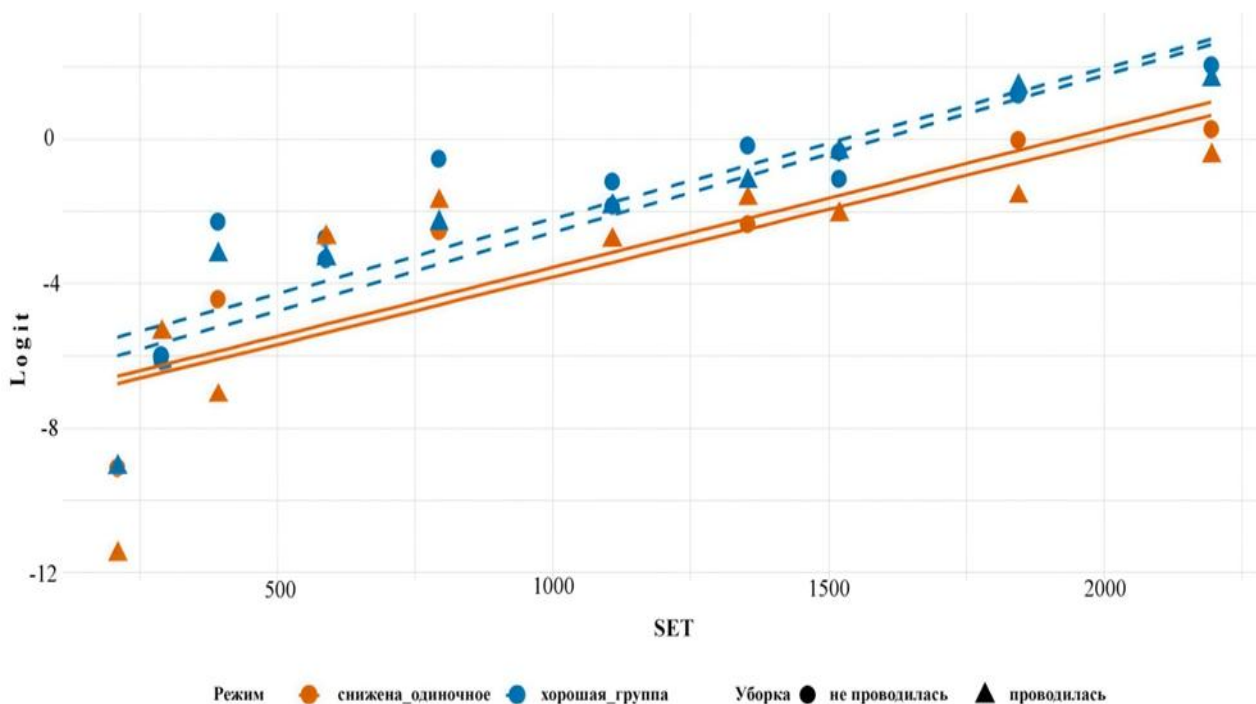
Влияние типа посадки, т. е. одиночного дерева и группы проявляется вследствие влияния на микроклимат, распространение вредителей, доступность кормовых ресурсов. Групповые посадки создают более сомкнутый полог, что ведет к повышению влажности воздуха, снижению суточных колебаний температуры и лучшей выживаемости личинок. При плотной посадке вредителям легче распространяться с растения на растение, что способствует более быстрому заселению всего насаждения. В одиночных посадках расселение затруднено, и популяция развивается медленнее. Группа растений представляет собой концентрированный источник пищи, что привлекает больше особей фитофагов.

Таким образом, сочетание хорошего света и групповой посадки усиливает каждый из этих факторов: свет улучшает качество листьев, а скученность улучшает микроклимат и облегчает миграцию. В итоге создается благоприятная среда для развития фитофагов.

Что касается уборки опада, то ее эффект оказался статистически незначимым во всех моделях ( $p > 0,4$ ).  $R^2$  фактора уборки был отрицательным, что указывает на тенденцию к снижению повреждений, однако величина эффекта была мала и нестабильна. Введение взаимодействия «СЭТ × Уборка» не улучшило модель ( $p = 0,982$ ), следовательно, эффективность уборки не зависит от температурного режима в изученном диапазоне. При добавлении фактора «Точка сбора материала» в модель, коэффициент уборки не мог быть оценен из-за полной коллинеарности с локальной принадлежностью: в точках 1 и 2 уборка всегда проводилась, в остальных – никогда. Это указывает на систематическое смещение, которое не позволяет разделить влияние уборки и локальных особенностей (например, исходного уровня заражения, микроклимата, других особенностей участка) в рамках имеющихся данных. Таким образом, отрицательный результат по уборке не может рассматриваться как окончательное доказательство ее неэффективности; для корректной оценки необходим эксперимент с рандомизированным распределением агротехнических мероприятий внутри каждой точки.

Модель с фиксированным эффектом точки сбора материала показала, что различия между ними не достигают статистической значимости ( $p > 0,2$  для всех точек), хотя точечные оценки площади мин различаются. Это может быть следствием небольшого объема выборки или того, что основная вариация объясняется температурой и режимом, а не пространственной неоднородностью.

На рис. 1 представлены наблюдаемые значения Logit в зависимости от СЭТ, с разделением по режиму выращивания и наличию уборки.



**Рис. 1. Зависимость логит-трансформированного показателя пораженности листьев минами (Logit) от суммы эффективных температур (SET) для разных режимов выращивания и наличия уборки листьев:** цвет точек и линий кодирует режим: оранжевый – «сниженное освещение + одиночная посадка»; синий – «хорошее освещение + групповая посадка». Форма точек отражает уборку опада: кружки – не проводилась, треугольники – проводилась. Прямые линии – линейные регрессионные тренды, построенные отдельно для каждого режима (сплошная – для «снижена\_одиночное», пунктирная – для «хорошая\_группа»)

Визуально прослеживается устойчивый положительный тренд: с ростом СЭТ значения Logit возрастают во всех группах, что согласуется с высокосignификантным коэффициентом при СЭТ в регрессионных моделях ( $p < 0,001$ ). При этом точки, соответствующие режиму «хорошее\_группа» (синий цвет), в среднем расположены выше, чем точки режима «снижена\_одиночное» (оранжевый цвет), что отражает значимое влияние режима ( $p = 0,025$ ). Линии регрессии для двух режимов имеют практически параллельный наклон, что указывает на отсутствие взаимодействия между СЭТ и режимом. Что касается уборки листьев, точки разных форм (кружки и треугольники) равномерно распределены вдоль линий тренда без систематического смещения; это визуально подтверждает статистическую незначимость фактора уборки ( $p > 0,4$  во всех моделях). Таким образом, график наглядно иллюстрирует основные результаты количественного анализа: доминирующую роль температуры и второстепенное значение уборки листьев в изученном диапазоне условий.

### **Выводы**

Сумма эффективных температур является ключевым определяющим фактором пораженности минами листьев каштана конского, причем зависимость нелинейна: рост суммы эффективных температур стимулирует увеличение площади минирования, однако при достижении высоких значений СЭТ темпы роста повреждений замедляются.

Сочетание хорошего освещения и групповой посадки способствует развитию мин в большей степени, чем сниженное освещение и одиночная посадка.

В изученном материале не удалось обнаружить статистически значимого эффекта уборки листьев, однако этот вывод ограничен из-за того, что фактор уборки был пространственно привязан к конкретным точкам сбора материала, что не позволяет статистически разделить влияние самого агроприема и локальных условий среды. Для разделения влияния агротехнических приемов (осенняя уборка и вывоз или уничтожение опавшей листвы) и локальных факторов необходимы дополнительные исследования с ортогональным планом, включающим независимое варьирование уборки в пределах каждой точки сбора.

Представленные модели объясняют от 71 % до 79 % вариации логит-преобразованных данных, что свидетельствует об их высокой предсказательной способности и позволяет рекомендовать использованные подходы для прогнозирования динамики пораженности минами в аналогичных условиях.

Хотя построенная модель демонстрирует высокую объясняющую способность и позволяет идентифицировать ключевые факторы, влияющие на уровень повреждения листьев минами, ее использование для оперативного прогнозирования в полевых условиях в настоящее время ограничено. Это связано с тем, что модель калибрована на агрегированных сезонных данных и не была валидирована на независимой выборке. Кроме того, для прогностических целей требуется предварительное определение нижнего температурного порога развития вредителя и переход к ежедневному, а не месячному шагу наблюдений. Тем не менее, полученные результаты создают основу для разработки прогностической модели на будущее: они указывают на приоритетные факторы (СЭТ, режим выращивания), которые должны быть включены в более сложные фенологические модели, и дают количественные оценки их эффектов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на сбор дополнительных данных, валидацию модели на новых локациях и интеграцию с прогнозами погоды.

**Работа выполнена в рамках государственного задания «Диагностика и механизмы адаптации природных и антропогенно трансформированных экосистем Донбасса» (номер госрегистрации 124051400023-4).**

**The work was carried out within the framework of the state assignment «Diagnostics and adaptation mechanisms of natural and anthropogenically transformed ecosystems of Donbas» (State Registration No. 124051400023-4).**

## Список литературы

1. Губин А. И., Мартынов В. В. Особенности биологии каштановой минирующей моли *Cameraria ohridella* Deschka et Dimić, 1986 (Lepidoptera: Gracillariidae) в Донбассе // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2025. № 254. С. 125–141. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.254.125–141.
2. Зерова М. Д., Никитенко Г. Н., Нарольский Н. Б., Гершензон З. С., Свиридов С. В., Лукаш О. В., Бабидорич М. М. Каштановая минирующая моль в Украине. К. : Велес, 2007. 88 с.
3. Иванова А. С., Прокопенко Е. В. Вредоносность каштановой минирующей моли *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae) в городе Макеевка (ДНР) // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сборник материалов Всероссийской науч. конф. (с международ. участием) аспирантов и обучающихся (Донецк, 16-17 апреля 2025 г.) / ДонНТУ, ДонГУ. Донецк: ФГБОУ ВО «ДонНТУ», 2025. С. 238–241.
4. Корж Д. А., Трикоз Н. Н. Влияние абиотических факторов на сезонную динамику численности *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic в Никитском ботаническом саду // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2022. № 3 (164). С. 71–80. <https://doi.org/10.36305/2712-7788-2022-3-164-71-80>.
5. Онлайн-архив метеонаблюдений по г. Макеевка. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.meteoblue.com/ru/погода/archive/export/Макеевка\\_Украина\\_702320](https://www.meteoblue.com/ru/погода/archive/export/Макеевка_Украина_702320) (дата обращения: 10.04.2026 г.).
6. Попов Г. В., Свиридов С. В. Каштановая моль и борьба с ней в Донецкой области. Донецк, 2009. 20 с.
7. Прокопенко Е. В., Джантимирова А. А. Об эффективности уборки листового опада в борьбе с каштановой минирующей молью *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986 в г. Донецке // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2025. № 4. С. 70–76. DOI: 10.5281/zenodo.18063789.
8. Bogoutdinova L. R., Tkacheva E. V., Konovalova L. N., Tkachenko O. B., Olekhnovich L. S., Gulevich A. A., Baranova E. N., Shelepova O. V. Effect of sun exposure of the horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) on the occurrence and number of *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae) // Forests. 2023. 14(6). P. 1079. DOI: 10.3390/f14061079.
9. Bogoutdinova L. R., Shelepova O. V., Rostovtseva H. I., Raldugina G. N., Baranova E. N., Gulevich A. A. Foliar illumination affects the severity of *Cameraria ohridella* damage among horse chestnut species // Plants. 2026. 15(1). P. 86. <https://doi.org/10.3390/plants15010086>.
10. Grabenweger G., Lethmayer C. Forecasting *Cameraria ohridella* invasion dynamics in recently invaded countries: from validation to prediction // Journal of Applied Ecology. 2005. 45. P. 805–813. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2664.2005.01074.X>.
11. Jagiello R., Baraniak E., Guzicka M., Karolewski P., Łukowski A., Giertych M. J. One step closer to understanding the ecology of *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae): The effects of light conditions // Eur. J. Entomol. 2019. 116. P. 42–51. DOI: 10.14411/eje.2019.005.
12. Łaszczyca P., Nakonieczny M., Kędziorski A., Babczyńska A., Wiesner M. Towards understanding *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae) development: Effects of microhabitat variability in naturally growing horse-chestnut tree canopy // International Journal of Biometeorology. 2021. 65(10). P. 1647–1658. DOI: 10.1007/s00484-021-02119-8.
13. Milchev G., Tsvetkova E., Tomov R. Application of AI and UAV imaging for assessing infestation levels of *Cameraria ohridella* in urban environments // AgroLife Scientific Journal. 2025. Vol. 14, No. 2. P. 144–150. DOI: 10.17930/AGL2025213.
14. Pavan F., Barro P., Bernardinelli I., Gambon N., Zandigiacomo P. Cultural control of *Cameraria ohridella* on horsechestnut in urban areas by removing fallen leaves in autumn // Journal of Arboriculture. 2003. 29(5). P. 253–258. <https://doi.org/10.48044/JAUF.2003.029>.

