

ISSN 2500-2961  
УДК 55:57:58:59:61:91

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
**ТЕХНОЛОГИИ**

2022. Т. 12. № 4

**Природа и человек:  
экологические исследования**

**Учредитель  
и издатель:**

Московский  
педагогический  
государственный  
университет

Свидетельство  
о регистрации СМИ:  
ПИ № ФС 77–67765  
от 17.11.2016 г.

**Адрес редакции:**

109240, Москва,  
ул. В. Радищевская,  
д. 16–18, каб. 223

**Сайт:** soc-ecol.ru

**E-mail:**

izdat\_mgou@mail.ru

Издается с 2011 г.

Выходит 4 раза в год

Журнал входит в Перечень ведущих  
рецензируемых научных журналов  
и изданий ВАК РФ:

**Биологические науки**

- 1.5.9. Ботаника
- 1.5.7. Генетика
- 1.5.15. Экология
- 1.5.19. Почвоведение
- 1.5.20. Биологические ресурсы
- 1.5.5. Физиология человека и животных
- 1.5.24. Нейробиология

**Географические науки**

- 1.6.12. Физическая география  
и биогеография, география почв  
и геохимия ландшафтов
- 1.6.21. Геоэкология

**Подписной индекс журнала по Объединенному каталогу  
«Пресса России» – 85004**

ISSN 2500-2961

ENVIRONMENT AND HUMAN:  
ECOLOGICAL STUDIES

2022. Vol. 12. No. 4

**Socialno-ecologicheskie  
Technologii**

**The Founder  
and Publisher:**

Moscow Pedagogical  
State University

Mass media  
registration  
certificate

ПИ № ФС 77–67765  
as of 17.11.2016

**Editorial office:**

Moscow, Russia,  
Verhnyaya  
Radishchevskaya str.,  
16–18, room 223,  
109240

The journal is included in the list of the leading peer-reviewed scholarly journals the Higher Attestation Commission of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation recommended to PhD candidates and those working for their habilitation who wish to publish the results of their research

The journal has been published since 2011

The journal is published 4 times a year

E-mail: [izdat\\_mgopu@mail.ru](mailto:izdat_mgopu@mail.ru)

Information on journal can be accessed via: [soc-ecol.ru](http://soc-ecol.ru)

## Редакционная коллегия

*Главный редактор*

**Марина Викторовна Костина** – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

*Заместитель главного редактора*

**Зинаида Ивановна Гордеева** – кандидат географических наук, профессор; профессор кафедры экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

*Ответственный секретарь*

**Екатерина Олеговна Королькова** – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет; доцент кафедры клеточной биологии факультета биологии и биотехнологии, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва

**Павел Алексеевич Агапов** – кандидат биологических наук; доцент кафедры анатомии и физиологии человека и животных Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет; научный сотрудник лаборатории анатомии и архитектоники мозга Отдела исследований мозга, Научный центр неврологии, г. Москва

**Ирина Олеговна Алябина** – доктор биологических наук, доцент; профессор кафедры географии почв факультета почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Ирина Вениаминовна Беляева-Чемберлен** – доктор биологических наук; редактор содержания (номенклатура и таксономия) баз данных растений и грибов отдела «Биоразнообразие, биоинформатика и анализ распространения растений», Королевские ботанические сады, Кью, Великобритания

**Владимир Владимирович Бобров** – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории сохранения биоразнообразия и использования биоресурсов, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва

**Алексей Владимирович Богданов** – доктор биологических наук; главный научный сотрудник лаборатории прикладной физиологии высшей нервной деятельности человека, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Василий Николаевич Бурдь** – доктор химических наук (ВАК Республики Беларусь); профессор кафедры химии и химической технологии факультета биологии и экологии, Гродненский государственный университет им. Я. Купалы, Республика Беларусь

**Владимир Павлович Викторov** – доктор биологических наук, доцент; заведующий кафедрой ботаники Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

**Юлия Константиновна Виноградова** – доктор биологических наук; главный научный сотрудник отдела флоры, Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, г. Москва

**Юрий Никифорович Водяницкий** – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; профессор кафедры общего почвоведения факультета почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Ольга Владимировна Галанина** – кандидат биологических наук; доцент кафедры биогеографии и охраны природы Института наук о Земле, Санкт-Петербургский государственный университет

**Владимир Борисович Дорохов** – доктор биологических наук; заведующий лабораторией нейробиологии сна и бодрствования, Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, г. Москва

**Александр Сергеевич Зернов** – доктор биологических наук; профессор кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Василий Иванович Ерошенко** – кандидат педагогических наук, доцент; заведующий кафедрой экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

**Сергей Вячеславович Левыкин** – доктор географических наук, профессор; заведующий отделом степеведения и природопользования, Институт степи Уральского отделения РАН, г. Оренбург

**Дмитрий Леонидович Лопатников** – доктор географических наук, доцент; старший научный сотрудник лаборатории географии мирового развития, Институт географии РАН, г. Одинцово Московской обл.

**Татьяна Михайловна Лысенко** – доктор биологических наук, доцент; ведущий научный сотрудник лаборатории проблем фиторазнообразия, Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти Самарской области; ведущий научный сотрудник лаборатории общей геоботаники, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

**Ирина Владимировна Лянгузова** – доктор биологических наук, старший научный сотрудник; ведущий научный сотрудник лаборатории экологии растительных сообществ, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург

**Наталья Олеговна Минькова** – кандидат биологических наук, доцент; заместитель проректора по учебной работе, Севастопольский государственный университет

**Сергей Владимирович Наугольных** – доктор геолого-минералогических наук, профессор; главный научный сотрудник лаборатории палеофлористики, Геологический институт РАН, г. Москва

**Наталья Борисовна Панкова** – доктор биологических наук, доцент; главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии, Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии, г. Москва

**Светлана Камильевна Пятунина** – кандидат биологических наук, доцент; директор Института биологии и химии, Московский педагогический государственный университет

**Владимир Николаевич Сальков** – доктор медицинских наук; старший научный сотрудник лаборатории функциональной морфохимии Отдела исследований мозга, Научный центр неврологии, г. Москва

**Олег Викторович Созинов** – доктор биологических наук, доцент (ВАК Республики Беларусь); заведующий кафедрой ботаники, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Республика Беларусь

**Владимир Семёнович Фридман** – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник лаборатории экологии, биологических инвазий и охраны природы кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Алексей Владимирович Чернов** – доктор географических наук, доцент; ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Андрей Викторович Щербаков** – доктор биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории экологии, биологических инвазий и охраны природы кафедры высших растений биологического факультета, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

**Михаил Сергеевич Яблоков** – кандидат биологических наук; эксперт WWF России

**Владимир Иванович Яшкичев** – доктор химических наук, профессор; профессор кафедры экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

## Editorial Board

### *Editor-in-Chief*

**Marina V. Kostina** – professor at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

### *Deputy Chief Editor*

**Zinaida I. Gordeeva** – professor at the Department of Ecology and Environmental Sciences at the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Russia

### *Executive secretary*

**Ekaterina O. Korolkova** – associate professor at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University; Associate Professor at the Department of Cell Biology of the Faculty of Biology and Biotechnologies, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

**Pavel A. Agapov** – associate professor at the Department of Anatomy and Physiology at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University; researcher at the Anatomy and Architectonics Laboratory at the Brain Research Department, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

**Irina O. Alyabina** – professor at the Soil Geography Department at the Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, Russia

**Irina V. Belyaeva-Chamberlain** – content editor – Plant & Fungal Names, Biodiversity Informatics & Spatial Analysis, Royal Botanic Gardens, Kew, United Kingdom

**Vladimir V. Bobrov** – senior researcher at the Laboratory of Biodiversity Conservation and Use of Biological Resources, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Aleksej V. Bogdanov** – head at the Laboratory of General Physiology of Temporary Connections, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Vasilii N. Burd** – professor at the Department of Chemistry and Chemical Technology at the Faculty of Biology and Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

**Aleksei V. Chernov** – leading researcher at the N.I. Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes at the Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Russia

**Vladimir B. Dorohov** – head at the Laboratory of Neurobiology of Sleep and Wakefulness, Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Vasilii I. Eroshenko** – head at the Department of Ecology and Environmental Sciences at the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Russia

**Vladimir S. Friedman** – senior researcher at the Laboratory of Ecology, Biological Invasions and Conservation at the Department of Higher Plants of Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia

**Olga V. Galanina** – associate professor at the Department of Biogeography and Environmental Protection at the Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, Russia

**Sergey V. Levykin** – Head at the Department of Steppe Studies and Nature Management, Institute of Steppe, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

**Dmitry L. Lopatnikov** – senior researcher at the World Development Geography Laboratory, Institute of Geography RAS, Odintsovo, Moscow region, Russia

**Irina V. Lyanguzova** – leading researcher at the Laboratory of Ecology of Plant Communities, Komarov Institute of Botany, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

**Tatyana M. Lysenko** – senior researcher at the Laboratory of Phytodiversity Problems, Institute of Ecology of the Volga River Basin, Russian Academy of Science, Togliatti, Samara region, Russia

**Natalia O. Minkova** – deputy vice-rector for Academic Affairs, Sevastopol State University, Russia

**Serge V. Naugolnykh** – chief scientific officer at the Laboratory of Paleofloristics, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Natalia B. Pankova** – chief scientific officer at the Laboratory of Physical-Chemical and Environmental Pathophysiology, Institute of General Pathology and Pathophysiology, Moscow, Russia

**Svetlana K. Piatunina** – director at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

**Vladimir N. Salkov** – senior researcher at the Laboratory of Functional Morphochemistry, Research Center of Neurology, Moscow, Russia

**Andrei V. Scherbakov** – leading researcher at the Laboratory of Ecology, Biological Invasions and Nature Protection of Higher Plants at the Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia

**Oleg V. Sozinov** – head at the Department of Botany, Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

**Yulia K. Vinogradova** – chief researcher at the Flora Department, N.V. Tsitsin Main Botanical Garden, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Vladimir P. Viktorov** – head at the Department of Botany at the Institute of Biology and Chemistry, Moscow Pedagogical State University, Russia

**Yury N. Vodyanitsky** – professor at the Department of General Soil Science at the Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University, Russia

**Mikhail S. Yablokov** – expert WWF Russia

**Vladimir I. Yashkichev** – professor at the Department of Ecology and Environmental Sciences at the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Russia

**Aleksandr S. Zernov** – professor at the Department of Higher Plants at the Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University, Russia

## Содержание

### ИЗУЧЕНИЕ И СОХРАНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ

*Б.В. Прошкин, А.В. Климов*

Фенотипический анализ  
*Populus × sibirica* G.V. Krylov  
& G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov  
в насаждениях Сибири . . . . . 359

*Т.Ю. Толышева*

Калиционидные лишайники Московского региона:  
состояние и перспективы . . . . . 377

### ИССЛЕДОВАНИЕ АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ И УРБОЭКОЛОГИЯ

*Э.Г. Рябова*

Оценка содержания тяжелых металлов  
в рекреационных водных объектах  
(г. Дзержинский Московская агломерация)  
за период 2006–2020 гг. . . . . 397

*Е.А. Самусик, Т.П. Марчик,  
С.Е. Головатый*

Интенсивность окислительных процессов  
и активность антиоксидантной системы  
в листьях древесных растений, произрастающих  
в условиях техногенного загрязнения . . . . . 418

### ОПЫТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ

*А.В. Синдирева, Н.Е. Гурьев*

Факторы, влияющие на содержание селена  
в серых лесных почвах и сельскохозяйственных культурах  
юга Тюменской области. . . . . 439

# Contents

## STUDY AND CONSERVATION OF BIOLOGICAL DIVERSITY

*B.V. Proshkin, A.V. Klimov*

Phenotypic analysis  
of *Populus × sibirica* G.V. Krylov  
& G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov  
in the plantations of Siberia. . . . . 359

*T.Yu. Tolpysheva*

The calicioid lichens of Moscow region . . . . . 377

## ANTHROPOGENICALLY MODIFIED ECOSYSTEMS AND URBAN ECOLOGY

*E.G. Riabova*

Assessment of the content of heavy metals  
in recreational water bodies  
in Dzerzhinsky town (Moscow agglomeration)  
during 2006–2020. . . . . 397

*E.A. Samusik, T.P. Marchik, S.E. Golovaty*

The intensity of oxidative processes  
and the activity of the antioxidant system  
in the leaves of woody plants growing  
in conditions of technogenic pollution . . . . . 418

## EXPERIENCE ENVIRONMENTAL STUDY AREAS

*A.V. Sindireva, N.E. Guryev*

Factors influencing selenium content  
in gray forest soils and agricultural crops  
in the South of Tyumen region . . . . . 439



DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-359-376

**Б.В. Прошкин<sup>1</sup>, А.В. Климов<sup>2, 3</sup>**

<sup>1</sup> Кузбасский институт Федеральной службы исполнения наказаний,  
654066 г. Новокузнецк, Кемеровская обл., Российская Федерация

<sup>2</sup> ООО «ИнЭкА-консалтинг»,  
654027 г. Новокузнецк, Кемеровская обл., Российская Федерация

<sup>3</sup> Кузбасский гуманитарно-педагогический институт  
Кемеровского государственного университета,  
654041 г. Новокузнецк, Кемеровская обл., Российская Федерация

## Фенотипический анализ *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov в насаждениях Сибири

Цель настоящего исследования – рассмотреть закономерности изменчивости качественных признаков и фенотипов *Populus × sibirica* в Сибири, на основе данных об их вариабельности в отдельных районах региона. Исследование направлено на обобщение полученных результатов по разнообразию качественных морфологических признаков вида, его фенотипов, оценки внутривидовой и межвидовой изменчивости по фенотипам. Для изучения вариабельности обследовано 180 деревьев, на которых обмерены 2700 листьев в зеленых насаждениях городов Новокузнецк, Новосибирск, Бердск, Иркутск, Братск и Красноярск. При анализе качественных признаков морфологическими маркерами выбраны: форма листовой пластинки, ее верхушки и основания, наличие базальных железок, опушение черешка. Фенотип особи определяли по сочетанию

морфологических качественных признаков. По результатам исследований у *Populus × sibirica* выявлено четыре фенотипа, распространенных во всех насаждениях. В изученных городах Сибири преобладали особи с опушенными черешками (46,6–73,0%), яйцевидной формой листовой пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой. Оценка внутривидового разнообразия фенотипов по индексу Животовского, показала, что полученные показатели очень близки. Доля вариативности по качественным признакам и фенотипам внутри насаждения показала резкое преобладание над межвидовым разнообразием и низкую дифференциацию изученных насаждений, как по качественным признакам (3,5%), так и по фенотипам (2,8%), что еще раз указывает на культурное возникновение таксона. Этот факт также подтверждают крайне высокое фенотипическое сходство исследованных выборок ( $r = 94,2–99,8\%$ ) и отсутствие их достоверных отличий по фенотипическому составу.

**Ключевые слова:** *Populus × sibirica*, изменчивость, качественные признаки изменчивости, фены, фенотип, фенотипы тополя, фены тополей, морфология тополя, изменчивость тополя

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Прошкин Б.В., Климов А.В. Фенотипический анализ *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov в насаждениях Сибири // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 4. С. 359–376. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-359-376

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-359-376

**B.V. Proshkin<sup>1</sup>, A.V. Klimov<sup>2, 3</sup>**

<sup>1</sup> KI of the FPS of Russia,  
Novokuznetsk, Kemerovo region, 654066, Russian Federation

<sup>2</sup> InEkA-Consulting LLC,  
Novokuznetsk, Kemerovo region, 654027, Russian Federation

<sup>3</sup> Kuzbass Humanitarian Pedagogical Institute  
of the Kemerovo State University,  
Novokuznetsk, Kemerovo region, 654041, Russian Federation

## Phenotypic analysis of *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov in the plantations of Siberia

The purpose of this study is to consider patterns of variability of qualitative traits and phenotypes of *Populus × sibirica* in Siberia based on data on their variability in certain areas of the region. The study is aimed at summarizing the results obtained on the diversity of qualitative morphological traits of the species, its phenes, assessing intrapopulation and interpopulation variability in phenotypes. To study the variability, 180 trees were examined, on which 2700 leaves were measured in the green spaces of the cities of Novokuznetsk, Novosibirsk, Berdsk, Irkutsk, Bratsk and Krasnoyarsk. When analyzing the qualitative features, the following morphological markers were chosen: the shape of the leaf blade, its apex and base, the presence of basal glands, and petiole pubescence. The phenotype of an individual was determined by a combination of morphological qualitative traits. According to the results of the research, four phenotypes were found in *P. × sibirica*, common in all stands. In the studied cities of Siberia, individuals with pubescent petioles (46.6–73.0%), an ovoid leaf blade with a rounded wedge-shaped base and a pointed apex prevailed. An assessment of the intrapopulation diversity of phenotypes according to the Zhivotovsky index showed that the obtained indicators are very close. The share of variability in terms of quality traits and phenotypes within the plantation showed a sharp predominance

over interpopulation and low differentiation of the studied plantations, both in terms of qualitative traits (3.5%) and phenotypes (2.8%), which once again indicates the cultural occurrence of the taxon. This fact is also confirmed by the extremely high phenotypic similarity of the studied samples ( $r = 94.2-99.8\%$ ) and the absence of their significant differences in phenotypic composition.

**Key words:** *Populus × sibirica*, variability, qualitative traits, phenes, phenotype, poplar phenotypes, poplar phenes, poplar morphology, poplar variability

FOR CITATION: Proshkin B.V., Klimov A.V. Phenotypic analysis of *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov in the plantations of Siberia. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 4. Pp. 359–376. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-359-376

## Введение

*Populus × sibirica* – один из наиболее широко распространенных таксонов древесных растений в Сибирском регионе. В недавнем прошлом, в 1950–1970-х гг., он активно использовался для озеленения населенных мест, создания скверов, парков, лесопарков, озеленения жилых кварталов и промышленных территорий. Он широко применялся для защитного лесоразведения: создания полезащитных лесных полос, защитных насаждений вдоль железнодорожных путей, автострад, по берегам водоемов, каналов и оврагов. Уже столь значительная практика применения таксона делает его изучение актуальным. Однако с *P. × sibirica* дела обстоят значительно сложнее. Поскольку даже для большинства специалистов он был (к сожалению, для многих и остается) известен под совершенно другим названием – *P. balsamifera* L. Последний североамериканский тополь (секция *Tasamahaca* Mill.) значительно отличается от тополя сибирского, как морфологическими признаками, так и экологическими требованиями [Eckenwalder, 2010; Климов и др., 2018]. В результате необычайно широкое практическое применение *P. × sibirica* сочеталось с незнанием его биологии и агротехники, следствие этого – низкое санитарное состояние большинства насаждений в регионе.

В настоящее время *Populus × sibirica* не используется в современном озеленении, а оставшиеся его многочисленные насаждения подвергаются массовой вырубке и кронированию. Широкое распространение вредителей и, в частности, тополевой моли-пестрянки *Phyllonorycter populifoliella* (Treitschke, 1833), вызвало массовое преждевременное

усыхание и отмирание листьев, особенно в городских посадках, и еще раз подтвердило отсутствие биологической устойчивости одновидовых насаждений к энтомовердителям и грибковым заболеваниям.

Тем не менее, изучение биологии этого таксона в настоящее время не становится менее актуальным, несмотря на отказ от применения его в создании современных озеленительных экспозиций. Массовость искусственных насаждений *Populus × sibirica*, а также возникших семенным путем на многочисленных нарушенных землях породили широкое участие его в спонтанной антропогенной гибридизации в многочисленных ее очагах в Сибири и сделали его одной из главных угроз для сохранения генофонда местных видов тополей [Костина и др., 2016; Прошкин, Климов, 2017, 2019]. Однако для изучения антропогенной спонтанной гибридизации необходимо иметь исчерпывающие данные о морфологии его вегетативных органов и характере их изменчивости. Поэтому цель настоящего исследования – рассмотреть закономерности изменчивости качественных признаков и фенотипов *P. × sibirica* в Сибири на основе данных об их вариабельности в отдельных районах региона. Исследование направлено на обобщение полученных результатов по разнообразию качественных морфологических признаков вида, его фенотипов, оценки внутривидовой и межвидовой изменчивости по фенотипам.

## Материалы и методы

Изучение вариабельности качественных признаков *P. × sibirica* проведены в зеленых насаждениях городов Новокузнецк, Новосибирск, Бердск, Иркутск, Братск и Красноярск. В каждом с 30 рандомизированно отобранных репродуктивно зрелых деревьев с южной стороны средней части кроны проводился сбор гербарного материала. С каждой особи отбиралось по 15 полностью развитых, неповрежденных листьев, со средней части укороченных побегов. Всего было обследовано 180 деревьев, на которых были обмерены 2700 листьев.

Морфологические признаки исследовали с использованием сравнительно-морфологического метода. При этом изучен комплекс признаков: форма листовой пластинки, ее верхушки и основания, наличие базальных желёзок, опушения черешка. Подробное описание методов исследования и изучения изменчивости приведены в работе авторов [Климов, Прошкин, 2021].

Опушение черешка листа исследовалось с помощью стереоскопического микроскопа МБС-10 (ЛЗСОС, Россия) при увеличении 16,3×. Степень развития трихом оценивали по шкале: 1ОП – черешок голый, трихом нет; 2ОП – редко опушен, волоски рассеяны по поверхности.

Принадлежность особей к определенному фенотипу определяли по сочетанию морфологических качественных признаков. Для оценки внутривидовой и межвидовой изменчивости использовали хи-критерий ( $\chi^2$ ), для попарного сравнения выборок – показатель фенотипического сходства популяций  $r$ :

$$r = \sum \sqrt{p_i \times q_i},$$

где  $p_i$  – встречаемость 1-го фенотипа в выборке из первой популяции,  $q_i$  – встречаемость 1-го фенотипа в выборке из второй популяции [Рязанова, 2016].

Статистическую значимость показателя сходства оценивали по  $I$ -критерию идентичности Животовского (1979):

$$I = \frac{8 \times n_1 \times n_2}{n_1 + n_2} \times \left( 1 - r - \frac{p_0 + q_0}{4} \right),$$

где  $p_0$  – сумма частот фенотипов первой выборки, не представленных во второй;  $q_0$  – сумма частот фенотипов второй выборки, не представленных в первой;  $n_1$  и  $n_2$  – объемы первой и второй выборок.

Критерий идентичности Животовского проверяет нулевую гипотезу о принадлежности обеих выборок к одной генеральной совокупности. Сама величина  $I$  имеет приблизительно распределение хи-квадрат с  $m^{-1}$  степенями свободы, где  $m$  – количество морф, в нашем случае – фенотипов [Рязанова, 2016].

## Результаты

Как мы уже отмечали, при изучении *Populus × sibirica* в различных районах Сибири наблюдается ряд качественных признаков с общими особенностями их изменчивости. Многие из них с такими же закономерностями варьируют и у других таксонов секций *Tacamahaca* Mill и *Aigeiros* Lunell или в целом в пределах рода *Populus* L.

1. Для *P. × sibirica*, как и других гибридов, возникших от скрещивания таксонов секций *Tacamahaca* и *Aigeiros*, характерна дифференциация укороченных побегов кроны на лептобласты и дискобласты [Климов и др., 2018; Климов, Прошкин, 2019].

2. От распространенного на юге Сибири естественного гибрида *P. × irtyschensis* Chang Y. Yang, произрастающего в местах наложения родительских видов *P. laurifolia* Ledeb. (секция *Tacamahaca*) и *P. nigra* L. (секция *Aigeiros*), тополь сибирский отличается наличием базальных

жёлзок в основании листовой пластинки. Хотя этот признак варьирует на эндогенном (в пределах особи) уровне. И более надёжно разграничивается другим качественным признаком – окраской перидермы однолетних укороченных побегов leptобластов. У тополя иртышского она серая, редко серовато-желтая, у *Populus × sibirica* – оранжево-серая (рис. 1).



**Рис. 1.** Систематический признак *Populus × sibirica* – оранжево-серая окраска перидермы однолетних укороченных побегов кроны (лептобластов)

**Fig. 1.** The systematic feature of *Populus × sibirica* is the orange-gray color of the periderm of annual short crown shoots (leptoblasts)

3. Для листьев *Populus × sibirica* характерна преимущественно яйцевидная форма пластинки, реже яйцевидно-треугольная. Во всех исследованных насаждениях городов Сибири преобладают пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1

**Встречаемость качественных признаков в насаждениях по несмещенной оценке частот ( $p \pm Sp$ )**  
**[Occurrence of qualitative traits in plantations according to unbiased frequency estimation ( $p \pm Sp$ )]**

Признак [Trait]	Вариация [Variations]	Братск [Bratsk]	Иркутск [Irkutsk]	Красноярск [Krasnoyarsk]	Бердск [Berdsk]	Новосибирск [Novosibirsk]	Новокузнецк [Novokuznetsk]
Форма листовой пластинки [Leaf blade shape]	Яйцевидно- треугольная [Ovoid-triangular]	138 / 0,307 ± 0,021	90 / 0,200 ± 0,023	109 / 0,242 ± 0,023	168 / 0,375 ± 0,022	189 / 0,422 ± 0,023	194 / 0,432 ± 0,023
	Яйцевидная [Ovoid]	312 / 0,693 ± 0,021	360 / 0,800 ± 0,023	341 / 0,758 ± 0,023	282 / 0,625 ± 0,022	261 / 0,578 ± 0,023	256 / 0,568 ± 0,023
Форма основания пластинки [Blade base shape]	Округло- клиновидная [Rounded-wedge]	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000
Форма верхушки пластинки [Blade top shape]	Заостренная [Pointed]	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000	30 / 1,000 ± 0,000
Опушение черешка [Petiole pubescence]	Голый [No pubescence]	7 / 0,234 ± 0,077	6 / 0,2 ± 0,073	8 / 0,266 ± 0,081	7 / 0,234 ± 0,077	5 / 0,167 ± 0,068	9 / 0,300 ± 0,083
	Опушенный [Pubescent]	23 / 0,766 ± 0,077	24 / 0,8 ± 0,073	22 / 0,734 ± 0,081	23 / 0,766 ± 0,077	25 / 0,833 ± 0,068	21 / 0,700 ± 0,083
Листья с желёзками [Leaves with glands]	0	15 / 0,033 ± 0,008	26 / 0,057 ± 0,010	31 / 0,069 ± 0,011	49 / 0,111 ± 0,014	99 / 0,222 ± 0,019	99 / 0,222 ± 0,019
	1	58 / 0,128 ± 0,015	108 / 0,240 ± 0,020	76 / 0,169 ± 0,017	119 / 0,266 ± 0,020	99 / 0,222 ± 0,019	149 / 0,333 ± 0,022
	2	377 / 0,839 ± 0,017	316 / 0,703 ± 0,021	343 / 0,762 ± 0,020	282 / 0,623 ± 0,022	252 / 0,556 ± 0,023	202 / 0,445 ± 0,023
Наличие желёзок, количество деревьев [The presence of glands, the number of trees]	Без желёзок [No glands]	–	–	–	–	–	–





**Рис. 2.** Типичные яйцевидные листовые пластинки *Populus x sibirica*

**Fig. 2.** Typical ovate leaf blades of *Populus x sibirica*

На эндогенном уровне ряд признаков (форма верхушки, основания листовой пластинки, опушение) не варьируют, эти признаки – фены для всех таксонов рода. По форме листовой пластинки в кроне может наблюдаться несколько морф, но одна из них всегда преобладает. Эта закономерность, вероятно, характерна в целом для рода *Populus*.

По сочетанию изученных качественных морфологических признаков у *P. x sibirica* выявлено четыре фенотипа, распространенных во всех изученных насаждениях. Они распадаются на две группы по характеру опушения листа, в каждой из которых представлены по два фенотипа с отличной формой листовой пластинки (табл. 2). В изученных городах Сибири преобладали особи с опушенными черешками (46,6–73,0%), яйцевидной формой листовой пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой. Доля особей с голым черешком не превышает 30%, и среди них также преобладают растения с яйцевидной формой листовой пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой. Растения с яйцевидно-треугольной формой листовой пластинки составляют от 16,0 до 40,0% выборки (см. табл. 2).

