

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ – АЛТАЙСКОЕ КРАЕВОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ВСЕРОССИЙСКАЯ ОБЩЕСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
"РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО"

**ИЗВЕСТИЯ АЛТАЙСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА**
(ИЗВЕСТИЯ АО РГО)

Журнал
Июнь 2026
Основан в 1961 году

ISSN 2410-1192
№ 2 (81)
Выходит 4 раза в год

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР – Пузанов А.В., д.б.н., проф., г. Барнаул

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Безматерных Д.М., д.б.н., доц., г. Барнаул Папина Т.С., д.х.н., доц., г. Барнаул

ЗАВЕДУЮЩИЙ РЕДАКЦИЕЙ – Архипова И.В., к.г.н., г. Барнаул

ЧЛЕНЫ СОВЕТА:

Андроханов В.А., д.б.н., г. Новосибирск
Богуславский А.Е., д.г.-м.н., г. Новосибирск
Веснина Л.В., д.б.н., проф., г. Барнаул
Винокуров Ю.И., д.г.н., проф., г. Барнаул
Гармаев Е.Ж., д.г.н., проф., акад. РАН, г. Улан-Удэ
Гусев А.И., д.г.-м.н., проф., г. Бийск
Гутак Я.М., д.г.-м.н., проф., г. Новокузнецк
Двинских С.А., д.г.н., проф., г. Пермь
Дунец А.Н., д.г.н., доц., г. Барнаул
Ельчиной О.А., д.с.-х.н., доц., г. Горно-Алтайск
Ермолаева Н.И., д.б.н., г. Новосибирск
Зиновьев А.Т., д.т.н., доц., г. Барнаул
Золотов Д.В., к.б.н., г. Барнаул
Инишева Л.И., д.с.-х.н., проф., чл.-корр., г. Томск
Комарова Л.А., д.б.н., проф., г. Бийск

Кочуров Б.И., д.г.н., проф., г. Москва
Куrolап С.А., д.г.н., проф., г. Воронеж
Мазуров М.П., д.г.-м.н., проф., г. Новосибирск
Платонова С.Г., к.г.-м.н., доц., г. Барнаул
Рудский В.В., д.г.н., проф., Московская обл.
Рыбкина И.Д., д.г.н., доц., г. Барнаул
Савичев О.Г., д.г.н., проф., г. Томск
Севастьянов В.В., д.г.н., проф., г. Томск
Сенников Н.В., д.г.-м.н., проф., г. Новосибирск
Сухова М.Г., д.г.н., доц., г. Горно-Алтайск
Сысо А.И., д.б.н., г. Новосибирск
Чернышов А.И., д.г.-м.н., проф., г. Томск
Чибилев А.А., д.г.н., проф., акад. РАН, г. Оренбург
Ядренкина Е.Н., д.б.н., г. Новосибирск
Яныгина Л.В., д.б.н., доц., г. Барнаул

Технический редактор – Вдовина О.Н., к.б.н.

Адрес издателя и редакции: 656038 Алтайский край, Барнаул, ул. Молодежная, 1, офис 526.
Тел: (385-2) 364091, (385-2) 666507, факс (385-2) 240396, bulletin@rgo-altay.ru,
<http://rgo-journal.ru>, <http://vk.com/rgojournal>, <http://t.me/rgojournal>
Регистрационный номер СМИ ПИ № ТУ22-00790 от 31.08.2021.

Подписной индекс в каталоге Роспечати 95004

© Известия Алтайского отделения Русского географического общества, 2026
г. Барнаул – 2026

FOUNDER AND PUBLISHER – ALTAY REGIONAL BRANCH
RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY

**BULLETIN OF THE ALTAY BRANCH
OF THE RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY**
(BULLETIN AB RGS)

[IZVESTIÂ ALTAJSKOGO OTDELENIÂ RUSSKOGO GEOGRAFIČESKOGO OBŠESTVA
(IZVESTIÂ AO RGO)]

Journal
June, 2026
Founded in 1961

ISSN 2410-1192
No 2 (81)
4 issues per year

EDITORIAL BOARD

EDITORS-IN-CHIEF– DrSc, Prof. Alexandr V. Puzanov (Barnaul, Russia)

DEPUTY CHIEF EDITORS:

DrSc, Assoc. Prof. Dmitry M. Bezmaternyh (Barnaul, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. Tat'yana S. Papina (Barnaul, Russia)

MANAGING EDITOR – PhD Irina V. Arkhipova (Barnaul, Russia)

THE MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD

DrSc V.A. Androkhanov (Novosibirsk, Russia)

DrSc A.E. Boguslavsky (Novosibirsk, Russia)

DrSc, Prof. A.I. Chernyshov (Tomsk, Russia)

Acad. RAS, DrSc, Prof. A.A. Chibilyov (Orenburg, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. A.N. Dunets (Barnaul, Russia)

DrSc, Prof. S.A. Dvinskikh (Perm, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. O.A. Elchinina (Gorno-Altaysk, Russia)

DrSc N.I. Ermolaeva (Novosibirsk, Russia)

Acad. RAS, DrSc, Prof. E.Zh. Garmaev (Ulan-Ude, Russia)

DrSc, Prof. A.I. Gusev (Biysk, Russia)

DrSc, Prof. Ya.M. Gutak (Novokuznetsk, Russia)

C.M. RAS, DrSc, Prof. L.I. Inisheva (Tomsk, Russia)

DrSc, Prof. L.A. Komarova (Biysk, Russia)

DrSc, Prof. B.I. Kochurov (Moscow, Russia)

DrSc, Prof. M.P. Mazurov (Novosibirsk, Russia)

DrSc, Prof. S.A. Kurolap (Voronezh, Russia)

PhD, Assoc. Prof. S.G. Platonova (Barnaul, Russia)

DrSc, Prof. V.V. Rudsky (Moscow region, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. I.D. Rybkina (Barnaul, Russia)

DrSc, Prof. O.G. Savichev (Tomsk, Russia)

DrSc, Prof. N.V. Sennikov (Novosibirsk, Russia)

DrSc, Prof. V.V. Sevastyanov (Tomsk, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. M.G. Sukhova (Gorno-Altaysk, Russia)

DrSc A.I. Syso (Novosibirsk, Russia)

DrSc, Prof. L.V. Vesnina (Barnaul, Russia)

DrSc, Prof. Yu.I. Vinokurov (Barnaul, Russia)

DrSc E.N. Yadrenkina (Novosibirsk, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. L.V. Yanygina (Barnaul, Russia)

DrSc, Assoc. Prof. A.T. Zinoviev (Barnaul, Russia)

PhD D.V. Zolotov (Barnaul, Russia)

Technical editor – PhD Olga N. Vdovina

Address for correspondence: 1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038, Altai region, Russia

Tel: +7(385-2) 364091, 666507, Fax: +7(385-2) 240396, bulletin@rgo-altay.ru,

<http://rgo-journal.ru>, <http://vk.com/rgojournal>, <http://t.me/rgojournal>

Certificate of mass media registration of Russian Federation III No TY22-00790 from 31.08.2021

Subscription index in «Rospechat» catalogue 95004

© Bulletin of the Altay branch of the Russian Geographical society, 2026

Barnaul – 2026

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

РАЗДЕЛ 1. ГЕОЭКОЛОГИЯ

- Андропова В.С., Гутак Я.М.* ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ РЕЛЬЕФА В ДОЛИНЕ РЕКИ КОНДОМА (ОКРЕСТНОСТИ Г. КАЛТАН, КУЗБАСС, РОССИЯ)..... 5
- Лиходумова И.Н., Багайчук И.Ю., Панина М.В., Левина С.Г., Малаев А.В., Кутяшева Н.В., Дорохова А.А.* ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ТЕКСТУРНО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ И АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПОЧВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ..... 18
- Пузанов А.В., Майманова Т.М., Ельчиногова О.А.* ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЛЕНА В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ ГОРНОГО АЛТАЯ..... 43
- Филиппенко Д.А.* МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ БАРНАУЛЬСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ (ПО ДАННЫМ ЗА 2025 И 2026 ГГ.)..... 56

РАЗДЕЛ 2. ГИДРОЛОГИЯ СУШИ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ГИДРОХИМИЯ

- Цхай А.А., Романов М.А.* МОДЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АССИМИЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА ПРИМЕРЕ МЕДИ В ВОДЕ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА..... 71

РАЗДЕЛ 3. ЭКОЛОГИЯ

- Ковригин А.О., Вихлянов И.В., Лубенников В.А., Губина Г.Г., Лазарев А.Ф.* ОСОБЕННОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ЛЕГКОГО У НАСЕЛЕНИЯ СУБЪЕКТОВ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА..... 82

CONTENTS

SCIENTIFIC REPORTS

SECTION 1. GEOECOLOGY

- Andropova V.S., Gutak Ya.M.* STUDY OF TECHNOGENIC RELIEF TRANSFORMATION IN THE KONDOMA RIVER VALLEY (NEAR THE TOWN OF KALTAN, KUZBASS, RUSSIA)..... 5
- Likhodumova I.N., Bagaychuk I.Yu., Panina M.V., Levina S.G., Malaev A.V., Kutyasheva N.V., Dorokhova A.A.* ECOLOGICAL ASSESSMENT OF HEAVY METALS CONTENT IN SURFACE LAYER OF TEXTURALLY DIFFERENTIATED AND ALPHEGUMUS SOILS OF LENINGRAD REGION..... 18
- Puzanov A.V., Maimanova T.M., Elchininova O.A.* SPATIAL DISTRIBUTION OF SELENIUM IN SOILS AND PLANTS OF THE GORNI ALTAI..... 43
- Filippenko D.A.* INTERANNUAL DYNAMICS OF MICROPLASTIC CONTENT IN THE SNOW COVER OF THE BARNAUL AGGLOMERATION (BASED ON DATA FROM 2025 AND 2026)..... 56

SECTION 2. HYDROLOGY OF LAND, WATER RESOURCES, HYDROCHEMISTRY

- Tskhai A.A., Romanov M.A.* MODEL ASSESSMENT OF HEAVY METAL ASSIMILATION USING THE EXAMPLE OF COPPER IN THE WATER OF LAKE TELETSKOYE..... 71

SECTION 3. ECOLOGY

- Kovrigin A.O., Vikhlyanov I.V., Lubennikov V.A., Gubina G.G., Lazarev A.F.* FEATURES OF THE GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF MALIGNANT LUNG NEOPLASMS IN THE POPULATION OF THE SIBERIAN FEDERAL DISTRICT..... 82

Раздел 1

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Section 1

GEOECOLOGY

УДК 551.438.5:622.2 (571.17)

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ РЕЛЬЕФА В ДОЛИНЕ РЕКИ КОНДОМА (ОКРЕСТНОСТИ Г. КАЛТАН, КУЗБАСС, РОССИЯ)

В.С. Андропова, Я.М. Гутак

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,**E-mail: viktorijanumber1@mail.ru, gutakjaroslav@yandex.ru*

Цель исследования – оценка масштабов и пространственной структуры техногенной трансформации рельефа в долине реки Кондома (окрестности г. Калтан, юг Кузбасса) в результате открытых горных работ. Исследование основано на сравнительном анализе двух цифровых моделей рельефа (ЦМР), относящихся к разным временным периодам. Цифровая модель исторического состояния рельефа построена по топографической карте, составленной до начала интенсивного промышленного освоения территории. Цифровая модель современного (изменённого) состояния построена по данным радиолокационной съёмки SRTM (2000 г.). Методика включает картометрический анализ, построение карт техногенной трансформации и количественную оценку изменений. Установлено, что открытые горные работы привели к радикальной перестройке рельефа долины. Амплитуда техногенных преобразований достигает +60 м (насыпные формы – отвалы) и –100 м (понижения – карьеры). Нарушена историческая структура ландшафта: уничтожена дендритовая эрозионная сеть, что вызвало кардинальное изменение условий поверхностного стока и перераспределения водных потоков. Количественная оценка показала значительный рост площадей, занятых отвальными массивами: с 10.2 км² в 2013 году до 21.9 км² в 2025 году, что свидетельствует о продолжающейся активной фазе техногенного рельефообразования.

Ключевые слова: ЦМР; Кузбасс; техногенный рельеф; открытые горные работы; высотные отметки; топографические карты.

DOI: 10.24412/2410-1192-2026-18101

Дата поступления: 10.12.2025. Принята к печати: 13.02.2026

Техногенное преобразование исторически сложившегося рельефа – один из наиболее выраженных процессов в районах активной добычи полезных ископаемых. Открытая разработка месторождений приводит к практически полному изменению облика территории и сопровождается формированием специфической транспортной инфраструктуры [Шапарь и др., 2012]. Ключевыми проявлениями данной трансформации выступают искусственное переформирование поверхности, переме-

шивание и изъятие грунтовых масс, а также перераспределение поверхностных и подземных водотоков. В результате формируются новые формы рельефа, нарушается экологическое равновесие, снижается биоразнообразие и возникают иные негативные экологические последствия [Галанина, Баумгартэн, 2013; Тетиор, 2015].

Кузнецкий каменноугольный бассейн (Кузбасс) представляет собой полигон для изучения подобных изменений. Это обусловлено характерной для региона пространственной концентрацией угледобывающих предприятий вблизи крупных населенных пунктов. Подобная локализация ведёт к формированию кумулятивной техногенной нагрузки, при которой воздействие от каждого промышленного объекта суммируется, создавая повышенные риски для устойчивости прилегающих экосистем [Угольная..., 2003]. Данная ситуация типична для ряда городов Кемеровской области, таких как Осинники, Калтан, Прокопьевск и Киселёвск.

В данной работе предметом исследования выступают техногенные изменения естественного рельефа, вызванные открытыми горными работами на ряде участков вблизи города Калтан (южная часть Новокузнецкого района Кемеровской области). Актуальность работы определяется интенсивной и непрерывной добычей угля открытым способом, что ведёт не только к кардинальному изменению исторического рельефа и формированию новых его форм, но и к ряду негативных вторичных последствий. К последним, в частности, относится повышение вероятности индуцированной сейсмичности. Установлено,

что сейсмические проявления могут быть спровоцированы как взрывными работами в карьерах [Дягилев и др., 2018; Еманов и др., 2019], так и процессами отвалообразования на разрезах [Еманов и др., 2017].

Целью работы является изучение направленности и масштабов техногенной трансформации рельефа на участках, расположенных в окрестностях г. Калтан на противоположных берегах р. Кондомы. Для её достижения предусмотрено построение карт техногенной трансформации рельефа, анализ изменения его морфологии и количественная оценка произошедших изменений.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны нарушенные территории четырех действующих угольных разрезов, расположенных в долине р. Кондома вблизи г. Калтан (южная часть Кузнецкого бассейна). Далее в тексте они обозначаются как участки 1–4 (рис. 1).

Участок 1 (включающий поля разрезов «Тайлепский» и «Корчаковский») расположен на левобережье р. Кондомы, тогда как участки 2–4 (поле разреза «Калтанский») – на её правобережье. В этом районе активно ведётся подземная добыча угля шахтами «Алардинская» и «Осинниковская». В связи с большим количеством действующих угледобывающих предприятий территория испытывает высокую техногенную нагрузку.

Для оценки масштабов техногенной трансформации рельефа все выделенные участки были исследованы по единому алгоритму [Андропова, Гутак, 2023].

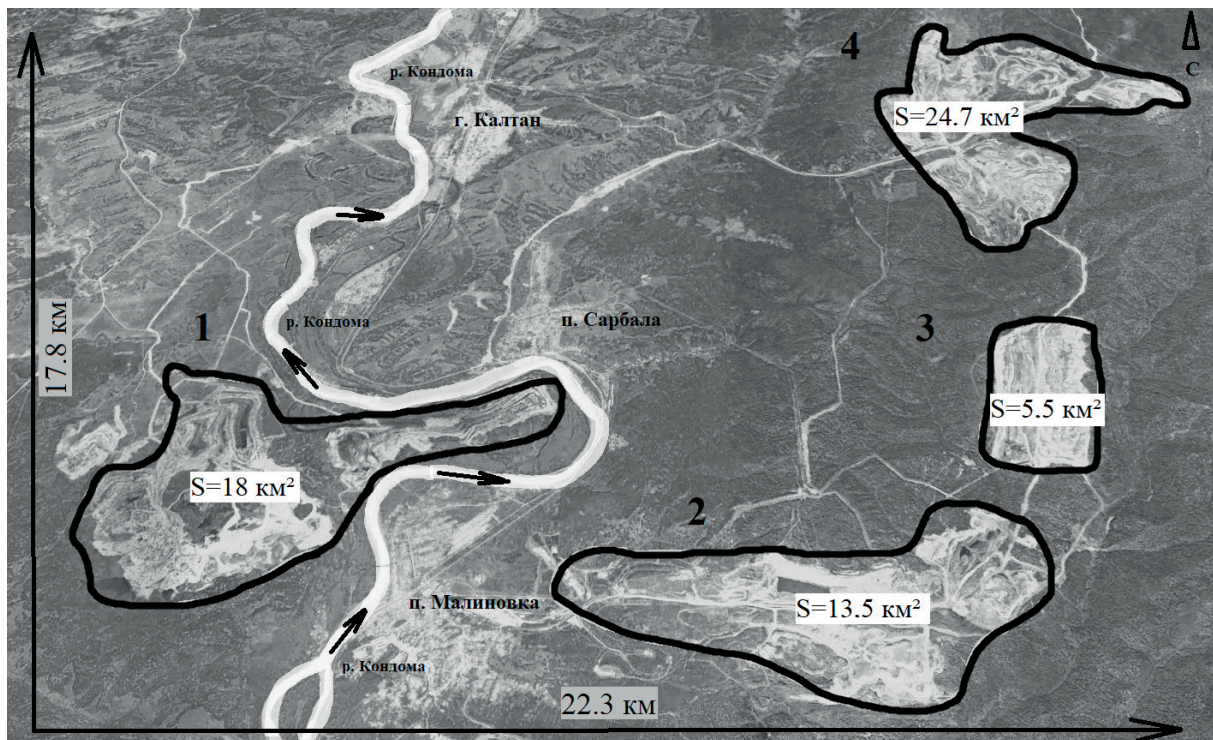


Рис. 1. Исследуемая территория. 1, 2, 3, 4 – участки открытых горных работ
Fig. 1. Study area. 1, 2, 3, 4 – open-pit mining sites

Работа выполнялась в два ключевых этапа:
1) реконструкция исторически сложившегося рельефа; 2) анализ техногенного изменения рельефа.