15. R Core Team. 2025. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.r-project.org/> (дата обращения: 10.05.2026 г.).

16. Shvydenko I. M., Bulat A. G., Slyusarchuk V. E., Nazarenko V. V., Buhaiov S. M., Cherkis T. M., Stankevych S. V., Zabrodina I. V., Matsyura A. V. Seasonal development of the chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986) in the eastern forest-steppe of Ukraine // Ukrainian Journal of Ecology. 2021. 11(2). P. 407–416. DOI: 10.15421/2021\_130.

## References

1. Gubin, A. I. & Martynov, V. V. (2025). Features of the biology of the horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella* Deschka et Dimić, 1986 (Lepidoptera: Gracillariidae) in the Donbass. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, 254, 125–141. DOI: 10.21266/2079-4304.2025.254.125–141 (In Russian).

2. Zerova, M. D., Nikitenko, G. N., Narolsky, N. B., Gershenzon, Z. S., Sviridov, S. V., Lukash, O. V. & Babidorich, M. M. (2007). *Kashtanovaia miniruiushchaia mol v Ukraine* [Chestnut leaf miner in Ukraine], Veles, 1–88. (In Russian).

3. Ivanova, A. S., & Prokopenko, E. V. (2025). Vredonosnost kashtanovoi miniruiushchei moli *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae) v gorode Makeevka (DNR) [Harmfulness of the chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae) in the city of Makeevka (DPR)]. In *Okhrana okruzhaiushchei sredy i ratsionalnoe ispolzovanie prirodnikh resursov: Sbornik materialov Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem) aspirantov i obuchaiushchikhsia*, Donetsk, April 16–17, 2025. Donetsk: DonNTU, 238–241. (In Russian).

4. Korzh D. A. & Trikoz N. N. (2022). The influence of abiotic factors on the seasonal dynamics of the abundance of *Cameraria Ohridella* Deschka & Dimic in the Nikitsky Botanical Gardens. *Plant Biology and Horticulture: theory, innovation*. 3(164), 71–80. <https://doi.org/10.36305/2712-7788-2022-3-164-71-80> (In Russian).

5. Meteoblue. (2026). *Online archive of meteorological observations for Makeevka*. Retrieved from: [https://www.meteoblue.com/ru/погода/archive/export/Makeевка\\_Украина\\_702320](https://www.meteoblue.com/ru/погода/archive/export/Makeевка_Украина_702320) (accessed: April 10, 2026).

6. Popov, G. V. & Sviridov, S. V. (2009). *Kashtanovaia mol i borba s nei v Donetskoi oblasti* [Chestnut leaf miner and its control in Donetsk region]. Donetsk, 1–20. (In Russian).

7. Prokopenko, E. V. & Dzhamitirova, A. A. (2025). On the effectiveness of leaf litter removal in controlling the horse chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986 in Donetsk. *Problems of Ecology and Nature Protection of Technogenic Region*, 4, 70–76. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18063789> (In Russian).

8. Bogoutdinova, L. R., Tkacheva, E. V., Konovalova, L. N., Tkachenko, O. B., Olekhovich, L. S., Gulevich, A. A., Baranova, E. N. & Shelepova, O. V. (2023). Effect of sun exposure of the horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) on the occurrence and number of *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae). *Forests*, 14(6), 1079. DOI: 10.3390/f14061079 (In English).

9. Bogoutdinova, L. R., Shelepova, O. V., Rostovtseva, H. I., Raldugina, G. N., Baranova, E. N. & Gulevich, A. A. (2026). Foliar illumination affects the severity of *Cameraria ohridella* damage among horse chestnut species. *Plants*, 15(1), 86. <https://doi.org/10.3390/plants15010086> (In English).

10. Grabenweger, G. & Lethmayer, C. (2005). Forecasting *Cameraria ohridella* invasion dynamics in recently invaded countries: From validation to prediction. *Journal of Applied Ecology*, 45, 805–813. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2664.2005.01074.X> (In English).

11. Jagiełło, R., Baraniak, E., Guzicka, M., Karolewski, P., Łukowski, A. & Giertych, M. J. (2019). One step closer to understanding the ecology of *Cameraria ohridella* (Lepidoptera:

Gracillariidae): The effects of light conditions. *European Journal of Entomology*, 116, 42–51. <https://doi.org/10.14411/eje.2019.005> (In English).

12. Łaszczycza, P., Nakonieczny, M., Kędzierski, A., Babczyńska, A. & Wiesner, M. (2021). Towards understanding *Cameraria ohridella* (Lepidoptera: Gracillariidae) development: Effects of microhabitat variability in naturally growing horse-chestnut tree canopy. *International Journal of Biometeorology*, 65(10), 1647–1658. <https://doi.org/10.1007/s00484-021-02119-8> (In English).

13. Milchev, G., Tsvetkova, E. & Tomov, R. (2025). Application of AI and UAV imaging for assessing infestation levels of *Cameraria ohridella* in urban environments. *AgroLife Scientific Journal*, 14(2), 144–150. <https://doi.org/10.17930/AGL2025213> (In English).

14. Pavan, F., Barro, P., Bernardinelli, I., Gambon, N. & Zandigiacomo, P. (2003). Cultural control of *Cameraria ohridella* on horsechestnut in urban areas by removing fallen leaves in autumn. *Journal of Arboriculture*, 29(5), 253–258. <https://doi.org/10.48044/JAUF.2003.029> (In English).

15. R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from: <https://www.r-project.org/> (accessed: May 25, 2026).

16. Shvydenko, I. M., Bulat, A. G., Slyusarchuk, V. E., Nazarenko, V. V., Buhaiov, S. M., Cherkis, T. M., Stankevych, S. V., Zabrodina, I. V. & Matsyura, A. V. (2021). Seasonal development of the chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimic, 1986) in the eastern forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11(2), 407–416. [https://doi.org/10.15421/2021\\_130](https://doi.org/10.15421/2021_130) (In English).

Поступила в редакцию 25.06.2026 г.

**Prokopenko E. V., Ivanova A. S. Factors determining the severity of leaf mining by *Cameraria ohridella* Deschka et Dimić, 1986 (Lepidoptera, Gracillariidae) on the horse chestnut: the role of temperature regime, illumination, and agrotechnical practices.** – During the 2024 and 2025 field seasons in Makeyevka (Donetsk People's Republic), the factors determining the severity of horse chestnut leaf mining by *Cameraria ohridella* were investigated. The sum of effective temperatures (SET) is the key factor determining the level of leaf mining damage, and this relationship is nonlinear: while an increase in SET stimulates an expansion of the mined leaf area, the rate of damage accumulation decelerates at high SET values. The combination of high illumination and group planting promotes mine development to a greater extent than shading and solitary planting. The study revealed no statistically significant effect of autumn leaf litter removal. However, this conclusion is limited by the sampling design: the leaf removal factor was spatially confounded with specific locations, making it statistically impossible to disentangle the effect of the agrotechnical practice itself from that of local environmental conditions.

**Keywords:** *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić, *Aesculus hippocastanum* L., phytosanitary measures, sum of effective temperatures, invasive species, urban tree plantings.

#### **Прокопенко Елена Васильевна**

кандидат биологических наук, доцент,  
зав. кафедрой зоологии и экологии  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,  
ст. науч. сотрудник научно-исследовательской  
лаборатории мониторинга и прогнозирования  
экосистем Донбасса на базе  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,  
г. Донецк, ДНР, РФ.  
E-mail: [helen\\_procop@mail.ru](mailto:helen_procop@mail.ru)  
ORCID: 0000-0002-1859-3241  
AuthorID: 636053

#### **Prokopenko Elena Vasilyevna**

Candidate of Biological Sciences, Docent,  
Head of the Department of Zoology and Ecology,  
Donetsk State University;  
Senior Research Officer at the Research Laboratory  
for Ecosystem Monitoring and Forecasting of  
Donbass, based at Donetsk State University, Donetsk,  
DPR, Russian Federation.

#### **Иванова Алёна Сергеевна**

Магистр биологии, ФГБОУ ВО «Донецкий  
государственный университет»,  
г. Донецк, ДНР, РФ.  
E-mail: [alyona.iva.nova20316@mail.ru](mailto:alyona.iva.nova20316@mail.ru)

#### **Ivanova Alena Sergeevna**

Master of Biology, Donetsk State University,  
Donetsk, DPR, Russian Federation.

© О. В. Фрунзе, О. С. Горецкий

**ВЛИЯНИЕ ИОНОВ КАДМИЯ И СВИНЦА НА АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ  
АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ПРОРОСТКОВ ДЕКОРАТИВНЫХ  
ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ***ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»  
283050, Россия, ДНР, г. Донецк, ул. Щорса, 46*

**Фрунзе О. В., Горецкий О. С. Влияние ионов кадмия и свинца на активность ферментов антиоксидантной системы проростков декоративных травянистых растений.** – Исследована активность антиоксидантных ферментов некоторых видов декоративных травянистых растений в условиях контролируемого загрязнения почвы ионами кадмия и свинца с целью выявления устойчивости растений к полиметаллическому стрессу. Установлена повышенная активность каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы у проростков *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon* и *Agrostemma githago* L. как при раздельном, так и при совместном внесении поллютантов в среду произрастания.

*Ключевые слова:* кадмий, свинец, каталаза, пероксидаза, полифенолоксидаза, декоративные травянистые растения.

**Введение**

Территория Донецкой Народной Республики подвергаются загрязнению почв тяжелыми металлами в результате деятельности промышленных предприятий, использования автотранспорта, а также в связи с применением минеральных удобрений, пестицидов и гербицидов в сельском хозяйстве. На протяжении последнего десятилетия интенсивные боевые действия являются дополнительным источником поступления ионов тяжелых металлов в биосферу. Это приводит к значительному увеличению антропогенного воздействия на окружающую среду, в первую очередь на почвенный покров [1, 3]. Среди множества тяжелых металлов, отрицательно влияющих на физиологические и биохимические процессы растений, наиболее токсичными являются кадмий и свинец. Ионы этих элементов являются составной частью сплавов, используемых в деталях военной техники, а также входят в состав горюче-смазочных материалов.

Установлено, что одним из ключевых механизмов проявления адаптации и устойчивости растений к неблагоприятным условиям окружающей среды является повышение активности антиоксидантной системы, которая нейтрализует активные формы кислорода, предупреждая окислительный стресс [5, 9]. При значительном содержании ионов тяжелых металлов в среде произрастания, в первую очередь, у растений увеличивается активность ряда антиоксидантных ферментов, в том числе, каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы, супероксиддисмутазы, аскорбатпероксидазы, гваяколпероксидазы, глутатионредуктазы и др. [4, 10]. Известно [20], что ферментативная активность каталазы, направленная на антиоксидантную защиту, проявляется в гидролитическом разложении пероксида водорода с последующим выделением кислорода, а важную роль в противостоянии клеток к избыточному количеству активных форм кислорода играет антиоксидантный фермент – пероксидаза. Полифенолоксидаза, является ключевым ферментом антиоксидантной системы растений. Этот фермент играет важную роль в нейтрализации избыточного пероксида водорода и в процессах клеточного дыхания. Данные о роли антиоксидантной системы в устойчивости растений к токсичному влиянию ионов тяжелых металлов многочисленны, но противоречивы. При исследовании

антиоксидантной системы *Brassica napus* L. было установлено, что при воздействии солей цинка на проростки растений в концентрациях 50, 150 и 300 мкМ наблюдалось увеличение активности супероксиддисмутазы [11]. Однако, в другом эксперименте, проведенном на том же виде растения, при концентрациях цинка 70, 140 и 280 мкМ, значимых изменений активности данного фермента не выявлено [20, 22]. Учитывая, что ответ антиоксидантной системы растений разных видов на повышенные концентрации ионов тяжелых металлов различен [15, 16], была поставлена цель – изучить активность антиоксидантных ферментов некоторых декоративных травянистых растений в условиях загрязнения почвы ионами кадмия и свинца.

### Материал и методы исследования

В опытах были использованы виды растений: Агератум Гаустона (*Ageratum houstonianum* cv. *Blue Lagoon*), Куколь обыкновенный (*Agrostemma githago* L.) и Георгина переменчивая (*Dahlia variabilis* Desf.), которые часто используются в озеленении промышленно-техногенных территорий Донецкой Народной Республики.

Исследования активности антиоксидантного комплекса проростков проводились по плану полного двухфакторного трехуровневого эксперимента (табл. 1).