Таблица 2

**Встречаемость фенотипов и показатель внутрипопуляционного разнообразия Животовского ( $\mu \pm S\mu$ )**  
**[Occurrence of phenotypes and index of intrapopulation diversity of Zhivotovsky ( $\mu \pm S\mu$ )]**

Фенотип [Phenotype]	Братск [Bratsk]	Иркутск [Irkutsk]	Красноярск [Krasnoyarsk]	Бердск [Berdsk]	Новосибирск [Novosibirsk]	Новокузнецк [Novokuznetsk]
Черешок листа голый, листовая пластинка яйцевидно-треугольная, основание листовой пластинки округленно-клиновидное, верхушка пластинки заостренная [Leaf petiole bare, leaf blade ovate-triangular, the base of the leaf blade is rounded-wedge-shaped, the tip of the blade is pointed]	3/0,1	3/0,1	3/0,1	3/0,1	2/0,07	5/0,166
Черешок листа голый, листовая пластинка яйцевидная, основание листовой пластинки округленно-клиновидное, верхушка пластинки заостренная [Leaf petiole bare, leaf blade ovoid, the base of the leaf blade is rounded-wedge-shaped, the tip of the blade is pointed]	4/0,134	3/0,1	5/0,166	4/0,134	3/0,1	4/0,134
Черешок листа опушен, листовая пластинка яйцевидно-треугольная, основание листовой пластинки округленно-клиновидное, верхушка пластинки заостренная [Leaf petiole pubescent, leaf blade ovate-triangular, the base of the leaf blade is rounded-wedge-shaped, the tip of the blade is pointed]	9/0,3	2/0,07	4/0,134	4/0,134	8/0,264	5/0,166

Черешок листа опушен, листовая пластинка яйцевидная, основание листовой пластинки округленно-клиновидное, верхушка пластинки заостренная [Leaf petiole pubescent, leaf blade ovoid, the base of the leaf blade is rounded-wedge-shaped, the tip of the blade is pointed]	14/0,466	22/0,73	18/0,6	19/0,632	17/0,566	16/0,534
$\mu$	3,651	3,062	3,470	3,392	3,404	3,686
$S\mu$	0,206	0,309	0,247	0,284	0,260	0,196

П р и м е ч а н и е.  $\mu$  – показатель внутрипопуляционного разнообразия Животовского;  $S\mu$  – ошибка показателя Животовского.

[N o t e.  $\mu$  – indicator of Zhivotovsky's intrapopulation diversity;  $S\mu$  – error of the Zhivotovsky exponent.]

Оценка внутривидового разнообразия по фенотипам по индексу Животовского ( $\mu \pm S\mu$ ), показала, что полученные показатели очень близки, хотя наибольшее разнообразие характерно для Братска и Новокузнецка (см. табл. 2).

Соотношение внутривидовой и межвидовой изменчивости оказалось типичным для *Populus L.* [Macaya-Sanz et al., 2012; Jiang et al., 2015; Климов, Прошкин, 2018, 2021; Прошкин, Климов, 2019]. Доля вариативности по качественным признакам и фенотипам внутри насаждения показала резкое преобладание над межвидовой, низкую дифференциацию изученных насаждений как по качественным признакам (3,5%), так и по фенотипам (2,8%) (табл. 3).

Таблица 3

**Разнообразие внутри и между насаждениями *Populus × sibirica*  
(по индексу Шеннона)  
[Diversity within and between stands of *Populus × sibirica*  
(by Shannon's index)]**

Признак [Trait]	$H_{cm}$	$H_n$	$F_n$	$F_{mn}$
Форма листовой пластинки [Leaf blade shape]	0,913	0,888	0,973	0,027
Форма основания пластинки [Blade base shape]	0	0	0	0
Форма верхушки пластинки [Blade top shape]	0	0	0	0
Опушение черешка [Petiole pubescence]	0,783	0,775	0,989	0,011
Базальные желёзки [Basal glands]	1,247	1,179	0,946	0,054
Среднее по качественным признакам [Average for qualitative features]	0,981	0,947	0,965	0,035
Фенотипы [Phenotypes]	1,614	1,569	0,972	0,028

Примечание.  $H_{cm}$  – индекс разнообразия для суммарной выборки;  $H_n$  – среднее значение индекса разнообразия выборки для популяций;  $F_n$  – индекс разнообразия выборки внутри популяций;  $F_{mn}$  – индекс межпопуляционного разнообразия.

[Note.  $H_{cm}$  – the diversity index for the total sample;  $H_n$  – the average value of the diversity index of the sample for populations;  $F_n$  – the diversity index of the sample within the populations;  $F_{mn}$  – the index of interpopulation diversity.]

Попарное сравнение всех выборок с использованием показателя фенотипического сходства популяций ( $r$ ) показало, что по фенотипам исследованные насаждения сходны на 94,2–99,8%. Наблюдаемые между насаждениями различия по хи-критерию ( $\chi^2$ ) и I-критерию идентичности Животовского недостоверны (табл. 4).

## Обсуждение

Как уже отмечалось, *Populus × sibirica* является, вероятно, полигибридом, отобранном из одной гибридной семьи и возникшим в культуре в результате спонтанного скрещивания видов секции бальзамические (Тасатаһаса) и черные тополи (Агеирос) [Скворцов, 2007; Насимович и др., 2012; Климов и др., 2018; Прошкин, Климов, 2017, 2019]. В настоящей работе на культурное происхождение *P. × sibirica* указывают низкие уровни дифференциации изученных насаждений по качественным признакам (3,5%) и фенотипам (2,8%), крайне высокое их фенотипическое сходство (94,2–99,8%) и отсутствие достоверных отличий по фенотипическому составу.

Настоящие исследования подтвердили неоднократно высказанное ранее предположение о том, что тополь сибирский является культиваром и в исследованных городах Сибири представлен немногочисленными клонами [Бакулин, 1990; Прошкин, Климов, 2019]. По меньшей мере, таких клонов теперь известно четыре, по количеству выявленных авторами фенотипов. Преобладают особи клона с опушенными черешками, яйцевидной формой листовой пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой. Указанные клоны – это тот минимум, который фактически обнаружен и выявлен на основе анализа качественных признаков в Сибирском регионе.

Помимо описанных клонов, вероятно, внутри каждого из них могут существовать еще, по крайней мере, два отличных по полу. Но последнее предположение скорее из разряда теоретически возможного, но фактически не подтвержденного. Для окончательного решения вопроса необходимо провести анализ половой структуры указанных клонов. Если удастся обнаружить какую-либо четко выраженную привязку пола клона и совокупности фенотипических признаков, это может стать важным аспектом решения выявления половой принадлежности особей тополя вне периода цветения и плодоношения. Что может, в свою очередь, явиться важным достижением для решения целого ряда проблем практического применения тополя в озеленении и защитном лесоразведении. Как мы уже отмечали, несмотря на то что признаки генеративных органов у видов рода *Populus* отличаются низкой изменчивостью, их практическое применение имеет весьма значительные ограничения:

Таблица 4

**Результаты попарного сравнения выборок в городах Сибири по частотам фенотипов**  
**[The results of pairwise comparison of samples in the cities of Siberia by phenotype frequencies]**

	<b>Братск [Bratsk]</b>	<b>Иркутск [Irkutsk]</b>	<b>Красноярск [Krasnoyarsk]</b>	<b>Бердск [Berdsk]</b>	<b>Новосибирск [Novosibirsk]</b>	<b>Новокузнецк [Novokuznetsk]</b>
Братск [Bratsk]		0,942/6,960	0,977/2,760	0,983/2,040	0,992/0,960	0,983/2,040
Иркутск [Irkutsk]	3,170		0,985/1,980	0,984/1,920	0,960/4,800	0,974/3,120
Красноярск [Krasnoyarsk]	1,260	0,783		0,998/0,240	0,981/2,280	0,992/0,960
Бердск [Berdsk]	1,330	0,512	0,068		0,984/1,920	0,991/1,080
Новосибирск [Novosibirsk]	0,335	2,220	1,030	0,891		0,980/2,400
Новокузнецк [Novokuznetsk]	0,881	1,435	0,405	0,433	1,073	

Примечание. Выше диагонали таблицы (выделена серым цветом) – показатель фенотипического сходства популяций / критерий идентичности Животовского. Ниже диагонали таблицы (выделена серым цветом) –  $\chi^2$ .

[Note. Indicated above the diagonal of the table (highlighted in gray) is an indicator of phenotypic similarity of populations / Zhivotovsky's identity criterion. Below the diagonal of the table (highlighted in gray) –  $\chi^2$ .]

- 1) не позволяет идентифицировать растения, не достигшие репродуктивного возраста;
- 2) тополи двудомные растения;
- 3) имеют непродолжительный период цветения и плодоношения;
- 4) цветковые и плодущие сережки недолго сохраняются в подстилке [Климов, Прошкин, 2019].

Однако пока исследования по специфике мужских и женских клонов тополей, весьма многочисленные в Китае, показывают, что признаки, маркирующие клоны разного пола, являются физиологическими, а не морфологическими и тем более не являются фенами [Xu et al., 2008; Zhao et al., 2009; Chen et al., 2011; Zhang et al., 2014, 2019; Xia et al., 2019; Wu et al., 2021].

## Заключение

Проведенные исследования подтвердили неоднократно высказанное ранее предположение о том, что *Populus × sibirica* является культиваром и представлен в насаждениях Сибири, по меньшей мере, четырьмя клонами, отличных по сочетанию качественных морфологических признаков. Указанные признаки не варьируют на эндогенном уровне.

## Выводы

1. На культурное происхождение *P. × sibirica* указывают низкие уровни дифференциации изученных насаждений шести городов Сибири (Новокузнецк, Новосибирск, Бердск, Иркутск, Братск и Красноярск) по качественным признакам (3,5%) и фенотипам (2,8%), их крайне высокое фенотипическое сходство (94,2–99,8%) и отсутствие достоверных отличий по фенотипическому составу.

2. В Сибирском регионе *P. × sibirica* представлен, по меньшей мере, четырьмя клонами, из которых наиболее распространены особи клона с опушенными черешками, яйцевидной формой листовой пластинки с округло-клиновидным основанием и заостренной верхушкой.

## Библиографический список / References

Адвентивная флора Москвы и Московской области / Майоров С.Р., Бочкин В.Д., Насимович Ю.А., Щербakov А.В. М., 2012. [Maiorov S.R., Bochkin V.D., Nasimovich Yu.A., Shcherbakov A.V. Adventivnaya flora Moskvy i Moskovskoy oblasti [Adventivnaya flora Moskvy i Moskovskoy oblasti]. Moscow, 2012.]

Бакулин В.Т. Интродукция и селекция тополя в Сибири. Новосибирск, 1990. [Bakulin V.T. Introduktsiya i selektsiya topolya v Sibiri [Poplar introduction and breeding in Siberia]. Novosibirsk, 1990.]

Животовский Л.А. Показатели сходства популяций по полиморфным признакам // *Общая биология*. 1979. № 4. С. 587–602. [Zhivotovsky L.A. Indicators of the similarity of populations according to polymorphic traits. *Obshchaya Biology*. 1979. No. 4. Pp. 587–602. (In Rus.)]

Климов А.В., Прошкин Б.В. Популяционно-фенетическая структура тополя лавролистного *Populus laurifolia* Ledeb. в бассейне реки Томи // *Сибирский лесной журнал*. 2018. № 5. С. 62–75. [Klimov A.V., Proshkin B.V. Population and phenetic structure of laurel poplar *Populus laurifolia* Ledeb. in the Tom river basin. *Sibirskij Lesnoj Zurnal*. 2018. No. 5. Pp. 62–75. (In Rus.)]

Климов А.В., Прошкин Б.В. Использование морфо-анатомических признаков для выявления гибридных растений в зоне естественной гибридизации *Populus laurifolia* и *P. nigra* в Сибири, Россия // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2019. № 46. С. 64–81. [Klimov A.V., Proshkin B.V. The use of morpho-anatomical features to identify hybrid plants in the zone of natural hybridization of *Populus laurifolia* and *P. nigra* in Siberia, Russia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2019. No. 46. Pp. 64–81. (In Rus.)]

Климов А.В., Прошкин Б.В. Морфология *Populus suaveolens* Fisch. в популяциях Северо-Востока России // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2021. № 55. С. 19–41. [Klimov A.V., Proshkin B.V. *Populus suaveolens* Fisch. morphology in the populations of the North-East of Russia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2021. No. 55. Pp. 19–41. (In Rus.)]

Климов А.В., Прошкин Б.В., Андреева З.В. Гибридизация видов рода *Populus* L. секций Aigeiros Lunell и Tacamahaca Mill. в природе и культуре // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. 2018. № 1. С. 16–34. [Klimov A.V., Proshkin B.V., Andreeva Z.V. Hybridization of species of the genus *Populus* L. sections Aigeiros Lunell and Tacamahaca Mill. *Bulletin of NSAU*. 2018. No. 1. Pp. 16–34. (In Rus.)]

Костина М.В., Чиндяева Л.Н., Васильева Н.В. Гибридизация *Populus × sibirica* G. Krylov et Grig. ex Skvortsov и *P. nigra* L. в Новосибирске // *Социально-экологические технологии*. 2016. № 4. С. 20–31. [Kostina M.V., Chindyaeva L.N., Vasilieva N.V. Hybridization between *Populus × sibirica* G. Krylov et Grig. ex Skvortsov and *P. nigra* L. in Novosibirsk. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2016. No. 4. Pp. 20–31. (In Rus.)]

Прошкин Б.В., Климов А.В. Спонтанная гибридизация *Populus sibirica* и *Populus nigra* в городе Новокузнецке (Кемеровская область) // *Turczaninowia*. 2017. № 4. С. 206–218. [Proshkin B.V., Klimov A.V. Spontaneous hybridization of *Populus × sibirica* and *Populus nigra* in the city of Novokuznetsk (Kemerovo region). *Turczaninowia*. 2017. No. 4. Pp. 206–218. (In Rus.)]

Прошкин Б.В., Климов А.В. Изменчивость количественных и качественных признаков *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov // *Социально-экологические технологии*. 2019. Т. 9. № 2. С. 162–175. [Proshkin B.V., Klimov A.V. Variability of quantitative and qualitative traits of *Populus × sibirica* G.V. Krylov & G.V. Grig. ex A.K. Skvortsov. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2019. Vol. 9. No. 2. Pp. 162–175. (In Rus.)]



Скворцов А.К. О сибирском бальзамическом тополе // Бюллетень Главного ботанического сада. 2007. № 193. С. 41–45. [Skvortsov A.K. About Siberian Balsam Poplar. *Byulleten Glavnogo botanicheskogo sada*. 2007. No. 193. Pp. 41–45. (In Rus.)]

Chen L.H., Han Y., Jiang H. et al. Nitrogen nutrient status induces sexual differences in responses to cadmium in *Populus yunnanensis*. *J Exp Bot*. 2011. No. 62. Pp. 5037–5050.

Eckenwalder J.E. *Populus. Flora of North America – North of Mexico*. New York, 2010. Vol. 7. Pp. 5–22.

Jiang D., Wu G., Mao K., Feng J. Structure of genetic diversity in marginal populations of black poplar (*Populus nigra* L.). *Biochem. Syst. Ecol*. 2015. Vol. 61. Pp. 297–302. DOI: 10.1016/j.bse.2015.06.014

Macaya-Sanz D., Heuertz M., López-de-Heredia U. et al. The Atlantic-Mediterranean watershed, river basins and glacial history shape of the genetic structure of Iberian poplars. *Mol. Ecol*. 2012. Vol. 21. No. 14. Pp. 3593–3609.

Wu X., Liu J., Meng Q. et al. Differences in carbon and nitrogen metabolism between male and female *Populus cathayana* in response to deficient nitrogen. *Tree Physiol*. 2021. Vol. 9. No. 41 (1). Pp. 119–133.

Xia Z.C., He Y., Yu L. et al. Sex-specific strategies of phosphorus acquisition in *Populus cathayana* as affected by soil P availability and distribution. *New Phytol*. 2019. Vol. 225. Pp. 782–792.

Xu X., Yang F., Xiao X.W. et al. Sex specific responses of *Populus cathayana* to drought and elevated temperatures. *Plant Cell Environ*. 2008. Vol. 31. Pp. 850–860.

Zhang S., Jiang H., Zhao H.X. et al. Sexually different physiological responses of *Populus cathayana* to nitrogen and phosphorus deficiencies. *Tree Physiol*. 2014. Vol. 34. Pp. 343–354.

Zhang S., Yang C., Chen M. et al. Influence of nitrogen availability on Cd accumulation and acclimation strategy of *Populus* leaves under Cd exposure. *Ecotox Environ Safe*. 2019. Vol. 180. Pp. 439–448.

Zhao H., Li Y., Duan B. et al. Sex-related adaptive responses of *Populus cathayana* to photoperiod transitions. *Plant Cell Environ*. 2009. Vol. 32. Pp. 1401–1411.

Статья поступила в редакцию 07.09.2022, принята к публикации 14.10.2022

The article was received on 07.09.2022, accepted for publication 14.10.2022

#### Сведения об авторах / About the authors

**Прошкин Борис Владимирович** – кандидат биологических наук; старший научный сотрудник организационно-научного и редакционно-издательского отделения, Кузбасский институт Федеральной службы исполнения наказаний, г. Новокузнецк, Кемеровская обл.

**Boris V. Proshkin** – PhD in Biology; senior researcher at the Organizational-scientific and Editorial-publishing Department, KI of the FPS of Russia, Novokuznetsk, Kemerovo region, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2351-9879>

E-mail: boris.vladimirovich.93@mail.ru

**Климов Андрей Владимирович** – кандидат биологических наук; директор по научной работе, ООО «ИнЭкА-консалтинг»; доцент кафедры естественнонаучных дисциплин, Кузбасский гуманитарно-педагогический институт Кемеровского государственного университета, г. Новокузнецк, Кемеровская обл.

**Andrey V. Klimov** – PhD in Biology; scientific director, InEkA-Consulting LLC; associate professor at the Department of Natural Sciences, Kuzbass Humanitarian Pedagogical Institute of the Kemerovo State University, Novokuznetsk, Kemerovo region, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6750-4807>

E-mail: [populus0709@mail.ru](mailto:populus0709@mail.ru)

#### Заявленный вклад авторов

**Б.В. Прошкин** – анализ и интерпретация результатов обработки данных, подготовка текста статьи

**А.В. Климов** – общее руководство направлением исследования, обработка данных, участие в подготовке текста статьи

#### Contribution of the authors

**B.V. Proshkin** – analysis and interpretation of the results of data processing, preparation of the text of the article

**A.V. Klimov** – general management of the research direction, data processing, participation in the preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-377-396

Т.Ю. Толпышева

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
119991 г. Москва, Российская Федерация

## Калициоидные лишайники Московского региона: состояние и перспективы

Проведен анализ распространения и экологии калициоидных видов, встречающихся в Московском регионе. Согласно литературным данным и гербарному материалу, в регионе зарегистрировано 28 видов из 9 родов; выявлены в 5 районах и 16 городских округах области, а также в г. Москве. Степень распространения видов в регионе различается. Наибольшее число видов найдено на западе области: в Лотошинском районе и городских округах Клин и Можайск. Отсутствие видов калициоидных лишайников в некоторых районах и городских округах области может свидетельствовать о неравномерности изучения лишайников региона, а также может быть связано с климатическими различиями, характерными для разных мест области. Выявлены субстратные предпочтения видов. Большинство видов встречаются на коре деревьев и древесине. Из лиственных деревьев отдается предпочтение дубу и ольхе черной, из хвойных – сосне и ели. Узкая приуроченность к субстрату отмечена только у *Phaeocalicium polyporaеum* – плодовые тела трутовых грибов и у *Chaenotheca xyloxena* – сухая древесина. Дан ключ для определения видов.

**Ключевые слова:** калициоидные лишайники, экология, распространение лишайников, субстратная приуроченность лишайников, Московская область

**Благодарности.** Исследование выполнено в рамках научного проекта государственного задания Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова № 121032300081-7.

Автор выражает искреннюю благодарность кандидату биологических наук Л.Г. Бязрову за предоставленную информацию.

© Толпышева Т.Ю., 2022

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License  
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Толпышева Т.Ю. Калициоидные лишайники Московского региона: состояние и перспективы // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 4. С. 377–396. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-377-396

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-377-396

**T.Yu. Tolpysheva**

Lomonosov Moscow State University,  
Moscow, 119991, Russian Federation

## The calicioid lichens of Moscow region

The analysis of the distribution and ecology of calicioid species from Moscow region is carried out. According to the literature data and herbarium, 28 species from 9 genera have been registered in the region; exposed in 5 districts and 16 city districts of the region, as well as in Moscow. The degree of distribution of species in the region varies. Most species were found on the west region in the Lotoshinsk district, Klin and Mozhaisk districts. The absence of calicioid species in some districts and some urban districts of the region may indicate the uneven study of lichens in the region and may also be associated with climatic differences characteristic of different places in the region. The substrate confinement of the species was revealed. Most species are found on bark and wood. From deciduous trees preference is given to *Quercus robur* and *Alnus glutinosa*, from coniferous *Pinus sylvestris* and *Picea abies*. Only two species have narrow substrate confinement. *Phaeocalicium polyporaenum* expose on the *Polyporus* fruit body and *Chaenotheca xyloxena* – on the dry wood. The key for identification the species is given.

**Key words:** Calicioid lichens, ecology, distribution of lichens, substrate confinement of lichens, Moscow region

**Acknowledgments.** The research was carried out within the framework of the scientific project of the state task of the Lomonosov Moscow State University No. 121032300081-7. The author is sincerely grateful to Lev G. Byazrov, PhD in Biology, for information provided.

FOR CITATION: Tolpysheva T.Yu. The calicioid lichens of Moscow region. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 4. Pp. 377–396. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-377-396

## Введение

Калициоидные лишайники – широко распространенная группа аскомицетов, занимающая промежуточное положение между собственно грибами и лишайниками (лихенизированные грибы). Например, роды *Chaenothecopsis*, *Mycocalicium*, *Phaeocalicium*, *Stenocybe* не лихенизированы (фотобионт отсутствует), но лихенологи традиционно включают их в определители лишайников [Томин, 1956; Голубкова, 1966; Ромс, 1975; Tibell, 1975, 1999; Титов, 2006 и др.].

Из-за своих малых размеров виды этой группы обычно малозаметны в природе и нередко пропускаются сборщиками. Многие из них встречаются в сторовозрастных лесах со стабильным микроклиматом и чутко реагируют на малейшие изменения окружающей среды, вызванные хозяйственной деятельностью человека или воздействием биогенных факторов. Эта их особенность позволяет использовать такие виды в целях фоновое экологического мониторинга [Пчёлкин, 2003], как индикаторов естественных старых лесов [Бязров, 2002], способствует выявлению биологически ценных лесов [Выявление и обследование..., 2009].

К середине XX в. сведения о находках калициоидных лишайников в Московской области были обобщены Н.С. Голубковой, при этом многие виды были найдены также ею [Голубкова, 1966] (см. также гербарий LE). К этому времени список калициоидных лишайников включал 5 видов рода *Calicium*, 4 вида рода *Chaenotheca*, 2 вида рода *Coniocybe* и 1 вид рода *Stenocybe* [Голубкова, 1962]. Согласно современным данным, в настоящее время 3 вида относятся к другим родам: *Calicium subtile* Pers. → *Mycocalicium subtile* (Pers.) Szatala, *Coniocybe furfuracea* (L.) Ach. → *Chaenotheca furfuracea* (L.) Tibell, *Coniocybe pallida* (Pers.) Fr. → *Sclerophora pallida* (Pers.) Y.J. Yaj et Spooner, а один вид сведен в синоним: *Calicium sphaerocephalum* (L.) Ach. → *C. lenticulare* Ach.<sup>1</sup>

Проведение лихенологических работ в различных районах Московской области способствовало увеличению количества местообитаний, в которых были найдены калициоидные лишайники [Бязров, 1969; Мартин, Каннукене, Костенчук, 1978; Толпышева, 1993] (см. также гербарий MW). К 2009 г. на территории Московской области было

<sup>1</sup> Видовые названия приведены по Index Fungorum (<https://indexfungorum.org>).

зарегистрировано 20 видов из 7 родов порядка Caliciales s.l.: *Calicium*, *Chaenotheca*, *Chaenothecopsis*, *Mycocalicium*, *Sclerophora*, *Sphinctrina*, *Stenocybe* [Бязров, 2009a], из них 3 вида в г. Москве: *Calicium abietinum*, *Chaenotheca ferruginea* и *Sclerophora pallida* [Буткевич, 1985; Пчелкин, 2005б; Бязров, 2009б]. Расширение исследований в различных районах и городских округах Московской области также способствовало выявлению новых местообитаний уже известных видов и находкам новых видов [Пчелкин, 2005а; Нотов и др., 2008, 2018; Нотов, 2010; Мучник, 2017; Мучник, Благовещенская, Волоснова, 2018; Мучник, Благовещенская, 2019; Толпышева, 2020; Muchnik, Cherepenina, 2020; Черепинина, Мучник, 2020, 2021; Гудкова и др., 2022]. Возросло и количество видов на территории г. Москвы [Пчелкин, 2020; Гудкова и др., 2022].

Цель работы – оценить степень изученности калициоидных лишайников (*Caliciales* s. str.) и грибов на территории Московского региона.

### Материалы и методы

В работе использованы литературные источники, гербарий Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (MW), собственные данные и материалы, предоставленные Л.Г. Бязровым о видовом составе калициоидных лишайников и грибов Московского региона. Оценивалась степень изученности г. Москвы, районов и городских округов Московской области и приуроченность калициоидных видов к разным субстратам. Составлен ключ для определения калициоидных видов, встречающихся в Московском регионе.

### Результаты и обсуждение

К настоящему времени в Московском регионе выявлено 28 видов из 9 родов калициоидных грибов, включая лихенизированные и нелихенизированные таксоны.

Степень распространения видов в регионе различается: некоторые виды широко распространены, другие представлены единичными находками (табл. 1). Наибольшее число видов найдено на западе области в Лотошинском районе, в городских округах Клин и Можайск, где по площади преобладают еловые леса субнеморального (южнотаежного) типа с вкраплением заболоченных хвойных и мелколиственных лесов, переходных и верховых болот [Огуреева и др., 1996].

Многие виды калициоидных лишайников предпочитают развиваться во влажных, затененных местообитаниях, а в старовозрастных лесах количество местообитаний, отвечающих этим условиям, больше, чем на открытых пространствах или в разреженных лесных массивах.