В качестве источников пространственных данных использованы:

1. Топографическая карта масштаба 1:100 000 (лист N-45-91), составленная по материалам съёмки 1954 года [Савина, Чекалина, 1966]. Данная карта была выбрана как характерная для периода, предшествующего началу промышленной разработки угольных месторождений (разрезы начали работу с 1957 г.).

2. Цифровые модели рельефа SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), отражающие состояние поверхности на 2000 год [Соколов и др., 2010].

3. Разновременные космические снимки высокого разрешения из сервиса Google Earth Pro, использованные для верифика-

ции и дешифрирования границ техногенных объектов.

Построение цифровых моделей рельефа (ЦМР) осуществлялось в ГГИС Micromine с использованием модулей пространственного анализа [Басаргин, 2014; Наставко и др., 2023]. На основе топографической карты 1954 года создана ЦМР исторического рельефа.

ЦМР изменённого рельефа построена по данным SRTM. Для выявления границ отвалов и количественной оценки динамики вскрышных пород применен метод географического дешифрирования аэрокосмических снимков [Смирнов, 1967; Сладкопцев, 1982]. В качестве исходных данных использованы архивные и современные геопривязанные аэрокосмические снимки высокого разрешения из сервиса Google Earth Pro.

Результаты и обсуждение

Исторический рельеф местности представлен флювиальной морфоскульптурой с густой дендритовой эрозионной сетью ручьёв и оврагов. Вершинные поверхности главных водоразделов протяжённые, имеют северо-восточную ориентировку, в плане образуют дугу с выпуклостью на северо-запад (водораздел рек Калтанчик и Теш). Максимальная высотная отметка исторического рельефа зафиксирована в бассейне ручья Черный Калтанчик (участок 4) и составляет 427 м. Высотные отметки русла р. Кондома в районе пос. Сарбала – 219 м. В среднем относительные высоты не превышают 150 м. Русло р. Кондома в районе пос. Сарбала образует чётко выраженный меандр, который очерчивает участок Тайлепского и Корчаковского угольных разрезов (участок 1). Простирающие основные водоразделов подчинено простирацию пластов угленосных отложений пермской системы (Горношорская моноклиналь). Юго-восточный склон главных водоразделов крутой и короткий, а северо-западный – пологий и длинный. Наклон водораздельных поверхностей небольших хребтов северо-западной ориентировки, расположенных перпендикулярно простирацию основных водоразделов, примерно совпадает с углом залегания коренных пород и изменяется в пределах 10–15° [Удодов и др., 2017]. По сути, такой рельеф можно называть куэстообразным. Коренные отложения повсеместно перекрыты мощной толщей лёссовидных суглинков плейстоценового возраста и вскрываются только в бортах и тальвегах постоянных водотоков.

Хозяйственная деятельность человека сыграла большую преобразующую роль в формировании облика современного ландшафта данного района. Производилось сведение таёжного покрова, вспашка склонов, снятие плодородного слоя почвы, что способствовало усилению эрозионного смыва рыхлых отложений, накоплению его в реках. Многочисленные запруживания малых рек и ручьёв для хозяйственных нужд, в том числе бобровыми плотинами, коренным образом изменили экологическую и гидрологическую обстановку. На некоторых участках произошло заиливание, заболачивание долин в таёжной местности либо обезвоживание и загрязнение их в районах ведения сельского хозяйства (долина р. Кондома). Однако кардинальная трансформация рельефа связана с началом открытой добычи. На исследуемых участках изменение рельефа произошло следующим образом: исчезла дендритовая эрозионная сеть, поверхностный сток сменился подземным [Савина, Чекалина, 1966]. На месте водоразделов образовались насыпи и выемки. Изменились абсолютные высоты новообразованного рельефа.

Для количественной оценки техногенных изменений был применен метод пространственного сравнения разновременных цифровых моделей рельефа (ЦМР). ЦМР исторического состояния построена по топографической карте масштаба 1:100 000 (материалы съёмки 1954 г.). ЦМР изменённого состояния построена по данным SRTM (2000 г.). Ключевым этапом анализа стало пространственное вычитание ЦМР (разностный метод) в ГГИС Micromine, позволившее построить карты техноген-

ной трансформации с изолиниями величин приращения и снижения высот. Визуальное сравнение построенных цифровых моделей не дает количественной оценки, в то время как разностный метод детализирует локализацию и амплитуды изменений.

Полученные карты техногенной трансформации в виде изолиний показывают изменения рельефа. Наиболее значимые изменения выявлены на участках 2 и 4, где продолжительное время велась открытая добыча угля. Карты трансформации (рис. 2, 3) демонстрируют контрастную перестройку рельефа в границах горных отводов. Максимальные амплитуды техногенной трансформации:

- участок 2: понижение до -100 м (зоны забоев), повышение до +80 м (зоны отвалов);
- участок 4: понижение до -100 м, повышение до +60 м.

Пространственная картина изменений напрямую отражает применяемую техно-

логию открытых горных работ. Максимальные понижения приурочены к карьерам, где произведена выемка угольных пластов. Повышения рельефа соответствуют внешним и внутренним отвалам вскрышных пород. Внешние отвалы, формирующиеся на вершинах исходных водоразделов, создают наиболее значительные положительные аномалии.

В результате общая контрастность рельефа на преобразованных территориях увеличилась более чем в два раза: со 150 м до 330 м. Такая радикальная перестройка создаёт новые орографические барьеры, которые могут модифицировать локальную циркуляцию воздушных масс (западный перенос). Это, в свою очередь, способно повлиять на микроклиматические условия и процессы почвообразования на подветренных (восточных) склонах, создавая предпосылки для изменения структуры растительных биоценозов.

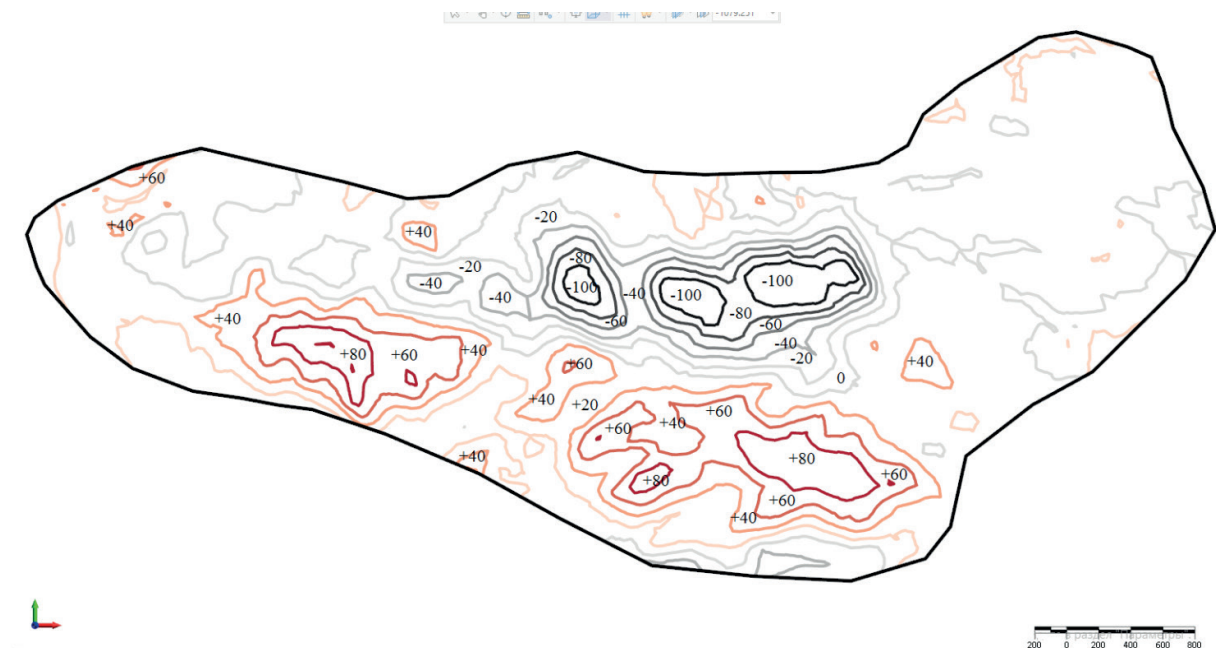


Рис. 2. Карта техногенной трансформации участка 2
Fig. 2. Map of technogenic transformation of site 2



Рис. 3. Карта техногенной трансформации участка 4
Fig. 3. Map of technogenic transformation of site 4

В частности, в условиях ветровой тени здесь могут формироваться сообщества, аналогичные Кузедеевскому «липовому острову» – реликтовому участку широколиственного леса в регионе [Егоров, 2005].

Участок 1, расположенный в левобережной излучине р. Кондомы между пос. Малиновка и оз. Тайлепским (рис. 4), представляет собой особый случай в рамках исследования. В отличие от ранее рассмотренных участков, он приурочен к долине крупной реки и разрабатывает Ка-

рачякское каменноугольное месторождение двумя разрезами (Корчаковский, с 2004 г., и Тайлепский, с 2015 г.). Поскольку активная разработка началась после выполнения съёмки SRTM (2000 г.), количественная оценка трансформации рельефа по разностным ЦМР затруднена, что обусловило применение иных методов анализа.

Исходный рельеф участка представлял собой куэстовую гряду с характерной асимметрией склонов (крутой южный и пологий северный), соответствующей залеганию угленосных толщ.

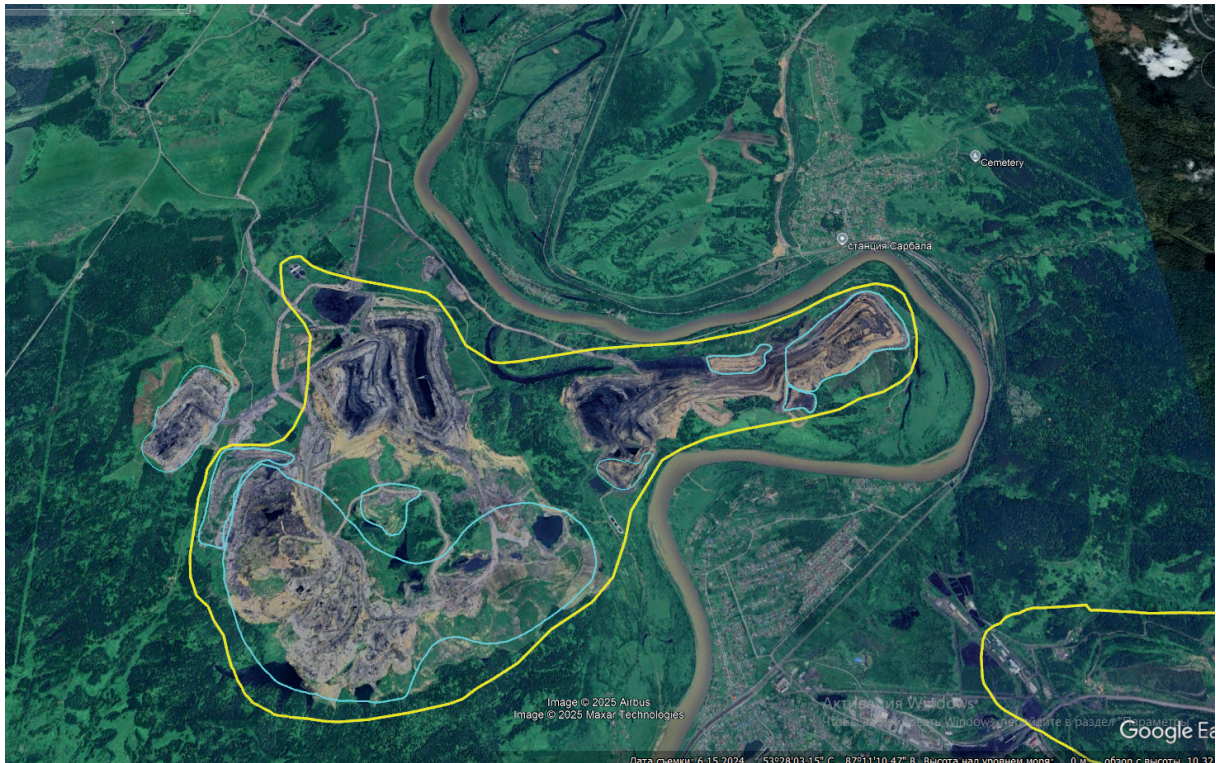


Рис. 4. Аэрофотоснимок 2025 года, участок 1.

Жёлтый – граница участка, голубой – границы отвалов

Fig. 4. Aerial photograph from 2025, site 1.

Yellow – site boundary; blue – spoil pile boundary

Абсолютные отметки изменялись от 219 м (русло Кондомы) до 356 м (вершинная поверхность куэсты) при перепаде высот около 137 м. В процессе отработки месторождения данная гряда будет полностью переработана с формированием техногенного рельефа отвалов и карьеров.

Для оценки динамики нарушений на этом активно развивающемся объекте был применен метод дешифрирования аэрокосмических снимков (бесснежные периоды 2013 и 2025 гг.). Результаты представлены на рисунках 4 и 5. Площадь отвалов вскрышных пород увеличилась с 10.2 км² в 2013 г. до 21.9 км² в 2025 г., то есть более чем в вдвое. Этот рост наглядно иллюстрирует интенсивность преобразования территории за последнее десятилетие.

Особую экологическую озабоченность вызывает пространственное положение разрабатываемых забоев. В настоящее время они сосредоточены в северной, пониженной части участка и, вероятно, опустились ниже отметки уреза воды в р. Кондоме. Это создает два ключевых риска. Потенциальный прорыв речных вод в карьер через водозащитные целики, что может привести к катастрофическому затоплению, и формирование зоны застойного обводнения в углезабоях, расположенных ниже базиса эрозии. В таких условиях будет происходить аккумуляция токсичных элементов (сера, железо, мышьяк) и формирование кислых шахтных вод, представляющих долгосрочную угрозу для всех компонентов экосистемы [Просеков и др., 2023].

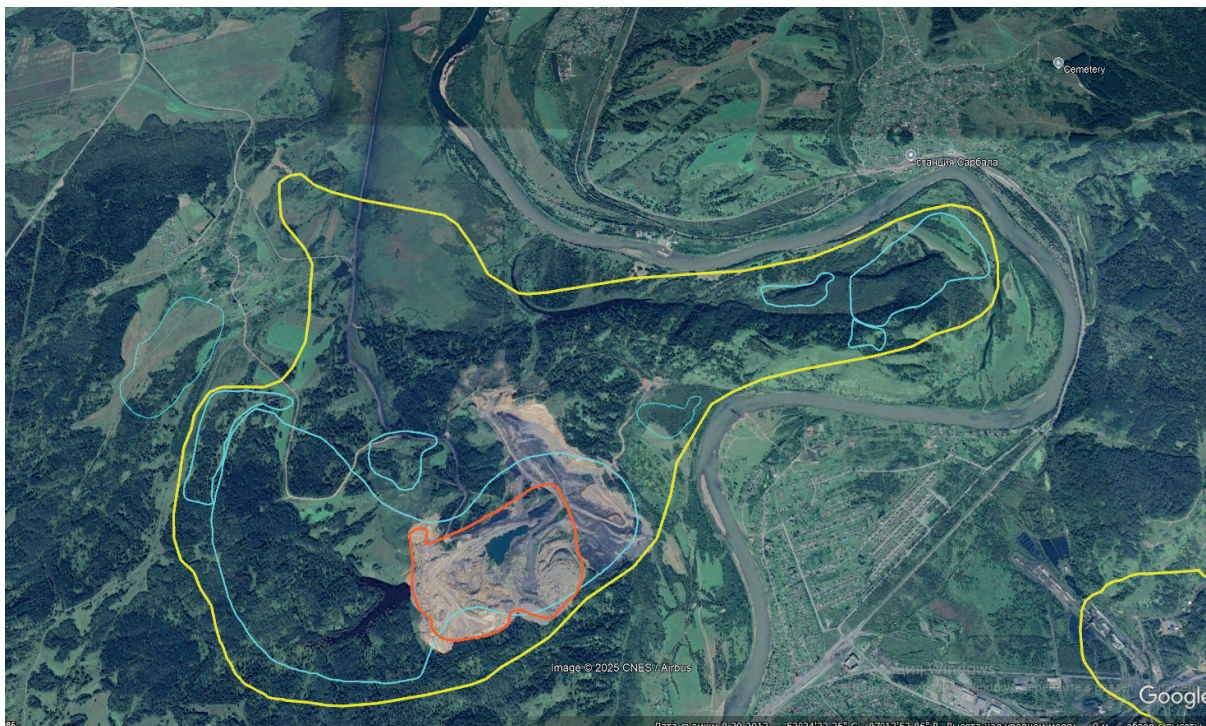


Рис. 5. Аэрофотоснимок 2013 года, участок 1.