Таблица 1

#### План полного двухфакторного эксперимента по исследованию влияния кадмия и свинца на антиоксидантный комплекс декоративных травянистых растений

| Варианты<br>загрязнения | Загрязнители                                                                     |                                                                                    |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | Cd (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> мг/кг<br>(в перерасчете на Cd <sup>2+</sup> ) | Pb (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , мг/кг<br>(в перерасчете на Pb <sup>2+</sup> ) |
| 1                       | 0 (контроль)                                                                     | 0 (контроль)                                                                       |
| 2                       | 2                                                                                | 0                                                                                  |
| 3                       | 4                                                                                | 0                                                                                  |
| 4                       | 0                                                                                | 32                                                                                 |
| 5                       | 2                                                                                | 32                                                                                 |
| 6                       | 2                                                                                | 64                                                                                 |
| 7                       | 0                                                                                | 64                                                                                 |
| 8                       | 4                                                                                | 32                                                                                 |
| 9                       | 4                                                                                | 64                                                                                 |

В качестве загрязнителей использовались нитрат кадмия и нитрат свинца по стехиометрическому отношению, которые вносились в среду произрастания отдельно и совместно. Концентрации для кадмия и свинца составляли 0 (контроль); 1 ПДК и 2 ПДК с учетом фона (кларка) [8].

Семена растений проращивались в условиях вегетационного опыта, в соответствии с их биологическими особенностями. Выращивание велось на протяжении тридцати дней, при продолжительности светового дня 14 ч, температуре 20–22 °С и влажности почвы около 70 % от полной влажности. В каждый сосуд вносилось по 350 г почвы, просеянной через почвенное сито с диаметром отверстий 3 мм, в который предварительно вносились нитрат кадмия и нитрат свинца согласно плану эксперимента. Изменение ростовых показателей определяли по изменению индекса толерантности Уилкинса по соотношению прироста корней растений в опыте и контроле [21].

Активность каталазы определяли методом, основанным на определении избытка перекиси водорода после инкубации фермента [2], активность пероксидазы – колориметрическим методом по А. Н. Бояркину, полифенолоксидазы – колориметрическим методом [2]. Полученные данные обрабатывали статистически по методу Даннета в программе MS Excel.

**Результаты и обсуждение**

При изучении влияния ионов кадмия и свинца на ростовые показатели проростков установлено изменение индекса толерантности Уилкинса, который является одним из показателей устойчивости растений к полиметаллическому стрессу (табл. 2).

Таблица 2

**Влияние загрязнения почвы ионами кадмия и свинца на индекс толерантности проростков декоративных травянистых растений**

| Варианты<br>загрязнения                             | Индекс толерантности Уилкинса, % |       |       |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|
|                                                     | $M \pm m$                        | D     | $D^D$ |
| <i>Ageratum houstonianum</i> cv. <i>Blue Lagoon</i> |                                  |       |       |
| 1                                                   | 100,0±0,0                        | –     | –     |
| 2                                                   | 121,2±1,2                        | 21,2  | 0,2   |
| 3                                                   | 101,0±1,5                        | 1,0   | 0,2   |
| 4                                                   | 112,3±1,3                        | 12,3  | 0,2   |
| 5                                                   | 105,1±1,3                        | 5,1   | 0,2   |
| 6                                                   | 106,3±1,4                        | 6,3   | 0,2   |
| 7                                                   | 101,0±1,3                        | 1,0   | 0,2   |
| 8                                                   | 99,8±1,1                         | –0,2  | 0,2   |
| 9                                                   | 99,3±1,2                         | –0,7  | 0,2   |
| <i>Agrostemma githago</i> L.                        |                                  |       |       |
| 1                                                   | 100,0±0,0                        | –     | –     |
| 2                                                   | 110,5±2,1                        | 10,5  | 0,1   |
| 3                                                   | 98,3±1,7                         | –1,7  | 0,1   |
| 4                                                   | 115,9±1,2                        | 15,9  | 0,1   |
| 5                                                   | 103,2±1,3                        | 3,2   | 0,1   |
| 6                                                   | 102,8±1,1                        | 2,8   | 0,1   |
| 7                                                   | 91,4±2,2                         | –8,6  | 0,1   |
| 8                                                   | 87,6±1,7                         | –12,4 | 0,1   |
| 9                                                   | 82,3±1,3                         | –17,7 | 0,1   |
| <i>Dahlia variabilis</i> Desf.                      |                                  |       |       |
| 1                                                   | 100,0±0,0                        | –     | –     |
| 2                                                   | 75,3±2,2                         | –24,7 | 0,3   |
| 3                                                   | 71,2±3,1                         | –28,8 | 0,3   |
| 4                                                   | 71,2±1,6                         | –28,8 | 0,3   |
| 5                                                   | 68,9±2,8                         | –31,1 | 0,3   |
| 6                                                   | 65,3±2,3                         | –34,7 | 0,3   |
| 7                                                   | 68,5±1,9                         | –31,5 | 0,3   |
| 8                                                   | 45,2±2,6                         | –54,8 | 0,3   |
| 9                                                   | 32,2±2,2                         | –67,8 | 0,3   |

Примечание: M – среднее значение; m – погрешность; D – разница между средними;  $D^D$  – допуск Даннета

Исследования показали, что при раздельном внесении в почву кадмия и свинца в концентрации 1 ПДК и 2 ПДК индекс толерантности проростков *A. houstonianum* был выше значений показателей контроля на 12–21 % (варианты загрязнения 2, 4), или достоверно не отличался от контроля (варианты загрязнения 3, 7). При совместном

внесении загрязнителей в концентрации 2 ПДК наблюдалось статистически недостоверное уменьшение индекса толерантности.

При раздельном внесении в почву кадмия и свинца в концентрации 1 ПДК индекс толерантности проростков *A. githago* был выше по сравнению с контролем на 10,5–15,9 % (варианты 2, 4), однако, при дальнейшем увеличении концентрации токсикантов до 2 ПДК (варианты 3, 7) значение индекса толерантности снизилось на 1,7–8,6 %. При совместном внесении загрязнителей в среду произрастания в концентрации 2 ПДК данный показатель снизился на 12–17 % по сравнению с контролем.

У проростков *D. variabilis* уменьшение ростовых показателей наблюдалось уже при раздельном внесении кадмия и свинца в концентрации 1 ПДК (варианты 2, 4), значение индекса толерантности снизилось на 24,7–28,8 % в сравнении с контролем. Дальнейшее повышение концентрации загрязнителей в среде произрастания вызывало более выраженный ингибирующий эффект – значение индекса толерантности снизилось на 28–31 % (варианты 4, 7). При совместном внесении в почву поллютантов значения индексов толерантности проростков *D. variabilis* уменьшились практически в 2 раза (варианты 8, 9), что может свидетельствовать о чувствительности данного вида растения к ионам кадмия и свинца.

Проведенные исследования активности антиоксидантных ферментов у декоративных травянистых растений, произраставших в почве, загрязненной ионами кадмия и свинца, показали, что изменение активности ферментов зависит в значительной степени от видовой специфики растений, особенностей их устойчивости к действию поллютантов (рис. 1–3).

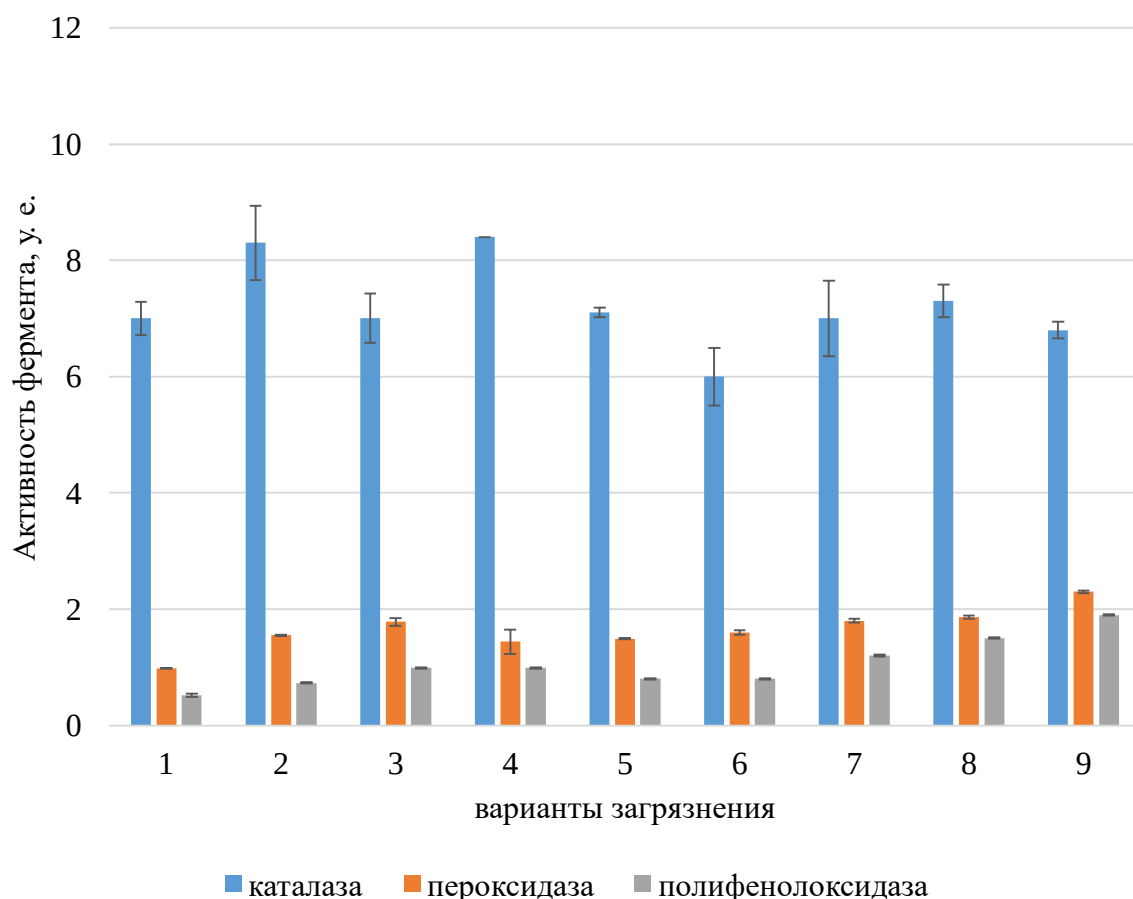


Рис. 1. Активность антиоксидантных ферментов проростков *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon*

Результаты исследования показали, что при раздельном внесении в почву кадмия и свинца в концентрации 1 ПДК (вариант 2, 4) активность каталазы проростков *A. houstonianum* увеличилась на 18,5–19 %. Однако, при увеличении концентрации каждого поллютанта до 2 ПДК, активность фермента практически не изменялась по сравнению

с контролем ни в одной из комбинаций концентраций загрязнителей. Отсутствие изменений активности каталазы возможно при сохранении окислительно-восстановительного баланса клеток в условиях стрессовых воздействий, что, очевидно, свидетельствует об устойчивости данного вида растений к загрязнителям и/или об эффективной работе антиоксидантной системы проростков, что отмечалось в подобных исследованиях [5, 17, 18].

У проростков *A. githago* при раздельном внесении кадмия и свинца в концентрации 1 ПДК и 2 ПДК активность каталазы возрастала на 20–25 % в сравнении с растениями, произрастающими на незагрязненной почве. При совместном внесении токсикантов активность фермента сохранялась на том же уровне по сравнению с контролем.

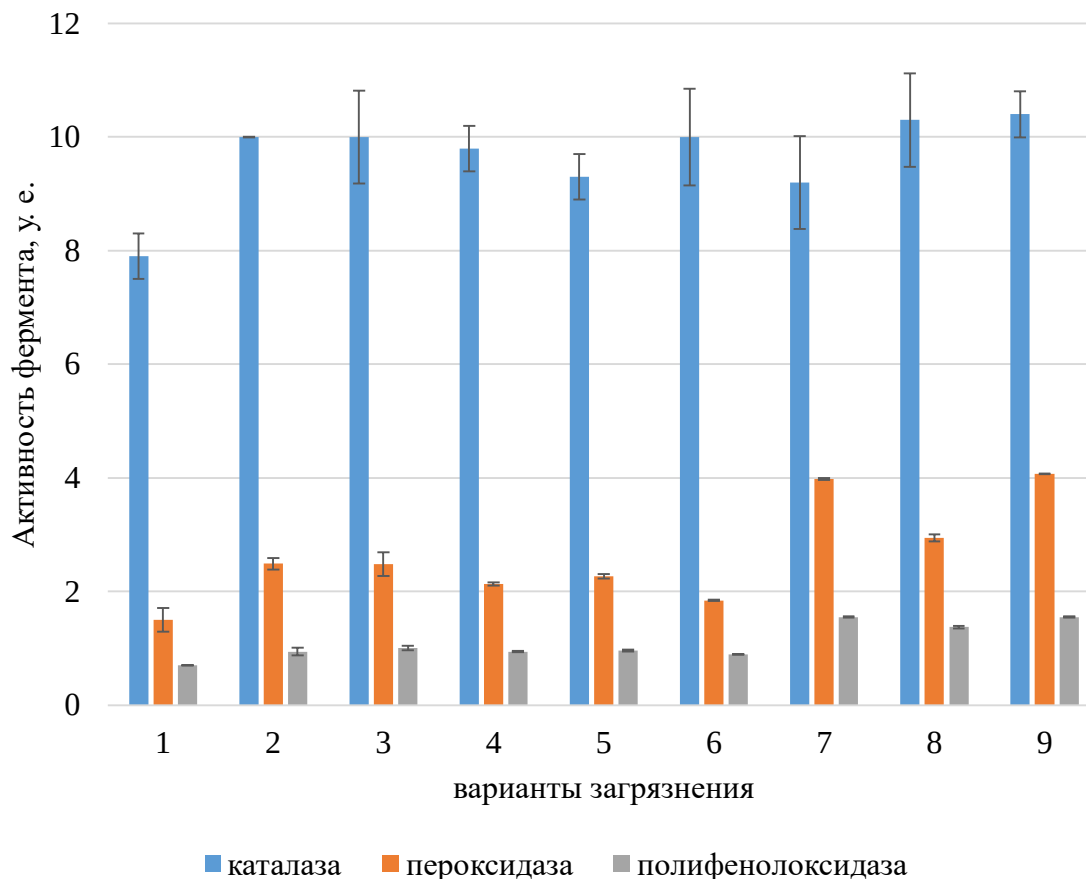


Рис. 2. Активность антиоксидантных ферментов проростков *Agrostemma githago* L.