Распространение калициоидных видов в Московском регионе  
 [Distribution of calicioid species in Moscow region]

Виды лишайников [Lichen species]	Территориально-административные единицы [Administrative districts]																							
	Волоколамский [Volookolamskiy]	Дмитровский [Dmitrovskiy]	г.о. Домодедово [Domodedovo]	г.о. Клин [Klin]	г.о. Королёв [Korolev]	г.о. Котельники [Kotelniki]	г.о. Ленинский [Leningkiy]	Лотошинский р-н [Лотошинский]	г.о. Можайск [Kotelniki]	г.о. Мытищи [Mytishchi]	Одинцовский р-н [Oditsovskiy]	г.о. Подольск [Podolsk]	г.о. Пушкинский [Pushkinskiy]	г.о. Раменский [Ramenskiy]	г.о. Руза [Ruza]	г.о. Сергиево-Посадский [Sergievo-Posadskiy]	Серпуховский р-н [Serpuhkovskoy]	г.о. Солнечногорск [Solnechnogorsk]	г.о. Талдомский [Taldomskiy]	Троицкий адм. о. [Troitskiy]	г. Москва [Moscow]	г.о. Щелково [Shchelkovko]	Общее число [Total number]	
<i>Calicium abietinum</i> Pers.									+								+		+				+	4
<i>C. glaucellum</i> Ach.								+										+						2
<i>C. lenticulare</i> Ach.									+						+				+					3
<i>C. pinastri</i> Tibell										+														1
<i>C. salicinum</i> Pers.				+							+													2
<i>C. trabinellum</i> Ach.				+				+	+						+			+		+				6
<i>C. viride</i> Pers.									+															1

Виды лишайников [Lichen species]	Территориально-административные единицы [Administrative districts]																Общее число [Total number]							
	Волоколамский [Volookolamskiy]	Дмитровский [Dmitrovskiy]	г.о. Домодедово [Domodedovo]	г.о. Клин [Klin]	г.о. Королёв [Korolev]	г.о. Котельники [Kotelniki]	г.о. Ленинский [Leningkiy]	Лотошинский р-н [Lotoshinskiy]	г.о. Можайск [Mozhayskiy]	г.о. Мытищи [Mytishchi]	Одинцовский р-н [Odintsovskiy]	г.о. Подольск [Podolsk]	г.о. Пушкинский [Pushkinskiy]	г.о. Раменский [Ramenskiy]	г.о. Руза [Ruza]	г.о. Сергиево-Посадский [Sergievo-Posadskiy]		Серпуховской р-н [Serpuhovskoy]	г.о. Солнечногорск [Solnechnogorskiy]	г.о. Талдомский [Taldomskiy]	Троицкий адм. о. [Troitskiy]	г. Москва [Moscow]	г.о. Щёлково [Shchyolkovo]	
<i>Chaenotheca brachypoda</i> (Ach.) Tibell							+																	1
<i>Ch. bruneola</i> (Ach.) Müll. Arg.		+					+									+								3
<i>Ch. chrysocephala</i> (Turner ex Ach.) Th. Fr.				+			+	+			+	+						+						6
<i>Ch. cinerea</i> (Pers.) Tibell							+																	1
<i>Ch. ferruginea</i> (Tuener ex Sm.) Migula				+	+		+	+		+	+	+	+				+	+				+		10
<i>Ch. furfuracea</i> (L.) Tibell				+	+	+	+		+	+	+	+	+			+				+		+		11



<i>Ch. hispidula</i> (Ach.) Zahlbr.				+				+		+									+		3	
<i>Ch. sphaerocephala</i> Nádv.											+									+		2
<i>Ch. stemonea</i> (Ach.) Müll. Arg.					+		+	+	+	+										+	+	8
<i>Ch. trichiales</i> (Ach.) Hellb.					+		+	+		+	+									+	+	8
<i>Ch. xyloxeia</i> Nádv.									+	+		+										3
<i>Chaenothecopsis</i> <i>pusilla</i> (Ach.) A.F.W. Schmidt																						2
<i>Ch. savonica</i> (Räsänen) Tibell																						2
<i>Ch. viridireagens</i> (Nádv.) A.F.W. Schmidt																						2
<i>Microcalicium</i> <i>arenarium</i> (Hampe ex A. Massal.) Tibell																						1
<i>M. disseminatum</i> (Ach.) Vain.																						1

Окончание табл. 1

Виды лишайников [Lichen species]	Территориально-административные единицы [Administrative districts]																						
	Волоколамский [Volookolamskiy]	Дмитровский [Dmitrovskiy]	г.о. Домодедово [Domodedovo]	г.о. Клин [Klin]	г.о. Королёв [Korolev]	г.о. Котельники [Kotelniki]	г.о. Ленинский [Leningkiy]	Лотошинский р-н [Lotoshinskiy]	г.о. Можайск [Kotelniki]	г.о. Мытищи [Mytishchi]	Одинцовский р-н [Odintsovskiy]	г.о. Подольск [Podolsk]	г.о. Пушкинский [Pushkinskiy]	г.о. Раменский [Ramenskiy]	г.о. Руза [Ruza]	г.о. Сергиево-Посадский [Sergievo-Posadskiy]	Серпуховской р-н [Serpuhovskoy]	г.о. Солнечногорск [Solnechnogorsk]	г.о. Талдомский [Taldonskiy]	Троицкий адм. о. [Troitskiy]	г. Москва [Moscow]	г.о. Щелково [Shchyolkovo]	Общее число [Total number]
<i>Mycocalicium subtile</i> (Pers.) Szatala				+	+				+										+				4
<i>Phaeocalicium polyporaenum</i> (Nyl.) Tibell					+					+													2
<i>Sclerophora pallida</i> (Pers.) Y.J. Yao et Spooner									+												+		2
<i>Sphinctrina anglica</i> Nyl.			+																				1
<i>Stenocybe pullatula</i> (Ach.) Stein	+								+		+								+				3
<b>Число видов [Number of species]</b>	1	1	1	12	5	1	2	17	15	4	6	5	7	1	2	2	4	1	6	2	7	1	

Примечание. Согласно современному административному делению Московской области, некоторые районы переименованы и называются «городские округа». Например, бывший Можайский район – это г.о. Можайск и т.д.

На западе области старовозрастных лесов много и практически отсутствуют крупные промышленные предприятия, что также способствует развитию калициоидных лишайников.

Различия в количестве калициоидных лишайников в разных районах и городских округах области может быть связано и с различиями климатических условий, характерных для разных территорий Московского региона [Мячкова, Сорокина, 1991]. Отсутствие видов калициоидных лишайников в некоторых районах и городских округах области также может свидетельствовать о неравномерности изучения лишайников региона.

Большинство калициоидных видов в г. Москве растут в лесных массивах [Пчелкин, 2005б, 2020; Бязров, 2009б; Гудкова и др., 2022]. Исключение *Sclerophora pallida*: найден на территории опытной станции сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева [Буткевич, 1985]. Это один из немногих видов, который встречается обычно в довольно открытых солнечных местообитаниях на лиственных деревьях, растущих вдоль дорог [Tibell, 1999].

Как правило, виды, широко распространенные на территории региона, такие как *Chaenotheca furfuracea*, *Ch. ferruginea*, *Ch. stemonea*, *Ch. trichiales*, освоили и наибольшее число субстратов (табл. 2). Эти же виды найдены на территории Москвы. *Ch. ferruginea* устойчив к загрязнению воздуха, поэтому, в отличие от многих других видов калициоидных лишайников, способен развиваться в загрязненных районах [Там же].

Калициоидные виды встречаются на коре различных деревьев. Из лиственных деревьев они предпочитают дуб, ольху черную и липу, а из хвойных – сосну и ель (см. табл. 2). Лиственница – интродуцированная в Московской области порода, посадок лиственницы мало, именно этим объясняется единичность находок лишайников на лиственнице. На дубе калициоидные лишайники обычно развиваются в трещинах коры, т.е. в более влажных и затененных условиях, чем на поверхности коркового слоя.

Наибольшее количество видов отмечено на древесине (см. табл. 2). Как и кора, древесина типичный субстрат для развития многих калициоидных лишайников [Ромс, 1975; Tibel, 1975, 1999]. *Ch. xyloxena* и *Muscocalicium subtile* росли на сухой древесине, остальные виды – на подгнивающей.

Калициоидные виды редко развиваются на почве. В Московском регионе на почве зарегистрирован один вид – *Chaenotheca furfuracea*.

Таблица 2

**Нахождение калициоидных видов на субстратах в Московском регионе**  
**[Location of calicioid species on substrates in Moscow region]**

Виды лишайников [Lichen species]	Виды субстратов [Types of substrates]														Число субстратов [Number of substrates]				
	Береза [Birch]	Вяз [Elm]	Дуб [Oak]	Ель [Fir]	Ива [Willow]	Клен [Maple]	Липа [Linden]	Лиственница [Larch]	Ольха серая [Gray alder]	Ольха черная [Black alder]	Осина [Aspen]	Сосна [Pine]	Черемуха [Bird cherry]	Древесина [Wood]		Лишайники [Lichens]	Трутовик [Tinder fungus]	Мхи [Mosses]	Почва [Soil]
<i>Calicium abietinum</i>			+	+			+					+							4
<i>C. glaucellum</i>												+		+					2
<i>C. lenticulare</i>			+																1
<i>C. pinastri</i>												+							1
<i>C. salicinum</i>												+		+					2
<i>C. trabinellum</i>												+		+					2
<i>C. viride</i>			+									+		+					3
<i>Chaenotheca brachypoda</i>										+	+								2
<i>Ch. bruneola</i>	+		+	+															3
<i>Ch. chrysocephala</i>		+	+	+			+					+		+					7
<i>Ch. cinerea</i>				+															1
<i>Ch. ferruginea</i>	+		+	+			+	+		+		+	+	+					9

<i>Ch. furfuracea</i>			+				+			+				+			+	+	6
<i>Ch. hispidula</i>			+							+	+			+					4
<i>Ch. sphaerocephala</i>												+							1
<i>Ch. stemonea</i>			+	+	+		+			+	+			+					7
<i>Ch. trichiales</i>	+		+	+	+	+	+							+					7
<i>Ch. xyloxa</i>			+											+					2
<i>Chaenothecopsis pusilla</i>							+			+		+		+					4
<i>Ch. savonica</i>					+					+				+					3
<i>Ch. viridireagens</i>										+				+					2
<i>Microcalicium arenarium</i>										+				+					2
<i>M. disseminatum</i>														+	+				2
<i>Mycocalicium subtile</i>	+		+									+		+					4
<i>Phaeocalicium polyporaem</i>																+			1
<i>Sclerophora pallida</i>		+	+			+	+												4
<i>Sphinctrina anglica</i>															+				1
<i>Stenocybe pullatula</i>									+	+									2
<b>Общее число видов [Total number of species]</b>	4	2	13	7	3	2	8	1	1	11	3	11	1	17	2	1	1	1	

Узкая субстратная амплитуда характерна только для *Phaeocalicium polyporaenum* и *Chaenotheca xyloxaena*. *Phaeocalicium polyporaenum* способен развиваться исключительно на плодовых телах некоторых видов трутовых грибов, а *Chaenotheca xyloxaena* – на древесине. Большинство других видов способно расти на большем количестве субстратов, а не только на древесном, на котором они в основном найдены в Московском регионе. Например, на плодовых телах трутовых грибов может быть найден вид *Ch. brachypoda*; изредка на почве может встречаться *Ch. stemonea*; на камнях *Ch. furfuracea*; на почве и на чешуйках видов родов *Cladonia* и *Hypocenomyce*, а также талломах других калициоидных лишайников – *Chaenothecopsis pusilla*; на талломах некоторых видов рода *Chaenotheca* и на колониях свободноживущих водорослей, развивающихся на древесине, могут быть найдены виды *Chaenothecopsis savonica*, *Ch. viridireagens* и *Microcalicium disseminatum*; на почве и кремнеземе – *M. arenarium* [Tibell, 1999].

Некоторые виды и даже роды калициоидных лишайников до сих пор не выявлены в Московском регионе, хотя они встречаются на сопредельных с Московским регионом территориях [Мучник и др., 2006; Кузнецова, Сказина, 2010; Нотов, 2010; Нотов, Гимельбрант, Урбанавичюс, 2011]. Несомненно, что при дальнейшем, более пристальном изучении этой группы, список видов и родов калициоидных лишайников, встречающихся в Московском регионе, может быть расширен.

Индикаторные способности калициоидных видов позволяют использовать их в фоновом экологическом мониторинге и в мониторинге состояния лесных массивов. Однако в определителях лишайников идентификация видов нередко возможна только после того, как определено семейство, к которому относится род, что затрудняет определение видов для целей мониторинга. Обобщенные ключи, в которые включены виды, относящиеся к разным родам, как правило, отсутствуют. Для специалистов, занимающихся мониторингом, это создает определенные трудности. Чтобы облегчить работу при использовании этих видов лишайников в целях мониторинга в Московском регионе, предлагается обобщенный ключ видов калициоидных лишайников и грибов.

## Выводы

В Московском регионе встречается 28 видов из 9 родов калициоидных грибов, включая лишенизированные и нелишенизированные таксоны.

Степень распространения видов в регионе различается. Отсутствие видов калициоидных лишайников в некоторых районах и городских округах области может свидетельствовать о неравномерности изучения

лишайников региона, а также может быть связано с климатическими различиями, характерными для разных мест области.

Виды, наиболее широко распространенные в Московском регионе, освоили и наибольшее количество субстратов.

Из лиственных деревьев калициоидные виды предпочитают дуб, ольху черную и липу, а из хвойных деревьев – сосну и ель.

Составлен обобщенный ключ для определения калициоидных видов, встречающихся в Московском регионе.

### Ключ для определения видов калициоидных лишайников Московского региона

- |  |                                   |
|--|-----------------------------------|
| 1. На плодовых телах трутовых грибов, апотеции до 1 мм высотой, все части апотециев от К(-) и HNO <sub>3</sub> (-) не изменяются, апикальная утолщенная часть сумки с каналом, сумки 80–100 × 3,5–4,5 мкм, споры 10–13 × 3,2–5 мкм, бесцветные до светло-коричневатых, гладкие ..... | <i>Phaeocalicium polyporaenum</i> |
| На других субстратах .....   | 2                                 |
| 2. Споры одноклеточные .....   | 3                                 |
| Споры 2-клеточные, многоклеточные .....  | 18                                |
| 3. Споры шаровидные, субглобозные .....  | 4                                 |
| Споры эллипсоидные .....   | 16                                |
| 4. Мазедий черный, апотеции 0,2–0,4 мм высотой, споры субглобозные, 7–10 мкм в диаметре, темно-коричневые, мелкобородавчатые .....   | <i>Sphinctrina anglica</i>        |
| Мазедий коричневый, споры шаровидные, орнаментированные .....  | 5                                 |
| 5. Споры бесцветные, шаровидные, бородавчатые, 7–8 мкм, мазедий светло-коричневый, апотеции 0,4–0,7 мкм высотой, снизу с желтоватым или беловатым налетом, ножка с желтоватым налетом, фотобионт <i>Trentepohlia</i> .....   | <i>Sclerophora pallida</i>        |
| Споры коричневые .....   | 6                                 |
| 6. Нижняя часть головки апотеция и ножка с желтоватым, желтовато-зеленоватым налетом .....   | 7                                 |
| Нижняя часть головки апотеция и верхняя часть ножки с беловатым налетом .....  | 10                                |
| 7. Таллом желтый, желтовато-зеленоватый .....  | 8                                 |
| Таллом погруженный, споры шаровидные .....   | 9                                 |
| 8. Апотеции 0,6–1,3 мм высотой, фотобионт <i>Trebouxia</i> , споры субглобозные до шаровидных, 6–9 × 4–5 мкм, орнаментированные, трещиноватые .....  | <i>Chaenotheca chrysocephala</i>  |
| Апотеции 1,6–2,6 мм высотой, фотобионт <i>Stichococcus</i> , споры шаровидные, 2,3–3 мкм в диаметре, мелкобородавчатые .....   | <i>Ch. furfuracea</i>             |

9. Фотобионт *Trentepohlia*, апотеции 0,5–1 мм высотой, споры 5–8 мкм в диаметре ..... *Chaenotheca hispidula*  
 Фотобионт *Stichococcus*, апотеции 0,4–1,4 мм высотой, споры 3–4 мкм в диаметре ..... *Ch. brachypoda*
10. Таллом беловатый, беловато-зеленоватый, с рыжими, ржавыми пятнами, которые от К(+) краснеют, фотобионт *Trebouxia*-типа ..... *Ch. ferruginea*  
 Таллом погруженный или поверхностный, от К(-) не изменяется ..... 11
11. Фотобионт *Trebouxia*-типа, таллом поверхностный, зернистый, ножка с сероватым налетом, апотеции 1,1–1,5 мм высотой, споры 3–4,5 мкм в диаметре ..... *Ch. sphaerocephala*  
 Фотобионт *Stichococcus* или *Dictyochloropsis*, споры шаровидные ..... 12
12. Таллом погруженный, ножка черная, блестящая, с фотобионтом *Dictyochloropsis*, апотеции 0,5–1,5 мм высотой, споры 3,5–4,5 мкм в диаметре ..... *Ch. brunneola*  
 Фотобионт *Stichococcus* ..... 13
13. Таллом в виде тонкого, серовато-зеленоватого налета, от Р(+) становится оранжевым, апотеции 0,7–1,6 мм высотой, ножка с налетом от беловатого до коричневатого, споры 3,5–4 мкм в диаметре ..... *Ch. stemonea*  
 Таллом зернистый, изредка в виде тонкого налета, от Р(-) не изменяется, или погруженный, ножка с беловатым налетом ..... 14
14. Апотеции до 1 мм высотой, споры 4,5–5,5 мкм в диаметре ..... *Ch. cinerea*  
 Апотеции более 1 мм высотой, споры 3–4 мм в диаметре ..... 15
15. Таллом погруженный, апотеции 0,9–1,6 мм высотой ..... *Ch. xyloxena*  
 Таллом зернистый, изредка до мелкочешуйчатого, зеленовато-серый до светло-коричневого, апотеции 1–1,9 мм высотой ..... *Ch. trichiales*
16. Мазедий коричневый без склеротизированных гиф, апотеции 0,6–1,8 мм высотой, ножки черные или сероватые, споры темно-коричневые, орнаментированные, 6–7 × 2–2,5 мкм ..... *Microcalicium arenarium*  
 Мазедий отсутствует, споры внутри сумок ..... 17
17. Сумки без канала внутри апикального утолщения, 39–42 × 3–3,5 мкм, споры слегка веретеновидные, темно-коричневые, гладкие, 7–8 × 3,5–4 мкм, апотеции 0,5–0,8 мм высотой ..... *M. subtile*  
 Сумки с каналом внутри апикального утолщения, 28–37 × 2–3 мкм, споры с закругленными концами, светло-коричневые, гладкие, 4,5–7,0 × 2–3 мкм, апотеции 0–5–1,3 мм высотой, от К(-) не изменяются, аскорарп на разрезе зеленый ..... *Chaenothecopsis savonica*
18. Мазедий отсутствует ..... 19  
 Мазедий имеется ..... 21



19. Сумки более 65 мкм длиной, сильно и равномерно утолщенные, без канала в апикальном утолщении, споры 2–4-клеточные, 11–16 × 4–5 мкм, коричневые, мелкобурдавчатые, апотеции 0,5 мм высотой ..... *Stenocybe pullatula*
- Сумки менее 55 мкм длиной, апекс сильно утолщен и пронизан каналом, споры 2-клеточные ..... 20
20. Апотеции местами с красноватым пигментом, который от К(+) зеленеет, споры светло-коричневые, гладкие, 6–7 × 2–3 мкм, апотеции 0,6–1,4 мм высотой ..... *Chaenothecopsis viridireagens*
- Апотеции без красноватого пигмента, от К(-), HNO<sub>3</sub>(-) не изменяются, споры 6–7 × 2–3 мкм, коричневые, гладкие, с перегородкой менее контрастной, чем стенка ..... *Ch. pusilla*
21. Споры светлые, слегка зеленоватые, 2–4-клеточные, 11–13 × 3–4 мкм, старые споры 5–6-клеточные до 28 мкм длиной, сумки булабовидные, апотеции сидячие или на очень короткой ножке, 0,1–0,2 мм высотой ..... *Microcalicium disseminatum*
- Споры темно-коричневые, 2-клеточные, мазедий черный ..... 22
22. Таллом от К(+) желтеет, от КС(+) желтеет, становится оранжевым, от Р(±) желтеет или не изменяется, от С(-) не изменяется, апотеции 0,9–1,1 мм высотой, с коричневым налетом, ножка и эксципул от J(-) не изменяются, сумки цилиндрические, споры 8–10 × 3,5–4,5 мкм ..... *Calicium salicinum*
- Таллом от К(-), С(-), КС(-), Р(-) не изменяется ..... 23
23. Апотеции менее 0,5 мм высотой, без налета, ножка и эксципул от J(-) не изменяются, сумки цилиндрические, споры 9,5–13,5 × 5–6,5 мкм ..... *C. pinastri*
- Апотеции более 0,5 мм высотой ..... 24
24. Апотеции с желтоватым налетом, ножка и эксципул от J(-) не изменяются, сумки цилиндрические, споры 10–11 × 5–6 мкм ..... *C. trabinellum*
- Апотеции без желтоватого налета ..... 25
25. Ножка и эксципул от J(+) синеют или чернеют, апотеции без налета или с беловатым налетом, ножка черная или красновато-коричневая, сумки узко-булабовидные, споры 11–12 × 6–7 мкм ..... *C. lenticulare*
- Ножка и эксципул от J(-) не изменяются ..... 26
26. Апотеции с коричневым налетом, сумки булабовидные, споры 12–14 × 6–7 мкм ..... *C. viride*
- Апотеции без налета или с беловатым налетом, сумки цилиндрические ..... 27
27. Апотеции с беловатым налетом, таллом погруженный или в виде темного серовато-зеленого налета, сумки 38–48 × 4–5 мкм ..... *C. glaucellum*
- Апотеции без налета, таллом погруженный, сумки 49–60 × 4–5 мкм ..... *C. abietinum*

## Библиографический список / References

Буткевич Н.А. Эпифитная флора в районе опытной станции лесоводства Московской сельскохозяйственной академии // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 1985. Т. 8. С. 72–74. [Butkevich N.A. Epiphytic flora in the area of the forestry experimental station of the Moscow Agricultural Academy. *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*. 1985. Vol. 8. Pp. 72–74. (In Rus.)]

Бязров Л.Г. Синузии эпифитных лишайников в широколиственно-еловых лесах Подмосквья // Ботанический журнал. 1969. Т. 54. № 2. С. 239–249. [Byazrov L.G. Synusia of epiphytic lichens in broad-leaved spruce forests of the Moscow region. *Botanicheskii Zhurnal*. 1969. Vol. 54. No. 2. Pp. 239–249. (In Rus.)]

Бязров Л.Г. Лишайники в экологическом мониторинге. М., 2002. [Byazrov L.G. Lishainiki v ekologicheskom monitoring [Lichens in ecological monitoring]. Moscow, 2002.]

Бязров Л.Г. Видовой состав лишенобиоты Московской области. Версия 2. 2009а. URL: [http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov\\_msk.html](http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov_msk.html) (дата обращения: 10.05.2022) [Byazrov L.G. Vidovoi sostav likhenobioty Moskovskoi oblasti. Versiya 2 [Species composition of the lichen biota of the Moscow region. Version 2]. 2009. URL: [http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov\\_msk.html](http://www.sevin.ru/laboratories/biazrov_msk.html)].

Бязров Л.Г. Эпифитные лишайники г. Москвы: современная динамика видового разнообразия. М., 2009б. [Byazrov L.G. Epifitnye lishainiki g. Mosky: sovremennaya dinamika vidovogo raznoobraziya [Epiphytic lichens of Moscow city: Recent changes of species diversity]. Moscow, 2009.]

Выявление и обследование биологически ценных лесов на Северо-Западе Европейской части России. Т. 2. Пособие по определению видов, используемых при обследовании на уровне выделов / Отв. ред. Л. Андерссон, Н.М. Алексеева, Е.С. Кузнецова. СПб, 2009. [Viyavlenie i obsledovanie biologicheskii tsennykh lesov na Severo-Zapade Evropeiskoi chasti Rossii [Survey of biologically valuable forests in North-West European Russia]. Vol. 2. Identification manual of species to be used during survey at stand level. L. Anderson, N.M. Alekseeva, E.S. Kuznetsova (eds.). St. Petersburg, 2009.]

Голубкова Н.С. Флора лишайников Московской области: Дис. ... канд. биол. наук. Л., 1962. [Golubkova N.S. Flora lishainikov Moskovskoi oblsti [Flora of lichens in the Moscow region]. PhD dis. Leningrad, 1962.]

Голубкова Н.С. Определитель лишайников средней полосы Европейской части СССР. М.-Л., 1966. [Golubkova N.S. Opredelitel lishainikov Srednej polosity Evropejskoi chasti Rossii [Handbook of lichens in the middle zone of the European part of the USSR]. Moscow; Leningrad, 1966.]

Гудкова Е.П., Благовещенская Е.Ю., Мучник Е.А. К изучению биоты калициоидных национального парка «Лосиный остров» (Московский регион) // Современная микология в России. Т. 9. Материалы Пятого съезда микологов России. М., 2022. С. 73–75. [Gudkova E.P., Blagoveshchenskaya E.Yu., Muchnik E.E. To the study of the biota of calicioids of the Losiny Ostrov National Park (Moscow

Region). *Sovremennaya mikologia v Rossii*. Vol. 9. Materials of the Fifth Congress of Russian Mycologists. Moscow, 2022. Pp. 73–75. (In Rus.)]

Дополнение к лишенобиоте Тверской и Московской областей / Нотов А.А., Урбанавичюс Г.П., Гимельбрант Д.Е., Титов А.Н. // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 2008. Т. 113. Вып. 6. С. 78–82. [Notov A.A., Urbanavichus G.P., Gimelbrant D.E., Titov A.N. Addition to the lichenobiota of the Tver and Moscow regions. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*. 2008. Vol. 113. No. 6. Pp. 78–82. (In Rus.)]

Кузнецова Е.С., Сказина М.А. К изучению лишайников Костромской области // Новости систематики низших растений. 2010. Т. 44. С. 200–213. [Kuznetsova E.S., Skazkina M.A. To the study of lichens of the Kostroma region. *Novosti sistematiki nizshikh rastenii*. 2010. Vol. 44. Pp. 200–213. (In Rus.)]

Мартин Л., Каннукене Л., Костенчук Н.А. Лишайники и мхи как показатели состояния окружающей среды Приокско-Тerrasного заповедника // Лихеноиндикация состояния окружающей среды: Материалы Всесоюз. конф. 3–5 окт. 1978 г. Таллин, 1978. С. 49–56. [Martin L.N., Kannukene L., Kostenchuk N.A. Lichens and mosses as indicators of the state of the environment in the Prioksko-Terrasny Reserve. *Likhenoidikatsiya sostoyaniya okruzhayushchei sredy*. Tallinn, 1978. Pp. 49–56. (In Rus.)]

Мучник Е.Э. Лишенобиота как индикатор состояния дубравных сообществ в Московском регионе // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. 2017. Т. XXVIII. № 6. С. 5–23. DOI: 10.21513/0207-2564-2017-6-5-23 [Muchnik E.E. Lichenobiota as an indicator of the state of oak communities in the Moscow region. *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*. 2017. Vol. XXVIII. No. 6. Pp. 5–23. DOI: 10.21513/0207-2564-2017-6-5-23 (In Rus.)]

Мучник Е.Э., Благовещенская Е.Ю. Материалы к изучению лишенобиоты заказника «Звенигородская биостанция МГУ» и карьер «Сима» (Московская область) // Межрегиональная научная конференция «Изучение и сохранение биоразнообразия Тульской области и сопредельных регионов Российской Федерации», посвященная 120-летию со дня рождения Геннадия Николаевича Лихачёва. 20–22 ноября 2019 г. Тула, 2019. С. 208–216. [Muchnik E.E., Blagoveshchenskaya E.Yu. Materials for the study of lichen biota of the reserve “Zvenigorodskaya biostantsiya MGU” i karer “Sima” (Moscow region). *Izuchenie i sokhranenie bioraznoobraziya Tulskey oblasti i sopredelnykh regionov Rossiyskoy Federatsii*. Tula, 2019. Pp. 208–216. (In Rus.)]

Мучник Е.Э., Благовещенская Е.Ю., Волоснова Л.Ф. К распространению *Phaeocalicium polyporaеum* (Mycocaliciaceae, Ascomycota) в Европейской части России // Микология и фитопатология. 2018. Т. 52. Вып. 2. С. 150–152. [Muchnik E.E., Blagoveshchenskaya E.Yu., Volosnova L.F. On the distribution of *Phaeocalicium polyporaеum* (Mycocaliciaceae, Ascomycota) in the European part of Russia. *Mycology and Phytopathology*. 2018. Vol. 52. No. 2. Pp. 150–152. (In Rus.)]