Жёлтый – граница участка, голубой – границы отвалов 2025 года, красный – граница отвала 2013 года

Fig. 5. Aerial photograph from 2013, site 1.

Yellow – site boundary, blue – 2025 dump boundary, red – 2013 dump boundary

Таким образом, участок 1 демонстрирует не только высокие темпы техногенных изменений, но и уникальные, повышенные экологические риски, обусловленные его гипсометрическим положением относительно уровня реки.

Закключение

В результате открытой угледобычи в окрестностях г. Калтан произошла кардинальная трансформация рельефа. На наиболее освоенных участках (2 и 4) сформировался высококонтрастный техногенный рельеф с амплитудами изменений от -100 м (забои карьеров) до +80 м (отвалы) и общей амплитудой перепадов, превышающей 330 м, что более чем вдвое превышает исходную контрастность.

Ключевыми морфологическими изменениями являются: уничтожение дендри-

товой эрозионной сети, изменение условий стока (переход от поверхностного к подземному и техногенному), полное уничтожение исходных форм (куэст) и замещение их искусственными формами – внешними и внутренними отвалами. Площадь последних (для участка 1) демонстрирует устойчивую тенденцию к росту, увеличившись с 10.2 км² (2013 г.) до 21.9 км² (2025 г.).

Экологические последствия носят комплексный и кумулятивный характер. Помимо прямого уничтожения природных ландшафтов, формирование массивных отвалов создает постоянные источники пылеобразования и потенциального химического загрязнения. Изменение гидрологического режима и высотных отметок (особенно критичное на участке 1, где забои опустились ниже уровня реки) создает долгосрочные риски для геоэкологической

устойчивости территории, включая угрозу загрязнения водных объектов и изменения локальных микроклиматических условий.

Таким образом, несмотря на технологические решения, применяемые при открытой разработке, наблюдаемая динамика свидетельствует о нарастающем и во

многом необратимом техногенном напряжении на геосистемы района. Полученные количественные оценки (карты трансформации, площади, амплитуды) являются объективной основой для прогноза дальнейших изменений и оценки экологического ущерба.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Список литературы

Андропова В.С., Гутак Я.М. Разработка методики исследований техногенных рельефов в местах открытых горных работ // Региональные геосистемы. 2023. Т. 47, № 4. С. 530–538. doi: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-530-538

Басаргин А.А. Создание цифровых моделей месторождений полезных ископаемых с применением современных технологий // Вестник Сибирского государственного университета геосистем и технологий. 2014. № 1 (25). С. 34–39.

Галанина Т.В., Баумгартэн М.И. Экологические последствия техногенного воздействия при проведении открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 7. С. 288–293.

Дягилев Р.А., Злобина Т.В., Гусева Н.С. Учалинское техногенное землетрясение 5 сентября 2012 г. С $KP=9.5$, $ML=3.4$, $I_0=5$ (Башкортостан) // Землетрясения Северной Евразии. 2018. №21 (2012). С. 387–391.

Егоров В.Н. Липовый остров, состояние и меры его реабилитации // Экологическое состояние лесов Кузбасса. Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2005. С. 97–114.

Еманов А.А., Еманов А.Ф., Фатеев А.В., Лескова Е.В. Техногенная сейсмическая активизация на юге Кузбасса (П. Малиновка) // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. № 3. С. 3–9.

Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В. Южно-Кузбасская техногенная сейсмическая активизация (Калтанский угольный разрез и шахта «Алардинская») // Землетрясения России в 2017 году. Обнинск, 2019. С. 126–131.

Наставко Е.В., Наставко А.В., Кайзер Ф.Ю., Соловицкий А.Н. О цифровой модели угольного месторождения в Кузбассе в ГГИС Micromine // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 1. С. 1–6.

Просеков А.Ю., Тимошук И.В., Горелкина А.К., Михайлова Е.С., Голубева Н.С., Иванова Л.А. Сравнительная оценка содержания загрязняющих примесей в карьерных сточных водах угольных предприятий Кузбасса // Уголь. 2023. № 4. С. 69–73. doi: 10.18796/0041-5790-2023-4-69-73

Савина Ж.Н., Чекалина Л.Г. Отчёт Новокузнецкой съёмочной партии за 1963–1966 гг. (Материалы по подготовке и изданию гидрогеологической карты листа N-45, масштабом 1:100000, 1966 г., инв.14677).

Сладкопевцев С.А. Изучение и картографирование рельефа с использованием аэрокосмической информации. М.: Недра, 1982. 216 с.

Смирнов Л.Е. Теоретические основы и методы географического дешифрирования аэроснимков. Л.: Издательство Ленинградского университета, 1967. 214 с.

Соколов Л.А., Лобанов Г.В., Полякова А.В. Использование возможностей модели SRTM в анализе рельефа как фактора почвообразования (на примере Брянского лесного массива) // Вестник Брянского государственного университета. 2010. № 4. С. 1–7.

Тетиор А.Н. Техногенная эволюция ландшафтов // Национальная ассоциация ученых. 2015. № 2 (7). С. 27–32.

Угольная база России. Том 2. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирские бассейны). М.: Геоинформцентр, 2003. 604 с.

Удодов Ю.В., Егорова Н.Т., Багмет Г.Н. Геолого-геоморфологическая характеристика и полезные ископаемые Кемеровской области // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2017. № 1 (1). С. 53–61.

Шапарь А.Г., Копач П.И., Сметана С.Н. Взаимосвязь возрожденных вторичных экосистем и технологии доработки карьеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 6. С. 351–363.

References

Andropova V.S., Gutak Ya.M. Razrabotka metodiki issledovaniy tekhnogennykh relefov v mestakh otkrytykh gornykh rabot [Development of a methodology for studying technogenic reliefs in open-pit mining areas] // Regional Geosystems. 2023. Vol. 47, no. 4. P. 530–538. (in Russian). doi: 10.52575/2712-7443-2023-47-4-530-538

Basargin A.A. Sozдание tsifrovyykh modelei mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh s primeneniem sovremennykh tekhnologii [Creation of digital models of mineral deposits using modern technologies] // Bulletin of Siberian State University of Geosystems and Technologies. 2014. No. 1 (25). P. 34–39. (in Russian).

Galanina T.V., Baumgarten M.I. Ekologicheskie posledstviya tekhnogennoy vozdetsviya pri provedenii otkrytykh gornykh rabot [Environmental consequences of technogenic impact during open-pit mining] // Mining information and analytical bulletin. 2013. No. 7. P. 288–293. (in Russian).

Dyagilev R.A., Zlobina T.V., Guseva N.S. Uchalinskoye tekhnogennoye zemletriasenie 5 sentiabria 2012 g. s $KR=9.5$, $ML=3.4$, $I_0=5$ (Bashkortostan) [Uchalinskoye man-made earthquake of September 5, 2012 with $KR=9.5$, $ML=3.4$, $I_0=5$ (Bashkortostan)] // Earthquakes of Northern Eurasia. 2018. No. 21 (2012). P. 387–391. (in Russian).

Egorov V.N. Lipovy ostrov, yego sostoyaniye i mery po vosstanovleniyu [Linden Island, its condition and measures for its rehabilitation] // Ecological condition of Kuzbass forests. Kemerovo: KREOO “Irbis”, 2005. P. 97–114. (in Russian).

Emanov A.A., Emanov A.F., Fateev A.V., Leskova E.V. Tekhnogennaia seismicheskaiia aktivizatsiia na iuge Kuzbassa (P. Malinovka) [Man-made seismic activity in the south of Kuzbass (Malinovka village)] // Inter Expo Geo-Siberia. 2017. No. 3. P. 3–9. (in Russian).

Emanov A.F., Emanov A.A., Fateev A.V. Iuzhno-Kuzbasskaia tekhnogennaia seismicheskaiia aktivizatsiia (Kaltanskii ugolnyi razrez i shakhta «Alardinskaia») [South Kuzbass man-made seismic activation (Kaltan regional open-pit mine and Alardinskaya mine)] // Earthquakes in Russia in 2017. Obninsk. 2019. No. 1. P. 126–131. (in Russian).

Nastavko E.V., Nastavko A.V., Kaiser F.Yu., Solovitsky A.N. O tsifrovoy modeli ugolnogo mestorozhdeniia v kuzbasse v GIS Micromine [On the digital model of a coal deposit in Kuzbass in GIS Micromine] // International Research Journal. 2023. No. 1. P. 1–6. (in Russian).

Prosekov A.Yu., Timoshchuk I.V., Gorelkina A.K., Mikhailova E.S., Golubeva N.S., Ivanova L.A. Sravnitelnaia otsenka sodержaniia zagriazniaiushchikh primesei v karernykh stochnykh vodakh ugolnykh predpriatii kuzbassa [Comparative assessment of the content of pollutants in quarry wastewater of Kuzbass coal enterprises] // Coal. 2023. No. 4. P. 69–73. (in Russian). doi: 10.18796/0041-5790-2023-4-69-73

Savina Zh.N., Chekalina L.G. Otchet Novokuznetskoi sieemochnoi partii za 1963–1966 gg. (Materialy po podgotovke i izdaniu gidrogeologicheskoi karty lista N-45, masshtabom 1:100000) [Report of the Novokuznetsk survey party for 1963-1966 (Materials on the preparation and publication of the hydrogeological map sheet N-45, scale 1:200000, 1966, inventory number 14677)]. (in Russian).

Sladkopevtsev S.A. Izuchenie i kartografirovaniie relefa s ispolzovaniem aerokosmicheskoi informatsii [Study and mapping of relief using aerospace information]. Moscow: Nedra, 1982. 216 p. (in Russian).

Smirnov L.E. Teoreticheskie osnovy i metody geograficheskogo deshifirovaniia aerosnimkov [Theoretical foundations and methods of geographical interpretation of aerial photographs]. L.: Leningrad University Publishing House, 1967. 214 p. (in Russian).

Sokolov L.A., Lobanov G.V., Polyakova A.V. Ispolzovanie vozmozhnostei modeli SRTM (shuttle radar Satel- Lite mission) v analize relefa kak faktora pochvoobrazovaniia (na primere Brianskogo lesnogo massiva) [Using the capabilities of the SRTM model in the analysis of relief as a factor of soil formation (using the Bryansk forest massif as an example)] // Bulletin of Bryansk State University. 2010. No. 4. P. 1–7. (in Russian).

Tetior A.N. Tekhnogennaia evoliutsiia landshaftov [Technogenic evolution of landscapes] // National Association of Scientists. 2015. No. 2 (7). P. 27–32. (in Russian).

Ugol'naya baza Rossii. Tom 2. Ugol'nyye basseyny i mestorozhdeniya Zapadnoy Sibiri (Kuznetskiy, Gorlovskiy, Zapadno-Sibirskiy basseyny) [The Coal Base of Russia. Volume 2. Coal Basins and Deposits of Western Siberia (Kuznetsk, Gorlovsky, West Siberian Basins)]. Moscow, Geoinformcenter, 2003. 604 p. (in Russian).

Udovov Yu.V., Egorova N.T., Bagmet G.N. Geologo-geomorfologicheskaiia kharakteristika i poleznye iskopaemye Kemerovskoi oblasti [Geological and geomorphological characteristics and useful minerals of Kemerovskaya region]

and useful minerals of the Kemerovo region] // Bulletin of the Kemerovo State University. Series: Biological, technical sciences and earth sciences. 2017. No. 1 (1). P. 53–61. (in Russian).

Shapar A.G., Kopach P.I., Smetana S.N. Vzaimosviaz vozrozhdennykh vtorichnykh ekosistem i tekhnologii dorabotki karerov [Interrelationship between restored secondary ecosystems and quarry development technology] // Mining information and analytical bulletin. 2012. No. 6. P. 351–363. (in Russian).

STUDY OF TECHNOGENIC RELIEF TRANSFORMATION IN THE KONDOMA RIVER VALLEY (NEAR THE TOWN OF KALTAN, KUZBASS, RUSSIA)

V.S. Andropova, Ya.M. Gutak

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk,

E-mail: viktorijanumber1@mail.ru, gutakjaroslav@yandex.ru

The aim of the study is to assess the scale and spatial structure of technogenic transformation of the relief in the Kondoma River valley (near Kaltan, southern of Kuzbass) as a result of open-pit mining. The study is based on a comparative analysis of two digital elevation models (DEMs) representing different time periods. The first DEM reconstructs the historical topography from a topographic map compiled prior to the onset of intensive industrial development. The second DEM, representing the current (modified) topography, was generated from SRTM radar data (2000). The methodology includes cartometric analysis, the construction of technogenic transformation maps, and a quantitative assessment of topographic changes. Open-pit mining has led to a radical restructuring of the valley's geomorphology. The amplitude of technogenic transformations reaches +60 m (fill forms – spoil piles) and –100 m (depressions – quarries). The historical structure of the landscape has been disrupted: the dendritic erosion network has been destroyed, which has caused a radical change in the conditions of surface runoff and the redistribution of water flows. A quantitative assessment showed a significant increase in the area occupied by waste dumps: from 10.2 km² in 2013 to 21.9 km² in 2025, which indicates the ongoing active phase of technogenic relief formation.

Key words: DEM; Kuzbass; technogenic relief; open-pit mining; absolute elevations; topographic maps.

Received: December 10, 2025. Accepted: February 13, 2026

Сведения об авторах

Андропова Виктория Сергеевна – ведущий инженер, преподаватель кафедры геологии, геодезии и безопасности жизнедеятельности Института горного дела и геосистем, Сибирский государственный индустриальный университет. Россия, 654041, г. Новокузнецк, пр. Бардина, д. 25. ORCID: 0009-0005-9843-1304. E-mail: Viktorijanumber1@mail.ru.

Гутак Ярослав Михайлович – профессор, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии, геодезии и безопасности жизнедеятельности Института горного дела и геосистем, Сибирский государственный индустриальный университет. Россия, 654041, г. Новокузнецк, пр. Бардина, д. 25. ORCID: 0000-0001-9283-5731. E-mail: gutakjaroslav@yandex.ru.

Information about the authors

Andropova Victoria Sergeevna – Leading engineer, lecturer at the Department of Geology, Geodesy and Life Safety of the Institute of Mining and Geosystems, Siberian State Industrial University. 25, Bardina Ave., 654041 Novokuznetsk, Russia. ORCID: 0009-0005-9843-1304. E-mail: Viktorijanumber1@mail.ru.

Gutak Yaroslav Mikhailovich – Dr Sc. in Geological and Mineralogical Sciences, Professor, head of the Department of Geology, Geodesy and Life Safety of the Institute of Mining and Geosystems, Siberian State Industrial University. 25, Bardina Ave., 654041 Novokuznetsk, Russia. ORCID: 0000-0001-9283-5731. E-mail: gutakjaroslav@yandex.ru.

УДК 504.06:631.41:550.42

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ТЕКСТУРНО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ И АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПОЧВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

И.Н. Лиходумова¹, И.Ю. Багайчук¹, М.В. Панина², С.Г. Левина², А.В. Малаев²,
Н.В. Кутяшева¹, А.А. Дорохова¹

¹ООО Уральская комплексная лаборатория промышленного и гражданского строительства,
г. Челябинск,

²Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет,
г. Челябинск,

E-mail: lichodumov@mail.ru, info@uralstroylab.ru, panina80@mail.ru, levinasg@cspu.ru, malaevav@cspu.ru,
knatali1706@mail.ru, arina_chelyadinova@mail.ru

В статье представлены результаты исследования содержания тяжелых металлов (ТМ) в поверхностном слое текстурно-дифференцированных (подзолистых, дерново-подзолистых) и альфегумусовых (подзолов) почв Ленинградской области. Исследованы 23 участка с различными биоценозами, выбранные с учетом удаленности от источников загрязнения. Проведен анализ агрохимических свойств почв и валового содержания Hg, Pb, As, Cd, Zn, Ni, Co, Cu, Cr, Mn. С помощью индексов геоаккумуляции (Igeo) и Немерова (NCPI) установлены различные уровни загрязнения почв области. Выявлено, что, несмотря на отсутствие критического загрязнения большинством тяжелых металлов, в почвах фиксируется повышенное содержание Cr, Hg, As и Ni. Доминирующим загрязнителем является хром, аккумулирующийся в суглинистых разновидностях почв. Показано, что накопление ряда металлов связано не только с антропогенным воздействием, но и с природными биогеохимическими процессами.

Ключевые слова: тяжелые металлы; загрязнение почв; подзолистые почвы; Ленинградская область; индекс геоаккумуляции (Igeo).

DOI: 10.24412/2410-1192-2026-18102

Дата поступления: 5.03.2026. Принята к печати: 30.04.2026

Современный этап развития производства характеризуется активным вовлечением в биогеохимический круговорот большого количества химических соединений и увеличением миграции не только элементов-биогеофитов, но и ряда металлов [Ермаков, 2015]. Попадая в почву в результате антропогенной деятельности, тяжелые металлы характеризуются высокими ми-

грационными и аккумулятивными процессами, что способствует включению данных поллютантов в биогеохимические циклы.

Тяжелые металлы (ТМ) при попадании в почву связываются почвенными компонентами, при этом происходит либо образование их труднорастворимых соединений, либо адсорбция на почвенных коллоидах, либо валентные трансформации, которые

изменяют подвижность элементов-токсикантов и доступность их растениям [Протасова, Щербаков, 2003; Стахурлова, Бахтин, 2020]. Однако, при повышенном содержании в почве тяжелые металлы могут вступать в трофические цепи и вместе с продукцией растениеводства и животноводства попадать в рацион человека, что может негативно повлиять на его здоровье [Brevik, Sauer, 2015; Tong et al., 2020; Панов и др., 2023].