Наибольшее увеличение активности каталазы было отмечено у проростков *D. variabilis*. Так, при раздельном внесении в почву кадмия и свинца в концентрации 1 ПДК активность каталазы возросла на 71–215 % в сравнении с контролем. При увеличении концентрации загрязнителей до 2 ПДК активность фермента была выше по сравнению с контролем на 43–62 %, а при совместном внесении поллютантов – на 60–200 %. Активизация антиоксидантной системы в стрессовых условиях, направленная на нейтрализацию увеличения активных форм кислорода в растительных клетках, является одним из существенных механизмов металлоустойчивости растений [6, 18], что подтверждено и нашими данными.

Определение пероксидазной активности у проростков показало, что при раздельном внесении в почву кадмия и свинца в концентрации 1 ПДК активность фермента увеличилась на 50–60 %, а при увеличении концентрации поллютантов до 2 ПДК – на 75 %. Наибольшее увеличение пероксидазной активности, почти в два раза, было отмечено при совместном внесении в почву кадмия и свинца в концентрации 2 ПДК.

Аналогичная тенденция наблюдалась в изменении пероксидазной активности проростков *A. githago*. При раздельном внесении используемых загрязнителей активность

пероксидазы увеличилась в 1,5–2 раза и оставалась на том же уровне при совместном действии поллютантов.

Наибольшая пероксидазная активность отмечалась у проростков вида *D. variabilis*. Так, при раздельном внесении в почву кадмия и свинца этот показатель увеличился в три раза (в вариантах концентрации металлов в 2 ПДК). При совместном внесении в среду произрастания поллютантов активность каталазы увеличилась в 3,5–3,8 раза, по сравнению с контролем. Полученные результаты подтверждают данные о способности растений противостоять токсическому действию металлов, путем увеличения активности антиоксидантной системы, в частности пероксидазы [7]. Этот процесс, запускаемый в стрессовых ситуациях, эффективно ликвидирует накопление избыточных активных форм кислорода, защищая и сохраняя клеточные структуры.

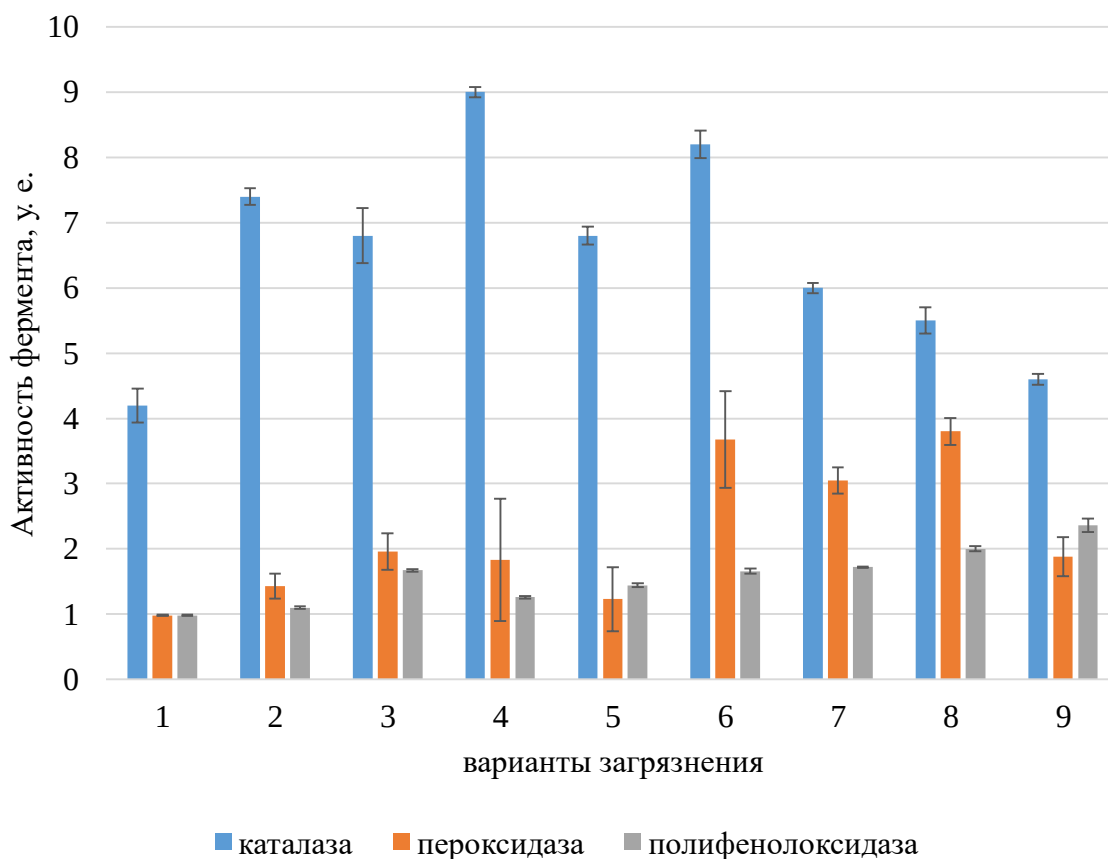


Рис. 3. Активность антиоксидантных ферментов проростков *Dahlia variabilis* Desf.

При раздельном внесении в среду произрастания кадмия и свинца в концентрации 1 ПДК полифенолоксидазная активность проростков *A. houstonianum* увеличилась на 31–50 %, а при увеличении концентрации токсикантов до 2 ПДК – в 2–2,5 раза в сравнении с контролем. При совместном внесении поллютантов активность полифенолоксидазы возросла в 2–2,8 раза. По мнению авторов, повышение активности этого фермента коррелирует с увеличением дыхательной активности клеток, вызванным воздействием стрессоров [15, 16].

Результаты проведенных исследований показали, что при раздельном внесении в почву кадмия и свинца в концентрации 1 ПДК активность полифенолоксидазы проростков *A. githago* увеличилась на 23–28 % в сравнении контролем. При увеличении концентрации загрязнителей до 2 ПДК активность фермента выросла на 21–78 % и оставалась на этом уровне даже при совместном внесении токсикантов в концентрации 2 ПДК.

Наибольшая активность полифенолоксидазы была отмечена у проростков *D. variabilis*. Так, при раздельном внесении в почву кадмия и свинца активность данного фермента увеличилась в три раза (в вариантах концентрации металлов в 2 ПДК). При совместном внесении в среду произрастания этих загрязнителей активность полифенолоксидазы

увеличилась в 2–2,5 раза, по сравнению с растениями, произраставшими на незагрязненной почве.

### Выводы

По полученным результатам исследований установлено, что растения видов *A. houstonianum* и *A. githago* обладают повышенной устойчивостью к среде произрастания, загрязненной ионами кадмия и свинца, а у проростков вида *D. variabilis* наблюдалось угнетение ростовых процессов. Повышению резистентности травянистых растений способствует увеличение активности антиоксидантных ферментов: каталазы, пероксидазы, полифенолоксидазы, направленное на сохранение окислительно-восстановительного баланса клеток. У проростков *A. githago* и *A. houstonianum* отмечена высокая активность всех изученных ферментов антиоксидантной системы несмотря на высокую концентрацию металлов, что, очевидно, можно объяснить высокой устойчивостью растений этих видов к кадмию и свинцу.

### Список литературы

1. Башарин В. А., Венгерович Н. Г., Головки А. И., Горбачева Т. В., Драчев И. С., Зацепин В. В., Иванченко А. В., Ивницкий Ю. Ю., Ивченко Е. В., Игонина Н. А., Крюков Е. В., Кузьмин А. А., Кузьмич В. Г., Макиев Р. Г., Маркизова Н. Ф., Никифоров А. С., Петров А. Н., Преображенская Т. Н., Рыбалко В. М., Сарманов С. Х. и др. Военная токсикология, радиология и медицинская защита. Учебник // Военно-медицинская академия. С.-Петербург, 2023. 718 с.
2. Большой практикум по физиологии и биохимии растений (белки, ферменты, витамины, нуклеиновые кислоты): методические указания / сост. М. И. Бойко, Ю. Г. Приседский, Е. В. Ветрова; отв. за выпуск М. И. Бойко. Донецк: ДонНУ, 2012. 110 с.
3. Верех-Белоусова Е. И. Исследование влияния военных действий на загрязнение почв на Луганщине // Пути решения экологических проблем как важнейшая основа устойчивого развития регионов: Сборник статей по материалам междунаро. науч. эколог. конф. (Краснодар, 24 марта 2025 г.), Краснодар: 2025. С. 210–212.
4. Казнина Н. М., Титов А. Ф. Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений семейства Роасеае // Успехи современной биологии. 2013. Т. 133, № 6. С. 588–603.
5. Нилова И. А., Репкина Н. С., Казнина Н. М. Влияние избытка цинка на активность компонентов антиоксидантной системы у растений *Brassica juncea* L. (CZERN.) и *Sinapis alba* L. // Физиология растений. 2023. Т. 70, № 5. С. 506–513.
6. Петухов А. С., Кремлева Т. А., Петухова Г. А., Христов Н. А. Антиоксидантный статус растений *Tussilago farfara* L. в условиях техногенного загрязнения городской среды // Агрохимический вестник. 2022. № 3. С. 79–85.
7. Петухов А. С., Кремлева Т. А., Петухова Г. А., Христов Н. А. Влияние тяжелых металлов на биохимические показатели овса посевного (*Avena sativa*) // Российский журнал прикладной экологии. 2022. № 3 (31). С. 63–71.
8. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы: (ГН 2.1.7.2041–06): издание официальное: утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 19 января 2006 г.: введены в действие 23.01.2006. М: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
9. Blasco B., Graham N. S., Broadley M. R. Antioxidant response and carboxylate metabolism in *Brassica rapa* exposed to different external Zn, Ca, and Mg supply // J. Plant Physiol. 2015. Vol. 176. P. 16. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.07.029>.
10. Ciyu Fang, Yiqiang Yao, Tingqiang Li, Qijun Ni, Xiaoe Yang, Zhenli He. Potential mechanisms of cadmium removal from aqueous solution by *Canna indica* derived biochar // Science of the Total Environment. 2016. Vol. 562. P. 517–525.
11. Feigl Gábor, Zsuzsanna Kolbert, Nóra Lehotai, Árpád Molnár, Attila Ördög, Ádám

*Bordé, Gábor Laskay, László Erdei.* Different zinc sensitivity of Brassica organs is accompanied by distinct responses in protein nitration level and pattern // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2016. Vol. 125. P. 141.

12. *Grigoletto T. L. B.* Lead in drinking water from Ribeirão Preto (SP): chemical, physical factors and possible correlations with the contamination of children // Dissertation (Master in Chemistry). University of São Paulo Paulo, São Paulo. 2011. 83 p.

13. *Hu R., Zijing Zhang, Lijin Lin, Ming'an Liao, Yi Tang, Dong Liang, Hui Xia, Jin Wang, Xun Wang, Xiulan Lv, Wei Ren.* Intercropping with hyperaccumulator plants decreases the cadmium accumulation in grape seedlings // *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*. 2019. Vol. 69, No 4. P. 304–310.

14. *Junior A. M. D., Oliva M. A., Ferreira F. A.* Dispersal pattern of airborne emissions from an aluminium smelter in Ouro Preto, Brasil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species // *Ecological Indicators*. 2012. Vol. 8, No 5. P. 454–461.

15. *Kramer U.* Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils // *Current Opinion in Biotechnology*. 2008. Vol. 16, No 2. P. 133–141.

16. *Pilon-Smits E., Pilon M.* Phytoremediation of metals using transgenic plants // *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2014. Vol. 21, No 5. P. 439–456.

17. *Sharma V., Naugraiya M. N., Tomar G. S.* Toxic effects of cobalt, chromium, lead and nickel chloride on growth performance of *siris (Albizia spp.)* // *International Journal of Computer Science*. 2018. Vol. 6, No 2. C. 2407–2410.