Материалы к лесной лишенобиоте Ярославской области (Россия). I. Калициоидные лишайники и грибы / Мучник Е.Э., Добрыш А.А., Макарова И.И., Титов А.Н. // Материалы международного совещания «Флора лишайников

России: состояние и перспективы исследований», посвященного 120-летию со дня рождения В.П. Савича. СПб., 2006. С. 158–166. [Muchnik E.E., Dobrysh A.A., Makarova I.I., Titov A.N. Materials for the forest lichen biota of the Yaroslavl region (Russia). I. Calicioid lichens and fungi. *Materialy mezhdunarodnogo soveshchaniya «Flora lishaynikov Rossii: sostoyanie i perspektivy issledovaniy»*, posvyashchennogo 120-letiyu so dnya rozhdeniya V.P. Savicha. St. Petersburg, 2006. Pp. 258–166. (In Rus.)]

Мячкова Н.А., Сорокина В.Н. Климат Московской области. М., 1991. [Myachkova N.A., Sorokina V.N. *Klimat Moskovskoi oblasti* [Climate of the Moscow region]. Moscow, 1991.]

Нотов А.А. Национальный парк «Завидово». Сосудистые растения, мохообразные, лишайники / Отв. ред. В.И. Фертиков. М., 2010. [Notov A.A. *Natsionalnyi park “Zavidovo”*. Sosudistye rasteniya, mokhoobraznye, lishainiki [National park “Zavidovo”. Vascular plants, bryophytes, lichens]. V.I. Fertikov (ed.). Moscow, 2010.]

Нотов А.А., Гимельбрант Д.Е., Урбанавичюс Г.П. Аннотированный список лишенофлоры Тверской области. Тверь, 2011. [Notov A.A., Gymelbrant D.E., Urbanavichus G.P. *Annotirovanny spisok likhenoflory Tverskoi oblasti* [Annotated list of lichen flora of the Tver region]. Tver, 2011.]

Нотов А.А., Нотов В.А., Фертиков В.И. О распространении некоторых редких и охраняемых видов лишайников в Московской части национального парка «Завидово» // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2018. № 1. С. 138–150. [Notov A.A., Notov V.A., Fertikov V.I. On the distribution of some rare and protected lichen species in the Moscow part of the Zavidovo National Park. *Bulletin of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2018. No. 1. Pp. 138–150. (In Rus.)]

Пчёлкин А.В. Использование эпифитных лишайников для фонового экологического мониторинга регионального и континентального масштабов в России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2003. Т. 19. С. 111–129. [Pchelkin A.V. Use of epiphytic lichens in background ecological monitoring regional and continental scale in Russia. *Environmental Monitoring and Ecosystem Modelling*. 2003. Vol. 19. Pp. 111–129. (In Rus.)]

Пчёлкин А.В. Распространение эпифитных лишайников в Приокско-Террасном заповеднике // Экосистемы Приокско-Террасного заповедника. Пушино, 2005а. С. 91–94. [Distribution of epiphytic lichens in the Prioksko-Terrasny Reserve. *Ekosistemy Prioksko-Terrasnogo zapovednika*. Pustchino, 2005. Pp. 91–94. (In Rus.)]

Пчёлкин А.В. Сравнение флоры лишайников Москвы и Приокско-Террасного заповедника // Экосистемы Приокско-Террасного заповедника. Пушино, 2005б. С. 95–104. [Pchiolkin A.V. Comparison of the lichen flora of Moscow and the Prioksko-Terrasny Reserve. *Ekosistemy Prioksko-Terrasnogo zapovednika*. Pustchino, 2005. Pp. 95–104. (In Rus.)]

Пчёлкин А.В. Распространение лишайников на городской части национального парка «Лосиный остров» // Современная микология в России. Т. 8. Материалы 4-го съезда микологов России. М., 2020. С. 175–176. [Pchiolkin A.V. Distribution of lichens in the urban part of the Losiny Ostrov National Park. *Sovremennaya*

*mikologia v Rossii*. Vol. 8. Materials of the 4<sup>th</sup> Congress of mycologists of Russia. Moscow, 2020. Pp. 175–176. (In Rus.)]

Растительность Московской области. Карта растительности. Масштаб 1 : 200 000. Пояснительный текст и легенда к карте / Огуреева Г.Н., Микляева И.М., Сулова Е.Г., Швергунова Л.В. М., 1996. [Ogureeva G.N., Miklyaeva I.M., Suslova E.G., Shvergunova L.V. Rastitelnost Moskovskoi oblasti. Karta rastitelnosti. Masshtab 1 : 200 000. Poyasnitelnyi tekst i legenda k karte [Vegetation of the Moscow region. Vegetation map. Scale 1 : 200 000. Explanatory text and map legend]. Moscow, 1996.]

Ромс Е.Г. Сем. Caliciaceae // Определитель лишайников СССР. Л., 1975. Т. 3. С. 7–36. [Roms E.G. Sem. Caliciaceae. *Opredelitel lishainikov SSSR*. Leningrad, 1975. Vol. 3. Pp. 7–36. (In Rus.)]

Толпышева Т.Ю. Изменение лишайнофлоры окрестностей Чашниково (1951–1988) // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 1993. Т. 15. С. 180–192. [Tolpysheva T.Yu. Changes in the lichen flora of the environs of Chashnikovo (1951–1988). *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*. 1993. Vol. 15. Pp. 180–192. (In Rus.)]

Толпышева Т.Ю. Лишайники парка «Поречье» и их охрана // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. 2020. Т. 125. Вып. 5. С. 52–57. [Tolpysheva T.Yu. Lichens of Porechie Park and their protection *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*. 2020. Vol. 125. No. 5. Pp. 44–49. (In Rus.)]

Томин М.П. Определитель корковых лишайников европейской части СССР. Мн., 1956. [Tomin M.P. *Opredelitel korkovykh lishainikov evropejskoi chasti SSSR* [Handbook of crustose lichens in the European part of the USSR]. Minsk, 1956.]

Титов А.Н. Микокалициевые грибы Голарктики. М., 2006. [Titov A.N. *Mikokalicievye griby Golarkтики* [Mycocalicioid fungi (the order Mycocaliciales) of Holarctic]. Moscow, 2006.]

Черепина Д.А., Мучник Е.Е. К изучению лишайнофлоры парков музея-заповедника Д.А. Менделеева и А.В. Блока (Московская область) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. 2021. Т. 20. № 2. Special issue “Kamelinsky Readings”. С. 158–168. [Cherepinina D.A., Muchnik E.E. To the study of the lichen flora of the parks of the Museum-Reserve D.A. Mendeleev and A.V. Blok (Moscow region). *Problemy botaniki Yuzhnoi Sibiri i Mongolii*. 2021. Vol. 20. No. 2. Pp. 158–168. (In Rus.)]

Черепина Д.А., Мучник Е.Е. Предварительные данные о лишайнобиоте парка музея-заповедника «Горки Ленинские» (Московская область) // Экосистемы. 2020. Вып. 24. С. 63–74. [Cherepinina D.A., Muchnik E.E. Preliminary data on the lichenobiota of the Gorki Leninskiye Park Museum-Reserve (Moscow Region). *Ekosistemy*. Vol. 24. Pp. 63–74. (In Rus.)]

Muchnik E.E., Cherepinina D.A. Lichens and allied fungi of old parks of three museum-reserves in Moscow Region (Russia). *Folia Cryptogamica Estonica*. 2020. Fasc. 57. Pp. 37–48. DOI: 10.12697/fce.2020.57.06

Tibell L. The Caliciales of boreal North America. *Symbol. Bot. Upsal*. 1975. Vol. 21. No. 2. Pp. 1–128.

Tibell L. Caliciales. *Nordic Lichen Flora*. 1999. Vol. 1. Pp. 20–71.

Статья поступила в редакцию 21.08.2022, принята к публикации 11.09.2022  
The article was received on 21.08.2022, accepted for publication 11.09.2022

#### Сведения об авторе / About the author

**Толпышева Татьяна Юрьевна** – доктор биологических наук; ведущий научный сотрудник кафедры микологии и альгологии биологического факультета, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

**Tatiana Yu. Tolpysheva** – Dr. Biol. Hab.; leading researcher at the Department of Mycology and Algology of Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University

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

Оригинальное исследование

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-397-417

**Э.Г. Рябова**

Московский педагогический государственный университет,  
119435 г. Москва, Российская Федерация

## Оценка содержания тяжелых металлов в рекреационных водных объектах (г. Дзержинский Московская агломерация) за период 2006–2020 гг.

Статья посвящена мониторингу состояния водных объектов рекреационного назначения в г. Дзержинском (Московская агломерация). Исследования водных объектов проводились в 2006, 2017 и 2020 гг. Лабораторный анализ на содержание валовых форм тяжелых металлов проводился в одной и той же лаборатории по единым методикам, что позволяет провести сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в данных водных объектах за период с 2006 по 2020 гг. В 2020 г. наблюдается снижение концентраций таких тяжелых металлов, как Pb, Cd, Fe и Mn, по сравнению с 2006 г. Так, содержание кадмия в 2020 г. составляло 0,006–0,017 мг/л по сравнению с данными 2006 г., когда концентрация составляла 0,022–0,028 мг/л. Содержание железа и марганца также снизилось в 2020 г. по сравнению с 2006 г. Так, содержание железа колебалось 0,5–1,2 ПДК в 2020 г. (по сравнению с 0,9–2,6 ПДК в 2017 г. и 0,4–2,4 ПДК в 2006 г.). Содержание марганца в водоемах варьировалось 0,3–2,4 ПДК, тогда как в 2017 и 2006 гг. значения были 0,7–3,6 ПДК и 4,6–21,7 ПДК соответственно. По свинцу, за исключением одной точки, наблюдается снижение концентраций

© Рябова Э.Г., 2022



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License  
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

в 2020 г. в 3–4 раза по сравнению с 2006 г. В целом, в 2020 г. наблюдается тенденция на снижение концентраций тяжелых металлов в водных объектах г. Дзержинский, что предположительно связано с действовавшими в городе ограничениями в связи с COVID-19. Однако, несмотря на тенденцию к улучшению, все городские водные объекты по-прежнему испытывают существенное антропогенное воздействие и в значительной мере загрязнены тяжелыми металлами.

**Ключевые слова:** мониторинг поверхностных водных объектов, содержание тяжелых металлов в водоемах, рекреационные зоны, динамика загрязнения водоемов г. Дзержинского по тяжелым металлам, Московская область, Московская агломерация

Для ЦИТИРОВАНИЯ: Рябова Э.Г. Оценка содержания тяжелых металлов в рекреационных водных объектах (г. Дзержинский Московская агломерация) за период 2006–2020 гг. // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 4. С. 397–417. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-397-417

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-397-417

**E.G. Riabova**

Moscow Pedagogical State University,  
Moscow, 119435, Russian Federation

## Assessment of the content of heavy metals in recreational water bodies in Dzerzhinsky town (Moscow agglomeration) during 2006–2020

The article is devoted to monitoring the state of recreational water bodies in Dzerzhinsky town (Moscow agglomeration). Studies of water bodies were carried out in 2006, 2017 and 2020. Laboratory analysis for the content of gross forms of heavy metals was carried out in the same laboratory using uniform methods, which allows for a comparative analysis of the content of heavy metals in these water bodies for the period from 2006 to 2020.



In 2020, there is a decrease in the concentrations of heavy metals such as Pb, Cd, Fe and Mn compared to 2006. So, the content of cadmium in 2020 was 0.006–0.017 mg/l compared with the data of 2006, when the concentration was 0.022–0.028 mg/l. The content of iron and manganese also decreased in 2020 compared to 2006. So, the iron content fluctuated between 0.5–1.2 MPC in 2020 (compared to 0.9–2.6 MPC in 2017 and 0.4–2.4 MPC in 2006). Manganese content in water bodies varied by 0.3–2.4 MPC, while in 2017 and 2006 the values were 0.7–3.6 MPC and 4.6–21.7 MPC, respectively. As to lead, with the exception of point 1 (the Moskva River behind the monastery), there is a decrease in Pb concentrations in 2020 by 3–4 times compared to 2006. In general, in 2020, there is a trend towards a decrease in HM concentrations in the water bodies of the town of Dzerzhinsky, which is presumably due to the COVID-19 restrictions. However, despite the trend towards improvement, all urban water bodies still experience significant anthropogenic impact and are heavily polluted with heavy metals.

**Key words:** monitoring of surface water bodies, content of heavy metals in water bodies, recreational areas, dynamics of pollution of water bodies in Dzerzhinsky for heavy metals, Moscow region, Moscow agglomeration

FOR CITATION: Riabova E.G. Assessment of the content of heavy metals in recreational water bodies in Dzerzhinsky town (Moscow agglomeration) during 2006–2020. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 4. Pp. 397–417. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-397-417

## Введение

Водные объекты играют значительную роль в формировании городской среды. Исторически города строились по берегам рек и озер. Водотоки имели решающее значение в обеспечении населения питьевой водой, служили транспортными путями. В то же время реки играют значительную роль в удалении жидких и твердых отходов жизнедеятельности человека, промышленных стоков, что приводит к значительному загрязнению и ухудшению качества воды [Экология города..., 2004, с. 81]. Известно немало примеров, когда именно загрязненные водные объекты становились источниками вспышек различного рода инфекционных заболеваний.

Городские водные объекты можно подразделить на поверхностные водные объекты (водотоки, водоемы, моря) и подземные воды. В свою очередь, водотоки подразделяются на реки, каналы и ручьи; а водоемы – на озера, водохранилища и пруды [Там же, с. 80–81].

В настоящее время проблема загрязнения водных объектов и ухудшения качества воды является глобальной, что подтверждается существованием отдельной цели устойчивого развития – ЦУР 6 «Чистая вода и санитария»<sup>1</sup>. Главными источниками загрязнения остаются бытовые и промышленные сточные воды, а также стоки с сельскохозяйственных угодий. Среди основных загрязняющих веществ можно отметить органические вещества, нитриты, нитраты, ион аммония, фосфаты, тяжелые металлы. Повсеместно распространено микробиологическое загрязнение водных объектов.

В России на протяжении десятилетий наиболее распространенными загрязняющими веществами также являются органические вещества (по БПК<sub>5</sub> и ХПК), соединения меди, железа, цинка, фенолы и нефтепродукты. Согласно данным Ежегодника «Качество поверхностных вод Российской Федерации», наиболее высокий уровень загрязнения воды водных объектов в 2020 г. по тяжелым металлам отмечен для соединений меди, цинка, никеля, марганца (10–100 ПДК); по соединениям кадмия в 2019 г. превышение составляло 10–30 ПДК, а по соединениям мышьяка и молибдена – до 10 ПДК [Росгидромет, 2020, с. 17]. Все перечисленные выше проблемы характерны и для Центрального федерального округа, включая Московскую область. По данным Росгидромета, 68,3% всех исследованных створов на территории Московской области характеризовалось 4 классом качества воды («грязная» или «очень грязная») и еще 10% – 5 классом качества – «экстремально грязная» вода [Росгидромет, 2021, с. 53–56].

Приоритетное значение с позиций санитарной токсикологии среди этой группы имеют свинец, ртуть, кадмий и мышьяк как вещества, обладающие высокой токсичностью, способностью накапливаться в организме и обуславливать отдаленные последствия – мутагенные и канцерогенные (для мышьяка и свинца) [Будников, 1998, с. 23].

Влияние исследуемых в данной работе тяжелых металлов на здоровье человека представлено в табл. 1.

Ежегодно проводимые исследования отмечают наличие тяжелых металлов в воде и донных отложениях в водных объектах по всему миру, однако в большинстве своем их опасные концентрации фиксируются в водоемах развивающихся стран, в первую очередь государств Юго-Восточной Азии [Ding, 2019, p. 2–4], Бразилии и др. [Prestes et al., 2006, p. 56]. В европейском регионе содержание тяжелых металлов

<sup>1</sup> ООН. Цели в области устойчивого развития. Цель 6: Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех. URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/water-and-sanitation/> (дата обращения: 1.05.2022).

**Влияние повышенных концентраций тяжелых металлов на организм человека**  
**[The impact of elevated concentrations of heavy metals on the human body]**

<b>Тяжелые металлы</b> <b>[Heavy metals]</b>	<b>Органы, в которых депонируются</b> <b>[Organs where they are deposited]</b>	<b>Влияние повышенных концентраций на организм человека</b> <b>[The effect of elevated concentrations on the human body]</b>
Cd	Преимущественно почки и костная ткань; реже – печень [Mainly kidneys and bone tissue; less often – the liver]	Повреждение костной ткани, остеомаляция, болезнь «итай-итай»; разрушение эритроцитов, анемия; эмбриотоксическое действие; мутагенное и канцерогенное действие; заболевания почек, почечная недостаточность; цирроз печени [Damage to bone tissue, osteomalacia, itai-itai disease; destruction of red blood cells, anemia; embryotoxic effect; mutagenic and carcinogenic effects; kidney disease, kidney failure; cirrhosis]
Pb	Преимущественно костная ткань (до 90% всего поступающего свинца); в меньшей степени (10%) – сердце, почки, печень и головной мозг [Predominantly bone tissue (up to 90% of all incoming lead); to a lesser extent (10%) – heart, kidneys, liver and brain]	Снижение резистентности иммунного статуса; поражение центральной нервной системы; поражение печени, почек и половых желёз; воспаление кишечника (свинцовая колика); хромосомные aberrации, эмбриотоксическое действие; поражение органов кровообращения [Decrease in the resistance of the immune status; damage of the central nervous system; damage to the liver, kidneys and genital glands; inflammation of the intestines (lead colic); chromosomal aberrations, embryotoxic effect; damage to the circulatory system]
Zn	Практически не накапливается в организме; незначительно – в поджелудочной железе и костной ткани [Practical does not accumulate in the body; slightly – in the pancreas and bone tissue]	Уменьшение содержания кальция в костях, нарушение кальциево-фосфорного обмена, остеопороз; поражение дыхательной системы (цинковая лихорадка); поражение сердечно-сосудистой системы, ишемическая болезнь сердца; канцерогенный и мутагенный эффект [Decreased calcium content in the bones, impaired calcium-phosphorus metabolism, osteoporosis; damage to the respiratory system (zinc fever); damage to the cardiovascular system, coronary heart disease; carcinogenic and mutagenic effect]

Окончание табл. 1

Тяжелые металлы [Heavy metals]	Органы, в которых депонируются [Organs where they are deposited]	Влияние повышенных концентраций на организм человека [The effect of elevated concentrations on the human body]
Cu	В основном печень, головной мозг и кровь [Литвинова и др., 2019] [Mainly liver, brain and blood]	Поражение печени и почек; поражение центральной нервной системы; болезни кроветворной системы, гемолиз эритроцитов; аутоиммунные реакции и нарушение метаболизма моноаминов [Damage to the liver and kidneys; damage of the central nervous system; diseases of the hematopoietic system, hemolysis of erythrocytes; autoimmune reactions and impaired metabolism of monoamines]
Sr	Преимущественно костная ткань [Mainly bone tissue]	Поражение костной ткани при замещении кальция на стронций («стронциевый рахит», или «уровская болезнь»), преимущественно у детей [Литвинова и др., 2019; Дианова, 2019]; лейкемия и рак костей (при воздействии радиоактивных изотопов стронция) [Damage to bone tissue when Ca is replaced by strontium (Kashin–Beck disease), mainly in children; leukemia and bone cancer (when exposed to radioactive isotopes of strontium)]
Fe	Преимущественно гемоглобин эритроцитов (до 75%), миоциты; оставшиеся 25% – печень, селезенка и костный мозг [Predominantly erythrocyte hemoglobin (up to 75%), myocytes; the remaining 25% is the liver, spleen and bone marrow]	Гемохроматоз (при генетической предрасположенности), провоцирующий развитие цирроза печени, сахарного диабета, артритов, атеросклероза и кардиомиопатий [Hemochromatosis (with a genetic predisposition), provoking the development of liver cirrhosis, diabetes mellitus, arthritis, atherosclerosis, and cardiomyopathies]
Mn	Кости (до 43%), гипофиз и печень [Дианова, 2019] [Bones (up to 43%), pituitary and liver]	Поражение центральной нервной системы; «марганцевая пневмония»; гонадотоксическое воздействие, приводящее к нарушениям в половой сфере вплоть до бесплодия; рак пищевода и желудка [Damage of the central nervous system; “manganese pneumonia”; gonadotoxic effect, leading to damage in the reproductive system up to infertility; cancer of the esophagus and stomach]

в водных объектах отмечается в основном для стран Центральной и Восточной Европы [Barańkiewicz et al., 2014, p. 67–92], однако есть проблемы и в Западной Европе [Tatsi, Turner, 2014, p. 142–145].

В рамках данной статьи будет рассмотрено загрязнение тяжелыми металлами поверхностных водных объектов г. Дзержинского (Московская агломерация), в динамике с 2006 по 2020 гг. (по данным исследований, проведенных в 2006, 2017 и 2020 гг.).

Дзержинский является средним городом с населением свыше 56,4 тыс. человек (на 2020 г.), расположенным к юго-востоку от района Капотня Москвы. Условной границей между двумя городами является Московская кольцевая автодорога (МКАД). Помимо Москвы, г. Дзержинский граничит с такими городами Московской области, как Люберцы, Лыткарино и Котельники, которые также оказывают влияние на экологическую обстановку города [Оценка экологического состояния..., 2008, с. 11].

Стационарными источниками негативного воздействия на окружающую среду являются промышленные предприятия: ТЭЦ-22 и ее зооотвалы, Московский нефтеперерабатывающий завод (МНПЗ) (р-н Капотня Москвы) и головное предприятие оборонно-промышленного комплекса «ФЦДТ “Союз”». Однако в последнее время для г. Дзержинского характерно преобладающее влияние передвижных источников загрязнения (автотранспорта) над стационарными. Здесь также следует отметить, что город с одной из сторон ограничен МКАД, а внутри расположено несколько крупных дорог, характеризующихся большим количеством автомобилей и постоянными «пробками» в «часы пик». По данным Росгидромета и Информационного выпуска «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2020 году»<sup>2</sup>, в атмосферном воздухе г. Дзержинского регулярно отмечается превышение предельно допустимых концентраций по NO<sub>2</sub> (среднегодовые концентрации 1,4 ПДК); в зимний период времени – по бенз(а)пирену (до 2,1 ПДК). С ростом автотранспорта в воздухе увеличивается концентрация CO.

Водоемы г. Дзержинского являются основными рекреационными зонами как для самих жителей города, так и для приезжающих отдыхающих. Часть водоемов предназначена только для визуальной рекреации, однако в Малом и Большом карьерах до недавнего времени было разрешено купание. Также на их акватории проводятся занятия различными видами водного спорта.

<sup>2</sup> Информационный выпуск «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Московской области в 2020 году», Красногорск, 2021. С. 55. URL: <https://mep.mosreg.ru/download/document/10132535>

Единственным водным объектом, на котором ведется постоянный мониторинг, является р. Москва. Ближайшие к г. Дзержинскому точки наблюдения – створы ниже Курьяновских очистных сооружений (КОС) и в районе Бесединского моста. Отметим, что в данных створах отмечаются наибольшие концентрации таких загрязняющих веществ, как ионы аммония, формальдегид, ХПК и др. – по сравнению с другими створами на р. Москве, хотя в последние годы качество воды в реке имеет тенденцию к улучшению.

В отношении содержания тяжелых металлов в р. Москве возможно несколько источников загрязнения. Это неполностью очищенные стоки КОС, сброс сточных вод от предприятий на территории города, перенос тяжелых металлов с воздушным потоком, в т.ч. с выбросами от автотранспорта и с частицами пыли. Кроме того, ряд исследователей отмечает возможность вторичного загрязнения воды в р. Москве от донных отложений, что связано как с низкой способностью реки к самоочищению, так и с высокими концентрациями тяжелых металлов, накопленных за предыдущие десятилетия интенсивного загрязнения р. Москвы [Многолетняя динамика..., 2016, с. 114]. Отметим, что в исследованиях 2017 г. помимо проб воды были также проанализированы донные отложения, в которых выявлены высокие концентрации тяжелых металлов, что вполне согласуется с вышеозвученной теорией [Riabova, 2019, p. 39].

Однако, поскольку и часть прибрежной зоны р. Москвы, и водоемы города, представленные прудами и карьерами, являются рекреационными зонами, необходимо учитывать, что массовое, зачастую неорганизованное, рекреационное использование городских водных объектов формирует ряд эколого-гигиенических проблем, поскольку водные объекты, с одной стороны, должны быть благоприятны и безопасны для рекреации, а с другой – испытывают значительную антропогенную нагрузку от рекреационной деятельности, негативно влияющую как на качество воды в этих водных объектах, так и на их береговые комплексы [Лазичкая, 2014, с. 21]. Поэтому регулярная оценка состояния водных объектов, включая объекты рекреационного назначения, является одной из ключевых задач городского водопользования.

Мониторинг состояния водных объектов г. Дзержинского проводился в филиале «Угреша» Государственного университета «Дубна» в 2006, 2017 и 2020 гг. [Оценка экологического состояния..., 2008, с. 50; Riabova, 2019, p. 38–39].

Целью данной работы является изучение динамики загрязнения водоемов города Дзержинский тяжелыми металлами за период с 2006 по 2020 г.

Для достижения данной цели были поставлены и выполнены следующие задачи:

- проведение отбора проб воды из поверхностных водных объектов г. Дзержинского с последующим анализом на содержание тяжелых металлов;
- сопоставление полученных результатов с данными исследований, проведенных в 2006 и 2017 гг.

### Объекты и методы исследований

Отбор и анализ проб воды осуществлялся в течение третьей недели сентября 2020 г. на основных поверхностных водных объектах города: р. Москва (Т1 и Т7), Верхний пруд в сквере Победы (Т2), Малый (Т3, Т4) и Большой (Т5, Т6) карьеры. Аналогично в осенний период (конец сентября – начало октября) проводился отбор проб в 2017 г. Ввиду сложившейся ситуации с COVID-19 доступ к пруду на территории Николо-Угрешского монастыря был запрещен, поэтому на данном водном объекте в 2020 г. исследования не проводились. Также из исследования в 2020 г. был исключен технический водоем на ул. Лесная, который оказался полностью засыпан в ходе строительства на территории промзоны (рис. 1).

Всего в 2020 г. была отобрана 21 проба воды по 0,5 л в пластиковые одноразовые емкости, что соответствует действующим требованиям к отбору проб<sup>3</sup>. Пробы отбирались с берега, на глубину порядка 20 см.

Согласно архивным данным с наземных метеорологических станций (<https://gp5.ru/>), погодные условия во время отбора проб в 2020 г. характеризовались малой облачностью, отсутствием осадков и незначительной скоростью ветра, с частыми штилями, что препятствовало рассеиванию примесей загрязняющих веществ в воздухе города. В 2017 г. пасмурная погода отмечалась только в последние дни сентября, но осадки отсутствовали. Скорость ветра составила 1–3 м/с, отдельные дни были штилевыми.

Сравнение полученных в 2017 и 2020 гг. результатов с 2006 г. проводилось по литературным данным [Оценка экологического состояния..., 2008, с. 48–50].

Исследование содержания тяжелых металлов в воде проводилось в лаборатории филиала «Угреша» Государственного университета «Дубна» на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu AA-6200 (Япония) на содержание следующих тяжелых металлов:

<sup>3</sup> ГОСТ 31861–2012 «Вода. Общие требования к отбору проб». Межгосударственный стандарт. С. 3–6.

цинк, стронций, кадмий, медь, свинец, железо и марганец. Пробы воды подготавливались по методике определения массовой концентрации тяжелых металлов в воде, аналогично предыдущим исследованиям [Riabova, 2019, p. 37]. Для этого 100 мл анализируемой воды отбирались в стакан на 250 мл и обрабатывались концентрированной азотной кислотой ( $\text{HNO}_3$ ) до pH, равного 1–2. После этого подготовленная проба помещалась в колбу на 50 мл и анализировалась на атомно-абсорбционном спектрофотометре на соответствующие тяжелые металлы.