Территория Ленинградской области расположена на границе средней и южной подзон центральной таежно-лесной биоклиматической области умеренно-холодного пояса. В пределах области встречаются все разновидности подзолистых почв, что объясняется неоднородностью механического состава почвообразующих пород, различиями рельефа местности, составом и свойствами растительности.

Значение дерново-подзолистых почв таежно-лесной зоны заключается в том, что они являются важным фактором сохранения экологического равновесия лесных экосистем, а также выступают объектом труда и средством производства, определяя направленность производственной деятельности. Многочисленными исследованиями [Зырин, Садовникова, 1985; Алексеенко и др., 1992; Овчаренко, 1997; Алексеев, 2008; Федорец и др., 2015] установлено, что естественное содержание ТМ в дерново-подзолистых и подзолистых почвах определяется разнообразием почвообразующих пород, форм рельефа, пестротой агрохимических свойств почв.

Вышеизложенное обуславливает актуальность изучения современного состояния подзолистых почв в условиях разно-

плановой антропогенной нагрузки.

Цель исследования – экологическая оценка содержания ТМ поверхностного слоя текстурно-дифференцированных и альфегумусовых почв Ленинградской области.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования выступили текстурно-дифференцированные и альфегумусовые почвы Ленинградской области разной степени оподзоленности и оглеенности на моренных суглинках и озерно-ледниковых супесях и суглинках под различными биоценозами (хвойный и хвойно-смешанный, мелколиственный лес). При выборе места взятия почвенных проб учитывалось расстояние от возможных источников загрязнения по направлению господствующих ветров. Всего было определено 23 участка, где были отобраны почвенные образцы (рис. 1).

Полевые работы проводились в июне-июле 2025 года. Пробы отбирались по общепринятой методике согласно ГОСТ [2017]. На каждом участке из поверхностного (0–20 см) слоя почвы пробы отбирались методом конверта, на месте составлялась смешанная проба. Исследования проб почвы были проведены в аккредитованном Испытательном лабораторном центре ООО «УралСтройЛаб» в соответствии с действующими нормативными документами. Базовые показатели почвенного плодородия (кислотность, содержание гумуса, азота) определяли общепринятыми методами ГОСТ [1985; 2019; 2021]. Содержание тяжелых металлов определяли методом эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре (модель Avio 560 Max) [ПНД Ф, 1998].

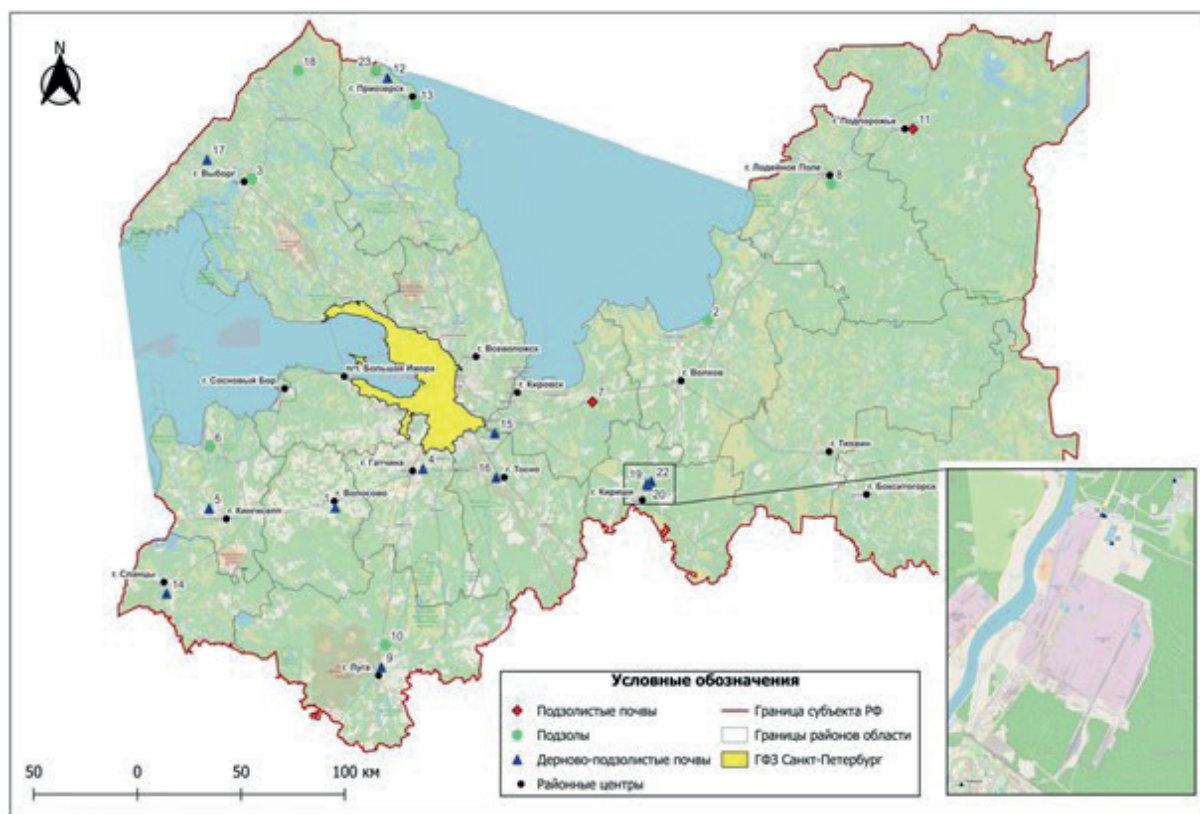


Рис. 1. Участки отбора почв Ленинградской области

Fig. 1. Soil sampling sites in the Leningrad region

Расчеты показателей загрязнения проводились по следующим методикам.

Для оценки загрязнения поверхностного слоя почв ТМ рассчитывался индекс геоаккумуляции (Geoaccumulation Index, I_{geo}) [Muller, 1969; Tyopine et al., 2018; Авдощенко, Климова, 2022] по формуле:

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_i}{1.5Bn} \right),$$

где C_i – содержание элемента в почве; Bn – геохимический фон; 1.5 – коэффициент, компенсирующий фоновое содержание за счет литогенных факторов. Этот показатель ранжирует состояние почв на следующие семь классов: $I_{geo} < 0$ – незагрязненные; $0 < I_{geo} < 1$ – слабая степень загрязнения; $1 < I_{geo} < 2$ – умеренная степень загрязнения; $2 < I_{geo} < 3$ – достаточно сильная степень загрязнения; $3 < I_{geo} < 4$

– сильная степень загрязнения; $4 < I_{geo} < 5$

– очень сильная степень загрязнения, $5 < I_{geo}$ – чрезвычайно сильная степень загрязнения [Бабошкина и др., 2025].

Уровень загрязнения почв ТМ определялся с использованием интегрального индекса загрязнения Немерова (NCPI) – распространенного способа оценки загрязнения почв, оценивающего не только среднее значение однофакторных показателей, но и учитывающего их максимальную величину [Liu et al., 2017; Опекунова и др., 2022]. Для определения NCPI сначала рассчитывался индекс однофакторного загрязнения:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i},$$

где P_i – индекс однофакторного загрязнения; C_i (мг/кг) – измеренная концентрация отдельного элемента; и S_i (мг/кг) – норма-

тивное значение загрязняющих веществ. В качестве стандартов содержаний тяжелых металлов использованы фоновые значения содержания ТМ в почвах Ленинградской области [Сорокин и др., 2012].

Индекс загрязнения Немерова рассчитывался по формуле:

$$NCPI = \sqrt{\frac{(\bar{P}_i)^2 + (P_{i\max})^2}{2}},$$

где NCPI – индекс загрязнения Немерова; $P_{i\max}$ – максимальный единичный индекс загрязнения среди загрязняющих веществ, а $\bar{P}_i$ – среднее значение единичных индексов загрязнения среди всех загрязняющих веществ. Значение индекса загрязнения Немерова для почв: $NCPI \leq 0.7$ – безопасное, $0.7 < NCPI \leq 1.0$ – повышенное внимание, $1.0 < NCPI \leq 2.0$ – слабое загрязнение, $2.0 < NCPI \leq 3.0$ – среднее загрязнение, $NCPI > 3.0$ – сильное загрязнение [Hu et al., 2017].

Результаты и обсуждение

В ходе исследования были изучены почвы, относящиеся к отделам текстурно-дифференцированных (подзолистые и дерново-подзолистые) и альфегумусовых (подзолы) почв, расположенных на различных расстояниях от источников загрязнения (табл. 1).

Подзолы Ленинградской области формируются на слабодренированных формах рельефа озерных, озерно-аллювиальных и флювиогляциальных равнин, на породах легкого состава под заболоченными сосновыми и елово-сосновыми кустарничково-зеленомошными и долгомошными лесами. Почвы имеют легкий гранулометрический состав – супесчаный, что способствует хорошей вертикальной миграции

влаги и растворенных в ней химических элементов. Общими чертами является наличие в их профиле белесого подзолистого горизонта и обычно яркого (охристого, красноватого, кофейного др.) срединного альфегумусового горизонта.

По данным лабораторных исследований, верхний горизонт *подзолов* характеризуется содержанием: органического вещества – от низкого (2.2%) до высокого (7.1%), общего азота – от низкого (0.114%) до высокого (0.771%), обогащенность гумуса азотом – от очень низкой (16.2) до очень высокой (4.7). Реакция почвенного раствора (pH_{KCl}) – от сильнокислой (4.0) до среднекислой (4.8). Исследованные нами подзолы относятся к классу супесчаных почв.

Подзолистые почвы формируются под темно-хвойными лесами с моховым или мохово-кустарничковым растительным покровом в умеренно дренированных местоположениях (вершины холмов и привершинные части склонов, озерно-ледниковые и озерные террасы) на различных породах. Характерным признаком для этой почвы является подзолистый горизонт мощностью от 18 до 25 см.

По данным химических анализов, верхний горизонт *подзолистых почв* исследованных участков характеризуется очень низким (0.5–1.35%) содержанием органического вещества, содержанием общего азота – от очень низкого (0.042%) до низкого (0.126%), обогащенность гумуса азотом – высокая (6.2–6.9). Реакция почвенного раствора (pH_{KCl}) – от среднекислой (4.7) до близко к нейтральной (5.7). По гранулометрическому составу изученные подзолистые почвы относятся к классу супесчаных и легкосуглинистых.

Таблица 1

Расположение участков отбора проб относительно источников загрязнения

Table 1

Location of sampling sites relative to pollution sources

№ участка п/п	Расстояние от источника загрязнения	Тип почвы	Гранулометрический состав	pH _{KCl} , ед. pH	Гумус, %
1	3.33 км ЮВ ООО КФ «Ленинградская», г. Волосово	Дерново- скрытоподзолистая супесчаная на моренных суглинках	Легко суглинистый	5.1	1.39
2	3.54 км ССВ ОАО «Сясь- ский целлюлозно-бумаж- ный комбинат», г. Сясьстрой	Подзол грубо-гумусовый супесчаный на тонких огненных озерно- ледниковых песках	Легко суглинистый	4.1	2.2
3	2.31 км СВ Вы- боргский завод металлоконструкций, г. Выборг	Подзол скрытоподзолистый контактно-осветленный на озерно-ледниковой супеси	Супесчаный	4.5	7.1
4	1.18 км ВЮВ ООО «Новый Свет - Эко», пос. Новый Свет	Дерново-подзолистая суглинистая на моренах	Легко суглинистый	5.1	4.1
5	860 м С ПГ «Фосфорит», г. Кингисепп	Дерново-глубоко- подзолистая легкосуглинистая на тонкой озерно-ледниковой супеси	Средне суглинистый	4.4	85.8*
6	3.49 км ЮВ Порт «Усть-Луга», Кингисеппский район	Подзол перегнойно- темногумусовый супесчаный на оглеенной озерно-ледниковой супеси	Супесчаный	4	2.3
7	1.41 км В ЗАО «НТК», гп. Назия, р-н Кировский	Подзолистая грубогумусированная супесчаная на оглеенных озерно-ледниковых суглинках	Супесчаный	4.7	0.5
8	5.09 км ЮВ ООО «ЦСП-Свирь», г. Лодейное Поле	Подзол иллювиально- железистый супесчаный на тонко оглеенной озерно- ледниковой супеси	Супесчаный	4.8	3.4
9	1.88 км СВ Лужский химический завод, г. Луга	Дерново-подзолистая суглинистая на моренах	Легко суглинистый	4.3	4.6
10	0.5 км ЮВ АО Лужский комбикормовой завод 0.6 км Ю ОАО «Толмачёвский завод ЖБ и МК», п. Толмачево	Подзол иллювиально- железистый супесчаный на камовых песках	Супесчаный	4	2
11	1.90 км В АО «Подпо- рожский механический завод», г. Подпорожье	Подзолистая грубогумусированная супесчаная на моренных суглинках	Легко суглинистый	5.7	1.35
12	5.14 км ЮЗ Дробильно-сортировоч- ный завод №3 2.23 км В Дробильно-со- ртировочный завод №2 пгт. «Кузнечное, Приозерский р-н	Дерново-подзолистая супесчаная глееватая на моренных суглинках	Легко суглинистый	3.9	96.71*

№ участка п/п	Расстояние от источника загрязнения	Тип почвы	Гранулометрический состав	pH _{KCl} , ед. pH	Гумус, %
13	0.79 км ССЗ ГК «Приозерский лесокombинат», пос. Ларионово Приозерский район	Подзол иллювиально-железистый супесчаный на водно-ледниковых песках	Супесчаный	4.4	3.9
14	0.56 км В ООО «Цементный завод «Петербургцемент», г. Сланцы	Дерново-слабоподзолистая суглинистая на моренах	Легко суглинистый	6	5.2
15	1.98 км ВСВ ОАО «Никольский кирпичный завод», г. Никольское	Дерново-подзолистая глееватая легкосуглинистая на моренных суглинках	Легко суглинистый	6.1	1.7
16	1.0 км на юг от промышленной зоны, г. Тосно	Дерново-подзолистая глееватая легкосуглинистая на моренных суглинках	Легко суглинистый	4.3	97*
17	Выборгский район, Селезневское сельское поселение, ст. Лужайка	Дерново-подзолистая глееватая легкосуглинистая на озерно-ледниковых оглеенных глинах	Легко суглинистый	4.2	6.6
18	Выборгский район, граница Светогорского и Каменногорского городских поселений, северо-западнее пос. Дымово	Подзол грубогумусированный супесчаный иллювиально-железистый на озерно-ледниковой супеси	Супесчаный	4.3	4.6
19	0.34 км СВ от Киришской ГРЭС; 1.96 км ССЗ от ООО «КИНЕФ», г. Кириши	Дерново-подзолистая суглинистая на тонкой озерно-ледниковой супеси	Средне суглинистый	3.9	4.6
20	0.55 км СВ Киришская ГРЭС, 2.17 км С ООО «КИНЕФ», г. Кириши	Дерново-мелкоподзолистая суглинистая на моренных суглинках	Легко суглинистый	5.5	0.43
21	0.49 км СВ Киришская ГРЭС 1.92 км С ООО «КИНЕФ», г. Кириши	Дерново-подзолистая суглинистая на тонкой озерно-ледниковой супеси	Средне суглинистый	5.7	3.2
22	2.58 км СВ Киришская ГРЭС 3.37 км СВ ООО «КИНЕФ», г. Кириши	Дерново-неглубокоподзолистая суглинистая на моренных суглинках	Средне суглинистый	6.4	0.56
23	1.39 км ССВ Дробильно-сортировочный завод №3 3.27 км СЗ Дробильно-сортировочный завод №2, пгт. «Кузнечное, Приозерский р-н	Подзол грубогумусированный супесчаный иллювиально-железистый на озерно-ледниковой супеси	Супесчаный	4.6	2.0

Примечание: *Содержание органического вещества, определяемое как потеря массы при прокаливании.

Формирование дерново-подзолистых почв происходит на достаточно дренированных ровных поверхностях с мощным чехлом валунных суглинков под хвойно-лиственными и хвойно-широколиственными мохово-травянистыми и травянистыми лесами. Дерново-подзолистые почвы отличаются от подзолистых как строением

своего профиля, так и физико-химическими свойствами. Отличительной чертой дерново-подзолистых почв является наличие перегнойно-аккумулятивного горизонта, формирующегося на участках, где преобладают растения с развитой корневой системой. Дерново-подзолистые почвы формируются на более тяжелых по гранулометрическому составу породах, что обеспечивает лучшее снабжение макро- и микроэлементами растений и большую продуктивность фитомассы. Поэтому в рассматриваемых почвах выше содержание гумуса и элементов биофилов.

По данным лабораторных анализов верхний горизонт дерново-подзолистых почв участков характеризуется содержанием: органического вещества – от очень низкого (0.43%) до высокого (6.6%), общего азота – от очень низкого (0.036%) до высокого (4.8%), обогащенность гумуса азотом

– от очень низкой (19.2) до высокой (5.6). Реакция почвенного раствора (pH_{KCl}) – от очень сильнокислой (3.2) до нейтральной (6.2). В гранулометрическом составе преобладающими фракциями дерново-подзолистых почв были легкий и средний суглинок.

По агрохимическим характеристикам исследованные почвенные образцы практически не отличаются от показателей, приведенных в литературных источниках для почв данного типа [Гришина, Орлов, 1978; Сапрыкин, 1984; Ковда, Розанов, 1988; Орлов и др., 2005; Национальный атлас почв..., 2011].