18. *Shimalina N. S., Orekhova N. A., Pozolotina V. N.* Comparative evaluation of prooxidant/antioxidant balance in seed progeny of *Plantago major* L. from radioactively and chemically contaminated areas // *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2021. Vol. 14, No 3. P. 306–317.

19. *Singh U. K., Kumar B.* Pathways of heavy metals contamination and associated human health risk in Ajay River basin, India // *Chemosphere*. 2017. Vol. 174. P. 183–199.

20. *Wang Ch., Songhe Zhang, Pei-fang Wang, Jun Hou, Wen Jing Zhang, Wei Li, Zhi-ping Lin.* The effect of excess Zn on mineral nutrition and antioxidative response in rapeseed seedlings // *Chemosphere*. 2009. Vol. 75. P. 1468.

21. *Wilkins D. S.* The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth // *New Phytol*. 1978. Vol. 80. P. 623–633. doi:10.1111/J.1469-8137.1978.TB01595.X.

22. *Yang H., Zhang J., Li J.* Physiological response to zinc pollution of rape (*Brassica chinensis* L.) in paddy soil ecosystem // *Advanced Materials*. 2011. Vol. 356. P. 39. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.356-360.39>.

## References

1. Basharin, V. A., Vengerovich, N. G., Golovko, A. I., Gorbacheva, T. V., Drachev, I. S., Zatsepin, V. V., Ivanchenko, A. V., Ivnitkiy, Y. Y., Ivchenko, E. V., Igonina, N. A., Kryukov, E. V., Kuzmina, A. A., Kuzmich, V. G., Makiev, R. G., Markizova, N. F., Nikiforov, A. S., Petrov, A. N., Preobragenskaya, T. N., Ribalko, V. M. & Sarmanaev, S. H. (2023). *Military Toxicology, Radiology, and Medical Protection*. Textbook. Saint-Petersburg, 718 p. (In Russian).

2. A large workshop on plant physiology and biochemistry (proteins, enzymes, vitamins, nucleic acids): methodological guidelines (2012). (compilers: M. I. Boyko, Yu. G. Prisedsky & E. V. Vetrova / resp. for the issue M. I. Boyko. Donetsk, DonNU, 110 p. (In Russian).

3. Verekh-Belousova, E. I. (2025). Research on the impact of military operations on soil pollution in the Luhansk Region. *Ways to solve environmental problems as a crucial basis for sustainable regional development: Collection of articles based on the materials of the international scientific environmental conference*, Krasnodar, (Krasnodar, 24.03.2025), 210–212. (In Russian).

4. Kaznina, N. M. & Titov, A.F. (2013). The influence of cadmium on physiological processes and productivity of poaceae plants. *Biology Bulletin Reviews*, 133(6), 588–603. (In Russian).

5. Nilova, I. A., Repkina, N.S. & Kaznina, N. M. (2023). Influence of excess zinc on the activity of antioxidant system components in *Brassica juncea* L. (CZERN.) and *Sinapis alba* L. plants. *Plant Physiology*, 70(5), 506–513. (In Russian).
6. Petuhov, A. S., Kremleva, T. A., Petuhova, G. A. & Hritohin, H. A. (2022). Antioxidant status of *Tussilago farfara* L. plants under conditions of technogenic pollution of urban environment. *Agrochemical bulletin*, 3, 79–85. (In Russian).
7. Petuhov, A. S., Kremleva, T. A., Petuhova, G. A. & Hritohin, H. A. (2022). The effect of heavy metals on the biochemical parameters of common oat (*Avena sativa*). *Russian Journal of Applied Ecology*, 3(31), 63–71. (In Russian).
8. Maximum Permissible Concentrations (MPC) of Chemical Substances in Soil: Hygienic Standards: (GN 2.1.7.2041–06): Official Edition: Approved by the Head of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare (date of approval 23.01.2006). (2006). Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 15 p. (In Russian).
9. Blasco, B., Graham, N. S. & Broadley, M. R. (2015). Antioxidant response and carboxylate metabolism in *Brassica rapa* exposed to different external Zn, Ca, and Mg supply. *J. Plant Physiol*, 176, 16. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.07.029>. (In English).
10. Ciyu Fang, Yiqiang Yao, Tingqiang Li, Qijun Ni, Xiaoe Yang & Zhenli He (2016). Potential mechanisms of cadmium removal from aqueous solution by *Canna indica* derived biochar. *Science of the Total Environment*, 562, 517 – 525. (In English).
11. Feigl Gábor, Zsuzsanna Kolbert, Nóra Lehotai, Árpád Molnár, Attila Ördög, Ádám Bordé, Gábor Laskay & László Erdei (2016). Different zinc sensitivity of Brassica organs is accompanied by distinct responses in protein nitration level and patternet. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 125, 141. (In English).
12. Grigoletto, T. L. B. (2011). *Lead in drinking water from Ribeirão Preto (SP): chemical, physical factors and possible correlations with the contamination of children*. Dissertation (Master in Chemistry). University of São Paulo Paulo, São Paulo, 83 p. (In English).
13. Hu R., Zijing Zhang, Lijin Lin, Ming'an Liao, Yi Tang, Dong Liang, Hui Xia, Jin Wang, Xun Wang, Xiulan Lv & Wei Ren (2019). Intercropping with hyperaccumulator plants decreases the cadmium accumulation in grape seedlings. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 69(4), 304–310. (In English).
14. Junior, A. M. D., Oliva, M. A. & Ferreira, F. A. (2012). Dispersal pattern of airborne emissions from an aluminium smelter in Ouro Preto, Brasil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species. *Ecological Indicators*, 8(5), 454–461. (In English).
15. Kramer, U. (2008). Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils. *Current Opinion in Biotechnology*. 16(2), 133–141. (In English).
16. Pilon-Smits, E. & Pilon, M. (2014). Phytoremediation of metals using transgenic plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21(5), 439–456. (In English).
17. Sharma, V., Naugraiya, M. N. & Tomar, G. S. (2018). Toxic effects of cobalt, chromium, lead and nickel chloride on growth performance of siris (*Albizia* spp.). *International Journal of Computer Science*, 6(2), 2407–2410. (In English).
18. Shimalina, N. S., Orekhova, N. A. & Pozolotina, V. N. (2021). Comparative evaluation of prooxidant/antioxidant balance in seed progeny of *Plantago major* L. from radioactively and chemically contaminated areas. *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 14(3), 306–317. (In English).
19. Singh, U.K. & Kumar, B. (2017). Pathways of heavy metals contamination and associated human health risk in Ajay River basin, India. *Chemosphere*, 174, 183–199. (In English).
20. Wang, Ch., Songhe Zhang, Pei-fang Wang, Jun Hou, Wen Jing Zhang, Wei Li & Zhi-ping Lin (2009). The effect of excess Zn on mineral nutrition and antioxidative response in rapeseed seedlings. *Chemosphere*, 75, 1468. (In English).
21. Wilkins, D. S. (1978). The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth. *New Phytol*, 80, 623–633. (In English).

22. Yang, H. & Zhang, J. & Li, J. (2011). Physiological response to zinc pollution of rape (*Brassica chinensis* L.) in paddy soil ecosystem. *Advanced Materials*, 356, 39. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.356-360.39>. (In English).

*Поступила в редакцию 10.06.2026 г.*

**Frunze O. V., Goretsky O. S. The effect of cadmium and lead ions on the activity of enzymes of the antioxidant system of seedlings of ornamental herbaceous plants.** – The activity of antioxidant enzymes of some types of ornamental herbaceous plants has been studied under conditions of controlled soil contamination with cadmium and lead ions in order to identify plant resistance to polymetallic stress. Increased activity of catalase, peroxidase, and polyphenol oxidase was detected in seedlings of *Ageratum houstonianum* cv. *Bule Lagoon* and *Agrostemma githago* L. both when pollutants were applied separately and when they were applied together to the growing medium.

**Keywords:** cadmium, lead, catalase, peroxidase, polyphenol oxidase, herbaceous plants.

**Фрунзе Оксана Валентиновна**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры физиологии растений  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,  
г. Донецк, ДНР, РФ.  
E-mail: [hromyh82@mail.ru](mailto:hromyh82@mail.ru)  
ORCID: 0000-0003-1082-7012  
AuthorID: 1053340

**Frunze Oksana Valentinovna**

Candidate of Technical Sciences, Docent,  
Associate Professor of the Department of Plant  
Physiology, Donetsk State University,  
Donetsk, DPR, Russian Federation.

**Горецкий Олег Степанович**

доктор биологических наук, профессор,  
декан биологического факультета  
ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»,  
г. Донецк, ДНР, РФ.  
E-mail: [fcl.bio.dean@mail.ru](mailto:fcl.bio.dean@mail.ru)  
ORCID: 0009-0000-8259-0494  
AuthorID: 1033968

**Goretsky Oleg Stepanovich**

Doctor of Biological Sciences, Professor,  
Dean of the Faculty of Biology, Donetsk State  
University, Donetsk, DPR, Russian Federation.

© А. А. Марцев<sup>1, 2</sup>**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПАМЯТЬ ТЕРРИТОРИИ СТАРОПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА: ОТ ТЕХНОГЕННОГО НАСЛЕДИЯ К ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ВЛАДИМИРСКОЙ ОБЛАСТИ)**

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет)»,  
Россия, 119048, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2;

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»,  
Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87.

**Марцев А. А. Экологическая память территории старопромышленного региона: от техногенного наследия к здоровью населения (на примере Владимирской области).** – В исследовании проведен анализ влияния техногенного наследия на здоровье населения старопромышленного региона (СПР) на примере Владимирской области. Актуальность исследования определяется отсутствием комплексных научных подходов к оценке накопленного ущерба СПР, недостаточной изученностью взаимосвязей между загрязнением среды и здоровьем населения в локальном контексте, а также необходимостью системного управления экологической ситуацией и отсутствием эффективных механизмов контроля и реабилитации старопромышленных территорий. Установлено, что старопромышленный регион представляет собой специфическую антропогенную экосистему, в которой накопленные в прошлом загрязнения («экологическая память») в сочетании с современными техногенными нагрузками формируют кумулятивные риски для здоровья населения. Анализ состояния окружающей среды региона данного типа демонстрирует наличие серьезных экологических проблем. Особое внимание заслуживает проблема накопления токсичных веществ в почвах, что создает долгосрочные риски для здоровья населения. Полученные результаты создают основу для разработки региональных программ устойчивого развития, сочетающих экологическую безопасность и социально-экономические приоритеты СПР.

**Ключевые слова:** старопромышленный регион, тяжелые металлы, почва, промышленный след, экологическая память.

**Введение**

Старопромышленные регионы (СПР) как объект научного исследования представляют собой особый тип территориальных систем, сформировавшихся в эпоху индустриализации и оказывающих существенное влияние на экономическое развитие государства [3, 14]. Обладая значительным потенциалом развития, данный тип регионов, однако сталкивается с рядом взаимосвязанных проблем. Это устаревание производственной инфраструктуры, высокая антропогенная нагрузка на экосистемы, депопуляция и снижение качества человеческого капитала, а также низкая инвестиционная привлекательность [7, 13].

На современном этапе для СПР России особую остроту приобрела проблема экологической безопасности среды обитания и охрана здоровья населения [6, 9, 11]. Деиндустриализация конца XX века особенно сильно затронула эти территории, вызвав масштабный спад промышленного производства, разрушение сложившихся хозяйственных связей и снижение научного интереса к экологическим аспектам их развития. При этом техногенное наследие продолжает оказывать негативное воздействие на окружающую среду и общественное здоровье. Принципиально важно, что региональные особенности влияния накопленного экологического ущерба на здоровье населения изучены фрагментарно. Слабо исследованы «скрытые» экологические проблемы, обусловленные многолетней промышленной эксплуатацией территорий.

Актуальность исследования определяется отсутствием комплексных научных подходов к оценке накопленного ущерба СПР, недостаточной изученностью взаимосвязей между загрязнением среды и здоровьем населения в локальном контексте, а также необходимостью системного управления экологической ситуацией и отсутствием эффективных механизмов контроля и реабилитации старопромышленных территорий.

Цель работы: комплексная оценка влияния химического загрязнения городских почв старопромышленного региона на здоровье населения с учетом техногенного наследия, включая выявление причинно-следственных связей и разработку рекомендаций по снижению экологических рисков.

### **Материал и методы исследования**

Объект исследования – Владимирская область, являющаяся полифункциональным старопромышленным регионом. По данным ежегодных докладов Администрации Владимирской области «О состоянии окружающей среды и здоровья населения Владимирской области» оценивалось загрязнение атмосферного воздуха за 1993–2024 гг.