**Рис. 1.** Исследуемые водные объекты (2006–2020 гг.) в г. Дзержинском (Московская агломерация)

**Fig. 1.** Researched water bodies in Dzerzhinsky town (Moscow agglomeration) in 2006–2020

Статистическая обработка данных проводилась при помощи программы Microsoft Excel. Рассчитывались осредненные концентрации тяжелых металлов для каждого водного объекта и стандартное отклонение. Доверительная вероятность составила 0,95 ( $P = 0,95$ ).

### Результаты исследований

Полученные результаты представлены в табл. 2.



**Осредненные концентрации тяжелых металлов (мг/л) в водных объектах  
г. Дзержинского (Московская агломерация) в 2020 г.  
[Average concentrations of heavy metals (mg/l) in water bodies  
in Dzerzhinsky town (Moscow agglomeration) in 2020]**

Водный объект [Water body]	Тяжелые металлы [Heavy metals]						
	Zn	Pb	Cu	Sr	Fe	Mn	Cd
Москва-река за монастырем (Т1) [Moscow River behind the monastery (T1)]	0,045 ± 0,0054	0,064 ± 0,0046	0,064 ± 0,0071	2,53 ± 0,34	0,356 ± 0,074	0,103 ± 0,01	0,011 ± 0,001
Верхний пруд (Т2) [Verkhnyy prud (T2)]	0,055 ± 0,0034	0,031 ± 0,0026	0,068 ± 0,0062	2,03 ± 0,20	0,234 ± 0,011	0,232 ± 0,016	0,017 ± 0,002
Малый карьер (Т3, Т4) [Malyi kar'er]	0,089 ± 0,009	0,011 ± 0,0015	0,089 ± 0,008	2,53 ± 0,22	0,143 ± 0,029	0,030 ± 0,009	0,013 ± 0,0014
Большой карьер (Т5, Т6) [Bolshoi kar'er]	0,023 ± 0,0054	0,035 ± 0,0046	0,085 ± 0,0067	2,71 ± 0,32	0,238 ± 0,105	0,075 ± 0,007	0,006 ± 0,0013
Москва-река возле сброса ТЭЦ-22 (Т7) [Moskva River near TPS-22 discharge]	0,032 ± 0,0037	0,03 ± 0,0022	0,110 ± 0,0094	1,34 ± 0,13	0,228 ± 0,083	0,037 ± 0,01	0,015 ± 0,002

Напомним, что тяжелые металлы способны накапливаться в организме человека, оказывая значительное негативное воздействие на состояние здоровья индивида или целых групп населения. Необходимо отметить, что поступление тяжелых металлов в организм человека с водой возможно только при непосредственном употреблении, т.е. в случае использования загрязненной воды для питьевых целей. Вместе с тем содержание тяжелых металлов в водах рекреационного назначения может являться косвенным свидетельством высокой концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, что потенциально способно оказывать серьезное негативное воздействие на здоровья населения.

При этом не все тяжелые металлы обладают одинаковой степенью токсичности. Наибольшую опасность представляют собой ионы свинца и кадмия, ПДК которых составляют 0,01 мг/л (Pb) и 0,001 мг/л (Cd), соответственно.

Общеизвестно, что основным источником свинцового загрязнения в городах является автотранспорт. Наибольшие концентрации свинца отмечаются в р. Москве в зоне за Николо-Угрешским монастырем, что может быть связано с несколькими факторами, в том числе загрязнение от строительной техники, поскольку неподалеку от точки отбора проб идет интенсивное строительство, в т.ч. дорожное. Также источником некоторого загрязнения могут быть расположенные выше по склону гаражи и использование песчаного пляжа неподалеку от точки отбора проб для мытья машин местным населением. Разумеется, все вышеперечисленные факты нуждаются в проведении дополнительных исследований. Кроме того, источником загрязнения по-прежнему могут быть отработанные воды с ТЭЦ-22 (точка 7), а также МКАД. Кроме того, обе точки отбора проб воды в р. Москве расположены ниже по течению от Курьяновских сооружений г. Москвы, которые также вносят свой вклад в загрязнение воды.

Следует отметить, что Верхний пруд является искусственно созданным водоемом, расположенным в сквере Победы возле пл. Святителя Николая и шоссе ул. Академика Жукова. На пл. Святителя Николая располагаются остановки и места для разворота автотранспорта, что также может являться источником загрязнения для Верхнего пруда. Аналогичное влияние транспортных средств отмечается и для Большого карьера, куда местные жители и жители соседних городов приезжают на летний отдых на личных автомобилях.

Наибольшие концентрации кадмия характерны для р. Москвы возле сброса вод с ТЭЦ-22. Присутствие высоких концентраций кадмия в Верхнем пруду может быть вызвано осаждением данного тяжелого

металла из атмосферы с воздушным переносом со стороны ТЭЦ-22 и ее золоотвалов. В ранних исследованиях [Оценка экологического состояния..., 2008, с. 39] отмечается, что выбросы ТЭЦ-22 при сжигании твердого и жидкого топлива и вынос пыли с территории золоотвала являются непосредственным источником загрязнения территории Дзержинского такими тяжелыми металлами, как кадмий, стронций, цинк и медь.

Помимо ТЭЦ-22 и автотранспорта, возможно также негативное влияние на окружающую среду со стороны строительных предприятий города, включая работу строительной техники, деятельности военного предприятия «ФЦДТ «Союз»». Кроме того, остается открытым вопрос о влиянии на состояние р. Москвы агрофирмы «Нива» (расположена в районе бывшей дер. Алексеевка, неподалеку от точки 7) из-за смыва с дождевыми и тальми водами удобрений, главным образом, фосфатных, которые потенциально могут содержать в себе ряд тяжелых металлов. Как отмечает Е.П. Янин, исследование фосфатного сырья, идущего на производство фосфатных удобрение, показало значительное содержание таких тяжелых металлов, как хром, цинк и кадмий. В меньших количествах, но также присутствуют медь и свинец [Янин, 2004, с. 5]. Более детально ситуация с кадмием и некоторыми другими тяжелыми металлами будет рассмотрена нами далее.

## Обсуждение

Полученные в 2020 г. данные были сравнены с данными загрязнения водоемов тяжелыми металлами за 2006 и 2017 гг. и с предельно-допустимыми концентрациями для водоемов культурно-бытового назначения, действовавшими до марта 2021 г.<sup>4</sup> Результаты сравнительного анализа представлены в табл. 3 (в мг/л) и на рис. 2 (в ед. ПДК).

В 2020 г. увеличение концентрации свинца наблюдалось только в р. Москве за монастырем (Т1), где концентрация достигла 6,4 ПДК (см. рис. 2), что, вероятно, связано с использованием данной территории для мытья машин местного населения. В остальных точках концентрации свинца находились на уровне 1,1–3,5 ПДК, что сопоставимо с показателями 2017 г. (1,7–3,3 ПДК для тех же водных объектов), однако существенно ниже значений 2006 г. (1,2–14,2 ПДК). Таким образом, за исключением точки 1, наблюдается снижение концентраций свинца в водных объектах г. Дзержинского в 2020 г. в 3–4 раза по сравнению с 2006 г.

<sup>4</sup> Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315–03.

**Динамика осредненных концентраций тяжелых металлов (мг/л)  
[Dynamics of average concentrations of heavy metals in water]**

Водный объект [Water body]	Zn			Pb			Cu		
	2006	2017	2020	2006	2017	2020	2006	2017	2020
Москва-река за монастырем [Moscow River behind the monastery (T1)]	0,10	0,05	0,045	0,022	0,020	0,064	0,077	0,068	0,064
Монастырский пруд [Monastery pond]	0,12	0,09	–	0,090	0,028	–	0,061	0,078	–
Верхний пруд [Verkhnyy prud]	0,09	0,01	0,054	0,021	0,017	0,031	0,055	0,034	0,067
Малый карьер [Malyi kar'er]	0,08	0,12	0,09	0,012	0,031	0,011	0,074	0,049	0,086
Большой карьер [Bolshoi kar'er]	0,085	0,04	0,021	0,142	0,033	0,035	0,082	0,427	0,087
Москва-река возле сброса ТЭЦ-22 [Moskva River near TPS-22 discharge]	0,09	0,25	0,032	0,057	0,021	0,030	0,077	0,082	0,109
Технический водоем на ул. Лесная [Technical reservoir in Lesnaya street]	–	1,00	–	–	0,049	–	–	0,058	–
<b>ПДК</b> [Maximum Permissible Concentration]	<b>1,0</b>			<b>0,01</b>			<b>1,0</b>		

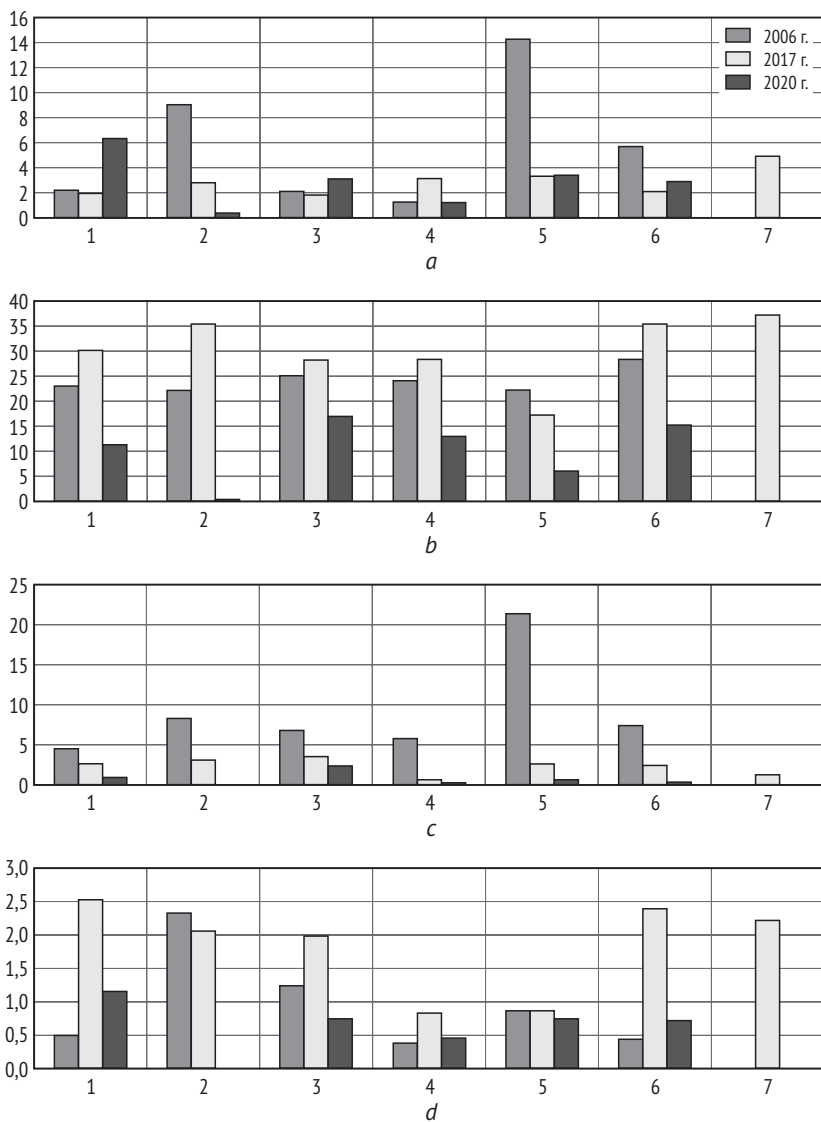
Примечания. Исследования в пруду на территории Николо-Угрешского монастыря (Монастырский пруд) проводились в 2006 и 2017 г., в техническом водоеме на ул. Лесная – только в 2017 г. ПДК приведены по: Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315–03.

Таблица 3

**в водоемах г. Дзержинского (Московская обл.) за 2006, 2017 и 2020 гг.  
bodies in Dzerzhinsky town during 2006, 2017, 2020]**

Sr			Fe			Mn			Cd		
2006	2017	2020	2006	2017	2020	2006	2017	2020	2006	2017	2020
2,37	5,17	2,55	0,156	0,777	0,357	0,463	0,258	0,101	0,023	0,030	0,011
2,49	2,76	–	0,715	0,633	–	0,848	0,318	–	0,022	0,035	–
3,71	3,12	2,03	0,387	0,611	0,233	0,695	0,364	0,239	0,025	0,028	0,017
1,32	5,95	2,57	0,12	0,259	0,146	0,592	0,068	0,031	0,024	0,028	0,013
4,09	6,02	2,64	0,268	0,270	0,234	2,172	0,273	0,070	0,022	0,017	0,006
1,50	5,17	1,34	0,137	0,734	0,227	0,763	0,246	0,034	0,028	0,035	0,015
–	4,61	–	–	0,683	–	–	0,122	–	–	0,037	–
<b>7,0</b>			<b>0,3</b>			<b>0,1</b>			<b>0,001</b>		

[Notes. Research in the pond at the territory of the Ugreshsky Monastery of St. Nicholas (the Monastery Pond) was carried out in 2006 and 2017, and in the pond from industrial area in Lesnaya St. – only in 2017.]



**Рис. 2.** Содержание тяжелых металлов, превышающих ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, в водоемах г. Дзержинского (Московская область) в 2006, 2017 и 2020 гг.:

*a* – свинец; *b* – кадмий; *c* – марганец; *d* – железо

Содержание кадмия в водных объектах г. Дзержинского снизилось более чем в два раза по сравнению с показателями предыдущих исследований, однако все еще остается чрезвычайно высоким: 6,0–17,0 ПДК. Для сравнения: в 2017 г. уровень загрязнения кадмием колебался от 16,8 до 36,8 ПДК, а в 2006 г. – порядка 22,0–28,0 ПДК.

Вопрос о загрязнении водных объектов кадмием в настоящее время по-прежнему остается открытым, поскольку здесь одновременного могут участвовать несколько разнородных источников. Так, по данным, представленным в работе А.Г. Уварова, содержание Cd в водах р. Москвы может быть обусловлено сбросом сточных вод. В черте г. Москвы ниже сбросов очистных сооружений (р-н Братеево) содержание кадмия в 2012 г. фиксировалось на уровне 122 ПДК для химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [Уваров, 2015, с. 51].

Помимо прямого загрязнения воды вследствие работы очистных сооружений, антропогенное загрязнение водных объектов кадмием может производиться и опосредованно, за счет выбросов ТЭЦ-22, о чем речь шла ранее. Согласно исследованию М.В. Прилепы, антропогенный вклад в концентрацию кадмия в атмосфере составляет порядка 50%, в том числе за счет сжигания жидкого и твердого топлива, при этом основная часть кадмия (до 67% от общего количества) в приземном слое атмосферного воздуха находится в водорастворимой форме [Прилепа, 2007, с. 8–9]. Однако для уточнения источников загрязнения водных объектов кадмием требуется проведение дополнительных исследований.

*Условные обозначения:* 1 – Москва-река за монастырем; 2 – Монастырский пруд; 3 – Верхний пруд; 4 – Малый карьер; 5 – Большой карьер; 6 – Москва-река возле сброса ТЭЦ-22; 7 – технический водоем на ул. Лесная

Исследования в пруду на территории Николо-Угрешского монастыря (Монастырский пруд) проводились в 2006 и 2017 г., в техническом водоеме на ул. Лесная – только в 2017.

**Fig. 2.** Content of heavy metals over MPC<sub>an</sub> (maximum permissible concentration to amenity needs) in water bodies in Dzerzhinsky town (Московская агломерация) in 2006, 2017, 2020:

*a* – Pb; *b* – Cd; *c* – Mn; *d* – Fe

*Legend:* 1 – Moscow River behind the monastery; 2 – Monastery pond; 3 – Verkhnyi prud; 4 – Malyi kar'er; 5 – Bolshoi kar'er; Moskva River near TPS-22 discharge; 5 – technical reservoir in Lesnaya street

Research in the pond at the territory of the Ugreshsky Monastery of St. Nicholas (the Monastery Pond) was carried out in 2006 and 2017, and in the pond from industrial area in Lesnaya St. – only in 2017

Как видно из представленных данных, в 2020 г. также отмечается снижение содержания железа и марганца по сравнению с 2017 и 2006 гг. Так, содержание железа колебалось 0,5–1,2 ПДК в 2020 г. (по сравнению с 0,9–2,6 ПДК в 2017 г. и 0,4–2,4 ПДК в 2006 г.). Содержание марганца в водоемах варьировалось 0,3–2,4 ПДК, тогда как в 2017 и 2006 гг. значения были 0,7–3,6 ПДК и 4,6–21,7 ПДК, соответственно.

По таким тяжелым металлам, как цинк, медь и стронций, превышений ПДК за весь период наблюдений зафиксировано не было.

## Заключение

В данной работе была проведен отбор проб и лабораторный анализ поверхностных водоемов и водотоков г. Дзержинского. В результате исследования было установлено, что все городские водные объекты испытывают существенное антропогенное воздействие и в значительной мере загрязнены тяжелыми металлами. Превышение допустимых концентраций для вод культурно-бытового назначения наблюдается по марганцу и железу – в пределах 0,3–2,4 ПДК. Для свинца среднее значение составило 3,4 ПДК, максимальное – 6,4 ПДК (в р. Москве в черте г. Дзержинского). Наибольший уровень загрязнения на протяжении всего периода отмечается по кадмию (6,0–17,0 ПДК), хотя в 2020 г. концентрации Cd существенно снизились по сравнению с 2006 и 2017 г.

## Выводы

Снижение концентраций в 2020 г. отмечается по всем тяжелым металлам, что может быть связано с периодом самоизоляции, пришедшемся на весенне-летний период (с марта по июнь), в течение которого работа как промышленных, так и общественных предприятий была приостановлена. Также стоит отметить, что некоторое снижение концентраций загрязняющих веществ возможно после реконструкции первой и второй очереди химводоочистки на ТЭЦ-22, что позволило сократить использование реагентов и снизить негативное воздействие на окружающую среду<sup>5</sup>. Данный факт также стоит учитывать при учете динамики загрязнения р. Москвы в г. Дзержинском.

Тем не менее, для водных объектов г. Дзержинского по-прежнему отмечается превышение ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

<sup>5</sup> Шулина В.Д. Люберецкая ТЭЦ (ТЭЦ-22 им. Н.И. Серебряникова). Музей истории Мосэнерго, 2020. URL: [https://www.mosenergo-museum.ru/History\\_of\\_Mosenergo/Historical\\_Review/21517/](https://www.mosenergo-museum.ru/History_of_Mosenergo/Historical_Review/21517/) (дата обращения: 02.02.2022).

по ряду тяжелых металлов, следовательно, проведение реабилитационных мероприятий с последующим ежегодным мониторингом их состояния является насущной задачей. Необходимо проведение комплексного анализа воды по санитарно-химическим и микробиологическим показателям. Кроме того, требуется проведение дополнительных исследований для установления основных источников загрязнения данных водных объектов с целью последующей минимизации негативного воздействия на них.

## Библиографический список / References

Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 5. С. 23–29. [Budnikov G.K. Heavy metals in the environmental monitoring of water systems. *Soros Educational Journal*. 1998. No. 5. Pp. 23–29. (In Rus.)]

Дианова Д.Г. Научные основы гигиенического анализа закономерностей влияния гаптенных, поступающих с питьевой водой, на иммунную систему у детей: Дис. ... д-ра мед. наук. Пермь, 2019. [Dianova D.G. Nauchnye osnovy gigenicheskogo analiza zakonmernostey vliyaniya gaptenov, postupayushchikh s pitevoy vodoy, na immunnuyu sistemu u detey [Scientific bases of hygienic analysis of regularities of influence of haptens in drinking water onto the children's immune system]. Dr. Hab. dis. Perm, 2019.]

Лазичкая Н.Ф. Общественно-географическое обоснование развития рекреационного водопользования в г. Севастополь: Дис. ... канд. геогр. наук. Симферополь, 2014. [Lazitskaya N.F. Obshchestvenno-geograficheskoe obosnovanie razvitiya rekreatsionnogo vodopolzovaniya v g. Sevastopol [Socio-geographical substantiation of the development of recreational water use in Sevastopol]. PhD dis. Simferopol, 2014.]

Литвинова Т.Н., Выскубова Н.К., Ненашева Л.В. Химия для медиков: биогенные элементы и комплексные соединения / Под общ. ред. Т.Н. Литвиновой. 2-е изд. М., 2019. [Litvinova T.N., Vyskubova N.K., Nenasheva L.V. Khimiya dlya medikov: biogennyye elementy i kompleksnyye soedineniya [Chemistry for physicians: Biogenic elements and complex compounds]. T.N. Litvinova (ed.). Moscow, 2019.]

Многолетняя динамика процессов самоочищения как интегральный показатель для выбора управляющих воздействий (на примере реки Москвы) / Щеголькова Н.М., Веницианов Е.В., Рыбка К.Ю. и др. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2016. № 4. С. 103–116. [Shchegolkova N.M., Venitsianov E.V., Rybka K.Yu. et al. Long-term dynamics of self-purification processes as an integral indicator for the choice of control actions (on the example of the Moskva River). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2016. No. 4. Pp. 103–116. (In Rus.)]

Оценка экологического состояния города Дзержинского в 2006 году / Балоян Б.М., Чуднова Т.А., Юдина Н.В., Манаенкова Е.А.; Под ред. Б.М. Балояна.



Дзержинский, 2008. [Baloyan B.M., Chudnova T.A., Yudina N.V., Manaenkova E.A. Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya goroda Dzerzhinskogo v 2006 godu [The assessment of the ecological state of the city of Dzerzhinsky in 2006]. B.M. Baloyan (ed.). Dzerzhinsky, 2008.]

Прилепа М. В. Формы нахождения кадмия в объектах окружающей среды: Дис. ... канд. хим. наук. М., 2007. [Prilepa M.V. Formy nakhozhdeniya kadmiya v obyektakh okruzhayushchey sredy [Cadmium occurrence forms in environmental objects]. PhD dis. Moscow, 2007.]

Росгидромет. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Информация о наиболее загрязненных водных объектах Российской Федерации (приложение к Ежегоднику за 2019 г.) / Под ред. канд. биол. наук М.М. Трофимчука. Ростов-н/Д., 2020. [Rosgidromet. Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiyskoy Federatsii. Informatsiya o naibolee zagryaznennykh vodnykh obyektakh Rossiyskoy Federatsii (prilozhenie k Ezhegodniku za 2019 g.) [Roshydromet. The quality of surface waters in the Russian Federation. Information on the most polluted water bodies of the Russian Federation (Appendix to the Annual report – 2019)]. M.M. Trofimchuk (ed.). Rostov-on-Don, 2020.]

Росгидромет. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Информация о наиболее загрязненных водных объектах Российской Федерации (приложение к Ежегоднику за 2020 г.) / Под ред. канд. биол. наук М.М. Трофимчука. Ростов-н/Д., 2021. [Rosgidromet. Kachestvo poverkhnostnykh vod Rossiyskoy Federatsii. Informatsiya o naibolee zagryaznennykh vodnykh obyektakh Rossiyskoy Federatsii (prilozhenie k Ezhegodniku za 2020 g.) [Roshydromet. The quality of surface waters in the Russian Federation. Information on the most polluted water bodies of the Russian Federation (Appendix to the Annual report – 2020)]. M.M. Trofimchuk (ed.). Rostov-on-Don, 2021.]

Уваров А.Г. Оценка степени загрязнения тяжелыми металлами реки Москвы и возможность использования макрофитов рода *Potamogeton* для биомониторинга тяжелых металлов в реке // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 6. С. 150–158. [Uvarov A.G. Assessment of the degree of heavy metal pollution of the Moscow River and the possibility of using *Potamogeton* macrophytes for biomonitoring of heavy metals in the river. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015. Vol. 17. No. 6. Pp. 150–158. (In Rus.)]

Черных Н.А., Баева Ю.И. Тяжелые металлы и здоровье человека // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2004. № 1 (10). С. 125–134. [Chernykh N.A., Baeva Yu.I. Heavy metals and human health. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2004. No. 1 (10). Pp. 125–134. (In Rus.)]

Экология города / Касимов Н.С., Курбатова А.С., Башкин В.Н. и др. М., 2004. [Kasimov N.S., Kurbatov A.S., Bashkin V.N. et al. *Ekologiya goroda* [Urban ecology]. Moscow, 2004.]

Янин Е.П. Источники и пути поступления тяжелых металлов в реки агроландшафтов. М., 2004. [Yanin E.P. Istochniki i puti postupleniya tyazhelykh metallov v reki agrolandshaftov [Sources and routes the entry of heavy metals into the rivers of agricultural landscapes]. Moscow, 2004.]

Barańkiewicz D., Chudzińska M., Szpakowska B. et al. Storm water contamination and its effect on the quality of urban surface waters. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2014. No. 186. Pp. 6789–6803. DOI: 10.1007/s10661-014-3889-0.

Ding Y. Heavy metal pollution and transboundary issues in ASEAN countries. *Water Policy*. 2019. No. 21 (5). Pp. 1096–1106. DOI: 10.2166/wp.2019.003.

Prestes E.C., Anjos V.E., Sodr e F., Grassi M. Copper, lead and cadmium loads and behavior in urban stormwater runoff in Curitiba, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2006. No. 17 (1). Pp. 53–60. DOI: 10.1590/S0103-50532006000100008.

Riabova E.G. Content of heavy metals in urban surface water bodies. *Theoretical and Applied Ecology*. 2019. No. 1. Pp. 36–40. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-1-036-040.

Tatsi K., Turner A. Distributions and concentrations of thallium in surface waters of a region impacted by historical metal mining (Cornwall, UK). *Science of the Total Environment*. 2014. No. 473–474. Pp. 139–146. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.12.00.

Статья поступила в редакцию 09.09.2022, принята к публикации 11.10.2022

The article was received on 09.09.2022, accepted for publication 11.10.2022

#### Сведения об авторе / About the author

**Рябова Эльхана Геннадьевна** – кандидат географических наук; доцент кафедры экологии и природопользования географического факультета, Московский педагогический государственный университет

**Elkhana G. Riabova** – PhD in Geography; assistant professor at the Department of Ecology and Nature Management of the Faculty of Geography, Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8445-9454>

E-mail: [ryabova\\_elhana@mail.ru](mailto:ryabova_elhana@mail.ru)

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-418-438

**Е.А. Самусик<sup>1</sup>, Т.П. Марчик<sup>1</sup>, С.Е. Головатый<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,  
220023 г. Гродно, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Белорусский государственный университет,  
220030 г. Минск, Республика Беларусь

## Интенсивность окислительных процессов и активность антиоксидантной системы в листьях древесных растений, произрастающих в условиях техногенного загрязнения

Приведены результаты оценки функционального состояния древесных растений, произрастающих в зоне влияния предприятия по производству строительных материалов. Газопылевые выбросы предприятия ОАО «Красносельскстройматериалы» вызывают стимуляцию окислительных процессов в листьях древесных растений, что проявляется в увеличении содержания малонового диальдегида (на 19–50% в хвое сосны в радиусе 2 км от источника загрязнения и на 18–61% в листьях березы в радиусе 6,5 км), и способствуют окислительному повреждению антиоксидантных ферментов (каталазы, пероксидазы). Накопление избыточного количества перекиси водорода или инактивация активного центра фермента техногенными поллютантами приводит к снижению потенциальной активности окислительно-восстановительных ферментов. В то же время отмечается адаптивная перестройка фотосинтетического аппарата, проявляющаяся в виде повышения уровня каротиноидов в листьях древесных растений в 1,3–2,1 раза. Высокая степень ингибирования ферментативной активности может являться диагностическим признаком слабой устойчивости древесных растений к техногенным воздействиям.