Концентрация тяжелых металлов в поверхностном слое почв сильно варьирует (табл. 2), что обусловлено разнообразием почвообразующих пород, неоднородностью гидроклиматических условий, особенностями рельефа и влиянием антропогенных факторов [Горький, 2007].

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в почвах Ленинградской области

Table 2

Heavy metal and arsenic content in the soils of the Leningrad region

Элемент	Содержание элемента в почвах, мг/кг				ПДК/ОДК*, с учётом фона (кларка), мг/кг	Региональный фоновый уровень***, мг/кг			Кк
	среднее	ошибка	min	max		среднее	min	max	
Hg	0.04	0.009	0.01	0.017	2.1/-	0.03	0.01	0.12	1.37
Pb	20.78	1.5	2.1	30	-/32; 65; 130**	19.11	2.00	44.0	1.09
As	3.4	0.51	0.6	7.8	-/2.0; 5.0; 10.0**	2.62	1.5	6.0	1.24
Cd	0.15	0.006	0.1	0.22	-/0.5; 1.0; 2.0**	0.17	0.01	0.57	0.83
Zn	46.41	6.86	7.2	98	-/55.0; 110.0; 22.00**	43.10	10.0	70.0	1.04
Ni	17.86	1.7	0.7	39	-/2.0; 5.0; 10.0**	15.30	5.0	30.0	1.17
Co	4.42	0.55	0.2	11	5.0/-	4.10	2.5	7.0	1.08
Cr	43.87	4.09	5.1	77	-	12.5	0.1	30	3.51
Cu	12.74	2.02	0.9	36	-/33.0; 66; 132.00	18.0	10.0	30.0	0.71
Mn	270.87	36.77	12	613	1500/-	117.7	50.0	300.0	2.3

Примечания: * СанПиН 1.2.3685–2021 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»; ** /ОДК песчаные и супесчаные почвы; кислые (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} < 5.5$; близкие к нейтральным, нейтральные (суглинистые и глинистые), $pH_{KCl} > 5.5$; *** Горький А.В., 2007.

Содержание ряда элементов (кадмий, цинк, кобальт, никель) в исследуемых почвах не отличается от среднего содержания в почвах мира, России и находится на уровне их фоновых концентраций по Ленинградской области [Виноградов, 1957; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Горький, 2007; Побилат, Волошин, 2021]. Содержание кадмия в верхних горизонтах почв области невысокое, не превышает ПДК и ОДК в почвах, изменяется в довольно узком диапазоне (от 0.11 до 0.22 мг/кг), вариабельность значений средняя ($C_v=12-16\%$). Тоже самое можно отметить и для никеля, содержание которого в почвах области изменяется от 10 до 30 мг/кг, вариабельность не превышает 40%.

Обращает на себя внимание довольно равномерное содержание свинца, элемента 1 класса опасности. Во всех образцах его концентрации изменяются в пределах от 2 до 30 мг/кг и варьирует умеренно (коэффициенты вариации в выборках не превышают 28%). Однако, содержание свинца в изученных нами почвах заметно выше содержания меди (примерно в 1.5 раза), что отличает почвы Ленинградской области от почв подзолистого ряда соседних регионов. Так, например для дерново-подзолистых почв Северо-Запада России содержание меди изменяется от 25.6 до 83.1 мг/кг, содержание свинца – от 14 до 23.6 мг/кг [Сапрыкин, 1984], в почвах Карелии средние значения содержания меди составляют 18 мг/кг, свинца – 15.5 мг/кг [Федорец и др., 2015]. Аналогичное превышение свинца над медью наблюдается в поверхностных горизонтах дерново-подзолистых почв южно-таежной подзоны Западно-Си-

бирской равнины [Сысо, 2007].

Содержание меди в поверхностных горизонтах почв отличается значительной вариабельностью ($C_v=73-82\%$), что определяется пестротой состава почвообразующих пород. В среднем количество меди в исследуемых почвах находится на уровне 12.7 мг/кг, что ниже уровня фонового содержания элемента – 18.0 мг/кг в почвах Ленинградской области [Горький, 2007]. Пониженное содержание меди в подзолистых почвах Ленинградской области обусловлено, с одной стороны, низкой ее концентрацией в почвообразующих породах. По данным Ф.Я. Сапрыкина [1984] региональный фоновый уровень концентрации меди в почвообразующих породах составляет 41 мг/кг, что ниже кларка меди в земной коре – 47 мг/кг [Виноградов, 1957]. С другой стороны, отмечаемая рядом авторов [Национальный атлас почв..., 2011; Симонова и др., 2025], высокая подвижность меди в условиях кислой реакции и обилие водорастворимых органических веществ, также влияет на низкое содержание Cu в почвах.

Таким образом, пониженное содержание меди в изученных почвах области, а также концентрации Cd, Ni в большей степени определяются природными геохимическими особенностями, а также их содержанием в почвообразующих породах региона и пока мало зависят от антропогенного воздействия со стороны промышленных предприятий. В то же время, содержание таких опасных токсикантов, как Hg и As, а также Zn в верхних горизонтах почв области колеблются в более широких пределах, их максимальные значения могут на порядок превышать величину минималь-

ного, хотя, при этом не превышают ПДК и ОДК в почвах.

Медь, цинк и никель относятся к химическим элементам энергичной миграции в кислой среде и сорбируются алюмосиликатами и гидроксидами железа и марганца, характерными для зональных подзолистых почв региона и сконцентрированными преимущественно в верхней части профиля почвы.

Анализ валового содержания тяжелых металлов (Hg, Pb, Cd, Zn, Ni, Co, Cr, Cu, Mn) в подзолистых почвах и подзолах области показал, что ни один из определенных нами элементов не достиг предельно или ориентировочно допустимых концентраций, т. е. почвы не являются загрязненными (табл. 2). Исключение составило только содержание мышьяка (элемент 1 класса опасности), где концентрация его в супесчаных почвах превышает ОДК в 1.65 р.

Классики почвоведения и биогеохимии, такие как В.А. Ковда [1985], М.А. Глазовская [1988], А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас [1989], В.В. Добровольский [1997] считали, что при оценке загрязнения почв металлами целесообразно ориентироваться на их фоновые значения. От содержания в почве питательных элементов, гумуса, вторичных минералов, окислительно-восстановительных условий и pH среды зависит доступность химических элементов растениям, что определяет допустимые концентрации и токсичность. Уровни веществ, превышающие их естественное (фоновое) содержание в 5–10 и более раз, по мнению Аллаяровой и др. [2021], вне зависимости от свойств почвы, считаются токсичными.

Согласно результатам нашего исследования в почвах Ленинградской области металлов, обладающих токсичностью, не выявлено (рис. 2).

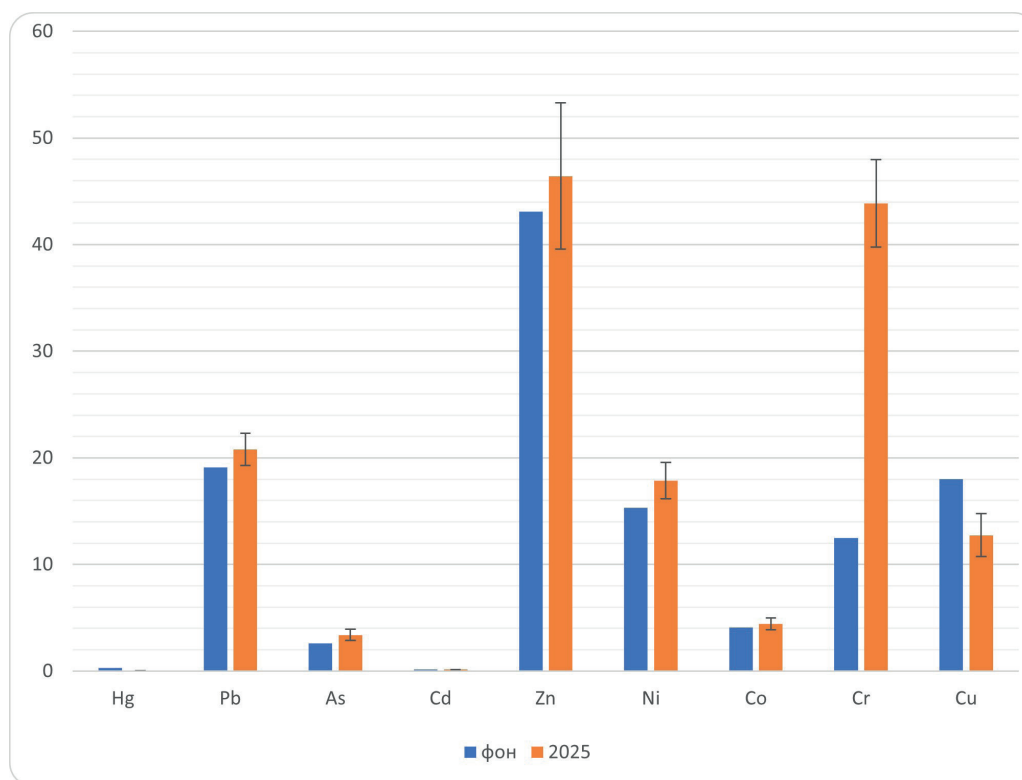


Рис. 2. Средняя концентрация ТМ в поверхностном слое почв
Fig. 2. Average concentration of HM in the surface layer of soils

Анализ данных показал, что наиболее высокие концентрации Hg и Cd (элементы 1 класса опасности) установлены в образцах почв, отобранных в 500 м от источников загрязнения в Лужском и Кингисеппском районах (табл. 3), что согласуется с результатами ранее проведенных исследований на указанной территории [Жукова, 2017; Елсукова и др., 2022; Симонова и др., 2025].

В почвах участков, расположенных на значительном расстоянии от промышленных предприятий, количество Zn в 2 раза, Cr в 1.2 раза превышает их содержание в почвах вблизи источников загрязнения. Содержание Pb, As, Ni, Co, Cu, Mn с расстоя-

нием от источника загрязнения существенно не изменяются.

Рассчитанные геоаккумулятивные индексы для металлов Hg, Pb, As, Cd, Zn, Ni, Co, Cu изменяются в широком диапазоне. Анализ полученных данных выявил, что в 22 точках из 23 наблюдается загрязнение почв хромом от слабого до достаточно сильного. Верхние горизонты почв участков, расположенных в 2 км и дальше от источника загрязнения (ПО «Киришинефтеоргсинтез») загрязнены сильнее ($I_{geo}=2.04$), чем почвы в 200–300 м от источника загрязнения ($I_{geo}=1.81$, $I_{geo}=0.9$). В 500 м от НПЗ загрязнение почв хромом соответствует слабой степени загрязнения ($I_{geo}=0.58$).

Таблица 3

Содержание микроэлементов в поверхностном слое почв исследуемых участков Ленинградской области

Table 3

Content of trace elements in the surface layer of the soils of the studied areas in the Leningrad region

Элемент, мг/кг	500 м от источника загрязнения		2000 м и более от источника загрязнения	
	$\frac{M \pm SE}{lim}$	Cv, %	$\frac{M \pm SE}{lim}$	Cv, %
Mn	$\frac{234 \pm 79.3}{69 - 532}$	75	$\frac{236 \pm 44.5}{100 - 429}$	53
Zn	$\frac{21.4 \pm 5.5}{7.2 - 38}$	58	$\frac{43.8 \pm 11.4}{8.0 - 98}$	73
Cr	$\frac{38.2 \pm 7.4}{24 - 66}$	43	$\frac{47.4 \pm 6.8}{26 - 77}$	40
Pb	$\frac{20.0 \pm 0.8}{17 - 22}$	9	$\frac{22.6 \pm 2.3}{8.6 - 30}$	28
Ni	$\frac{15.4 \pm 2.5}{10 - 25}$	54	$\frac{17.4 \pm 2.3}{11 - 30}$	37
Cu	$\frac{10.4 \pm 3.4}{3.3 - 23}$	73	$\frac{12.8 \pm 3.7}{2.4 - 36}$	82
Co	$\frac{4.0 \pm 0.5}{2.8 - 5.5}$	27	$\frac{4.2 \pm 0.8}{0.6 - 8.0}$	51
As	$\frac{3.0 \pm 1.3}{0.6 - 7.8}$	98	$\frac{3.4 \pm 1.0}{0.6 - 7.0}$	85
Cd	$\frac{0.15 \pm 0.01}{0.11 - 0.17}$	16	$\frac{0.13 \pm 0.005}{0.11 - 0.15}$	12
Hg	$\frac{0.05 \pm 0.03}{0.005 - 0.16}$	134	$\frac{0.03 \pm 0.008}{0.01 - 0.085}$	72

Основная масса хрома в почвах прочно связана с ее минеральной частью. Поэтому в региональных условиях высокая концентрация Cr в почвах относительно его фоновых значений определяется содержанием его в почвообразующих породах. В отношении озерно-ледниковых глин Северо-Запада, на которых формируется большинство исследованных нами почв, известно, что они больше обогащены микроэлементами, в частности Cr, чем другие водно-ледниковые и ледниковые породы за счет большей доли тонких фракций в гранулометрическом составе [Матинян и др. 2007].

В Кингисеппском районе области в точке отбора № 5, находящейся в 800 м от ООО ПГ «Фосфорит» и в Лужском районе, в точке отбора № 10, в 1 км от Лужского комбикормового завода отмечена умеренная степень загрязнения почв ртутью ($I_{geo}=1.9$). В точках, находящихся на расстоянии около 2 км от предприятия металлообработки (г. Выборг и ОАО «Лужский химический завод»), загрязнение ртутью определено, как слабое ($I_{geo}=0.9-0.1$). В остальных точках отбора загрязнение отсутствует.

Значения I_{geo} в почвах области остальных элементов (As, Zn, Ni, Co, Cu) изменяются в следующих пределах: 0.16–0.98 (As); 0.01–0.6 (Zn); 0.06–0.76 (Ni); 0.38–0.83 (Co); 0.2–0.41 (Cu), что характеризует слабую степень загрязненности почв этими элементами.

Загрязнение свинцом отмечено только в одной точке ($I_{geo} = 0.07$), расположенной в 600 м от цементного завода и связано оно с деятельностью промышленных предприятий г. Сланцы и близким расположением

точки отбора к автодороге. Загрязнение почв кадмием не выявлено.

Таким образом, самые низкие значения I_{geo} по всей исследуемой территории установлены для Pb, As, Zn, Ni, Co, Cu. По степени загрязнения этими элементами почвы области относятся к классу 0–1 (слабая степень загрязненности). Вклад этих элементов в суммарное загрязнение почв незначительный, их содержание в основном соответствует фоновому уровню.

Самые высокие значения единичных I_{geo} установлены для хрома – по его содержанию почвы области соответствуют достаточно сильному хромовому загрязнению. Уровень загрязнения почв области ртутью определен как умеренный. На общем фоне выделяются два более загрязненных участка, связанные с нефтепереработкой (г. Кириши) и производством фосфорных удобрений (г. Кингисепп). Загрязнение тяжелыми металлами почв данной территории отмечается и в работах других авторов [Елсукова и др., 2022; Сиимонова и др., 2025].

Значения NCPI в исследованных почвах изменяются от 0 до 4.6, среднее значение NCPI составляет 2.7. Согласно расчетам, наиболее высокие индексы загрязнения Немецова установлены в почвах, прилегающих к Киришскому НПЗ (NCPI = 3.1–4.6) Кингисеппскому ПО «Фосфорит» (NCPI = 3.9). Сильное загрязнение почв по индексу NCPI (свыше 3) отмечены также для почв участков 4, 6, 11, 13, 14, 19, 20, 22. Основной вклад в значение комплексного индекса загрязнения NCPI вносит хром (рис. 3). Значительную долю в загрязнение вносят также Mn, As, Co, Ni, Zn.

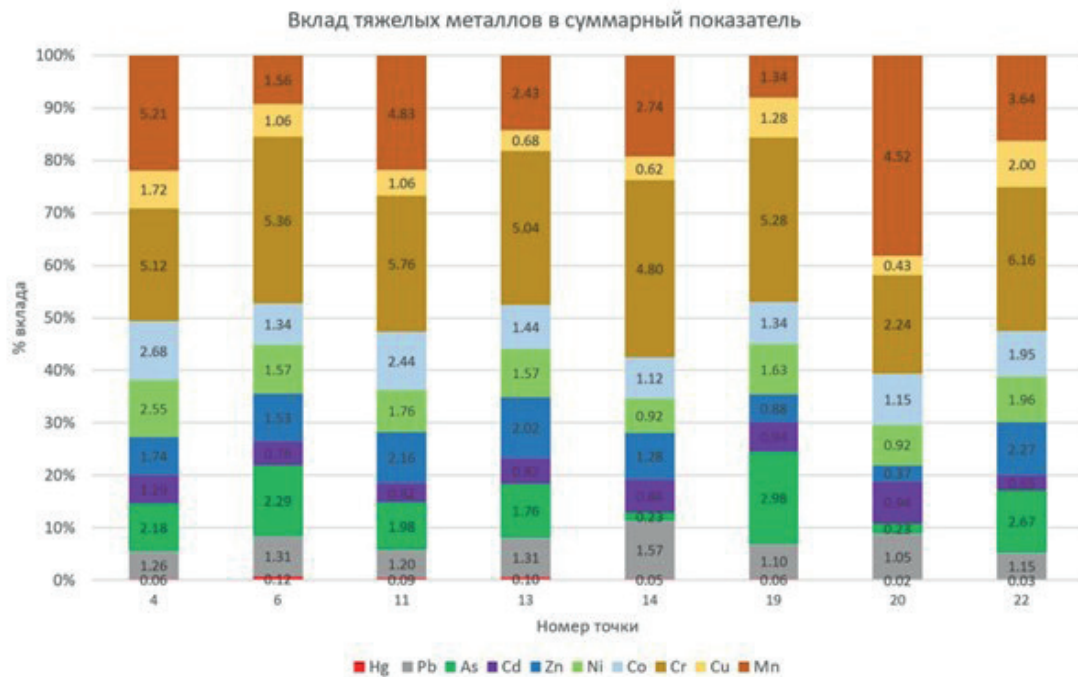


Рис. 3. Вклад тяжелых металлов и мышьяка в интегральный показатель загрязнения почв химическими элементами по индексу Немеорова
 Fig. 3. Contribution heavy metals and arsenic to the integral indicator of soil contamination by chemical elements according to the Nemerov index

Необходимо отметить, что высокий суммарный индекс загрязнения характерен не только для точек, расположенных на расстоянии менее 500 м от источников загрязнения, но и для участков, находящихся свыше 1 км от промышленных предприятий. Для изучаемой территории характерна частая смена воздушных масс, с преобладанием западных и северо-западных ветров, при этом часто повторяются ветры южных румбов. Вероятно, это определяет высокие индексы загрязнения на значительном удалении от источников.