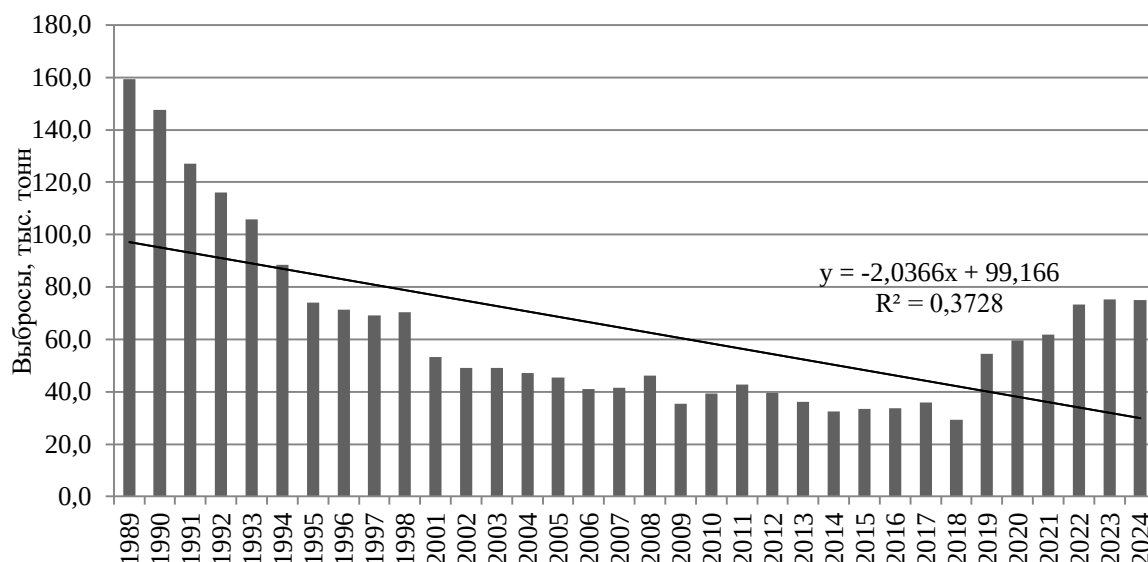
В основу анализа техногенного наследия положены данные, полученные при проведении эколого-гигиенической оценки почв Владимирской области [8]. Анализ медико-демографических процессов базируется на статистических данных медицинского информационно аналитического центра (МИАЦ) «Ресурсы и деятельность медицинских организаций, здоровье населения Владимирской области» за 2001–2019 гг.

Для выявления вероятных статистически значимых связей ( $p < 0,05$ ) между состоянием среды обитания и заболеваемостью населения применялся метод корреляционного анализа с расчетом коэффициента корреляции Пирсона ( $r$ ). Использовались значения общей заболеваемости и значения эпидемиологического риска детского и взрослого населения, а также значения концентраций тяжелых металлов и мышьяка в городских почвах муниципалитетов Владимирской области. В случае, если вариационный ряд не соответствовал закону «нормального распределения», проводилось его преобразование логарифмированием. При наличии линейной зависимости рассчитывалось уравнение регрессии.

### **Результаты и обсуждение**

*Состояние атмосферного воздуха.* Анализ динамики загрязнения атмосферного воздуха Владимирской области (рис.) демонстрирует существенное снижение техногенной нагрузки после советского периода при сохранении локальных очагов загрязнения в современных условиях.

Как видно из рисунка, в советский период регион испытывал максимальную техногенную нагрузку. Она была обусловлена интенсивной индустриализацией, концентрацией тяжелой промышленности и высокими объемами выбросов (в 1989 году – 159,4 тыс. тонн). Стоит отметить, что экономическая основа региона – промышленность, где свыше 90 % приходится на обрабатывающие производства: машиностроение и металлообработка, текстильная и стекольная отрасли. Многие предприятия исторически выступали градообразующими. Промышленное развитие области началось еще в XVIII веке: в Гусь-Хрустальном выпускали кровельное железо, чугунные орудия и стекольную посуду. К 1913 году регион стал одним из центров отечественного текстильного и стекольного производства. В 1930-х годах в рамках индустриализации акцент сместился на машиностроение: в Коврове освоили выпуск гусеничной техники и оружейных разработок, во Владимире, Муроме, Кольчугино и Киржаче развивалось машиностроение. В 1940-х появилось тракторо- и паровозостроение, позднее – тепловозостроение; в Кольчугино наладили обработку цветных металлов.



**Рис. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников во Владимирской области**

В 1990-е годы кризис привел к закрытию или перепрофилированию многих градообразующих предприятий. По сравнению с советским периодом зафиксирован структурный спад выбросов (до 29,4 тыс. тонн в 2018 г., снижение на 81,6 %), вызванный закрытием ряда промышленных предприятий, сокращением производственных мощностей и изменением отраслевой структуры экономики. Однако с 2019 г. отмечен локальный рост выбросов. Основная причина – наращивание производственной активности Киржачского района (0,397 тыс. тонн в 2018 году; 9,067 тыс. тонн в 2019 году) и областного центра (5,541 тыс. тонн в 2018 году; 11,462 тыс. тонн в 2019 году). Это отражает тенденцию переориентации промышленных мощностей в периферийные зоны СПР, что характерно для регионов с изношенной инфраструктурой. Данное обстоятельство демонстрирует, что даже в условиях общего снижения нагрузки возможны локальные обострения из-за интенсификации производства.

*Химическое загрязнение городских почв.* Почвы в большинстве городов региона характеризуется щелочной реакцией, что во многом связано с их трансформацией под воздействием техногенных факторов [8]. Они переуплотнены, почвенные горизонты перемешаны, засорены большим количеством строительного мусора, содержащего карбонаты кальция и магния, которые и способствуют повышению щелочности и, как следствие, накоплению аэрополлютантов. Повышенный водородный показатель характерен для промышленных и транспортных зон исследуемых городов, при этом в ландшафтно-рекреационных зонах городских территорий показатель pH варьирует в пределах 4,7–6,4. В результате выбросов промышленных предприятий и транспорта из атмосферы воздуха в городские почвы поступает большое количество токсичных химических веществ. Являясь депонирующей средой, почва аккумулирует в верхних горизонтах аэрополлютанты, которые способны не только негативно влиять на ее биологические свойства и структуру, но и вызывать ее последующую деградацию и значительную геохимическую трансформацию [2]. Кроме того, в результате ветровой и транспортной эрозии, происходит вторичное загрязнение приземного слоя воздуха почвенной пылью, содержащей токсичные элементы, что может нести определенные риски здоровью населения [5]. Загрязнение почв тяжелыми металлами и мышьяком – один из наиболее устойчивых и опасных видов деградации земель [19, 20]. Загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами и мышьяком по городам характеризуется значительной дифференциацией, что обусловлено спецификой промышленного производства населенных пунктов и наглядно иллюстрирует принцип «промышленного следа». Концентрации тяжелых металлов и мышьяка в городских

почвах (мг/кг) находятся в следующих диапазонах (min → max): As – 0,4 (Камешково) – 55,9 (Владимир); Co – ниже предела количественного определения (НПКО); Ni – 4,4 (Меленки) – 220,2 (Ковров); Pb – 7,7 (Юрьев-Польский) – 513,5 (Гусь-Хрустальный); Cu – НПКО (Меленки) – 894,6 (Меленки); Cr – 4,3 (Меленки) – 2806,4 (Ковров); Zn – 16,6 (Меленки) – 7443,6 (Гусь-Хрустальный). Наибольшее загрязнение характерно для городов, имеющих давнюю промышленную историю и изначально расположенных на менее устойчивых к химическому загрязнению дерново-подзолистых супесчаных почвах. Самое высокое значение показателя накопления выявлено в городе Гусь-Хрустальный по свинцу, что, вероятно, связано с деятельностью градообразующего предприятия – Гусевского хрустального завода. Отмечаем, что высокие концентрации тяжелых металлов в почвах Гусь-Хрустального хорошо коррелируют с 150-летней историей хрустального производства, что подтверждает роль исторического промышленного наследия в современном загрязнении СПР, а их наличие спустя десятилетия после сокращения деятельности заводов в почвенном покрове города демонстрирует долгосрочный эффект промышленного наследия. В городах с промышленной историей (Гусь-Хрустальный, Ковров, Меленки) выявлена критическая проблема – наличие локальных участков (техногенных геохимических аномалий) с чрезвычайно опасным загрязнением почвы ( $Z_c = 604,9$ ; 207,2 и 227,1, соответственно). К основным причинам формирования данных аномалий можно отнести продолжительную деятельность стекольных, литейных, машиностроительных предприятий, специфику производственной деятельности, отсутствие эффективной системы очистки выбросов и обезвреживания отходов, а также особенности городской почвы. Можно сказать, что старопромышленный регион характеризуется «экологической памятью территории», т. е. способностью экосистем сохранять следы исторических техногенных загрязнений в течение десятилетий после прекращения первичных эмиссий. Характерными особенностями локальных участков с чрезвычайно опасным загрязнением почвы являются, как правило, привязка к территориям действующих или заброшенных предприятий, высокие концентрации по отдельным тяжелым металлам, задействованным в технологическом процессе местных производств, щелочная среда почвы, способствующая накоплению токсикантов, а также переуплотненность и перемешанность почвенных горизонтов. Геохимические аномалии определяют приоритетные зоны риска для здоровья. Выявление таких аномалий должно являться одной из важнейших эколого-геохимических задач при оценке состояния окружающей среды любого старопромышленного города (в том числе и с остановленным производством), сопровождаться картированием техногенных аномалий и проведением специальных природоохранных мероприятий по удалению (ремедиации) «горячих точек» и дальнейшей нейтрализации химических элементов.

Наиболее благополучным в отношении загрязнения почвенного покрова оказался город Суздаль, позиционирующийся, прежде всего, как исторический и туристический центр, в котором практически отсутствуют промышленные предприятия. Для Суздаля рекомендуется поддерживать статус «экологически чистого» города через запрет промышленного строительства.

*Анализ влияния загрязнения городских почв на заболеваемость населения.* Состояние почв в СПР – результат длительного техногенного воздействия (десятилетия промышленных выбросов, складирование отходов) и современных процессов (пылеперенос и вторичное загрязнение атмосферы). В таблице 1 представлены значения эпидемиологического риска детского населения по классам болезней, доминирующих в структуре общей заболеваемости. Для включения в таблицу были выбраны административные районы, контрастно отличающиеся значениями суммарного индекса загрязнения почв по медиане. Данные таблицы демонстрируют, что наибольшему значению суммарного индекса загрязнения почв, как правило, соответствуют наибольшие значения риска заболеваемости, что дает основание выдвинуть гипотезу о дозозависимом характере эффектов: чем выше уровень загрязнения почв, тем значительнее эпидемиологические риски.

Таблица 1

**Значения суммарного показателя загрязнения почв и эпидемиологический риск детского населения Владимирской области**

| Административный район                    | Z <sub>c</sub> | μ      | Xф*     | HPi** | WΔ*** | Уровень риска |
|-------------------------------------------|----------------|--------|---------|-------|-------|---------------|
| Болезни органов дыхания                   |                |        |         |       |       |               |
| Гусь-Хрустальный р-н                      | 32,7           | 1609,3 | 1090,86 | 611,1 | 2,85  | высокий       |
| Петушинский р-н                           | 24,6           | 1562,8 |         | 568,1 | 2,65  | высокий       |
| Суздальский р-н                           | 5,7            | 1526,9 |         | 378,7 | 1,78  | умеренный     |
| Болезни системы органов пищеварения       |                |        |         |       |       |               |
| Гусь-Хрустальный р-н                      | 32,7           | 92,4   | 20,63   | 81,6  | 4,47  | очень высокий |
| Петушинский р-н                           | 24,6           | 98,6   |         | 102,7 | 5,63  | очень высокий |
| Суздальский р-н                           | 5,7            | 70,4   |         | 56,9  | 3,12  | очень высокий |
| Болезни глаза и его придаточного аппарата |                |        |         |       |       |               |
| Гусь-Хрустальный р-н                      | 32,7           | 68,3   | 20,30   | 44,0  | 4,79  | очень высокий |
| Петушинский р-н                           | 24,6           | 26,1   |         | 22,1  | 2,41  | высокий       |
| Суздальский р-н                           | 5,7            | 25,1   |         | 8,90  | 0,97  | умеренный     |
| Болезни кожи и подкожной клетчатки        |                |        |         |       |       |               |
| Гусь-Хрустальный р-н                      | 32,7           | 154,0  | 22,87   | 133,3 | 6,00  | очень высокий |
| Петушинский р-н                           | 24,6           | 82,5   |         | 81,1  | 3,65  | очень высокий |
| Суздальский р-н                           | 5,7            | 64,8   |         | 38,5  | 1,73  | повышенный    |
| Инфекционные болезни                      |                |        |         |       |       |               |
| Гусь-Хрустальный р-н                      | 32,7           | 111,9  | 33,87   | 73,6  | 2,35  | высокий       |
| Петушинский р-н                           | 24,6           | 67,4   |         | 33,1  | 1,06  | повышенный    |
| Суздальский р-н                           | 5,7            | 65,6   |         | 21,1  | 0,67  | умеренный     |
| Травмы и отравления                       |                |        |         |       |       |               |
| Гусь-Хрустальный р-н                      | 32,7           | 103,3  | 41,99   | 75,7  | 5,27  | очень высокий |
| Петушинский р-н                           | 24,6           | 80,2   |         | 42,4  | 2,95  | высокий       |
| Суздальский р-н                           | 5,7            | 53,3   |         | 12,5  | 0,87  | умеренный     |

Примечание: \* – фоновый уровень; \*\* – непосредственный эпидемиологический риск; \*\*\* – непосредственный эпидемиологический риск, нормированный по предельной ошибке фонового уровня

Анализ корреляционно-регрессионных связей (табл. 2) демонстрирует статистически значимые ассоциации между содержанием тяжелых металлов в городских почвах и заболеваемостью разных возрастных групп.