© Самусик Е.А., Марчик Т.П., Головатый С.Е., 2022

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License  
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



**Ключевые слова:** техногенное загрязнение, газопылевые выбросы, древесные растения, перекисное окисление липидов, каталаза, пероксидаза, каротиноиды

Для ЦИТИРОВАНИЯ: Самусик Е.А., Марчик Т.П., Головатый С.Е. Интенсивность окислительных процессов и активность антиоксидантной системы в листьях древесных растений, произрастающих в условиях техногенного загрязнения // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 4. С. 418–438. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-418-438

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-418-438

**E.A. Samusik<sup>1</sup>, T.P. Marchik<sup>1</sup>, S.E. Golovaty<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, 220023, Republic of Belarus

<sup>2</sup> Belarusian State University, Minsk, 220070, Republic of Belarus

## The intensity of oxidative processes and the activity of the antioxidant system in the leaves of woody plants growing in conditions of technogenic pollution

The results of the evaluation of the functional state of woody plants growing in the zone of influence of the enterprise for the production of building materials are presented. Gas and dust emissions of the OJSC Krasnoselskstroy-materialy cause stimulation of oxidative processes in the leaves of woody plants, which manifests itself in the increase in the content of malondialdehyde (by 19–50% in pine needles within a radius of 2 km from the source of pollution and by 18–61% in birch leaves within a radius of 6,5 km), and contributes to oxidative damage of antioxidant enzymes (catalase, peroxidase). Accumulation of an excessive amount of hydrogen peroxide or inactivation of the active center of the enzyme by technogenic pollutants

leads to a decrease in the potential activity of redox enzymes. At the same time, there is an adaptive restructuring of the photosynthetic apparatus, manifested in the form of an increase in the level of carotenoids in the leaves of woody plants 1,3–2,1 times. A high degree of inhibition of enzymatic activity can be a diagnostic sign of weak resistance of woody plants to technogenic influences.

**Key words:** technogenic pollution, gas and dust emissions, woody plants, lipid peroxidation, catalase, peroxidase, carotenoids

FOR CITATION: Samusik E.A., Marchik T.P., Golovaty S.E. The intensity of oxidative processes and the activity of the antioxidant system in the leaves of woody plants growing in conditions of technogenic pollution. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 4. Pp. 418–438. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-418-438

Выявление многообразия механизмов адаптации живых организмов к техногенному стрессу, которые обеспечивают основные процессы жизнедеятельности организмов на достаточном уровне и позволяют им стабильно развиваться в современных экологических условиях, является одной из актуальных задач [Самусик, 2019].

Древесная растительность является диагностическим индикатором загрязнения промышленными выбросами окружающей среды, т.к. именно она, благодаря высокой чувствительности, первой принимает на себя техногенное воздействие.

Проведенные ранее исследования показывают, что разнообразие реакций растений, произрастающих в условиях загрязнения, определяется прежде всего спецификой воздействия факторов [Тужилкина, 2009; Реакция пигментной и антиоксидантной систем..., 2012; Симонова, 2013], а также степенью устойчивости разных видов растений [Самусик, 2019].

Наиболее опасным последствием произрастания древесных растений в техногенно загрязненных условиях можно считать развитие окислительного стресса, сопровождающегося избыточной генерацией активных форм кислорода (АФК). Одной из мишеней действия АФК являются липиды – основные компоненты клеточных мембран. АФК способны инициировать перекисное окисление липидов, в результате чего происходит их повреждение. Данное явление называют «протечкой мембран», оно проявляется в увеличении проницаемости для ионов и органических веществ. Малоновый диальдегид (МДА) является одним из конечных продуктов окисления липидов [Там же].

Одним из важнейших механизмов устойчивости древесных растений к условиям техногенного загрязнения является активация биохимической многоуровневой и многокомпонентной системы антиоксидантной защиты. Наибольшая роль принадлежит антиоксидантным ферментам (супероксиддисмутазы, пероксидазы, каталазы) и низкомолекулярным метаболитам (каротиноиды, аскорбиновая кислота, флавоноиды, глутатион, пролин и др.).

Многие особенности функционирования антиоксидантной системы растений в условиях техногенного загрязнения остаются неясными. Древесные растения в этом аспекте представляют особый интерес, т.к. они обладают высоким биологическим потенциалом в связи с способностью длительно накапливать токсичные соединения в многолетних органах.

К числу ферментов, остро реагирующих на проникновение в клетки листьев токсичных веществ, относится супероксиддисмутазы, пероксидазы, каталазы, принимающие участие во многих процессах жизнедеятельности растений [Самусик, 2019].

Каталаза (КФ.1.11.1.6) относится к классу оксидоредуктаз. Это двухкомпонентный фермент, состоящий из белка (апофермент) и соединенной с ним простетической группы (кофермент); последняя содержит гематин, в состав которого входит железо. Данный фермент катализирует реакции окисления различных доноров электронов перекисью водорода. Активность фермента каталазы – один из показателей потенциальной биологической активности, осуществляющей обезвреживающую функцию по отношению к токсичным перекисным соединениям, образующимся в клетках при воздействии негативных факторов среды, что обуславливает важную роль фермента в устойчивости растений [Там же].

В зависимости от субстратной специфичности различают аскорбатпероксидазу (КФ.1.11.1.11) и глутатионпероксидазу (КФ.1.11.1.9), восстанавливающие пероксид водорода в клетке за счет окисления, соответственно, аскорбиновой кислоты и глутатиона, и гваяколпероксидазу (КФ.1.11.1.7), использующую для нейтрализации пероксида водорода фенольные соединения. Изоферменты пероксидаз присутствуют в разных компартаментах растительной клетки в зависимости от уровня связи [Виноградова, 2013].

Анализ литературных данных показывает, что большинство исследований по изучению активности каталазы и пероксидазы выполнено для растений, произрастающих в городских условиях, менее изучено влияние техногенного (газопылевого) воздействия на работу ферментов в листьях древесных насаждений [Самусик, 2019].

Функциональная активность каротиноидов связана с фотохимической, структурной, светособирающей и фотозащитной функциями.

В связи с вышесказанным цель нашего исследования состояла в оценке изменений некоторых компонентов антиоксидантной системы древесных растений, произрастающих в условиях воздействия предприятия по производству строительных материалов.

## Материалы и методы исследования

Исследования проводили в зоне влияния ОАО «Красносельскстройматериалы» (г.п. Красносельский, Волковысский район, Гродненская область, Беларусь). Данное предприятие является одним из крупнейших в Беларуси предприятий, специализирующихся на производстве цемента, асбестоцементных изделий и известковых материалов. В настоящее время в состав ОАО «Красносельскстройматериалы» входят четыре производственные площадки: филиал № 1 «Цементный завод»; филиал № 2 «Завод асбестоцементных изделий»; филиал № 3 «Известковый завод»; филиал № 4 «Карьероуправление» (рис. 1).

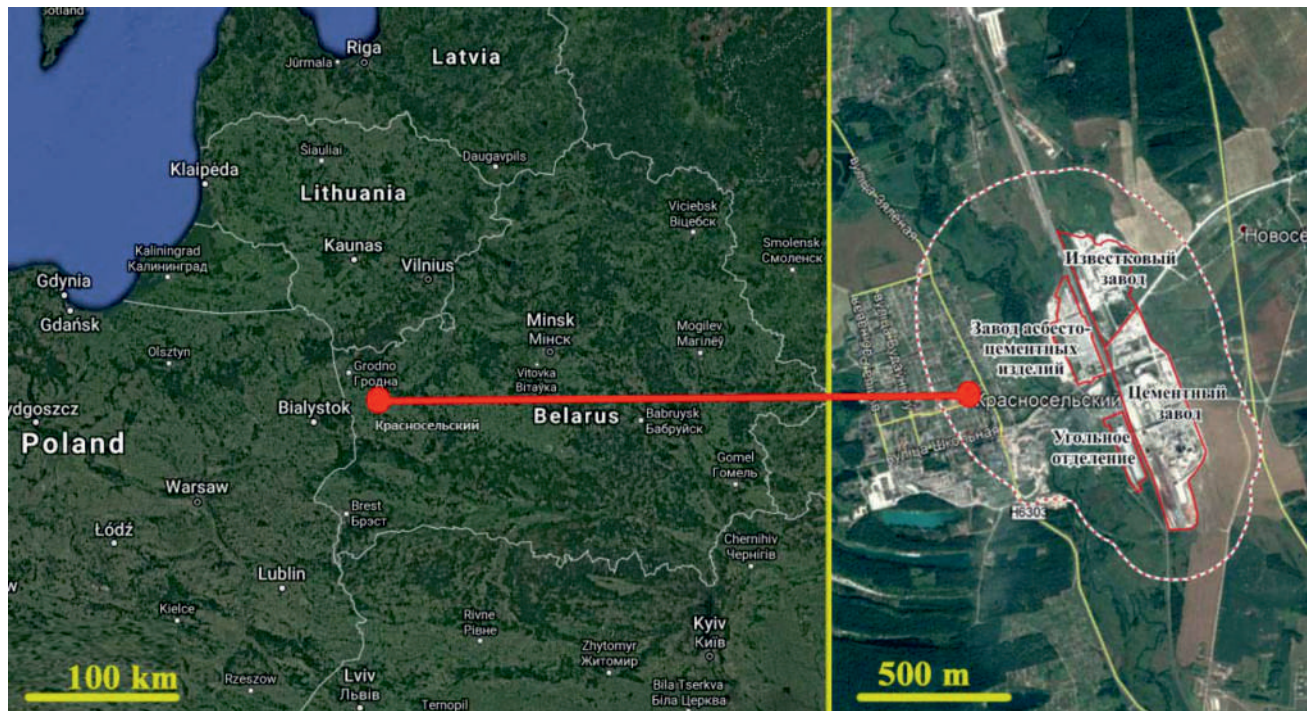
Объектом исследования являлись доминирующие породы древесных растений на данной территории – *Betula pendula* Roth. (береза повислая) и *Pinus sylvestris* L. (сосна обыкновенная).

Климатические условия территории, прилегающей к предприятию по производству строительных материалов, оценивали по метеорологическим показателям Волковысской метеорологической станции [Самусик, 2019]. Преобладающими ветрами для летнего периода являются ветры с западной составляющей (северо-западный, западный, юго-западный), представленные на розе ветров (рис. 2).

В качестве диагностического органа выбрана хвоя сосны второго года жизни и листья березы, т.к. загрязняющие вещества в первую очередь воздействуют на листовой аппарат.

Отбор растительных образцов (листьев, хвои) проводили в период с мая по июль 2020 г. в соответствии с гостированной методикой<sup>1</sup> в градиенте расстояния от источника загрязнения (1; 1,5; 2; 2,5; 3,5; 6,5; 8; 15 км) и с учетом направления (северо-запад, юго-запад, северо-восток, юго-восток). Использовали средневозрастные генеративные древесные растения. Отбор контрольных (фоновых) растительных образцов был осуществлен на расстоянии 15 км от источника загрязнения.

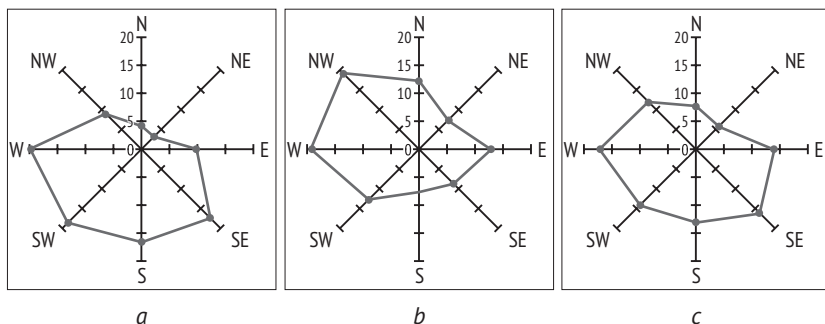
<sup>1</sup> Руководство по методам и критериям согласованного отбора проб, оценки, мониторинга и анализа влияния загрязнения воздуха на леса. Экономическая Комиссия Объединенных Наций для Европы. URL: <http://www.icp-forests.org/pdf/Rmanual1.pdf> (дата обращения: 10.03.2022).



**Рис. 1.** Карта-схема размещения производственных площадок предприятия, в зоне влияния которого проводили исследования

**Fig. 1.** Map of the location of the production sites of the enterprise, in the zone of influence of which the research was carried out





**Рис. 2.** Роза ветров в отдельные периоды наблюдений:

*a* – январь; *b* – июль; *c* – среднее за год

**Fig. 2.** The wind rose in certain observation periods:

*a* – January; *b* – July; *c* – average for the year

Перекисное окисление липидов (ПОЛ) тестировали по количеству МДА, содержание которого определяли по цветной реакции с 2-тиобарбитуровой кислотой, с последующим измерением оптической плотности при длине волны 532 нм [Журганова, 1999]. Количество МДА рассчитывали, используя коэффициент молярной экстинкции  $1,55 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ , и выражали в нмоль/г в.-с. образца.

Потенциальную активность каталазы определяли газометрическим методом по количеству выделяющегося кислорода в мл на 1 г в.-с. образца за 1 мин [Сарсенбаев, 1986].

Потенциальную активность пероксидазы определяли фотометрическим методом по Л.А. Карягиной, Н.А. Михайловской [Карагина, 1986]. Активность пероксидазы выражали в мг 1,4-бензохинона на 10 г в.-с. образца за 1 час.

Содержание каротиноидов оценивали спектрофотометрическим методом при длине волны 440,5 нм в трехкратной повторности и рассчитывали в мг/(100 г) образца [Гулиев, 2009].

Полученные данные подвергались статистическому анализу с использованием программы STATISTICA 10.0.

## Результаты исследований и их обсуждение

Известно, что в нормальных условиях жизнедеятельности клетки постоянно присутствует определенный уровень ПОЛ, который контролируется многокомпонентной антиоксидантной системой защиты. Вследствие усиления данного процесса образуется избыточное

количество свободных радикалов, что приводит к нарушению состояния мембран клетки и коллоидному состоянию протоплазмы.

В древесных насаждениях, произрастающих в условиях газопылевого загрязнения, наблюдалась активация процесса ПОЛ. Об интенсивности протекания процессов ПОЛ косвенно можно судить по накоплению в тканях конечного продукта липопероксидации – МДА.

Особо ценную информацию в аспекте изучения механизмов адаптации к условиям газопылевого загрязнения представляют многолетние хвойные древесные растения, что позволяет отслеживать отдаленные последствия влияния загрязняющих веществ.

Так, повышенное содержание МДА в хвое *Pinus sylvestris* на 19–50% по сравнению с контролем было зафиксировано по всем направлениям в радиусе 2 км от источника загрязнения (табл. 1).

Следует отметить, что выявлены статистически достоверные различия в интенсивности процесса ПОЛ в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в северо- и юго-западном направлениях от источника загрязнения ( $p = 0,0046$ ).

В листьях *Betula pendula* наблюдали сходную тенденцию увеличения концентрации МДА при приближении к источнику загрязнения, однако отмечено более значительное повышение интенсивности ПОЛ по сравнению с образцами хвои. Следует учитывать, что листья березы ежегодно обновляются. Данный орган реагирует на различные неблагоприятные факторы окружающей среды и приурочен только к вегетационному периоду. Высокие значения концентрации МДА отмечены в листьях березы повислой по всем направлениям в сравнении с контрольными насаждениями на 18–61% в радиусе 6,5 км от источника загрязнения (табл. 2), что может привести к более существенным изменениям в целостности мембран и повреждению клетки, чем в хвое.

При этом обнаружена статистически достоверная разница между северо-восточным и северо-западным направлениями ( $p = 0,0083$ ), северо-восточным и юго-западным ( $p = 0,00018$ ), юго-восточным и юго-западным направлениями ( $p = 0,0295$ ).

Время жизни образовавшихся активных форм кислорода и их токсический эффект контролируется многоуровневой антиоксидантной системой защиты клетки, а именно соответствующими ферментами и метаболитами.

Одними из наиболее важных антиоксидантных ферментов являются железосодержащие оксидазы – каталаза и пероксидаза. За счет каталазы в основном происходит восстановление перекиси водорода. Пероксидаза в присутствии перекиси водорода катализирует окисление различных

Таблица 1

**Интенсивность процесса перекисного окисления липидов в хвое *Pinus sylvestris*, произрастающей в градиенте расстояния от источника загрязнения и по направлениям (нмоль/г в.-с. массы)  
[The intensity of lipid peroxidation in *Pinus sylvestris* conifer growing in the gradient of the distance from the source of pollution and in the directions (nmol/g a.-d. mass)]**

Показатель [Indicator]	Направление [Direction]	Расстояние от источника загрязнения, км [Distance from the source of pollution, km]						Контроль [Control]
		1	1,5	2	3,5	6,5	8	
Малоновый диальдегид (МДА), нмоль/г в.-с. массы [Malondialdehyde (MDA), nmol/g of a.-d. mass]	Юго-запад [SW]	4,42 ± 0,02	–*	3,20 ± 0,06	–	3,17 ± 0,04	–	3,23 ± 0,54
	Юго-восток [SE]	5,04 ± 0,50	–	4,60 ± 1,14	4,05 ± 0,01	–	3,81 ± 0,02	3,88 ± 0,75
	Северо-запад [NW]	–	5,44 ± 0,76	5,20 ± 0,01	5,07 ± 0,01	4,58 ± 0,04	4,61 ± 0,74	4,07 ± 0,86
	Северо-восток [NE]	4,96 ± 0,24	–	4,01 ± 0,44	3,51 ± 0,03	3,49 ± 0,07	–	3,30 ± 0,15

Примечание. \* – отсутствие возможности отбора растительных образцов.

[Note. \* – lack of possibility of selection of plant samples.]

Таблица 2

**Интенсивность процесса перекисного окисления липидов в листьях *Betula pendula*, произрастающей в градиенте расстояния от источника загрязнения и по направлениям (нмоль/г в.-с. массы)  
[The intensity of lipid peroxidation in *Betula pendula* leaves growing in the gradient of the distance from the source of contamination and in the directions (nmol/g a.-d. mass)]**

Показатель [Indicator]	Направление [Direction]	Расстояние от источника загрязнения, км [Distance from the source of pollution, km]						Контроль [Control]
		1	1,5	2	3,5	6,5	8	
Малоновый диальдегид (МДА), нмоль/г в.-с. массы [Malondialdehyde (MDA), nmol/g of a.-d. mass]	Юго-запад [SW]	4,35 ± 0,01	–*	3,82 ± 0,20	–	–	3,94 ± 0,04	3,64 ± 0,04
	Юго-восток [SE]	6,14 ± 0,08	–	5,23 ± 0,06	5,04 ± 1,13	4,86 ± 0,02	–	3,81 ± 0,52
	Северо-запад [NW]	–	5,10 ± 0,04	5,03 ± 0,01	4,90±0,03	4,83 ± 0,04	3,78 ± 0,04	4,09 ± 0,01
	Северо-восток [NE]	6,17 ± 0,08	–	6,00 ± 0,08	6,19±0,03	5,80 ± 0,15	–	4,46 ± 0,04

Примечание. \* – отсутствие возможности отбора растительных образцов.

[Note. \* – lack of possibility of selection of plant samples.]

органических и неорганических соединений. Оба фермента для проявления своих функций нуждаются в достаточно высоких концентрациях перекиси водорода [Симонова, 2016].

В табл. 3 и 4 представлены данные по потенциальной каталазной и пероксидазной активности хвои и листьев в градиенте расстояния и по различным направлениям от источника загрязнения.

Из полученных данных видно, что в условиях газопылевого загрязнения происходят изменения в уровне каталазной активности в листовом аппарате древесных насаждений. Наблюдается значительное снижение активности каталазы в хвое *Pinus sylvestris*, произрастающей в радиусе 2 км от источника загрязнения в юго- и северо-восточном направлениях на 51–78%, а также на расстоянии 6,5 км в северо-восточном направлении – на 56%. Следует отметить, что в северо-восточном направлении от источника загрязнения размещены меловые карьеры, используемые с целью добычи природного сырья для производства строительных материалов. В этом случае транспортировка меловых отложений в определенной степени может служить дополнительным источником загрязнения.

Диаграммы размаха средних значений активности каталазы в хвое сосны обыкновенной свидетельствуют о статистически достоверных различиях между северо-восточным и юго-западным направлениями ( $p = 0,00008$ ), северо- и юго-восточным ( $p = 0,0481$ ), северо-восточным и северо-западным направлениями ( $p = 0,0129$ ).

Активность каталазы в листьях *Betula pendula*, произрастающей во всех направлениях, незначительно снижается (на 23–41%) лишь только в радиусе 1 км от источника загрязнения. Возможно, это связано с тем, что в летний период наблюдается постоянная смена направления ветра.

Следует отметить, что не выявлено статистически достоверных различий в активности каталазы в листьях березы повислой, произрастающей в разных направлениях от источника загрязнения.

Наиболее низкие значения активности пероксидазы (снижение на 50–72%) были зафиксированы в радиусе 2 км от источника загрязнения в хвое *Pinus sylvestris* лишь только в юго-восточном направлении; в листьях *Betula pendula* – по всем направлениям (табл. 5 и 6).

Статистически достоверные различия между средними значениями пероксидазной активности в хвое *Pinus sylvestris* установлены для юго- и северо-западного направления ( $p = 0,0236$ ), в листьях *Betula pendula* – для северо-восточного и северо-западного направлений от источника загрязнения ( $p = 0,0273$ ).

Таблица 3

**Каталазная активность в хвое *Pinus sylvestris*, произрастающей в градиенте расстояния от источника загрязнения и по направлениям (мл<sub>O<sub>2</sub></sub>/г/мин)  
[Catalase activity in *Pinus sylvestris* conifers growing in the gradient of distance from the source of contamination and in directions (ml<sub>O<sub>2</sub></sub>/g/min)]**

Направление [Direction]	Расстояние от источника загрязнения, км [Distance from the source of pollution, km]						Контроль [Control]
	1	1,5	2	3,5	6,5	8	
Юго-запад [SW]	7,4 ± 0,27	–	9,9 ± 0,16	–	12,7 ± 0,28	–	14,5 ± 0,35
Юго-восток [SE]	4,0 ± 0,81	–	5,2 ± 0,20	7,8 ± 0,25	–	8,6 ± 0,37	10,6 ± 0,38
Северо-запад [NW]	–	6,1 ± 0,16	6,4 ± 0,21	6,3 ± 0,28	6,4 ± 0,42	6,5 ± 0,33	9,9 ± 0,17
Северо-восток [NE]	1,7 ± 0,18	–	3,4 ± 0,22	5,1 ± 0,44	3,4 ± 0,20	–	7,8 ± 0,17

Таблица 4

**Каталазная активность в листьях *Betula pendula*, произрастающей в градиенте расстояния от источника загрязнения и по направлениям (мл<sub>O<sub>2</sub></sub>/г/мин)  
[Catalase activity in *Betula pendula* leaves growing in the gradient of distance from the source of contamination and in directions (ml<sub>O<sub>2</sub></sub>/g/min)]**

Направление [Direction]	Расстояние от источника загрязнения, км [Distance from the source of pollution, km]						Контроль [Control]
	1	1,5	2	3,5	6,5	8	
Юго-запад [SW]	6,0 ± 0,20	–	8,4 ± 0,26	–	–	9,1 ± 0,16	10,2 ± 1,40
Юго-восток [SE]	6,0 ± 1,00	–	8,9 ± 0,23	7,5 ± 0,34	7,8 ± 0,23	–	7,8 ± 0,17
Северо-запад [NW]	–	7,4 ± 0,38	7,7 ± 0,27	7,9 ± 0,30	7,8 ± 0,59	8,3 ± 0,33	9,4 ± 1,28
Северо-восток [NE]	5,8 ± 0,26	–	7,7 ± 0,11	8,0 ± 0,17	5,4 ± 0,80	–	8,3 ± 0,33

Таблица 5

**Пероксидазная активность в хвое *Pinus sylvestris*, произрастающей в градиенте расстояния от источника загрязнения и по направлениям (мг 1,4-бензохинона / 10 г/ч)  
[Peroxidase activity in *Pinus sylvestris* conifers growing in the gradient of distance from the source of contamination and in directions (mg 1,4-benzoquinone / 10 g/hour)]**

Направление [Direction]	Расстояние от источника загрязнения, км [Distance from the source of pollution, km]						Контроль [Control]
	1	1,5	2	3,5	6,5	8	
Юго-запад [SW]	0,30 ± 0,04	–	0,32 ± 0,007	–	0,43 ± 0,04	–	0,57 ± 0,12
Юго-восток [SE]	0,33 ± 0,08	–	0,44 ± 0,080	0,67 ± 0,22	–	1,13 ± 0,35	1,16 ± 0,23
Северо-запад [NW]	–	0,45 ± 0,05	0,56 ± 0,007	0,59 ± 0,06	0,72 ± 0,15	0,81 ± 0,19	0,89 ± 0,01
Северо-восток [NE]	0,52 ± 0,007	–	0,51 ± 0,030	0,67 ± 0,13	0,66 ± 0,01	–	0,71 ± 0,12

Таблица 6

**Пероксидазная активность в листьях *Betula pendula*, произрастающей в градиенте расстояния от источника загрязнения и по направлениям (мг 1,4-бензохинона / 10 г /ч)  
[Peroxidase activity in *Betula pendula* leaves growing in a gradient of distance from the source of contamination and in directions (mg 1,4-benzoquinone / 10 g/hour)]**

Направление [Direction]	Расстояние от источника загрязнения, км [Distance from the source of pollution, km]						Контроль [Control]
	1	1,5	2	3,5	6,5	8	
Юго-запад [SW]	8,87 ± 0,06	–	9,06 ± 0,13	–	–	10,17 ± 0,52	18,41 ± 0,10
Юго-восток [SE]	6,23 ± 0,04	–	6,74 ± 0,23	7,6 ± 0,36	10,54 ± 2,50	–	14,07 ± 0,98
Северо-запад [NW]	–	4,90 ± 0,35	4,97 ± 0,26	5,34 ± 0,23	8,27 ± 0,13	9,11 ± 0,05	11,24 ± 0,26
Северо-восток [NE]	7,50 ± 0,35	–	9,08 ± 0,03	10,09 ± 0,03	12,95 ± 0,23	–	18,28 ± 0,49

Обобщение данных о ферментативной активности листьев и хвои позволяет констатировать, что осаждение газопылевых веществ на поверхности листового аппарата древесных растений приводит к ингибированию железосодержащих оксидаз (пероксидазы, каталазы). Это можно объяснить тем, что древесные растения, произрастающие в условиях газопылевого загрязнения, находятся в состоянии постоянного окислительного стресса, а их адаптационные способности, обусловленные активацией окислительно-восстановительных ферментов, снижаются.

Наряду с антиоксидантными ферментами нами было изучено участие неферментативных соединений в функционировании метаболической активности древесных растений в условиях газопылевого загрязнения.

Обнаружено высокое содержание каротиноидов (превышение в 1,3–2,1 раза) в хвое сосны обыкновенной, произрастающей в радиусе 2 км от источника загрязнения в северо-западном, северо- и юго-восточном направлениях (табл. 7); в листьях березы повислой – в радиусе 1 км по всем направлениям (табл. 8).

Установлены статистически достоверные различия между средними значениями содержания каротиноидов в хвое *Pinus sylvestris*, произрастающей в юго-западном и юго-восточном направлениях ( $p = 0,0174$ ); в листьях *Betula pendula* – отличия по направлениям не обнаружены.

Проведенные исследования позволили выявить, что в условиях газопылевого загрязнения при ингибировании оксидаз происходит адаптивная перестройка фотосинтетического аппарата, проявляющаяся в виде повышения уровня каротиноидов в листьях древесных растений. При действии неблагоприятных факторов среды каротиноиды участвуют в защитно-приспособительных реакциях в качестве окислителей токсических веществ.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа свидетельствуют о том, что направление ветра оказывает значительное влияние на интенсивность процесса ПОЛ и на антиоксидантный статус древесных растений (табл. 9).