Наиболее высокие показатели загрязнения (3.1–4.5) установлены в дерново-подзолистых суглинистых почвах, что, видимо, обусловлено более тяжелым гранулометрическим составом. Незначительное загрязнение и отсутствие загрязнения отмечены для супесчаных подзолов и супесчаных подзолистых почв (рис. 4).

По всей видимости это обусловлено

тем, что в условиях влажного климата с периодическим увлажнением и преобладанием в составе гумуса фульвокислот миграционная способность микроэлементов значительно возрастает, особенно в почвах с легким механическим составом, с преимущественно промывным водным режимом. Для большинства загрязняющих веществ с утяжелением механического состава почвы возрастает общее содержание микроэлементов. В многочисленных региональных исследованиях указывается на зависимость содержания металлов от гранулометрического состава почв: так, в почвах более тяжелого гранулометрического состава характерно повышенное содержание следующих элементов – ртути [Байдина, 2001; Безносиков и др., 2013; Побилат, Волошин, 2019], кадмия [Побилат, Волошин, 2017а, Сергеев и др., 2017], свинца [Побилат, Волошин, 2017б; Баенгуев и др., 2022], меди, цинка, никеля, кобальта, марганца [Федорец и др., 2015].

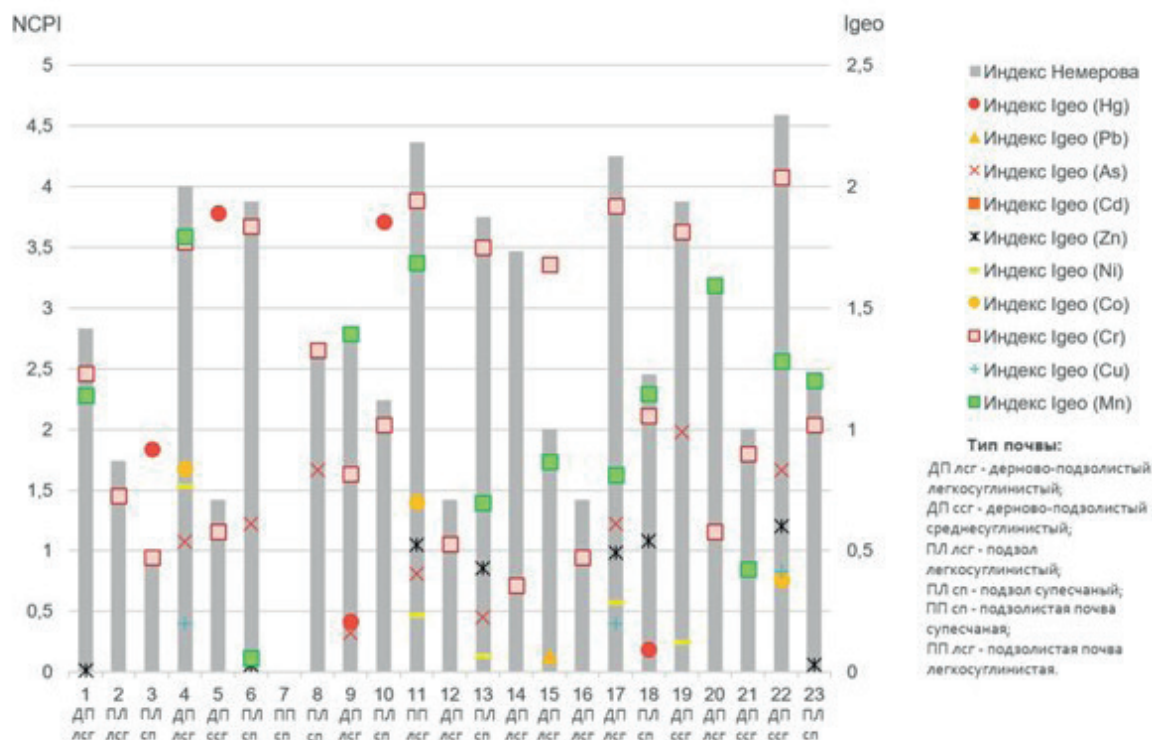


Рис. 4. Индексы геоаккумуляции и NCPI различных типов почв Ленинградской области

Fig. 4. Geoaccumulation and NCPI indices of various soil types in the Leningrad region

В проведенном нами исследовании выделяются легко- и среднесуглинистые почвы, где облигатные микроэлементы (хром, кобальт, никель, цинк, медь, марганец) имеют концентрации превышающие фоновые значения.

Результаты исследования не выявили четкой приуроченности участков с загрязненными почвами к самим источникам загрязнения. Накопление тяжелых металлов в исследуемых почвах связано, на наш взгляд, с биогеохимическими процессами, происходящими в почвенных горизонтах подзолистых почв и описанными в работе Сысо А.И. [2007]. Присутствие в профилях исследованных почв новообразований железа в виде пленок, конкреций может быть природным фактором обогащения почв мышьяком, свинцом, цинком [Нечаева, 1992; Сысо, 2007]. Вероятно, с интенсив-

ным осаждением и аккумуляцией соединений железа в верхних горизонтах оглеенных почв (в слабокислых условиях) также связано накопление Ni, Co, Cr, Cu и других элементов [Водяницкий, 2013].

Таким образом, повышенное относительно фона содержание в почвах Cr, Ni, Co, As, Zn мы не считаем следствием антропогенного загрязнения почв. Накоплению указанных металлов в верхних горизонтах способствуют протекающие в почвах геохимические и биогеохимические процессы.

Выводы

На основании проведенных геохимических исследований выявлено, что почвы Ленинградской области характеризуются кислой реакцией среды и повышенным относительно фоновых значений содержанием

ряда тяжелых металлов и мышьяка. Элементы по их абсолютному содержанию в исследуемых почвах можно расположить в следующий ряд: $Mn > Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > Co > As > Cd > Hg$.

Почвы вблизи источников загрязнений (Кингисеппский и Лужский р-ны), характеризуются повышенным содержанием ртути и кадмия. В почвах участков, расположенных на расстоянии свыше 2 км от источников загрязнения, повышено содержание цинка и хрома, что связано с изменчивостью ветрового поля. Содержание в почвах Pb, As, Ni, Co, Cu, Mn не зависит от приближенности участка к источнику загрязнения.

Расчет единичных индексов геоаккумуляции, учитывающих содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвах и их фоновые

значения, позволил установить различные уровни загрязнения почв исследованных участков отдельными поллютантами. Среди загрязнителей доминирует хром, уровни загрязнения которым варьируют от слабого до достаточно сильного.

На основании рассчитанных значений суммарного показателя загрязнения NCPI установлено, что почвы участков 4, 6, 11, 13, 14, 19, 20, 22 характеризуются сильным загрязнением. Наибольший вклад в суммарный показатель загрязнения вносит хром.

Повышенное относительно фона содержание в почвах Cr, Ni, Co, As, Pb является результатом происходящих в почвенных горизонтах природных геохимических процессов и определяется составом материнских горных пород.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Список литературы

Авдощенко В.Г., Климова А.В. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв города Петропавловска-Камчатского, Камчатский край // Вестник КамчатГТУ. 2022. №61. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-zagryazneniya-tyazhelymi-metallami-pochv-goroda-petropavlovskaya-kamchatskogo-kamchatskiy-kрай> (дата обращения: 02.03.2026).

Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте. СПб: ПИЯФ РАН, 2008. 216 с.

Алексеев В.А., Добровольский В.В., Яншин А.Л. Цинк и кадмий в окружающей среде. Москва: Наука, 1992. 197 с.

Аллаярова Г.Р., Ларионова Т.К., Даукаев Р.А., Афонькина С.Р., Аухадиева Э.А., Курилов М.В., Мусабиров Д.Э., Зеленковская Е.Е., Фазлыева А.С. Аккумуляция тяжёлых металлов в системе «почва – растение» на территории с развитой горнорудной промышленностью // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100, № 11. С. 1203–1208. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-11-1203-1208

Бабошкина С.В., Пузанов А.В., Рождественская Т.А., Трошкова И.А. Экологическая оценка уровня загрязнения почв и субстратов горнопромышленных ландшафтов Северо-Западного Алтая приоритетными тяжелыми металлами // Сибирский экологический журнал. 2025. Т. 32, № 6. С. 985–996. doi: 10.15372/SEJ20250612

Баенгуев Б.А., Белоголова Г.А., Чупарина Е.В., Просекин С.Н., Долгих П.Г., Пастухов М.В. Распределение содержания свинца и формы его соединений в техногенной почве г. Свирска (Южное Прибайкалье) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 8. С. 205–214. doi: 10.18799/24131830/2022/8/3670

Байдина Н.Л. Содержание и формы ртути в почвах южной части западной Сибири // Агрохимия. 2001. № 11. С. 59–63.

Безносиков В.А., Ладынин Е.Д., Низовцев А.Н. Пространственное и профильное распределение ртути в почвах естественных ландшафтов. Вестник Санкт-Петербургского университета. 2013. Серия 3. Вып. 1. С. 94–101.

Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 259 с.

Водяницкий Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность // Почвоведение. 2013. № 7. С. 872–881.

Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. Москва: Высш. шк., 1988. 327 с.

Горький А.В. Химическое загрязнение почво-грунтов Санкт-Петербурга // Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в 2006 году. СПб.: Сезам-Принт, 2007. 349 с.

ГОСТ 17.4.3.01–2017 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб». Москва, Станандартинформ, 2018. 8 с.

ГОСТ 26213–2021 «Почвы. Методы определения органического вещества». Москва, Российский институт стандартизации, 2021. 11 с.

ГОСТ 26483–85 «Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО». Москва: Изд-во стандартов, 1985. 4 с.

ГОСТ Р 58596–2019 «Почвы. Методы определения общего азота». Москва : ФГУП «Стандартинформ», 2019. 11 с.

Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв. М.: Наука, 1978. С. 42–47.

Добровольский Г.В. Биосферные циклы тяжёлых металлов и регуляторная роль почвы // Почвоведение. 1997. Т. 7. С. 431–441.

Елсукова Е.Ю., Недбаев И.С., Кузьмина Д.С. Загрязнение почв в зоне воздействия производства фосфорных удобрений // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2022. Т. 67. Вып. 4. С. 652–674.

Ермаков В.В., Ковальский Ю.В. Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии (в двух томах). 2015. Т. 1. С. 8–12.

Жукова А.Д. Оценка экологического состояния почв на территории импактного влияния производства фосфорсодержащих минеральных удобрений (на примере ОАО «Воскресенские минеральные удобрения»): Дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2017. 169 с.

Зырин Н.Г., Садовникова Л.К. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах. Москва: Изд-во МГУ, 1985. 206 с.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 439 с.

Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова. М.: Наука, 1985. 263 с.

Ковда В.А., Розанов Б.Г. Почвоведение. Ч. 2. Типы почв, их география и использование. М.: Высш. шк., 1988. 368 с.

Матинян Я.Н., Рейманн К., Бахматова К.А., Русаков А.В. Фоновое содержание тяжелых металлов и мышьяка в пахотных почвах Северо-Запада России (по материалам международного геохимического атласа) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3. Биология. 2007. № 3. С. 123–134.

Национальный Атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель. 2011. 632 с.

Нечаева Е.Г. Геохимические закономерности торфообразования на Западно-Сибирской равнине // География и природные ресурсы. 1992. № 3. С. 21–29.

Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение. Москва: Пролетар. светоч, 1997. 290 с.

Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Кукушкин С.Ю., Лисенков С.А., Власов С.В., Сомов В.В. Загрязнение почв севера Западной Сибири нефтяными и полициклическими ароматическими углеводородами: распределение и оценка экологического риска // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1442–1460. doi: 10.31857/S0032180X22110107

Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. Москва: Высшая школа, 2005. 558 с.

Панов А.В., Трапезников А.В., Коржавин А.В., Сидорова Е.В., Корнеев Ю.Н. Тяжёлые металлы и мышьяк в пищевой продукции района размещения промышленных предприятий и атомной электростанции // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102, № 1. С. 70–76. doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-1-70-76

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». Москва, Центр Исследования и Контроля Воды, 2005. 31 с.

Побилат А.Е., Волошин Е.И. Кадмий в почвах и растениях Средней Сибири // Микроэлементы в медицине. 2017а. Т. 18, № 3. С. 36–41. doi: 10.19112/2413-6174-2017-18-3-36-41

Побилат А.Е., Волошин Е.И. Особенности содержания свинца в почвах и

растениях Средней Сибири // Микроэлементы в медицине. 2017б. Т. 18, № 4. С. 36–41. doi: 10.19112/2413-6174-2017-18-4-36-40

Побилат А.Е., Волошин Е.И. Мониторинг микроэлементов в почвах (обзор) // Микроэлементы в медицине. 2021. Т. 22, № 4. С. 14–26. doi: 10.19112/2413-6174-2021-22-4-14-26

Побилат А.Е., Волошин Е.И. Экологическая оценка содержания ртути в агроценозах Средней Сибири // Микроэлементы в медицине. 2019. Т. 20, № 4. С. 57–62. doi: 10.19112/2413-6174-2019-20-4-57-62

Протасова Н.А., Щербаков А.П. Микроэлементы в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: ВГУ, 2003. 368 с.

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Москва, 2021. 988 с.

Сапрыкин Ф.Я. Геохимия почв и охрана природы. Л.: Недра, 1984. 231 с.

Сергеев А.П., Липатникова Т.Я., Волошин Е.И. Тяжелые металлы в почвах Минусинской лесостепной зоны Красноярского края // Плодородие. 2017. № 3. С. 28–31.

Симонова Ю.В., Кивович Д.П., Русаков А.В., Гостинцева Е.В. Фоновое содержание тяжелых металлов и металлоидов для оценки загрязнения почв при проведении инженерноэкологических изысканий и мониторинга (на примере альфегумусовых почв Лужского района Ленинградской области) // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2025. Т. 70, № 3. С. 493–520. doi: 10.21638/spbu07.2025.303

Сорокин Н.Д., Королева Е.Б., Лосева Е.В., Осинцева Н.В. Пособие по вопросам изучения загрязненных земель и их санации. СПб.: ООО «Ай-Пи», 2012. 119 с.

Стахурлова Л.Д., Бахтин А.М. Микроэлементный состав дерново-подзолистых почв под различными биоценозами // Экологический вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 16, № 4. С. 49–53.

Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 227 с.

Федорец Н.Г., Бахмет О.Н., Медведева М.В., Ахметова Г.В., Новиков С.Г., Ткаченко Ю.Н., Солодовников А.Н. Тяжелые металлы в почвах Карелии: монография. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 222 с.

Brevik E.C., Sauer T.J. The past, present, and future of soils and human health studies // Soil. 2015. Vol. 1, no. 1. P. 35–46. doi: 10.5194/soil-1-35-2015

Hu B.F., Jia X.L., Hu J., Xu D.Y., Xia F., Li Y. Assessment of heavy metal pollution and health risks in the soil-plant-human system in the Yangtze River Delta, China // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2017. Vol. 14. P. 1042. doi: 10.3390/ijerph14091042

Liu Y.R., Yu H.M., Sun Y., Chen J. Novel assessment method of heavy metal pollution in

surface water: A case study of Yangping River in Lingbao City, China // *Environ Eng Res.* 2017. Vol. 22. Iss. 1. P. 31–39. doi: 10.4491/eer.2016.015

Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // *Geojournal.* 1969. Vol. 2. P. 108–118.

Tong S., Li H., Wang L., Tudi M., Yang L. Concentration, spatial distribution, contamination degree and human health risk assessment of heavy metals in urban soils across China between 2003 and 2019 – A systematic review // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2020. Vol. 17, no. 3099. P. 1–22. doi: 10.3390/ijerph17093099

Tyopine A.A., Jayeoye T.J., Okoye Ch. O.B. Geoaccumulation assessment of heavy metal pollution in Ikwo soils, eastern Nigeria // *Environmental Monitoring Assess.* 2018. Vol. 190. Article number 58. doi: 10.1007/s10661-017-6423-3

References

Avdoshchenko V.G., Klimova A.V. Ocenka zagryazneniya tyazhelymi metallami pochv goroda Petropavlovsk-Kamchatskogo, Kamchatskij kraj [Assessment of heavy metal pollution of the soils of Petropavlovsk-Kamchatsky, Kamchatka krai] // *Vestnik KamchaTGTU [Bulletin of KamchaTSTU]*. 2022. №61. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-zagryazneniya-tyazhelymi-metallami-pochv-goroda-petropavlovsk-kamchatskogo-kamchatskiy-kray> (accessed: 02.03.2026).