Таблица 2

**Результаты корреляционно-регрессионного анализа между отдельными загрязнителями почвы и заболеваемостью населения Владимирской области**

| Зависимая переменная (y)      | Независимая переменная (x) | Уравнение регрессии                      | r    | $R^2$ | p     |
|-------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|------|-------|-------|
| 1                             | 2                          | 3                                        | 4    | 5     | 6     |
| <i>Дети</i>                   |                            |                                          |      |       |       |
| Риск инфекционных болезней    | Cu                         | $y = 0,02486 + 0,06841x$                 | 0,47 | 0,22  | 0,048 |
|                               | As                         | $y = -0,1518 + 0,61943x$                 | 0,48 | 0,23  | 0,046 |
| Риск болезней глаз            | Pb                         | $y = -5,300 + 4,0251x$                   | 0,58 | 0,34  | 0,011 |
| Риск болезней органов дыхания | Cu                         | $y = -1,139 + 1,6743x$                   | 0,68 | 0,47  | 0,002 |
|                               | Pb                         | $y = -2,204 + 2,1336x$                   | 0,65 | 0,42  | 0,004 |
|                               | Cu+ Pb                     | $y = -2,39837 + 1,11102x_1 + 1,15219x_2$ | 0,73 | 0,54  | 0,003 |

Продолжение табл. 2

| 1                              | 2            | 3                                                     | 4    | 5    | 6     |
|--------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------|------|------|-------|
| Риск болезней кожи             | Pb           | $y = -0,6773 + 0,11062x$                              | 0,53 | 0,29 | 0,022 |
| Болезней крови                 | Co           | $y = 23,246 + 7,8154x$                                | 0,54 | 0,29 | 0,021 |
| Болезни глаз                   | Pb           | $y = 3,5049 + 54,507x$                                | 0,54 | 0,29 | 0,020 |
|                                | Cu           | $y = 90,617 + 0,71289x$                               | 0,49 | 0,24 | 0,037 |
|                                | Cu+ Pb       | $y = -2,84284 + 0,59240x_1 + 47,17530x_2$             | 0,68 | 0,46 | 0,009 |
| Болезни уха                    | Cu           | $y = -2,491 + 32,683x$                                | 0,47 | 0,23 | 0,045 |
| Болезни органов дыхания        | Cu           | $y = 959,82 + 304,15x$                                | 0,64 | 0,41 | 0,004 |
|                                | Pb           | $y = 903,83 + 321,32x$                                | 0,50 | 0,25 | 0,033 |
| Болезни органов пищеварения    | Cr           | $y = 83,246 + 1,0068x$                                | 0,51 | 0,26 | 0,032 |
|                                | Cu           | $y = 120,66 + 15,295x$                                | 0,59 | 0,35 | 0,009 |
| <i>Взрослые</i>                |              |                                                       |      |      |       |
| Риск инфекционных болезней     | Pb           | $y = -3,518 + 2,9496x$                                | 0,52 | 0,27 | 0,029 |
| Риск болезней глаз             | Pb           | $y = -5,314 + 3,6012x$                                | 0,74 | 0,55 | 0,000 |
|                                | As           | $y = -0,4990 + 0,31629x$                              | 0,58 | 0,33 | 0,012 |
| Риск болезней уха              | Pb           | $y = -1,968 + 1,7781x$                                | 0,64 | 0,41 | 0,004 |
|                                | Cr           | $y = -0,2488 + 0,02748x$                              | 0,60 | 0,37 | 0,008 |
| Риск болезней органов дыхания  | Cr           | $y = -0,2954 + 0,03411x$                              | 0,57 | 0,33 | 0,013 |
| Риск болезней кожи             | Cr           | $y = -0,0233 + 0,00913x$                              | 0,52 | 0,27 | 0,026 |
|                                | As           | $y = 0,12761 + 0,05995x$                              | 0,50 | 0,25 | 0,036 |
|                                | Pb           | $y = 0,04379 + 0,01808x$                              | 0,51 | 0,26 | 0,031 |
| Инфекционные болезни           | Pb           | $y = 15,427 + 15,012x$                                | 0,55 | 0,30 | 0,018 |
| Новообразования                | Pb           | $y = 33,794 + 16,357x$                                | 0,62 | 0,38 | 0,006 |
| Болезни крови                  | Pb           | $y = 6,3339 + ,69561x$                                | 0,49 | 0,24 | 0,037 |
| Болезни эндокринной системы    | Pb           | $y = 53,079 + 23,479x$                                | 0,55 | 0,30 | 0,018 |
|                                | Zn           | $y = 65,035 + 6,6184x$                                | 0,52 | 0,27 | 0,028 |
|                                | Pb+ Zn       | $y = 49,48093 + 17,75313x_1 + 4,65425x_2$             | 0,65 | 0,42 | 0,017 |
| Болезни нервной системы        | Zn           | $y = 28,643 + 5,3695x$                                | 0,5  | 0,25 | 0,034 |
| Болезни глаз                   | Pb           | $y = -131,5 + 118,09x$                                | 0,75 | 0,57 | 0,000 |
|                                | As           | $y = 17,758 + 11,404x$                                | 0,64 | 0,41 | 0,004 |
|                                | Pb + As      | $y = -130,796 + 90,919x_1 + 6,636x_2$                 | 0,82 | 0,68 | 0,000 |
| Болезни уха                    | Pb           | $y = -7,365 + 22,624x$                                | 0,51 | 0,26 | 0,032 |
| Болезни системы кровообращения | Pb           | $y = 163,18 + 117,81x$                                | 0,62 | 0,38 | 0,007 |
|                                | Co           | $y = 239,76 + 27,060x$                                | 0,51 | 0,26 | 0,03  |
|                                | Ni           | $y = 271,11 + 57,236x$                                | 0,57 | 0,32 | 0,014 |
|                                | Zn           | $y = 233,67 + 28,307x$                                | 0,49 | 0,24 | 0,038 |
|                                | As           | $y = 185,79 + 202,59x$                                | 0,48 | 0,23 | 0,044 |
|                                | Pb + Zn + As | $y = 120,2139 + 86,2682x_1 + 13,4856x_2 + 91,8030x_2$ | 0,71 | 0,49 | 0,019 |
| Болезни органов дыхания        | Cr           | $y = 147,87 + 1,3733x$                                | 0,55 | 0,30 | 0,018 |
|                                | Pb           | $y = 153,60 + 2,8535x$                                | 0,56 | 0,31 | 0,015 |
|                                | Cr + Pb      | $y = 131,4576 + 0,7958x_1 + 1,7798x_2$                | 0,61 | 0,37 | 0,031 |

Продолжение табл. 2

| 1                               | 2       | 3                                         | 4    | 5    | 6     |
|---------------------------------|---------|-------------------------------------------|------|------|-------|
| Болезни органов пищеварения     | Ni      | $y = 125,70 + 28,562x$                    | 0,57 | 0,33 | 0,013 |
| Болезни кожи                    | Co      | $y = 37,604 + 7,2828x$                    | 0,54 | 0,29 | 0,021 |
|                                 | Pb      | $y = 31,526 + 6,5510x$                    | 0,68 | 0,47 | 0,031 |
|                                 | As      | $y = 16,261 + 67,249x$                    | 0,62 | 0,39 | 0,006 |
|                                 | Pb + As | $y = 17,48242 + 4,65580x_1 + 37,42533x_2$ | 0,74 | 0,55 | 0,002 |
| Болезни костно-мышечной системы | Pb      | $y = 26,384 + 3,9552x$                    | 0,62 | 0,39 | 0,006 |

Наибольшее число корреляций с заболеваемостью выявлено для Pb, As, Cu, Zn, Ni и Cr – элементов, аккумулировавшихся в почвах за годы работы предприятий. У детей доминируют связи почвенных загрязнителей с болезнями органов дыхания, глаз и инфекционными заболеваниями; у взрослых – с патологиями глаз, уха, кожи, эндокринной системы, органов дыхания и кровообращения. Наиболее тесные статистически значимые корреляционные связи выявлены между содержанием свинца в почве и болезнями глаз взрослых. При совместном воздействии свинца и мышьяка значение коэффициента корреляции еще выше ( $r = 0,82$ ). Являясь высоко опасным химическим элементом, свинец обладает широким токсичным эффектом в отношении различных систем и органов. Даже в небольших количествах он опасен для организма, выступает мультисистемным токсикантом. Выявленные корреляции с болезнями глаз, кожи, уха, системы кровообращения и новообразованиями согласуются с известными механизмами его токсичности. Проникая через гематоэнцефалический барьер, Pb нарушает  $Ca^{2+}$ -зависимые процессы, подавляет синтез нейромедиаторов [15]. Это может привести к когнитивным нарушениям, снижению внимания, поведенческим расстройствам, особенно у детей. Свинец ингибирует ферменты синтеза гема, вызывая микроцитарную анемию и накопление протопорфирина в эритроцитах [12]; накапливается в почечных канальцах, провоцируя окислительный стресс, повреждение митохондрий и апоптоз эпителия [4, 18]. Свинец обладает токсичностью для органов чувств. Например, вызывает дистрофические изменения сетчатки [16]. Было отмечено, что высокодифференцированный колбочковый аппарат сетчатки, выполняющий функциональную нагрузку, имеет повышенную чувствительность к действию свинца [1]. Воздействие свинца может повреждать волосковые клетки кохлеарного аппарата и повышать риск нейросенсорной (сенсоневральной) тугоухости [17]; замедляет репарацию повреждений [10].

Больше статистически значимых корреляций выявлено для взрослого населения, что может объясняться длительным кумулятивным воздействием: взрослые имеют больший стаж проживания в условиях загрязнения, что способствует накоплению металлов в тканях; хроническим вторичным загрязнением атмосферы: пылеобразование с поверхности загрязненных почв ведет к ингаляционному и пероральному поступлению токсикантов. Длительный контакт (годы/десятилетия) повышает риск хронических заболеваний (патологии органов дыхания, кожи, системы кровообращения); возрастных изменений детоксицирующих систем: снижение функции печени и почек у взрослых ухудшает элиминацию тяжелых металлов, усиливая их токсическое действие. Комбинированное воздействие загрязнителей почв усиливает риски, что демонстрирует кумулятивный характер техногенного наследия.

В результате проведенного исследования установлено, что старопромышленный регион представляет собой специфическую антропогенную экосистему (синтез социально-экономических и техногенных факторов), в которой накопленные в прошлом загрязнения («экологическая память») в сочетании с современными техногенными нагрузками формируют кумулятивные риски для здоровья населения. Особое внимание заслуживает

проблема накопления токсичных веществ в почвах, что создает долгосрочные риски для здоровья населения. Выявление локальных мест с высоким химическим загрязнением в населенных пунктах с продолжительной промышленной историей должно выступать одной из важнейших экологических задач при оценке состояния окружающей среды любого города, имеющего промышленные предприятия (как функционирующие, так и нет). Тяжелые металлы, накапливающиеся в почве, становятся источником вторичного загрязнения приземного слоя атмосферы, что обеспечивает более продолжительный контакт населения с токсичными веществами и способствует накоплению вредных веществ в организме и развитию хронических заболеваний. Вероятность высоких рисков для здоровья населения и окружающей среды городского пространства определяет необходимость проведения здесь постоянного эколого-гигиенического мониторинга почвенного покрова и организации мероприятий по детоксикации почв. Результаты мониторинга состояния городских почв административных центров СПР следует учитывать при планировании и строительстве новых объектов жилого и социально-культурного назначения в непосредственной близости от территории бывших промышленных зон, где нередко встречаются аномально высокие химические загрязнения почвенного покрова, в том числе и тяжелыми металлами. Загрязнение почв здесь часто носит локальный и неоднородный характер из-за многолетней деятельности промышленных предприятий, особенностей их технологических процессов, расположения складских помещений, цехов, систем водоотведения и других факторов.

### Выводы

Впервые для Владимирской области продемонстрирована связь между индустриальной специализацией территорий и специфическими профилями заболеваемости, что расширяет понимание медико-экологических рисков СПР. Результаты исследования позволяют предположить, что медико-демографические показатели и заболеваемость населения выступают интегральными индикаторами деградации СПР, отражающими кумулятивный эффект индустриального прошлого и современных социально-экономических вызовов.

Полученные результаты создают основу для разработки региональных программ устойчивого развития, сочетающих экологическую безопасность и социально-экономические приоритеты СПР. Это особенно важно в контексте необходимости перехода к экологически ориентированному развитию и создания комфортной среды обитания для будущих поколений.