Следует отметить, что наибольшее влияние направления ветра в градиенте расстояния характерно для потенциальной активности каталазы в хвое сосны, при этом она составила 52,9%; на потенциальную активность пероксидазы в листьях березы – 23,9% и в хвое сосны – 18,5%; на концентрацию МДА в листьях березы – 44,5% и в хвое сосны – 31,5%; на содержание каротиноидов выявлено достоверное влияние лишь только на хвою сосны обыкновенной ( $\eta_2 = 25\%$ ). Это свидетельствует о том, что газопылевые выбросы предприятия инициируют



Таблица 7

**Уровень каротиноидов в хвое *Pinus sylvestris*, произрастающей в градиенте расстояния от источника загрязнения и по направлениям (мг/100 г)**  
**[The level of carotenoids in *Pinus sylvestris* conifers growing in the gradient of distance from the source of contamination and in directions (mg/100 g)]**

Направление [Direction]	Расстояние от источника загрязнения, км [Distance from the source of pollution, km]						Контроль [Control]
	1	1,5	2	3,5	6,5	8	
Юго-запад [SW]	0,33 ± 0,03	–	0,33 ± 0,02	–	0,35 ± 0,04	–	0,31 ± 0,02
Юго-восток [SE]	0,59 ± 0,05	–	0,57 ± 0,02	0,53 ± 0,13	–	0,39 ± 0,003	0,33 ± 0,04
Северо-запад [NW]	–	0,61 ± 0,02	0,47 ± 0,07	0,35 ± 0,06	0,31 ± 0,01	0,38 ± 0,02	0,29 ± 0,02
Северо-восток [NE]	0,47 ± 0,005	–	0,28 ± 0,01	0,31 ± 0,008	0,41 ± 0,02	–	0,26 ± 0,02

Таблица 8

**Уровень каротиноидов в листьях *Betula pendula*, произрастающей в градиенте расстояния от источника загрязнения и по направлениям (мг/100 г)**  
**[The level of carotenoids in *Betula pendula* leaves conifers growing in the gradient of distance from the source of contamination and in directions (mg/100 g)]**

Направление [Direction]	Расстояние от источника загрязнения, км [Distance from the source of pollution, km]						Контроль [Control]
	1	1,5	2	3,5	6,5	8	
Юго-запад [SW]	0,60 ± 0,01	–	0,41 ± 0,04	–	–	0,39 ± 0,08	0,34 ± 0,02
Юго-восток [SE]	0,63 ± 0,02	–	0,44 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,40 ± 0,01	–	0,43 ± 0,02
Северо-запад [NW]	–	0,56 ± 0,06	0,51 ± 0,02	0,40 ± 0,03	0,38 ± 0,01	0,38 ± 0,04	0,43 ± 0,01
Северо-восток [NE]	0,61 ± 0,01	–	0,47 ± 0,05	0,45 ± 0,02	0,57 ± 0,02	–	0,38 ± 0,01

окислительное повреждение фермента, вследствие чего происходит снижение его активности в связи с накоплением высокого уровня перекиси водорода.

Таблица 9

**Результаты однофакторного дисперсионного анализа**  
**[Results of one-factor analysis of variance]**

Показатель [Indicator]		Статистические показатели [Statistic indicators]	Направление ветра [Wind direction]
Активность каталазы [Catalase activity]	<i>Betula pendula</i>	$\eta_2$ , %	15,8
		F	2,25
		p	0,099
	<i>Pinus sylvestris</i>	$\eta_2$ , %	<b>52,9</b>
		F	13,1
		p	$6,9 \cdot 10^{-6}$
Активность пероксидазы [Peroxidase activity]	<i>Betula pendula</i>	$\eta_2$ , %	<b>23,9</b>
		F	3,8
		p	0,02
	<i>Pinus sylvestris</i>	$\eta_2$ , %	18,5
		F	2,7
		p	0,06
Концентрация малонового диальдегида [Malondialdehyde (MDA) concentration]	<i>Betula pendula</i>	$\eta_2$ , %	<b>44,5</b>
		F	9,6
		p	$8,5 \cdot 10^{-5}$
	<i>Pinus sylvestris</i>	$\eta_2$ , %	<b>31,5</b>
		F	5,5
		p	0,003
Содержание каротиноидов [Carotenoid content]	<i>Betula pendula</i>	$\eta_2$ , %	–
		F	–
		p	–
	<i>Pinus sylvestris</i>	$\eta_2$ , %	<b>25,0</b>
		F	4,0
		p	0,01

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения при  $p < 0,05$ .

[Note. The values are highlighted in bold when  $p < 0.05$ .]

Таблица 10

**Результаты корреляционного анализа изменения антиоксидантной активности  
в листьях древесных растений ( $p < 0,05$ )**  
**[Results of correlation analysis of changes in antioxidant activity in leaves of woody plants ( $p < 0,05$ )]**

Показатель [Indicator]		Направление [Direction]	Активность каталазы [Catalase activity]	Активность пероксидазы [Peroxidase activity]	Содержание каротиноидов [Carotenoid content]
Концентрация малонового диальдегида [Concentration of Malondialdehyde (MDA)]	<i>Betula pendula</i>	Юго-запад [SW]	–*	–	0,32
		Юго-восток [SE]	–0,74	–0,79	0,69
		Северо-запад [NW]	–0,48	–0,86	0,58
		Северо-восток [NE]	–0,73	–0,84	0,62
	<i>Pinus sylvestris</i>	Юго-запад [SW]	–0,54	–0,34	–
		Юго-восток [SE]	–0,63	–0,68	0,63
		Северо-запад [NW]	–0,40	–0,40	0,51
		Северо-восток [NE]	–0,74	–0,32	0,58

Примечание. \* – не обнаружена статистически достоверная взаимосвязь.

[Note. \* – no statistically significant relationship was found.]

По результатам корреляционного анализа, представленным в табл. 10, отмечается разнонаправленное изменение антиоксидантной активности в листьях древесных растений, произрастающих в условиях газопылевого загрязнения, вследствие усиления процессов ПОЛ (при  $p < 0,05$ ).

## Выводы

Газопылевые выбросы предприятия ОАО «Красносельскстройматериалы» вызывают стимуляцию окислительных процессов в листьях древесных растений, что проявляется в увеличении содержания малонового диальдегида, и способствуют окислительному повреждению антиоксидантных ферментов (каталазы, пероксидазы). Накопление избыточного количества перекиси водорода или инактивация активного центра фермента техногенными поллютантами приводит к снижению потенциальной активности окислительно-восстановительных ферментов. В то же время отмечается адаптивная перестройка фотосинтетического аппарата, проявляющаяся в виде повышения уровня каротиноидов в листьях древесных растений.

Таким образом, в условиях воздействия предприятия по производству строительных материалов в листовом аппарате древесных растений формируются особые защитно-приспособительные механизмы, которые проявляются в виде изменения ряда ферментативных (на примере активности каталазы, пероксидазы) и неферментативных компонентов антиоксидантной защиты (на примере каротиноидов). Высокая степень ингибирования ферментативной активности может являться диагностическим признаком слабой устойчивости древесных растений к техногенным воздействиям.

## Библиографический список / References

Виноградова Е.Н. Активность свободной и ионносвязанной фракций пероксидазы в листьях *Populus Bolleana* Louche насаждений крупного промышленного города // Промышленная ботаника. 2013. Вып. 13. С. 174–179. [Vinogradova E.N. Activity of free and ion-bound peroxidase fractions in the leaves of *Populus Bolleana* Louche plantings of a large industrial city. *Industrial Botany*. 2013. No. 13. Pp. 174–179. (In Rus.)]

Гулиев Р.Б., Азизов Б.М., Аббасзаде А.А. Оценка содержания хлорофилла в растениях, подвергнутых антропогенному воздействию, спектрофотометрическим методом // Оптика и спектроскопия. 2009. Т. 106. № 3. С. 514–520. [Guliyev R.B., Azizov B.M., Abbaszade A.A. Assessment of chlorophyll content in plants exposed to anthropogenic influence by the spectrophotometric method. *Optics and Spectroscopy*. 2009. Vol. 106. No. 3. Pp. 514–520. (In Rus.)]

Карагіна Л.А., Міхайлоўская Н.А. Вызначэнне актыўнасці поліфенолаксідазы і пераксідазы у глебе // Вес. Акад. навук БССР. Сер. с.-г. навук. 1986. № 2. С. 40–41. [Karyagina L.A., Mikhailovskaya N.A. Determination of the activity of polyphenol oxidase and peroxidase in soil. *Bulletin of the Academy of Sciences of the BSSR. Agricultural Sciences Series*. 1986. No. 2. Pp. 40–41. (In Belarusian)]

Продукты перекисного окисления липидов как возможные посредники между воздействием повышенной температуры и развитием стресса-реакции у растений / Курганова Л.Н. и др. // Физиол. раст. 1999. Т. 46. № 2. С. 218–222. [Kurganova L.N. et al. Products of lipid peroxidation as possible intermediaries between exposure to elevated temperature and the development of stress reactions in plants. *Fiziologiya rasteniy*. 1999. Vol. 46. No. 2. Pp. 218–222. (In Rus.)]

Реакция пигментной и антиоксидантной систем растений на загрязнение окружающей среды г. Калининграда выбросами автотранспорта / Чупахина Г.Н. и др. // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 2 (18). С. 171–185. [Chupakhina G.N. et al. Reaction of pigment and antioxidant systems of plants to environmental pollution of Kaliningrad by vehicle emissions. *Bulletin of Tomsk State University. Biology*. 2012. No. 2 (18). Pp. 171–185. (In Rus.)]

Самусик Е.А., Головатый С.Е., Марчик Т.П. Интенсивность перекисного окисления липидов и активность каталазы в листьях древесных растений, произрастающих в условиях промышленного загрязнения // Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века: Материалы XX Междунар. науч. конф., Минск, 23–24 мая 2019 г.: В 3 ч. / Под ред. С.А. Маскевича, С.С. Позняка. Мн., 2019. Ч. 3. С. 79–83. [Samusik E.A., Golovaty S.E., Marchik T.P. Intensity of lipid peroxidation and catalase activity in leaves of woody plants growing in conditions of industrial pollution. *Sakharovskie chteniya 2019 goda: ekologicheskie problemy XXI veka*. S.A. Maskevich, S.S. Poznyak (eds.). Minsk, 2019. Part 3. Pp. 79–83. (In Rus.)]

Сарсенбаев К.Н., Полимбетова Ф.А. Роль ферментов в устойчивости растений. Алма-Ата, 1986. [Sarsenbayev K.N., Polimbetova F.A. Rol fermentov v ustoichivosti rastenii [The role of enzymes in plant resistance]. Alma-Ata, 1986.]

Симонова З.А. Активность пероксидазы *Betula pendula* как индикатор качества городской среды (на примере г. Саратова) // Фундаментальные исследования. 2013. № 8-5. С. 1097–1101. [Simonova Z.A. *Betula pendula* peroxidase activity as an indicator of the quality of the urban environment (on the example of Saratov). *Fundamentalnye issledovaniya*. 2013. No. 8-5. Pp. 1097–1101. (In Rus.)]

Симонова З.А., Тихомирова Е.И., Шайдено И.С. Роль железосодержащих оксидаз в адаптации древесных растений к факторам городской среды (на примере города Саратова) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Общая биология. 2016. Т. 18. № 2 (3). С. 801–805. [Simonova Z.A., Tikhomirova E.I., Shaidenko I.S. The role of iron-containing oxidases in the adaptation of woody plants to factors of the urban environment (on the example of the city of Saratov). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. Obshchaya biologiya*. 2016. Vol. 18. No. 2 (3). Pp. 801–805. (In Rus.)]

Тужилкина В.В. Реакция пигментной системы хвойных на длительное аэротехногенное загрязнение // Экология. 2009. № 4. С. 243–248. [Tuzhilkina V.V. Reaction of the pigment system of conifers to prolonged aerotechnogenic pollution. *Ecology*. 2009. No. 4. Pp. 243–248. (In Rus.)]

Статья поступила в редакцию 21.08.2022, принята к публикации 11.10.2022

The article was received on 21.08.2022, accepted for publication 11.10.2022

### Сведения об авторах / About the authors

**Самусик Елена Андреевна** – старший преподаватель кафедры экологии факультета биологии и экологии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь

**Elena A. Samusik** – senior lecturer at the Department of Ecology of the Faculty of Biology and Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6216-6001>

E-mail: [e.samusik@mail.ru](mailto:e.samusik@mail.ru)

**Марчик Татьяна Павловна** – кандидат биологических наук; доцент кафедры экологии факультета биологии и экологии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Республика Беларусь

**Tatsiana P. Marchik** – PhD in Biology; associate professor at the Department of Ecology of Faculty of Biology and Ecology, Yanka Kupala State University of Grodno, Republic of Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5664-2510>

E-mail: [tmel05@yandex.by](mailto:tmel05@yandex.by)

**Головатый Сергей Ефимович** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; заведующий кафедрой экологического мониторинга и менеджмента Международного государственного экологического института имени А.Д. Сахарова, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

**Sergey E. Golovaty** – Dr. Hab. (Agriculture); Head at the Department of Environmental Monitoring and Management of the International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8039-1926>

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

### Заявленный вклад авторов

**Е.А. Самусик** – общее руководство направлением исследования, отбор проб, обработка данных, анализ результатов обработки данных, подготовка текста статьи

**Т.П. Марчик** – анализ и интерпретация результатов обработки данных, подготовка текста статьи

**С.Е. Головатый** – анализ и интерпретация результатов обработки данных, подготовка текста статьи

### Contribution of the authors

**E.A. Samusik** – general management direction of the research direction, sampling, data processing, analysis of the results of data processing, preparation of the text of the article

**T.P. Marchik** – analysis and interpretation of the results of data processing, preparation of the text of the article

**S.E. Golovaty** – analysis and interpretation of the results of data processing, preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-439-458

**А.В. Синдирева, Н.Е. Гурьев**

Тюменский государственный университет,  
625003 г. Тюмень, Российская Федерация

## Факторы, влияющие на содержание селена в серых лесных почвах и сельскохозяйственных культурах юга Тюменской области

В статье проведен анализ особенностей содержания селена в серых лесных почвах, а также произрастающих на них растениях на примере территории юга Тюменской области. Диапазон валового содержания селена в пахотном горизонте серых лесных почв пяти административных районов юга Тюменской области варьирует от 0,04 до 0,08 мг/кг и достоверно не отличается. Определены взаимосвязи содержания селена с макро- и микроэлементами (валовое содержание, подвижные формы) и основными агрохимическими показателями, такими, как гумус, водородный показатель. Наибольшее влияние на аккумуляцию селена в верхнем пахотном горизонте серых лесных типов почв оказывает медь, цинк, калий, фосфор, гумус, рНКСl. Менее выражена зависимость с кобальтом, железом, серой, азотом нитратным и аммиачным, кальцием, магнием. Содержание селена в зерне *Triticum aestivum* сорта Тобольская степная находится в интервале от 0,003 до 0,092 мг/кг и характеризуется как недостаточное. Изучены взаимосвязи в питании растений между селеном и другими химическими элементами на примере *Triticum aestivum* сорта Тобольская степная. Согласно результатам регрессионного анализа, взаимосвязь селена



с марганцем, цинком, медью в зерне яровой мягкой пшеницы характеризуется синергизмом, а в парах Se–Hg, Se–Cd, Se–As отмечены явления антагонизма. Полученные данные можно использовать для прогноза накопления селена в системе почва–растение для конкретных агроэкологических условий.

**Ключевые слова:** селен, серые лесные почвы, накопление селена в растениях, макроэлементы в почве, микроэлементы в почве, Тюменская область, *Triticum aestivum*

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Министерства образования, культуры, науки и спорта Монголии в рамках научного проекта № 20-55-44028.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Синдирева А.В., Гурьев Н.Е. Факторы, влияющие на содержание селена в серых лесных почвах и сельскохозяйственных культурах юга Тюменской области // Социально-экологические технологии. 2022. Т. 12. № 4. С. 439–458. DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-439-458

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-439-458

**A.V. Sindireva, N.E. Guryev**

Tyumen State University,  
Tyumen, 625003, Russian Federation

## Factors influencing selenium content in gray forest soils and agricultural crops in the South of Tyumen region

The article analyzes the content of selenium in gray forest soils and plants growing on them on the example of the south of Tyumen region. The range of gross selenium content in the arable horizon of gray forest soils of five administrative districts in the south of Tyumen region varies from 0.04 to 0.08 mg/kg and does not differ significantly. Correlations of selenium content with macro- and microelements (gross content, mobile forms) and

basic agrochemical indices such as humus, hydrogen index were determined. The greatest influence on the accumulation of selenium in the upper arable horizon of gray forest soil types has copper, zinc, potassium, phosphorus, humus, and pHKCl. The dependence with cobalt, iron, sulfur, nitrate and ammonia nitrogen, calcium, and magnesium is less pronounced. The content of selenium in grain of *Triticum aestivum* variety Tobolskaya steppe is in the range from 0,003 to 0,092 mg/kg and is characterized as insufficient. The relationships in plant nutrition between selenium and other chemical elements were studied on the example of *Triticum aestivum* variety Tobolskaya steppe. According to the results of regression analysis, the relationship between selenium and manganese, zinc, copper in grain of spring wheat is characterized by synergism, and in pairs Se–Hg, Se–Cd, Se–As the phenomenon of antagonism is noted. The obtained data can be used to predict the accumulation of selenium in the soil-plant system for specific agro-ecological conditions.

**Key words:** Selenium, gray forest soils, plants, macroelements in the soil and microelements in the soil, Tyumen region, *Triticum aestivum*

**Acknowledgments.** The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research, and the Ministry of Education, Culture, Science and Sports of Mongolia within the framework of scientific project number 20-55-44028.

FOR CITATION: Sindireva A.V., Guryev N.E. Factors influencing selenium content in gray forest soils and agricultural crops in the South of Tyumen region. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2022. Vol. 12. No. 4. Pp. 439–458. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2022-12-4-439-458

## Введение

Селен является одним из важных микроэлементов, оказывающих биологическое действие на живые организмы. Как при его избытке, так и недостатке отмечается ряд эндемичных заболеваний. Содержание данного элемента и его распространение в объектах окружающей среды крайне низкое. Селен является рассеянным микроэлементом, который входит в состав порядка 40 минералов. Основным источником поступления селена в растения, следовательно, в организм животных и человека являются почвы и подстилающие их горные породы.

Содержание селена в почвах разного генезиса может находиться в диапазонах от 0,01 до 1,2 мг/кг, однако его количество в отдельных регионах может достигать и 10 мг/кг [Ильин, 1991; Микроэлементозы..., 1991; Иванов, 1996, с. 240–274; Вощенко, 1998; Волкотруб, Андропова,

2001; Майманова, 2003; Ермаков, 2004; Сысо, 2007; Полосина, 2009; Синдирева, Голубкина, 2011; Синдирева, Котченко, Гурьев, 2021].

Проведенные полевые и лабораторные исследования 2020–2021 гг. свидетельствуют о крайне низком количестве селена в основных типах почв территории Тюменской области: содержание микроэлемента в исследуемых почвах изменяется в интервале от 0,006 до 0,09 мг/кг. Поэтому можно прогнозировать его недостаточное содержание в системе почва–растение–животное и, как следствие, низкий селеновый статус населения региона [Синдирева, Котченко, Гурьев, 2021].

Распределение почв юга Тюменской области по содержанию селена от наиболее низкой концентрации к высокой выглядит следующим образом: аллювиально-луговая > серая лесная (светло-серая) > чернозем выщелоченный > лугово-глеватая > серая лесная (серая лесная > серая лесная (темно-серая)) > пойменная дерновая > пойменно аллювиальная – типичная [Там же]. Однако представляет особый интерес изучение распределение селена в пределах одного типа почв и определение эдафических факторов, влияющих на его аккумуляцию, а также его миграции в системе почва–растение.

*Цель исследования:* геохимическая оценка аккумуляции селена в пахотном горизонте серых лесных типах почв и растениях юга Тюменской области.

*Задачи исследования:*

- проанализировать содержание селена в пахотном горизонте серых лесных типах почв юга Тюменской области;
- установить корреляцию между содержанием селена и агрохимическими показателями серых лесных почв;
- изучить содержание селена в растениях, выращенных на серых лесных почвах реперных участков юга Тюменской области;
- выявить взаимосвязи при поступлении между макро- и микроэлементами и селеном в растения яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Тобольская степная, произрастающей на изученных участках юга Тюменской области;
- установить факторы, влияющие на аккумуляцию селена в системе почва–растение на серых лесных почвах юга Тюменской области.

## Материалы и методы исследования

Объектами исследования являлись серые лесные почвы как одни из распространенных зональных типов почв юга Тюменской области, а также растения яровой мягкой пшеницы сорта Тобольская степная, выращиваемой на территории исследования.

Образцы почвы и произрастающих на них растений отобраны в пяти административных районах юга Тюменской области: Омутинском (в районе населенного пункта Новодеревенская), Нижнетавдинском (в районе населенного пункта Малые Велижаны), Упоровском (в районе населенного пункта Упорово), Ярковском (в районе населенного пункта Усалка) и Тюменском (в районе населенного пункта Успенка).

В качестве исследуемых образцов почв в данной работе были серые лесные, подтип темно-серые лесные почвы реперных участков Федерального государственного бюджетного учреждения Государственный центр агрохимической службы «Тюменский» (ФГБУ ГЦАС «Тюменский») юга Тюменской области. Рассматриваемый тип почвы занимает 6,3% территории юга Тюменской области. Общая площадь серых лесных типов почв составляет 370 тыс. га, темно-серых лесных – 360 тыс. га, светло-серых лесных – 161,2 тыс. га. Данный тип почв формируется на территориях лесостепной зоны в условиях водного режима преимущественно широколиственных, смешанных или мелколиственных типов лесов с разнообразным и обильным травяным покровом. Типичная морфология изучаемых почв выглядит следующим образом:  $A_{\text{пах}} + A_2 + BA_2 + B + BC_{(к)} + C_{к}$ .

Стоит отметить, что темно-серые подтипы почв характеризуются интенсивными дерновыми и наименее интенсивными подзолистыми процессами. Мощность гумусового горизонта в данном подтипе серых лесных почв может достигать до 40 см. Как правило, это слабокислые почвы с наличием характерных новообразований кальция на глубинах 120–150 см [Каретин, 1990].

Исследования проведены в 2020–2022 гг. При обобщении и анализе материала использовались собственные исследования и материалы отчетов ФГБУ ГЦАС «Тюменский» по обследованию пахотных почв Тюменской области.

Почвенные образцы отбирались методом конверта на пахотных почвах. Всего отобрано 20 проб почв. Отбор проб проводился с глубины 0–20 см в связи с аккумулярующими свойствами верхних почвенных горизонтов, в которых происходит накопление различных загрязнителей (тяжелые металлы, пестициды, радионуклиды и т.д.), а также по причине концентрации микроэлементов (в том числе селена), которые активно включаются в трофическую цепь<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> ГОСТ 17.4.4.02–2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

Растения отбирались на тех же участках, где образцы почвы, методом конверта. Объектом исследования являлась яровая мягка пшеница сорта Тобольская степная, всего отобрано 20 проб<sup>2</sup>.

Определение селена в почвенных и растительных образцах проводилось в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Уральскому федеральному округу» по Тюменской области методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой<sup>3</sup>, предназначенный для определения массовой доли селена в почвенных и растительных образцах.

Определение в почве агрохимических показателей, в растениях макро- и микроэлементов проводилось в аккредитованной лаборатории ФГБУ ГЦАС «Тюменский» с применением стандартных методик. Математическая обработка результатов осуществлялась стандартными статистическими методами с использованием компьютерного пакета программ Statistika, MS Excel.

## Результаты и обсуждение

Агрохимическая характеристика серых лесных почв юга Тюменской области и результаты оценки валового содержания селена, полученные при проведении анализа проб, отобранных на реперных участках Омутинского, Нижнетавдинского, Упоровского, Яркового, Тюменского районов юга Тюменской области, представлены в табл. 1–3.

Установлено, что содержание селена в образцах серых лесных почв, отобранных в разных административных районах, достоверно не отличается. Все представленные административные районы, за исключением Нижнетавдинского (подтаежная), территориально располагаются в одной природной зоне (лесостепь).

Диапазон содержания селена в серых лесных почвах пяти административных районах юга Тюменской области варьирует от 0,04 до 0,08 мг/кг, средняя концентрация селена в почвах составляет 0,06 мг/кг при максимальном содержании 0,08 мг/кг в Янковском административном районе и минимальном 0,04 мг/кг в Тюменском. Оценка уровня содержания селена в почве принималась по следующим пороговым значениям концентрации изучаемого микроэлемента: менее 125 мкг/кг – область селенодефицита; 125–175 мкг/кг – маргинальная недостаточность; 175–3000 мкг/кг – область оптимума; более 3000 мкг/кг – область избытка.

<sup>2</sup> ГОСТ 13586.3–2015. Зерно. Правила приемки и метод отбора проб.

<sup>3</sup> ПНД Ф 16.1:2.3:3.11–98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

**Валовое содержание селена в верхнем пахотном горизонте серых лесных почв  
административных районов юга Тюменской области**  
[Gross selenium content in the upper arable horizon of gray forest soils in the administrative districts  
of the south of Tyumen region]

Административный район реперного участка [Administrative district of the reference area]	Тип почвы [Soil type]	Подтип почвы [Soil subtype]	Гранулометрический состав [Granulometric composition]	Содержание селена, мг/кг [Selenium content, mg/kg]	
Ярковский [Yarkovsky]	Серые лесные [Gray forest]	Светло-серые [Light gray]	Средний суглинок [Medium loam]	0,08 ± 0,03	
Омутинский [Omutinsky]		Темно-серая [Dark gray]		0,07 ± 0,02	
Нижнетавдинский [Nizhnetavdinsky]		Серые лесные [Gray forest]			0,06 ± 0,01
Упоровский [Urovovsky]					0,05 ± 0,02
Тюменский [Tyumensky]					0,04 ± 0,02
<i>Сводные данные [Summary data]</i>					
Максимальное содержание, мг/кг [Max content, mg/kg]				0,08	
Минимальное содержание, мг/кг [Min content, mg/kg]				0,04	
Среднее содержание, мг/кг [Average content, mg/kg]				0,06	

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что территория юга Тюменской области относится к категории селенодефицитной [Tan et al., 2002].

Низкое содержание селена в серых лесных почвах можно предположительно обосновать тем, что основная часть селена не аккумулируется в гумусовом горизонте в связи с его гранулометрическим составом и малой мощностью, а мигрирует под действием естественных процессов сначала в горизонт  $A_1A_2$  и концентрируется в горизонте В.

Помимо физических факторов, оказывающих влияние на миграцию селена в почвах, существенную роль в его распределении в верхних почвенных горизонтах оказывают и химические факторы, а именно содержание макро- и микроэлементов и другие агрохимические показатели. В данном исследовании для определения взаимосвязей между селеном и химическими элементами были использованы предоставленные ФГБУ ГЦАС «Тюменский» данные агрохимических обследований (табл. 2–3) почв изучаемой территории.

Содержание химических элементов в исследуемых образцах реперных участков не превышает действующих предельно допустимых концентраций и ориентировочно допустимых концентраций и соответствует нормативной документации, что говорит об относительной стабильной экологической ситуации изучаемой территории. Однако тревогу может вызывать не только повышенное содержание химических элементов в почве, но и их недостаток, что тоже может сказываться на качестве растениеводческой продукции. Таким элементом является селен. Его недостаток обусловлен не только составом материнских пород, но и взаимодействием с другими физико-химическими параметрами почвы.

Для определения геохимических факторов, влияющих на аккумуляцию селена в серых лесных почвах юга Тюменской области, установлены взаимосвязи его содержания с рядом агрохимических параметров. Уравнения зависимости представлены в табл. 4 и 5.

Наибольшее влияние на аккумуляцию селена в верхнем пахотном горизонте серых лесных типов почв оказывает медь, цинк, калий, фосфор, гумус, рНКСl.

Менее выраженная или отсутствует зависимость с кобальтом, железом, серой, азотом как нитратным, так и аммиачным, кальцием, магнием.

В ряде работ отечественных и зарубежных ученых установлена геохимическая связь селена с медью, алюминием, гумусом, водородным показателем рН и другими макро- и микроэлементами. В окислительных и восстановительных условиях селен в связи с его химическими особенностями является аналогом серы, замещая ее [Tan et al., 2002; Барabanщикова, 2013; Голубкина, Полубояринов, Синдирева, 2017].