Alekseev Yu.V. Tyazhelye metally v agrolandshafte [Heavy metals in the agricultural landscape]. SPb: PIYAF RAN, 2008. 216 p. (in Russian).

Alekseenko V.A., Dobrovol'skij V.V., Yanshin A.L. Cink i kadmij v okruzhayushchej srede [Zinc and Cadmium in the Environment]. Moskva: Nauka, 1992. 197 p. (in Russian).

Allayarova G.R., Larionova T.K., Daukaev R.A., Afonkina S.R., Aukhadiyeva E.A., Kurilov M.V., Musabirov D.E., Zelenkovskaya E.E., Fazlyyeva A.S. Akkumulyaciya tyazhyolyh metallov v sisteme «pochva – rastenie» na territorii s razvitoj gornorudnoj promyshlennost'yu [Accumulation of heavy metals in the soil-plant system in an area with a developed mining industry] // *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation]*. 2021. Vol. 100, no. 11. P. 1203–1208. (in Russian). doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-11-1203-1208

Baboshkina S.V., Puzanov A.V., Rozhdestvenskaya T.A., Troshkova I.A. Ecological assessment of the contamination level of soils and substrates in the mining landscapes of Northwestern Altai with key heavy metals // *Contemporary Problems of Ecology.* 2025. Vol. 18, no. 6. P. 921–929. doi: 10.15372/SEJ20250612

Baenguev B.A., Belogolova G.A., Chuparina E.V., Prosekin S.N., Dolgikh P.G., Pastukhov M.V. Raspredelenie soderzhaniya svinca i formy ego soedinenij v tekhnogennoj pochve g. Svirsk (Yuzhnoe Pribajkal'e) [istribution of lead content and forms of its compounds in the technogenic soil of Svirsk (Southern Baikal Region)] // *Izvestiya Tomskogo politekhnichesk-*

ogo universiteta. Inzhiniring georesurov [Bulletin of Tomsk Polytechnic University]. 2022. Vol. 333, no. 8. P. 205–214. (in Russian). doi: 10.18799/24131830/2022/8/3670

Bajdina N.L. Soderzhanie i formy rtuti v pochvakh yuzhnoj chasti zapadnoj Sibiri [Mercury content and forms in the soils of southern Western Siberia] // Agrokimiya [Agric. Chem. J.]. 2001. № 11. P. 59–63. (in Russian).

Beznosikov V.A., Ladynin E.D., Nizovcev A.N. Prostranstvennoe i profil'noe raspredelenie rtuti v pochvakh estestvennykh landshaftov [Spatial and profile distribution of mercury in soils of natural landscapes] // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta [Sankt-Peterburgskogo University Bull.]. 2013. Vol. 3, no. 1. P. 94–101. (in Russian).

Vinogradov A.P. Geokhimiya redkih i rasseyannykh himicheskikh ehlementov v pochvakh [Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils]. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1957. 259 p. (in Russian).

Vodyanickij Yu.N. Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami i metalloidami i ikh ehkologicheskaya opasnost' [Soil contamination by heavy metals and metalloids and their environmental hazards] // Pochvovedenie [Eur. Soil Sci. J.]. 2013. No. 7. P. 872–881. (in Russian).

Glazovskaya M.A. Geokhimiya prirodnykh i tehnogennykh landshaftov SSSR [Geochemistry of natural and technogenic landscapes of the USSR]. Moscow: Vysshaya Shkola, 1988. 327 p. (in Russian).

Gorky A.V. Himicheskoe zagryaznenie pochvo-gruntov Sankt-Peterburga [Chemical contamination of the soil and subsoil in St. Petersburg] // Ohrana okruzhayushchej sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ehkologicheskoy bezopasnosti v 2006 godu [Environmental Protection, Natural Resources Management, and Ensuring Environmental Safety in 2006]. St. Petersburg: Sezam-Print, 2007. 349 p. (in Russian).

GOST 17.4.3.01–2017 Ohrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob [Nature Protection. Soils. General Requirements for Sampling]. Moscow, Standartinform, 2018. 8 p. (in Russian).

GOST 26213–2021 «Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva» [Soils. Methods for determination of organic matter]. Moscow, Russian Institute of Standardization, 2021. 11 p. (in Russian).

GOST 26483–85 «Pochvy. Prigotovlenie solevoj vytyazhki i opredelenie ee pH po metodu CINAО» [Soils. Preparations of salt extract and determination of its pH by CINAО method]. Moscow: Publishing House of Standards, 1985. 4 p. (in Russian).

GOST R 58596–2019 «Pochvy. Metody opredeleniya obshchego azota» [Soils. Methods for determination of total nitrogen]. Moscow: FSUE «Standartinform», 2019. 11 p. (in Russian).

Grishina L.A., Orlov D.S. Sistema pokazatelej gumusnogo sostoyaniya pochv [The system of indicators of the humus state of soils]. M.: Nauka, 1978. P. 42–47. (in Russian).

Dobrovolsky G.V. Biosfernye cikly tyazhyolykh metallov i regul'yatornaya rol' pochvy [Biosphere cycles of heavy metals and the regulatory role of soil] // Pochvovedenie [Soil Science]. 1997. Vol. 7. P. 431–441. (in Russian).

Elsukova E.Yu., Nedbaev I.S., Kuz'mina D.S. Zagryaznenie pochv v zone vozdeystviya proizvodstva fosfornykh udobrenij [Soil contamination in the area affected by the production of phosphorus fertilizers] // Vestnik SPBGU. Nauki o Zemle [SPBGU Bull. Earth Sciences]. 2022. Vol. 67, no. 4. P. 652–674. (in Russian).

Ermakov V.V., Koval'skij Yu.V. Tekhnogenez i biogeokhimicheskaya ehvol'yuciya taksonov biosfery [Technogenesis and biogeochemical evolution of biosphere taxons] // Biogeokhimiya tekhnogeneza i sovremennye problemy geokhimicheskoy ehkologii (v dvukh tomakh) [Biogeochemistry of Technogenesis and Modern Problems of Geochemical Ecology] (in two volumes). 2015. Vol. 1. P. 8–12. (in Russian).

Zhukova A.D. Ocenka ehkologicheskogo sostoyaniya pochv na territorii impaktnogo vliyaniya proizvodstva fosforsoderzhashchikh mineral'nykh udobrenij (na primere OAO «Voskresenskie mineral'nye udobreniya») [Assessment of the environmental condition of soils in the impact zone of phosphor-containing mineral fertilizers (on the example of Voskresenskie mineral fertilizers OJSC)]: PhD (Cand. of Biol.). Moscow, 2017. 169 p. (in Russian).

Zyrin N.G., Sadovnikov L.K. Khimiya tyazhelykh metallov, mysh'yaka i molibdena v pochvakh [Chemistry of heavy metals, arsenic, and molybdenum in soils]. Moscow: MGU, 1985. 206 p. (in Russian).

Kabata-Pendias A., Pendias X. Mikroehlementy v pochvakh i rasteniyakh [Trace elements in soils and plants]: Transl. from English. Moscow: Mir, 1989. 439 p. (in Russian).

Kovda V.A. Biogeokhimiya pochvennogo pokrova [Biogeochemistry of the soil cover]. Moscow: Nauka, 1985. 263 p. (in Russian).

Kovda V.A., Rozanov B.G. Pochvovedenie [Soil Science] Ch. 2. Tipy pochv, ikh geografiya i ispol'zovanie [Types of soils, their geography and use]. Moscow: Vyssh. shk., 1988. 368 p. (in Russian).

Matinyan, N.N., Rejmann, K., Bahmatova, K.A., Rusakov, A.V. Fonovoe sodержanie tyazhelykh metallov i mysh'yaka v pahotnykh pochvakh Severo-Zapada Rossii [Background content of heavy metals and arsenic in arable soils of North-West Russia] (based on materials from the international geochemical atlas). Biological Communications. 2007. Vol. 3. P. 123–134. (in Russian).

Nacional'nyj Atlas pochv Rossijskoj Federacii [National Atlas of Soils of the Russian Federation]. M.: Astrel'. 2011. 632 p. (in Russian).

Nechaeva E.G. Geokhimicheskie zakonomernosti torfoobrazovaniya na Zapadno-Sibirskoj ravnine [Geochemical patterns of peat formation in the West Siberian Plain] // Geografiya i prirodnye resursy [Geography and nature resources]. 1992. no. 3. P. 21–29. (in Russian).

Ovcharenko M. M. Tyazhelye metally v sisteme pochva-rastenie-udobrenie [Heavy metals in the soil-plant-fertilizer system]. Moscow: Proletar. svetoch, 1997. 290 p. (in Russian).

Opekunova M.G., Opekunov A.Yu., Kukushkin S.Yu., Lisenkov S.A., Vlasov S.V., Somov V.V. Zagryaznenie pochv severa Zapadnoj Sibiri neftyanymi i policiklicheskimi aromaticeskimi uglevodorodami: raspredelenie i ocenka ehkologicheskogo riska [Soil pollution in the north of Western Siberia by oil and polycyclic aromatic hydrocarbons: distribution and assessment of environmental risk] // Pochvovedenie [Eur. Soil Sci. J.]. 2022. No. 11. P. 1442–1460. (in Russian). doi: 10.31857/S0032180X22110107

Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Sukhanova N.I. Khimiya pochv [Soil chemistry]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher school], 2005. 558 p. (in Russian).

Panov A.V., Trapeznikov A.V., Korzhavin A.V., Sidorova E.V., Korneev Yu.N. Tyazhyolye metally i mysh'yak v pishchevoj produkcii rajona razmeshcheniya promyshlennykh predpriyatij i atomnoj ehlektrostantsii [Heavy metals and arsenic in food products in the area of industrial enterprises and a nuclear power plant] // Gigiena i sanitariya [Hyg. and sanit. J.]. 2023. Vol. 102, no. 1. P. 70–76. (in Russian). doi: 10.47470/0016-9900-2023-102-1-70–76

PND F 16.1:2.3:3.11-98 «Kolichestvennyj khimicheskij analiz pochv. Metodika vypolneniya izmerenij soderzhaniya metallov v tverdykh ob'ektakh metodom spektrometrii s indukativno-svyazannoj plazmoj» [Quantitative chemical analysis of soils. Methodology for measuring metal content in solid objects using inductively coupled plasma spectrometry]. Moscow, Water Research and Control Center, 2005. 31 p. (in Russian).

Pobilat A.E., Voloshin E.I. Kadmij v pochvakh i rasteniyakh Srednej Sibiri [Cadmium in the soils and plants of Central Siberia] // Mikroehlementy v medicine [Trace el. in med. J.]. 2017a. Vol. 18, no. 3. P. 36–41. (in Russian). doi: 10.19112/2413-6174-2017-18-3-36-41

Pobilat A.E., Voloshin E.I. Osobennosti soderzhaniya svinca v pochvakh i rasteniyakh Srednej Sibiri [Features of Lead Content in Soils and Plants in Central Siberia] // Mikroehlementy v medicine [Trace el. in med. J.]. 2017b. Vol. 18, no. 4. P. 36–41. (in Russian). doi: 10.19112/2413-6174-2017-18-4-36-40

Pobilat A.E., Voloshin E.I. Monitoring mikroehlementov v pochvah (obzor) [Monitoring of microelements in soils (overview)] // Mikroehlementy v medicine [Trace el. in med. J.]. 2021. Vol. 22, no. 4. P. 14–26. (in Russian). doi: 10.19112/2413-6174-2021-22-4-14-26

Pobilat A.E., Voloshin E.I. Ehkologicheskaya ocenka soderzhaniya rtuti v agrocenozakh Srednej Sibiri [Ecological Assessment of Mercury Content in Agroecosystems of Central Siberia] // Mikroehlementy v medicine [Trace el. in med. J.]. 2019. Vol. 20, no. 4. P. 57–62. (in Russian). doi: 10.19112/2413-6174-2019-20-4-57-62

Protasova N.A., Shcherbakov A.P. Mikroehlementy v chernozemakh i serykh lesnykh pochvakh Central'nogo Chernozem'ya [Micronutrients in Chernozems and Gray Forest Soils of the Central Chernozem Region]. Voronezh: VGU, 2003. 368 p. (in Russian).

Sanitary Rules and Normatives 1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans». Moscow, 2021. 988 p. (in Russian).

Saprykin F.Ya. Geokhimiya pochv i okhrana prirody [Soil geochemistry and nature conservation]. Leningad: Nedra, 1984. 231 p. (in Russian).

Sergeev A.P., Lipatnikova T.Ya., Voloshin E.I. Tyazhelye metally v pochvakh Minusinskoj lesostepnoj zony Krasnoyarskogo kraja [Heavy metals in the soils of the Minusinsk forest-steppe zone of Krasnoyarsk Krai] // Plodorodie [Fertility J.]. 2017. Vol. 3. P. 28–31. (in Russian).

Simonova Yu.V., Kivovich D.P., Rusakov A.V., Gostinceva E.V. Fonovoe sodержanie tyazhelykh metallov i metalloidov dlya ocenki zagryazneniya pochv pri provedenii inzhenernoekologicheskikh izyskanij i monitoringa (na primere al'fegumusovykh pochv Luzhskogo rajona Leningradskoj oblasti) [Background content of heavy metals and metalloids for assessing soil contamination during engineering and environmental surveys and monitoring (using the example of alfahumus soils in the Luga District of the Leningrad Region)] // Vestnik SPBGU. Nauki o Zemle [Bulletin of SPBGU. Earth Sciences]. 2025. Vol. 70, no. 3. P. 493–520. (in Russian). doi: 10.21638/spbu07.2025.303

Sorokin N.D., Koroleva E.B., Loseva E.V., Osinceva N.V. Posobie po voprosam izucheniya zagryaznennykh zemel' i ikh sanacii [Guidelines for studying and rehabilitating contaminated land]. SPb.: ООО «Аж-ПИ», 2012. 119 p. (in Russian).

Stakhurlova L.D., Bakhtin A.M. Mikroehlementnyj sostav dernovo-podzolistykh pochv pod razlichnymi biocenoзами [Microelement composition of sod-podzolic soils under various biotopes] // Ekhologicheskij vestnik Severnogo Kavkaza [Ecol. Bull. of the N. Caucasus]. 2020. Vol. 16, no. 4. P. 49–53. (in Russian).

Syso A.I. Zakonomernosti raspredeleniya khimicheskikh ehlementov v pochvoobrazuyushchikh porodakh i pochvakh Zapadnoj Sibiri [Patterns of distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soils of Western Siberia]. Novosibirsk: SO RAN, 2007. 227 p. (in Russian).

Fedorec N.G., Bakhmet O.N., Medvedeva M.V., Akhmetova G.V., Novikov S.G., Tkachenko Yu.N., Solodovnikov A.N. Tyazhelye metally v pochvakh Karelii [Heavy metals in Karelian soils]: monografiya. Petrozavodsk: Karel'skij nauchnyj centr RAN, 2015. 222 p. (in Russian).

Brevik E.C., Sauer T.J. The past, present, and future of soils and human health studies // Soil. 2015. Vol. 1, no. 1. P. 35–46. doi: 10.5194/soil-1-35-2015

Hu B.F., Jia X.L., Hu J., Xu D.Y., Xia F., Li Y. Assessment of heavy metal pollution and health risks in the soil-plant-human system in the Yangtze River Delta, China // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2017. Vol. 14. P. 1042. doi: 10.3390/ijerph14091042

Liu Y.R., Yu H.M., Sun Y., Chen J. Novel assessment method of heavy metal pollution in

surface water: A case study of Yangping River in Lingbao City, China // Environ Eng Res. 2017. Vol. 22. Iss. 1. P. 31–39. doi: 10.4491/eer.2016.015

Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // Geojournal. 1969. Vol. 2. P. 108–118.

Tong S., Li H., Wang L., Tudi M., Yang L. Concentration, spatial distribution, contamination degree and human health risk assessment of heavy metals in urban soils across China between 2003 and 2019 – A systematic review // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020. Vol. 17, no. 3099. P. 1–22. doi: 10.3390/ijerph17093099

Tyopine A.A., Jayeoye T.J., Okoye Ch. O.B. Geoaccumulation assessment of heavy metal pollution in Ikwo soils, eastern Nigeria // Environmental Monitoring Assess. 2018. Vol. 190. Article number 58. doi: 10.1007/s10661-017-6423-3

ECOLOGICAL ASSESSMENT OF HEAVY METALS CONTENT IN SURFACE LAYER OF TEXTURALLY DIFFERENTIATED AND ALPHEGUMUS SOILS OF LENINGRAD REGION

I.N. Likhodumova¹, I.Yu. Bagaychuk ¹, M.V. Panina², S.G. Levina², A.V. Malaev²,
N.V. Kutyasheva¹, A.A. Dorokhova¹

¹LLC Ural Integrated Laboratory of Industrial and Civil Engineering (LLC Uralstroylab), Chelyabinsk

²South Ural State Humanitarian Pedagogical University, Chelyabinsk

E-mail: lichodumov@mail.ru, info@uralstroylab.ru, panina80@mail.ru, malaevav@cspu.ru, levinasg@cspu.ru,
knatali1706@mail.ru, arina_chelyadinova@mail.ru

The article presents research result of the content of heavy metals (TM) in the surface layer of texturally differentiated (podzolic, sod-podzolic) and alphegumus (podzols) soils of the Leningrad Region. 23 sites with different biocenoses were studied, selected taking into account the distance from the sources of pollution. The analysis of soil agrochemical properties and total content of Hg, Pb, As, Cd, Zn, Ni, Co, Cu, Cr, Mn was carried out. Using the geoaccumulation indices (Igeo) and Nemerov (NCPI) indices, the pollution levels were established. It was revealed that, despite the absence of critical contamination with most heavy metals, an increased content of Cr, Hg, As and Ni is recorded in soils. The dominant pollutant is chromium, which accumulates in loamy varieties of soils. It has been shown that the accumulation of a number of metals is associated not only with anthropogenic impact, but also with natural biogeochemical processes.