### Список литературы

1. Винц Л. А. О влиянии свинца на орган зрения // Вестник офтальмологии. 1974. № 7. С. 74–75.
2. Воробьева Д. А., Гусева Н. В. Геохимическая характеристика почв территории с высокой аэротехногенной нагрузкой // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 6. С. 149–159.
3. Горячева Т. А. Управление инновационным развитием старопромышленных городов и регионов: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. М., 2015. 186 с.
4. Дзугкоев С. Г., Дзугкоева Ф. С., Маргиева О. И. Анализ механизмов токсичности свинца и их патогенетическая коррекция // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2022. Т. 108, № 5. С. 626–635.
5. Кочетова Ж. Ю., Базарский О. В., Лазарев И. С. Прогноз и оценка ареала загрязнения почв в результате ветрового переноса частиц с подстилающей поверхности // Географический вестник. 2024. № 2 (69). С. 124–135. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-2-124-135>.
6. Ластков Д. О., Клименко А. И., Михайлова Т. В. Методологические аспекты оптимизации окружающей среды старопромышленных регионов // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2017. Т. 21, № 2. С. 177.

7. Мальцев А. А., Мордвинова А. Э. Реструктуризация старопромышленных регионов Европы: опыт и проблемы // Управленец. 2016. № 3 (61). С. 8–9.
8. Марцев А. А., Селиванов О. Г., Курбатов Ю. Н., Савельев О. В., Космачева А. Г., Трифонова Т. А. Эколого-гигиеническая оценка почв Владимирской области по содержанию тяжёлых металлов и мышьяка // Гигиена и санитария. 2025. Т. 104, № 3. С. 290–296. DOI: 10.47470/0016-9900-2025-104-3-290-296.
9. Мяснянкина О. В., Зайцев А. А. Причины и факторы деиндустриализации в старопромышленных регионах // Вестник университета. 2023. № 10. С. 183–192.
10. Николаева Т. В., Полякова В. С., Сетко Н. П., Воронина Л. Г. Структурно-функциональная реорганизация кожи и ее производных при экспериментальной подострой интоксикации солями тяжелых металлов // Гигиена и санитария. 2017. 96 (6). С. 593–596. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-6-593-596.
11. Полуянова Н. В. Особенности и специфика формирования региональной социально-экономической политики в старопромышленных регионах (на примере регионов Центральной России) // Экономика устойчивого развития. 2024. № 3 (59). С. 150–157.
12. Рысбекова Н. Н., Нурмухамбетов А. Н., Аскарова А. Е., Аканов А. А. Роль тяжелых металлов в развитии анемий (обзор литературы) // Вестник Казахского национального медицинского университета. 2013. № 3-2. С. 46–51.
13. Соколов В. В. Экономическая безопасность старопромышленного города: оценка уровня, приоритеты, механизм обеспечения: на материалах г. Новочеркаска Ростовской области: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Ростов-на-Дону, 2012. 173 с.
14. Сорокина Н. Ю. Обеспечение устойчивого социально-экономического развития старопромышленных регионов Российской Федерации: дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05. М., 2017. 354 с.
15. Сутункова М. П., Никогосян К. М., Рябова Ю. В., Кескевич А. А., Минигалиева И. А., Бутакова И. В., Шеломенцев И. Г., Шаихова Д. Р. Современное представление о механизмах токсического действия свинца на центральную нервную систему (обзор литературы) // Медицина труда и экология человека. 2023. № 4. С. 196–215.
16. Холупко Т. Г. Тяжелые металлы в рационах больных дистрофиями сетчатки // Журнал ГрГМУ. 2007. № 2. С. 97–99.
17. Bhatia P., Mehmood S., Doyon-Reale N., Rosati R., Stemmer P., Jamesdaniel S. Unraveling the molecular landscape of lead-induced cochlear synaptopathy: a quantitative proteomics analysis // Front. Cell. Neurosci. 2024. Vol. 18. 1408208. <https://doi.org/10.3389/fncel.2024.1408208>.
18. Li S., Cao H., Wang B., Huang G., Qu Y., Yuan B., Wei W. Effects of heavy metal exposure on kidney transplant recipients: mechanisms and clinical implications for graft failure risk // Front. Immunol. 2025. Vol. 16. 1718695. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1718695>.
19. Uridia R., Kavtaradze N., Kochiashvili K., Stephanishvili M., Mikadze I., Dolidze L., Dgebuadze T. Bioremediation of soils contaminated with heavy metals // International Academy Journal Web of Scholar. 2021. 2 (52). [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_wos/30062021/7618](https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/30062021/7618).
20. Yang W, Liao Q., Gusiati M. Editorial: Remediation and health risks of heavy metal contaminated soils. Front. Environ. Sci. 2024. Vol. 12. 1501443. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1501443>.

## References

1. Vints, L. A. (1974). O vliyanii svintsa na organ zreniya [On the effect of lead on the organ of vision]. *Vestnik Oftalmologii [Russian Annals of Ophthalmology]*, 7, 74–75. (In Russian).
2. Vorob'yova, D. A. & Guseva, N. V. (2021). Geochemical characteristics of soils in areas with high aerotechnogenic load. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 332(6), 149–159. (In Russian).

3. Goryacheva, T. A. (2015). *Upravlenie innovatsionnym razvitiem staropromyshlennykh gorodov i regionov* [Management of innovative development of old industrial cities and regions] (Doctoral dissertation). Moscow, 186 p. (In Russian).
4. Dzugkoev, S. G., Dzugkoeva, F. S. & Margieva, O. I. (2022). Analysis of lead toxicity mechanisms and their pathogenetic correction. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 58, 807–814. (In Russian).
5. Kochetova, Zh. Yu., Bazarskiy, O. V. & Lazarev, I. S. (2024). Forecast and assessment of the area of soil pollution resulting from wind transport of particles from the underlying surface. *Geographical Bulletin*, 2(69), 124–135. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-2-124-135> (In Russian).
6. Lastkov, D. O., Klimenko, A. I. & Mikhailova, T. V. (2017). Metodologicheskie aspekty optimizatsii okruzhayushchey sredy staropromyshlennykh regionov [Methodological aspects of environmental optimization in old industrial regions]. *Vestnik gigieny i epidemiologii* [Bulletin of Hygiene and Epidemiology], 21(2), 177. (In Russian).
7. Maltsev, A. A. & Mordvinova, A. E. (2016). The restructuring of old industrial regions in Europe: experience and problems. *Upravlenets* (The Manager), 3(61), 8–9. (In Russian).
8. Martsev, A. A., Selivanov, O. G., Kurbatov, Yu. N., Savelyev, O. V., Kosmacheva, A. G. & Trifonova, T. A. (2025). Ecological and hygienic assessment of soils of the Vladimir region for the content of heavy metals and arsenic. *Hygiene and Sanitation*, 104(3), 290–296. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-3-290-296> (In Russian).
9. Myasnyankina, O. V. & Zaitsev, A. A. (2023). Causes and factors of deindustrialization in old industrial regions. *Vestnik universiteta*, 10, 183–192. (In Russian).
10. Nikolaeva, T. V., Polyakova, V. S., Setko, N. P. & Voronina, L. G. (2017). Structural-functional reorganization of skin and its derivatives under experimental subacute of intoxication by heavy metal. *Hygiene and Sanitation*, 96(6), 593–596. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-6-593-596> (In Russian).
11. Poluyanov, N. V. (2024). Features and specifics of the formation of regional socio-economic policy in old industrial regions (based on the example of regions of Central Russia). *Economics of Sustainable Development*, 3(59), 150–157. (In Russian).
12. Ryspekova, N. N., Nurmukhambetov, A. N., Askarova, A. E. & Akanov, A. A. (2013). Rol' tyazhelykh metallov v razvitii anemiy (obzor literatury) [The role of heavy metals in the development of anemias (literature review)]. *Vestnik Kazakhskogo natsional'nogo meditsinskogo universiteta* [Bulletin of Kazakh National Medical University], 3, 46–51. (In Russian).
13. Sokolov, V. V. (2012). *Ekonomicheskaya bezopasnost' staropromyshlennogo goroda: otsenka urovnya, priority, mekhanizm obespecheniya (na materialakh g. Novocherkasska Rostovskoy oblasti)* [Economic security of an old industrial city: level assessment, priorities, and security mechanism (case of Novocherkassk, Rostov region)] (Doctoral dissertation). Rostov-on-Don, 173 p. (In Russian).
14. Sorokina, N. Yu. (2017). *Obespechenie ustoychivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya staropromyshlennykh regionov Rossiyskoy Federatsii* [Ensuring sustainable socio-economic development of old industrial regions of the Russian Federation] (Doctoral dissertation). Moscow, 354 p. (In Russian).
15. Sutunkova, M. P., Nikogosyan, K. M., Ryabova, Yu. V., Keskevich, A. A., Minigalieva, I. A., Butakova, I. V., Selomentsev I. G. & Shaihova D. R. (2023). Current understanding of the mechanisms of lead toxic effects on the central nervous system (literature review). *Occupational Medicine and Human Ecology*, 4, 196–215. (In Russian).
16. Kholupko, T. G. (2007). Tyazhelye metally v ratsionakh bol'nykh distrofiyami setchatki [Heavy metals in diets of patients with retinal dystrophies]. *Zhurnal GrGMU* [Journal of Grodno State Medical University], 2, 97–99. (In Russian).
17. Bhatia, P., Mehmood, S., Doyon-Reale, N., Rosati, R., Stemmer, P. & Jamesdaniel, S. (2024). Unraveling the molecular landscape of lead-induced cochlear synaptopathy: a quantitative

proteomics analysis. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 18, 1408208. <https://doi.org/10.3389/fncel.2024.1408208> (In English).

18. Li, S., Cao, H., Wang, B., Huang, G., Qu, Y., Yuan, B. & Wei, W. (2025). Effects of heavy metal exposure on kidney transplant recipients: Mechanisms and clinical implications for graft failure risk. *Frontiers in Immunology*, 16, 1718695. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2025.1718695> (In English).

19. Uridia, R., Kavtaradze, N., Kochiashvili, K., Stephanishvili, M., Mikadze, I., Dolidze, L. & Dgebuadze, T. (2021). Bioremediation of soils contaminated with heavy metals. *International Academy Journal Web of Scholar*, 2(52). [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_wos/30062021/7618](https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/30062021/7618) (In English).

20. Yang, W., Liao, Q. & Gusiati, M. (2024). Editorial: Remediation and health risks of heavy metal contaminated soils. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1501443. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1501443> (In English).

*Поступила в редакцию 01.06.2026 г.*

**Martsev A. A. Ecological memory of an old industrial region: technological heritage and public health impact (case study of the Vladimir region).** – The study analyzes the impact of technological heritage on public health in an old industrial region using the Vladimir region as a case study. The research relevance is determined by the lack of comprehensive scientific approaches to assessing accumulated damage in old industrial regions; insufficient understanding of the relationship between environmental pollution and public health at the local level; the need for systematic environmental management and the absence of effective mechanisms for controlling and rehabilitating old industrial territories. The study found that an old industrial region represents a specific anthropotechnogenic ecosystem where past pollution ("ecological memory") combined with modern technological loads creates cumulative health risks for the population. The environmental analysis of this type of region demonstrates serious ecological problems. Particular attention is drawn to the issue of toxic substance accumulation in soils, which creates long-term health risks for the population. The obtained results form the basis for developing regional sustainable development programs that combine environmental safety with socio-economic priorities of old industrial regions.

**Keywords:** old industrial region, heavy metals, soil, industrial footprint, ecological memory.

**Марцев Антон Андреевич**

кандидат биологических наук, доцент,  
доцент кафедры биологии и общей генетики  
ФГАОУ ВО «Первый Московский  
государственный медицинский университет  
имени И. М. Сеченова Минздрава России  
(Сеченовский Университет)», г. Москва, РФ;  
доцент кафедры биологии и экологии  
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный  
университет имени Александра Григорьевича и  
Николая Григорьевича Столетовых»,  
г. Владимир, РФ.

E-mail: [martsevaa@yandex.ru](mailto:martsevaa@yandex.ru)

ORCID: 0000-0002-3572-9163

**Anton A. Martsev**

PhD (Biology), Docent,  
Associate professor of Department of biology and general  
genetics,  
I. M. Sechenov First Moscow State Medical University,  
Moscow, Russian Federation;  
Associate professor of Department of Biology and  
Ecology,  
Vladimir State University named after Alexander and  
Nikolay Stoletovs,  
Vladimir, Russian Federation.

Научно-практический журнал

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И ОХРАНЫ ПРИРОДЫ  
ТЕХНОГЕННОГО РЕГИОНА

2026

№ 3

Учредитель: ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»

Оригинал-макет: О. В. Чемерис, И. Ф. Пирко

---

Подписано к изданию 28.09.2026 г.

Издательство ФГБОУ ВО «Донецкий государственный университет»  
283001, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Университетская, 24