Агрохимическая характеристика серых лесных почв юга Тюменской области  
(по данным Государственного центра агрохимической службы «Тюменский»)  
[Agrochemical characteristics of gray forest soils in the south of Tyumen region  
(according to “Tyumensky” State Center for Agrochemical Service)]

Административный район реперного участка [Administrative district of the reference area]	Агрохимические показатели [Agrochemical indicators]											
	Гумус, % [Humus, %]	P*, мг/кг [P*, mg/kg]	K*, мг/кг [K*, mg/kg]	Al*, мг/кг [Al*, mg/kg]	pHКCl, мг/кг [pHКCl, mg/kg]	Нг, мг/кг [Нг, mg/kg]	Ca <sup>2+**</sup> , мг экв. / 100 г почвы [Ca <sup>2+**</sup> , мг экв. / 100 г почвы]	Mg <sup>2+**</sup> , мг экв. / 100 г почвы [Mg <sup>2+**</sup> , мг экв. / 100 г почвы]	Сумма поглощенных оснований, мг/кг [The amount of absorbed bases, mg/kg]	Азот нитратный, мг/кг [Nitrate nitrogen, mg/kg]	Азот аммиачный, мг/кг [Ammonia nitrogen, mg/kg]	S, мг/кг [S, mg/kg]
Ярковский [Yarkovsky]	3,6	21,1	91,5	0,05	5,1	2,74	12,5	2,50	16,8	4,70	6,1	6,3
Омутинский [Omutinsky]	4,4	65,6	152,0	0,05	5,2	3,13	19,5	3,50	24,4	1,82	5,6	5,0
Нижнетавдинский [Nizhnetavdinsky]	3,7	63,1	125,0	0,05	4,8	3,26	12,3	2,25	15,6	1,45	4,8	7,3
Упоровский [Uporovsky]	6,1	284,4	130,0	0,05	5,6	2,41	14,3	1,50	21,8	4,80	6,3	6,2
Тюменский [Tyumensky]	4,5	117,1	368,0	0,05	6,0	1,63	15,0	3,25	25,6	1,48	4,9	5,3



Окончание табл. 2

Административный район реперного участка [Administrative district of the reference area]	Агрохимические показатели [Agrochemical indicators]											
	Гумус, % [Humus, %]	P*, мг/кг [P*, mg/kg]	K*, мг/кг [K*, mg/kg]	Al*, мг/кг [Al*, mg/kg]	pHКСl, мг/кг [pHКСl, mg/kg]	Нг, мг/кг [Нг, mg/kg]	Ca <sup>2+**</sup> , мг экв. / 100 г почвы [Ca <sup>2+**</sup> , mg экв. / 100 г почвы]	Mg <sup>2+**</sup> , мг экв. / 100 г почвы [Mg <sup>2+**</sup> , mg экв. / 100 г почвы]	Сумма поглощенных оснований, мг/кг [The amount of absorbed bases, mg/kg]	Азот нитратный, мг/кг [Nitrate nitrogen, mg/kg]	Азот аммиачный, мг/кг [Ammonia nitrogen, mg/kg]	S, мг/кг [S, mg/kg]
Сводные данные [Summary data]												
Максимальное содержание [Maximum content]	6,1	284,4	368,0	0,05	6,00	3,26	19,50	3,5	25,60	4,80	6,30	7,3
Минимальное содержание [Minimum content]	3,6	21,1	91,5	0,05	4,80	1,63	12,30	1,5	15,60	1,45	4,80	5,0
Среднее содержание [Average content]	4,5	110,2	173,3	0,05	5,34	2,63	14,72	2,6	20,84	2,85	5,54	6,0

Примечание. \* – подвижная форма элемента; \*\* – обменная форма элемента.

[Note. \* – mobile form; \*\* – exchange form of the element]

Таблица 3

**Содержание микроэлементов в серых лесных почвах реперных участков юга Тюменской области  
(по данным Государственного центра агрохимической службы «Тюменский»)  
[The content of trace elements in gray forest soils of the reference areas in the south of Tyumen region  
(according to “Tyumensky” State Center for Agrochemical Service)]**

Административный район реперного участка [Administrative district of the reference area]	Содержание подвижных форм микроэлементов, мг/кг [Content of mobile forms of microelements, mg/kg]					
	B	Cu	Zn	Co	Mn	Fe
Ярковский [Yarkovsky]	0,5	0,21	1,21	0,13	19,34	28,70
Омутинский [Omutinsky]	0,5	0,21	0,61	0,14	13,10	12,90
Нижнетавдинский [Nizhnetavdinsky]	0,5	0,20	0,61	0,13	9,52	64,50
Упоровский [Uporovsky]	0,5	0,22	0,61	0,12	18,57	16,10
Тюменский [Tyumensky]	0,5	0,23	0,85	0,13	25,29	11,30
<i>Сводные данные [Summary data]</i>						
Максимальное содержание [Maximum content]	0,5	0,23	1,21	0,14	25,29	28,70
Минимальное содержание [Minimum content]	0,5	0,20	0,61	0,12	9,52	11,30
Среднее содержание [Average content]	0,5	0,21	0,13	0,44	17,16	28,70

Таблица 4

**Характер взаимодействия между содержанием селена  
и микроэлементами в серых лесных почвах юга Тюменской области**  
[**Nature of interaction between the content of selenium  
and trace elements in gray forest soils in the south of Tyumen region**]

Микроэлемент [Trace element]	Уравнение регрессии [Regression Equation]	Характер взаимодействия [The nature of the interaction]
Cu	$-0,44x + 0,24, r = 0,74$	Антагонизм [Antagonism]
Zn	$109,87x + 29,24, r = 0,70$	Синергизм [Synergism]
Co	$0,166x + 0,119, r = 0,40$	Синергизм [Synergism]
Mn	$159,88x + 27,49, r = 0,50$	Синергизм [Synergism]
Fe	$502,07x - 3,73, r = 0,41$	Синергизм [Synergism]
K	$-4503,1x + 64,2, r = 0,76$	Антагонизм [Antagonism]
S	$9,20x + 5,4201, r = 0,20$	Синергизм [Synergism]
P	$-3504,1x + 336,62, r = 0,64$	Антагонизм [Antagonism]
Азот нитратный [Nitrate nitrogen]	$25,79x + 1,18, r = 0,28$	Синергизм [Synergism]
Азот аммиачный [Ammonia nitrogen]	$12,56x + 4,73, r = 0,34$	Синергизм [Synergism]
Гумус [Humus]	$-30,0x + 6,42, r = 0,56$	Антагонизм [Antagonism]
pHКCl	$-19,36x + 6,59, r = 0,78$	Антагонизм [Antagonism]
Ca <sup>2+</sup>	$-3,36x + 14,94, r = 0,02$	Антагонизм [Antagonism]
Mg <sup>2+</sup>	$-3,42x + 2,38, r = 0,07$	Синергизм [Synergism]

Примечание.  $x$  – содержание селена, мг/кг.

[Note.  $x$  – selenium content, mg/kg.]

В статье установлена корреляция между содержанием селена и гумуса, селена и pHКCl. Согласно представленным результатам уравнения регрессионного анализа (см. табл. 4) выявлена отрицательная корреляционная связь ( $r = 0,56$ ) с гумусом и pHКCl ( $r = 0,78$ ), что говорит о том, что содержание гумуса и кислотность оказывают влияние на содержание селена в изучаемом типе почв. В кислых почвах с большим преобладанием органического вещества присутствуют селениды и сульфиды селена, которые плохо усваиваются растениями.

В нейтральной среде преобладают селениты, а в щелочных условиях преобладают селенаты, которые в связи с их легкой растворимостью хорошо усваиваются растениями.

Проведенный анализ показал обратную зависимость между содержанием селеном и калием. При увеличении содержания калия в почвах наблюдается уменьшение содержания валового селена в почвах.

Для меди, как и для калия, характерна обратная зависимость, где при увлечении содержания одного элемента снижается содержание другого. Так, при увеличении содержания меди наблюдается уменьшение содержания селена в верхнем пахотном горизонте почвы.

Увеличение содержания цинка в почве способствует накоплению селена. В Тюменском районе содержание селена составляет 0,04 мг/кг при содержании цинка в 0,85 мг/кг, а в Ярковском районе при более высоком среднем содержании цинка наблюдается увеличение содержания селена до 0,08 мг/кг.

Подводя итоги, стоит отметить и тот факт, что на содержание селена помимо макро- и микроэлементов, а также агрохимических показателей влияние оказывают такие факторы, как климатические особенности, гранулометрический состав горных пород и минералов, слагающих почвы и их водно-промывной режим, а также наличие антропогенного воздействия на территорию.

Большое значение для сельского хозяйства и санитарно-эпидемиологических условий территории проживания населения служит содержание селена в сельскохозяйственных культурах, накопление которого напрямую зависит от исходного количества этого микроэлемента в почвах.

Диапазон содержания селена в растительных сообществах достаточно разнообразен и имеет широкий интервал, который зависит от химического состава почв и вида растения. Поступление селена в растение осуществляется с помощью поглощения данного элемента корневой системой из почв, при этом одними из основных форм микроэлемента являются селениты, селенаты, которые связаны с оксидами железа, алюминия, марганца, карбонатами, водородным показателем pH и органическим веществом почвы. Наиболее благоприятными условиями для поглощения селена растениями служит аридный климат, хорошая аэрация почвы, а также низкое содержание pH и большое содержание органического вещества [Капитальчук и др., 2011].

В табл. 5 и 6 представлены результаты исследования проб зерна яровой мягкой пшеницы сорта Тобольская степная, отобранной на реперных участках ФГБУ ГЦАС «Тюменский».

**Содержание селена в зерне *Triticum aestivum*  
[Selenium content in *Triticum aestivum* grain]**

Административный район реперного участка [Administrative district of the reference area]	Содержание селена, мг/кг [Se content, mg/kg]
Омутинский [Omutinsky]	0,046
Нижнетавдинский [Nizhnetavdinsky]	0,018
Упоровский [Uporovsky]	0,092
Тюменский [Tyumensky]	0,003
<i>Сводные данные [Summary data]</i>	
Максимальное содержание [Maximum content]	0,092
Минимальное содержание [Minimum content]	0,003
Среднее содержание [Average content]	0,039

Средний интервал концентрации селена в зерне яровой мягкой пшеницы сорта Тобольская степная юга Тюменской области варьирует от 0,003 до 0,092 мг/кг. Согласно проведенным исследованиям отечественных и зарубежных ученых, содержание селена в зерновых культурах варьируется в интервале от 0,004–0,005 мг/кг (США, Канада) и до 0,6 мг/кг (Читинская область, Монголия). Для большей части сельскохозяйственных культур, используемых в пищу на территории Российской Федерации, характерно недостаточное количество данного микроэлемента. К такой территории относится и юг Тюменской области [Синдирева, 2012; Синдирева, Котченко, Гурьев, 2021].

Для определения факторов, оказывающих влияние на содержание селена в растениях яровой мягкой пшеницы юга Тюменской области, были установлены его взаимосвязи с макро- и микроэлементами. Результаты регрессионного анализа представлены в табл. 7.

Согласно представленным результатам уравнения регрессионного анализа (см. табл. 7) установлено, что влияние на аккумуляцию селена в зерне *Triticum aestivum* оказывает мель, марганец, кобальт, цинк, свинец, ртуть, кадмий, мышьяк. Менее выраженная зависимость с содержанием нитратов.

При увеличении содержания ряда элементов отмечается прямо пропорциональное повышение уровня селена. Такими элементами являются цинк (24,66–38,19 мг/кг) и свинец (0,32–0,42 мг/кг), где при увлечении содержания этих элементов наблюдалось накопление селена в растениях.

Таблица 6

**Содержание химических элементов в зерне *Triticum aestivum***  
**(по данным Государственного центра агрохимической службы «Тюменский»)**  
**[Chemical element content in *Triticum aestivum* grain**  
**(according to “Tyumensky” State Center for Agrochemical Service)]**

Административный район реперного участка [Administrative district of the reference area]	Содержание химических элементов, мг/кг [Content of chemical elements, mg/kg]								
	Mn	Co	Cu	Zn	Pb	Hg	Cd	As	Нитраты [Nitrates]
Омутинский [Omutinsky]	19,67	0,06	4,10	34,71	0,35	0,0025	0,04	0,03	282
Нижнетавдинский [Nizhnetavdinsky]	28,91	0,05	4,66	36,85	0,40	0,0025	0,05	0,03	31
Упоровский [Uporovsky]	26,14	0,05	4,40	38,19	0,42	0,0025	0,04	0,03	31
Тюменский [Tyumensky]	48,84	0,09	4,66	24,66	0,32	0,0098	0,26	0,09	166
<i>Сводные данные [Summary data]</i>									
Максимальное содержание [Maximum content]	48,84	0,09	4,66	38,19	0,422	0,0098	0,26	0,089	282
Минимальное содержание [Minimum content]	19,67	0,05	4,1	24,66	0,322	0,0025	0,049	0,029	31
Среднее содержание [Average content]	30,89	0,06	4,5	33,6	0,37	0,004	0,09	0,04	127,5

**Характер взаимодействия между содержанием селена  
и химическими элементами в зерне *Triticum aestivum*  
[Nature of interaction between selenium content  
and chemical elements in *Triticum aestivum* grain]**

Микроэлемент [Trace element]	Уравнение регрессии [Regression Equation]	Характер взаимодействия [The nature of the interaction]
Mn	$8,47x + 9,71, r = 0,87$	Синергизм [Synergism]
Co	$-0,31x + 0,075, r = 0,63$	Антагонизм [Antagonism]
Zn	$109,87x + 29,235, r = 0,70$	Синергизм [Synergism]
Cu	$3,72x + 4,6029, r = 0,54$	Синергизм [Antagonism]
Pb	$0,8x + 0,34, r = 0,69$	Синергизм [Synergism]
Hg	$-0,06x + 0,007, r = 0,62$	Антагонизм [Antagonism]
Cd	$-1,75x + 0,17, r = 0,64$	Антагонизм [Antagonism]
As	$-0,51x + 0,065, r = 0,66$	Антагонизм [Antagonism]
Нитраты [Nitrate]	$-738,66x + 156,86, r = 0,24$	Антагонизм [Antagonism]

Примечание.  $x$  – содержание селена, мг/кг.

[Note.  $x$  – selenium content, mg/kg.]

Таким образом, можно сделать вывод о том, что на аккумулятивную способность селена в зерне яровой мягкой пшеницы могут оказывать влияние такие металлы, как свинец, цинк, марганец, медь, т.к. при увлечении их содержания в растении происходит прямо пропорциональное увеличение уровня селена.

Можно сделать вывод о том, что на накопление селена в продуктах растительного происхождения влияет не только его содержание в почвенном покрове, но и химическая конкуренция в самом растении, которая зависит от вида растения, физиологических свойств химических элементов, фазы развития растительного организма.

От миграции селена в системе почва–растение зависит содержание данного микроэлемента в продуктах растительного и животного происхождения и в конечном звене пищевой цепи – человеке [Микроэлемент селен..., 2000; Ермаков, 2004; Капитальчук и др., 2011]. Из перечисленных выше факторов и будет складываться общий «селеновый статус»

территории, который говорит о переизбытке или недостатке микроэлементов в компонентах окружающей среды.

На миграционную способность селена и его участие в трофических цепях большое значение оказывают зональные особенности ландшафта, которые складываются из климатических, геолого-геоморфологических, гидрологических, почвенных и геохимических особенностей, а также биологические особенности растений.

В целом можно отметить, что содержание селена в исследуемых образцах серой лесной почвы и произрастающих на ней растениях яровой мягкой пшеницы находится в недостатке, поэтому можно предположить, что проживаемое на данной территории население имеет риски появления различных болезней, ассоциированных с селенодефицитом.

## Выводы

1. Содержание селена в пахотном горизонте серых лесных почв пяти административных районов юга Тюменской области варьирует от 0,04 до 0,08 мг/кг и достоверно не отличается.

2. Наибольшее влияние на аккумуляцию селена в верхнем пахотном горизонте серых лесных типов почв оказывает медь, цинк, марганец, калий, фосфор, гумус, рНКСl; менее выражена зависимость с кобальтом, железом, серой, азотом нитратным и аммиачным, кальцием, магнием.

3. Содержание селена в зерне яровой мягкой пшеницы сорта Тобольская степная юга Тюменской области варьирует от 0,003 до 0,092 мг/кг и характеризуется как недостаточное.

4. Взаимосвязь селена с марганцем, цинком, медью в зерне яровой мягкой пшеницы характеризуется синергизмом, а в парах Se–Hg, Se–Cd, Se–As отмечены явления антагонизма.

Полученные данные можно использовать для прогноза накопления селена в системе почва–растение для конкретных агроэкологических условий.

## Библиографический список / References

Барабанщикова Л.Н. Содержание и распределение селена в агроландшафтах Северного Зауралья: Дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2013. [Barabanshchikova L.N. Soderzhanie i raspredelenie selena v agrolandshaftakh Severnogo Zauralya [The content and distribution of selenium in the agricultural landscapes of the Northern Trans-Urals]. PhD dis. Tyumen, 2013.]

Волкотруб Л.П., Андропова Л.П. Роль селена в развитии и предупреждении заболеваний (обзор) // Санитарная гигиена. 2001. № 2. С. 57–61. [Volkotrub L.P.,



Andropova T.V. The role of selenium in the development and prevention of diseases (review). *Sanitarnaya gigiena*. 2001. No. 2. Pp. 57–61. (In Rus.)]

Вощенко А.В. Алиментарная селенодефицитная эндемическая дисталационная кардиомиопатия (кешанская болезнь). Чита, 1998. [Voshchenko A.V. Alimentarnaya selenodefitsitnaya endemicheskaya distalatsionnaya kardiomiopatiya (keshanskaya bolezn') [Alimentary selenium deficiency endemic distal cardiomyopathy (Keshan disease)]. Chita, 1998.]

Голубкина Н.А., Полубояринов П.А., Синдирева А.В. Селен в продуктах растительного происхождения // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 2. С. 63–69. [Golubkina N.A., Poluboyarinov P.A., Sindireva A.V. Selenium in plant foods. *Voprosy pitaniya*. 2017. Vol. 86. No. 2. Pp. 63–69. (In Rus.)]

Ермаков В.В. Биогеохимия селена и его значение в профилактике эндемических заболеваний человека // Вестник Отделения наук о Земле РАН. 2004. № 1 (22). [Ermakov V.V. Biogeochemistry of selenium and its importance in the prevention of endemic human diseases. *Vestnik Otdeleniya nauk o Zemle RAN*. 2004. No. 1 (22). (In Rus.)]

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. М., 1996. [Ivanov V.V. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov* [Ecological geochemistry of elements]. Moscow, 1996.]

Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск, 1991. [Ilin V.B. *Tyazhelye metally v sisteme pochva–rastenie* [Heavy metals in the soil–plant system]. Novosibirsk, 1991.]

Капитальчук М.В., Капитальчук И.П., Голубкина Н.А. Аккумуляция и миграция селена в компонентах биогеохимической цепи «почва – растения – человек» в условиях Молдавии // Поволжский экологический журнал. 2011. № 3. С. 323–335. [Kapitalchuk M.V., Kapitalchuk I.P., Golubkina N.A. Accumulation and migration of selenium in the components of the biogeochemical chain “soil – plants – human” in the conditions of Moldova. *Povolzhskii ekologicheskii zhurnal*. 2011. No. 3. Pp. 323–335. (In Rus.)]

Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск, 1990. [Karetin L.N. *Pochvy Tyumenskoï oblasti* [Soils of the Tyumen region]. Novosibirsk, 1990.]

Майманова Т.М. Селен в основных компонентах ландшафтов Горного Алтая: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2003. [Maimanova T.M. *Selen v osnovnykh komponentakh landshaftov Gornogo Altaya* [Selenium in the main components of the landscapes of the Altai Mountains]. PhD theses. Novosibirsk, 2003.]

Микроэлемент селен: роль в процессах жизнедеятельности / Гмошинский И.В., Мазо В.К., Тутельян В.А., Хотимченко С.А. // Экология моря. 2000. № 54. С. 5–19. [Gmoshinskiy I.V., Mazo V.K., Tutelyan V.A., Khotimchenko S.A. Microelement selenium: Role in life processes. *Ekologiya morya*. 2000. No. 54. Pp. 5–19. (In Rus.)]

Микроэлементозы человека / Авцын А.А., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. М., 1991. [Avtsyin A.A., Zhavoronkov A.A., Rish M.A., Strochkova L.S. *Mikroelementozy cheloveka* [Human microelementoses]. Moscow, 1991.]

Полосина А.В. Селен в почвообразующих породах и почвах Новосибирской области // Сибирский экологический журнал. 2009. Т. 2. С. 293–297.

[Polosina A.V. Selenium in soil-forming rocks and soils of the Novosibirsk region. *Sibirskiy Ekologicheskiy Zhurnal*. 2009. No. 2. Pp. 293–297. (In Rus.)]

Синдирева А.В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе почва–растение–животное: Дис. ... д-ра биол. наук. Тюмень, 2012. [Sindireva A.V. Kriterii i parametry deistviya mikroelementov v sisteme pochva–rasteniye–zhivotnoe [Criteria and parameters of microelement action in the soil–plant–animal system]. Dr. Hab. dis. Tyumen, 2012.]

Синдирева А.В., Голубкина Н.А. Оценка селенового статуса территории Омской области // Омский научный вестник. 2011. № 1 (104). С. 192–196. [Sindireva A.V., Golubkina N.A. Estimation of the selenium status of the territory of the Omsk region. *Omskii nauchnyi vestnik*. 2011. No. 1 (104). Pp. 192–196. (In Rus.)]

Синдирева А.В., Котченко С.Г., Гурьев Н.Е. Геохимическая оценка содержания селена в основных типах почв Тюменской области // Проблемы региональной экологии. 2021. № 3. С. 32–38. [Sindireva A.V., Kotchenko S.G., Guryev N.E. Geochemical assessment of selenium content in the main types of soils in the Tyumen region. *Problemy regionalnoy ekologii*. 2021. No. 3. Pp. 32–38. (In Rus.)]

Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск, 2007. [Syso A.I. Zakonomernosti raspredeleniya khimicheskikh elementov v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh Zapadnoi Sibiri [Patterns of the distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soils of Western Siberia]. Novosibirsk, 2007.]

Tan J., Zhu W., Wang W. et al. Selenium in soil and endemic diseases in China. *Sci. Tot. Environ*. 2002. Vol. 284. Pp. 227–235.

Статья поступила в редакцию 21.08.2022, принята к публикации 12.10.2022

The article was received on 21.08.2022, accepted for publication 12.10.2022

## Сведения об авторах / About the authors

**Синдирева Анна Владимировна** – доктор биологических наук; заведующая кафедрой геоэкологии и природопользования Института наук о Земле, Тюменский государственный университет

**Anna V. Sindireva** – Dr. Hab. (Biology); Head at the Department of Geoecology and Nature Management of the Institute of Earth Sciences, Tyumen State University

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8596-7584>

E-mail: [a.v.sindireva@utmn.ru](mailto:a.v.sindireva@utmn.ru)

**Гурьев Никита Евгеньевич** – аспирант кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле; Тюменский государственный университет

**Nikita E. Guryev** – postgraduate student at the Department of Geoecology and Nature Management of the Institute of Earth Sciences, Tyumen State University

E-mail: [nikitka.gurev.1996@mail.ru](mailto:nikitka.gurev.1996@mail.ru)

### Заявленный вклад авторов

**А.В. Синдирева** – научное руководство исследованием, интерпретация результатов, подготовка текста статьи

**Н.Е. Гурьев** – сбор полевого материала, интерпретация результатов, статистическая обработка данных, подготовка текста статьи

### Contribution of the authors

**A.V. Sindireva** – scientific management of the study, interpretation of the results, preparation of the text of the article.

**N.E. Guryev** – collection of field material, interpretation of results, statistical processing of data, preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

All authors have read and approved the final manuscript

# ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

## Тематика журнала

Журнал «Социально-экологические технологии» специализируется на всестороннем и объективном освещении вопросов экологии: проблемам взаимоотношений организма и среды, человека и природы.

*Тематика журнала* – экологические исследования в ботанике, зоологии, почвоведении, географии, также публикуются материалы, посвященные экологии человека (физиология, психогенетика, адаптивные способности организма человека).

Для публикации принимаются научные статьи, отражающие результаты оригинальных исследований, а также обзоры и рецензии, информация о программах и совещаниях, о деятельности учреждений, общественных организаций и отдельных специалистов в России и за ее пределами.

## Редакционная политика

Редакции журнала не интересны материалы, основанные на компиляции давно известных фактов! Это не может считаться научной статьей!

Все присланные материалы проверяются при помощи программы «Антиплагиат». В разделах «Результаты», «Выводы» оригинальность должна превышать 80%. Специфика разделов «Введение», «Материалы и методы» позволяет снизить этот показатель до 60%.

*Журнал строго следит за соблюдением следующих положений этики научных публикаций*

Автор не должен публиковать рукопись, по большей части посвященную одному и тому же исследованию, более чем в одном журнале как оригинальную публикацию.

Представление одной и той же рукописи одновременно более чем в один журнал воспринимается как неэтичное поведение и неприемлемо.

Авторами публикации могут выступать только лица, которые внесли значительный вклад в формирование замысла работы, разработку, исполнение или интерпретацию представленного исследования. Все те, кто внес значительный вклад, должны быть обозначены как соавторы. В тех случаях, когда участники исследования внесли существенный вклад по определенному направлению в исследовательском проекте, они должны быть указаны как лица, внесшие значительный вклад в данное исследование (в сноске).

Нельзя представлять в качестве соавторов те, кто не участвовал в исследовании. Все соавторы должны одобрить окончательную версию работы и согласиться с представлением ее к публикации.

## Рецензирование

Помогает членам редакционной коллегии принять решение о публикации и, при соответствующем взаимодействии с автором, также может помочь ему повысить качество работы. Таким образом, рецензирование – не просто инструмент отбора, но и средство, повышающее научный уровень статьи.

Кроме того, рецензент выявляет значимые опубликованные работы, соответствующие теме и не включенные в библиографию к рукописи. На любое утверждение (наблюдение, вывод или аргумент), опубликованное ранее, в рукописи должна быть соответствующая библиографическая ссылка. Рецензент также обращает внимание редакционной коллегии на обнаружение существенного сходства или совпадения между рассматриваемой рукописью и любой другой опубликованной работой, находящейся в сфере его научной компетенции.

Авторы доклада об оригинальном исследовании должны предоставлять достоверные результаты проделанной работы, как и объективное обсуждение значимости исследования. Данные, лежащие в основе работы, должны быть представлены безошибочно. Работа должна содержать достаточно деталей и библиографических ссылок для возможного воспроизведения. Ложные или заведомо ошибочные утверждения воспринимаются как неэтичное поведение и неприемлемы.

Обзоры также должны быть объективными, точка зрения автора должна быть четко обозначена.

## Плата за публикацию

Редакция не взимает с авторов плату за подготовку, размещение и печать материалов.

## Язык публикаций

Журнал принимает к рассмотрению и публикует материалы на русском и английском языках.

Издание  
подготовили  
к печати:  
редактор  
*А. А. Козаренко*,  
корректор  
*А. А. Алексеева*,  
обложка, макет,  
компьютерная  
верстка  
*Н. А. Попова*

СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ  
**ТЕХНОЛОГИИ**

---

2022. Т. 12. № 4

---

Сайт журнала: [soc-ecol.ru](http://soc-ecol.ru)  
E-mail: [izdat\\_mgopu@mail.ru](mailto:izdat_mgopu@mail.ru)

Авторы статей несут полную ответственность за точность приводимой информации, цитат, ссылок и списка литературы.

Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, невозможна без письменного разрешения редакции.

Подписано в печать 29.12.2022 г.  
Формат 60×90 1/16. Гарнитура «Liberation Serif».  
Объем 6,88 п. л. Тираж 1000 экз.