Keywords: heavy metals; soil pollution; podzolic soils; Leningrad region; geoaccumulation index (Igeo).

Received: March 5, 2026. Accepted: April 30, 2026

Сведения об авторах

Лиходумова Ирина Николаевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник ООО Уральской комплексной лаборатории промышленного и гражданского строительства. Россия, 454014, г. Челябинск, ул. Ворошилова, д. 2В. ORCID: 0000-0002-8652-6163. E-mail: lichodumov@mail.ru.

Багайчук Илья Юрьевич – директор ООО Уральской комплексной лаборатории промышленного и гражданского строительства. Россия, 454014, г. Челябинск, ул. Ворошилова, д. 2В. E-mail: info@uralstroylab.ru.

Панина Мария Викторовна – кандидат географических наук, доцент кафедры географии, биологии и химии Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. Россия, 454074, г. Челябинск, ул. Бажова, д. 48. ORCID: 0000-0001-5069-0175. E-mail: panina80@mail.ru.

Левина Серафима Георгиевна – доктор биологических наук, кандидат химических наук, профессор кафедры географии, биологии и химии Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. Россия, 454074, г. Челябинск, ул. Бажова, д. 48. ORCID: 0000-0002-3872-5707. E-mail: levinasg@cspu.ru.

Малаев Александр Владимирович – кандидат географических наук, доцент кафедры географии, биологии и химии Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета. Россия, 454074, г. Челябинск, ул. Бажова, д. 48. ORCID: 0000-0001-9192-2817. E-mail: malaevav@cspu.ru.

Кутяшева Наталья Владимировна – кандидат химических наук, научный сотрудник ООО Уральской комплексной лаборатории промышленного и гражданского строительства. Россия, 454014, г. Челябинск, ул. Ворошилова, д. 2В. ORCID: 0000-0001-7194-7785. E-mail: knatali1706@mail.ru.

Дорохова Арина Андреевна – химик химико-аналитического отдела ООО Уральской комплексной лаборатории промышленного и гражданского строительства. Россия, 454014, г. Челябинск, ул. Ворошилова, д. 2В. E-mail: arina_chelyadinova@mail.ru.

Information about the authors

Likhodumova Irina Nikolaevna – PhD in Biology, researcher of the Ural Complex Laboratory of Industrial and Civil Construction LLC. 2V, Voroshilova Str., 454014 Chelyabinsk, Russia. ORCID: 0000-0002-8652-6163. E-mail: lichodumov@mail.ru.

Bagaychuk Ilya Yurievich – Director of the Ural Complex Laboratory of Industrial and Civil Construction LLC. 2V, Voroshilova Str., 454014 Chelyabinsk, Russia. E-mail: info@uralstroylab.ru.

Panina Maria Viktorovna – PhD in Geography, Associate Professor of the Department of Geography, Biology and Chemistry of the South Ural State Humanitarian Pedagogical University. 48, Bazhova Str., 454074 Chelyabinsk, Russia. ORCID: 0000-0001-5069-0175. E-mail: panina80@mail.ru.

Levina Serafima Georgievna – Dr Sc. in Biology, PhD in Chemistry, Professor at the Department of Geography, Biology and Chemistry of the South Ural State Humanitarian Pedagogical University. 48, Bazhova Str., 454074 Chelyabinsk, Russia. ORCID: 0000-0002-3872-5707. E-mail: levinasg@cspu.ru.

Malayev Alexander Vladimirovich – PhD in Geography, Associate Professor of the Department of Geography, Biology and Chemistry of the South Ural State Humanitarian and Pedagogical University. 48, Bazhova Str., 454074 Chelyabinsk, Russia. ORCID: 0000-0001-9192-2817. E-mail: malaevav@cspu.ru.

Kutyasheva Natalia Vladimirovna – PhD in Chemistry, researcher of the Ural Complex Laboratory of Industrial and Civil Construction LLC. 2V, Voroshilova Str., 454014 Chelyabinsk, Russia. ORCID: 0000-0001-7194-7785. E-mail: knatali1706@mail.ru.

Dorokhova Arina Andreevna – Chemist of the chemical and analytical department of the Ural complex laboratory of industrial and civil construction LLC. 2V, Voroshilova Str., 454014 Chelyabinsk, Russia. E-mail: arina_chelyadinova@mail.ru.

УДК 550.47

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЛЕНА В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ ГОРНОГО АЛТАЯ

А.В. Пузанов, Т.М. Майманова, О.А. Ельчининова

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,**E-mail: puzanov@iwep.ru, maimantm@mail.ru, eoa59@mail.ru*

Представлены результаты изучения содержания селена в почвообразующих породах, основных типах почв и доминантных растениях Горного Алтая. Выявлены закономерности распределения селена по профилю почв региона. Среднее содержание селена в почвах Горного Алтая составило 0.21 мг/кг (было проанализировано 529 почвенных образцов), что аналогично уровню в почвах бывшего СССР, но значительно меньше, чем в почвах мира. На характер пространственного и внутрипрофильного распределения валового селена оказывают влияние физико-химические свойства подстилающих пород и почв, природные условия. Концентрация водорастворимой формы селена находится в диапазоне 15.3–22.9% от валового содержания и зависит от физико-химических свойств почв и климатических условий. Содержание селена в растениях варьирует в пределах математического порядка и более, что обусловлено систематической принадлежностью и содержанием доступных соединений селена в почвах. Больше всего элемент накапливается растениями семейств Губоцветные (Labiatae), Розоцветные (Rosales), Бобовые (Fabaceae) и Сложноцветные (Compositae). Самое высокое содержание селена среди изученных видов было обнаружено в панцерии шерстистой (Panzeria lanata L.) – 0.43 мг/кг.

Ключевые слова: селен; почвообразующие породы; почвы; валовое содержание; растения.

DOI: 10.24412/2410-1192-2026-18103

Дата поступления: 15.01.2026. Принята к печати: 27.03.2026

Роль селена в жизнедеятельности живых организмов достоверно установлена многими исследователями. Как избыток, так и недостаток данного микроэлемента приводят к различным эндемическим заболеваниям [Ермаков, Ковальский, 1974]. Получено большое количество данных по обмену селена в различных организмах, метаболическому взаимоотношению между селеном и витамином Е, серосодержащими аминокислотами и другими биологически

активными соединениями, которые свидетельствуют о положительном влиянии этого элемента на промежуточный обмен веществ [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Территория исследования не подвержена широкомасштабному техногенному загрязнению, что позволяет оценить природную эколого-геохимическую ситуацию в отношении этого элемента. Определение уровня содержания селена и закономерностей его распределения в промежуточных

звеньях единой миграционной цепи – почвах, растениях – является частью биогеохимического изучения территории и, в конечном счете, служит целям ветеринарии и здравоохранения.

Основной целью работы было исследование уровня содержания и распределения селена в основных типах почв и растениях Горного Алтая.

Материалы и методы

Исследования проводили в низкогорном, среднегорном и высокогорном поясах Горного Алтая.

Объектами исследования были почвообразующие породы, наиболее распространенные почвы горной страны и растения-доминанты.

В основу исследований положен сравнительно-географический метод. Полевые

работы состояли из маршрутных обследований с закладкой почвенных разрезов в системе геоморфологических профилей (рис. 1).

В местах, сопряженных с почвенными разрезами, отбирали растительные образцы. Было сделано 94 полнопрофильных разреза, отобрано и исследовано 529 почвенных и растительных проб. Образцы высушивали, перемалывали и просеивали через сито с отверстием 1 мм. В дальнейшем проводили разложение, переводили Se (VI) в Se (IV), экстрагировали гексенон-1 в толуоле, органическую фазу использовали для атомно-абсорбционного определения селена [Торгов и др., 1998]. Через все стадии анализа проводили контрольный опыт. Селен в пробах почв и растений определяли методом атомной абсорбции на спектрофотометре фирмы Perkin Elmer.

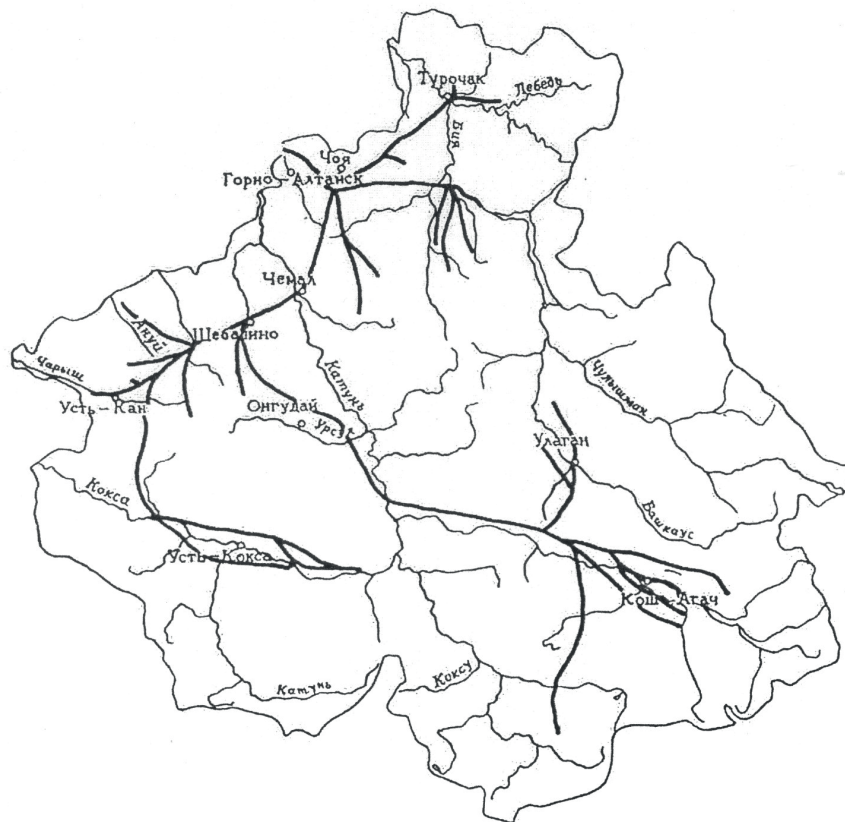


Рис. 1. Схема маршрутов
Fig.1. Map of Routes

Результаты и обсуждение

Первоисточником селена на земной поверхности являются горные породы. Следовательно, содержание его в почвообразующих породах и почвах в определенной мере находится в зависимости от концентрации этого элемента в горных породах. Более высокие концентрации характерны для осадочных пород, в магматических же породах содержание селена редко превышает 0.05 мг/кг [Ермаков, Ковальский, 1974]. Условия образования минералов селена специфичны. Для их кристаллизации прежде всего необходима малосернистая обстановка, что, вследствие геохимической близости серы и селена достигается в редких случаях. По данным некоторых авторов определяющую роль играют высокий окислительный потенциал и низкая температура минералообразующей системы [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

В слабокислой и щелочной средах селениды устойчивее к окислению, чем сульфиды, а в кислой – менее устойчивы, однако самородный селен в последнем случае более стабилен и, в отличие от сульфидов, накапливается [Виноградов, 2021].

Почвообразующими породами в регионе являются рыхлые отложения – остаточ-

ные и аккумулятивные коры выветривания.

Материалы исследования подтверждают выдвигаемое предположение о гетерогенности почвообразующих пород Горного Алтая, свидетельствуя о значительном варьировании концентрации элемента в почвообразующих породах – от следового количества до 0.92 мг/кг (табл. 1).

Высокое содержание селена в исследованных образцах было обнаружено в карбонатных суглинках Северного Алтая, что связано со способностью мелкодисперсной фракции адсорбировать элемент, с повышенным содержанием железа и марганца, гидроксиды которых способны связывать этот элемент, а также с геологическим строением данной территории (рис. 2).

Кларк селена в литосфере 0.14 мг/кг [Синдеева, 1959]. Почвообразующие породы Новосибирской области содержат в среднем 0.04 мг/кг селена [Полосина, 2009], Тувы – 0.16 мг/кг [Пузанов, Мальгин, 2000].

Почва в основном наследует уровень содержания селена от почвообразующей породы. Но также он зависит и от свойств самой почвы. На количество элемента в почве влияют: содержание гумуса, наличие карбонатов, реакция среды, гранулометрический состав и т.д.

Таблица 1

Статистические показатели содержания селена
в почвообразующих породах Горного Алтая

Table 1

Statistical indicators of selenium content in soil-forming rocks of the Gornii Altai

Почвообразующие породы	n	lim	$X \pm \bar{x}$	V, %
		мг/кг		
Бескарбонатные бурые глины	8	0.063–0.15	0.11 ± 0.01	87
Карбонатные суглинки	6	0.10–0.92	0.25 ± 0.01	132
Аллювиальные	29	0.0033–0.44	0.16 ± 0.02	85
Элювио-делювиальные	21	0.047–0.39	0.17 ± 0.02	65
Озерно-аллювиальные	22	0.097–0.52	0.21 ± 0.02	59

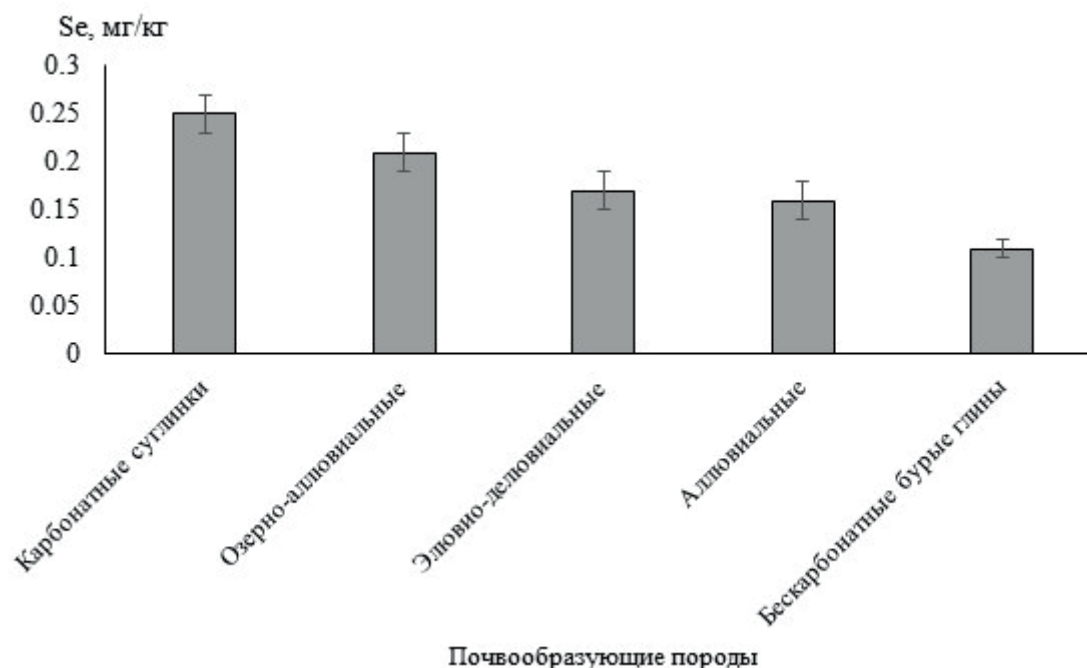


Рис. 2. Селен в почвообразующих породах Горного Алтая
Fig. 2. Selenium in the Soil-Forming Rocks of the Gornii Altai

Почвы глинистые и суглинистые содержат селена больше, чем их аналоги легкого гранулометрического состава (песчаные и супесчаные). В кислых почвах, особенно малогумусных, в большинстве случаев селена меньше, чем в щелочных и нейтральных.

В удержании селена в почве немаловажное значение имеют окислительно-восстановительный потенциал и содержание гидроксидов алюминия и железа (III), которые связывают селен, образуя нерастворимые соединения, недоступные для растений [Виноградов, 2021].

Среднее содержание селена в почвах Горного Алтая составило 0.21 мг/кг, что близко уровню его содержания в почвах бывшего СССР [Ермаков, Ковальский, 1974], но ниже, чем в почвах мира (0.4 мг/кг) [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Колебания между минимальным (0.016 мг/кг) и максимальным (0.92 мг/кг)

значениями высоки (рис. 3).

Среднее содержание селена в черноземе выщелоченном в регионе исследования составляет 0.25 мг/кг, в лесостепи Среднего Поволжья – 0.104 мг/кг [Вихрева, Лебедева, 2010], в Пензенской области – 0.153 мг/кг [Вихрева и др., 2011], на юге Тюменской области – 0.29 мг/кг [Боев, 2013] (пересчитано нами).

Чернозем обыкновенный Тувы содержит 0.196 мг/кг селена, горно-лесные бурые – 0.195 мг/кг [Пузанов, Мальгин, 2000], в Горном Алтае концентрация элемента составляет 0.35 мг/кг, что почти в два раза выше, чем в Тыве. Содержание селена в черноземе обыкновенном в регионе исследований – 0.24 мг/кг, что незначительно отличается от его концентрации в Тыве. Серые лесные почвы региона исследований содержат элемента 0.20 мг/кг, в Тюменской области – 0.31 мг/кг [Боев, 2013].

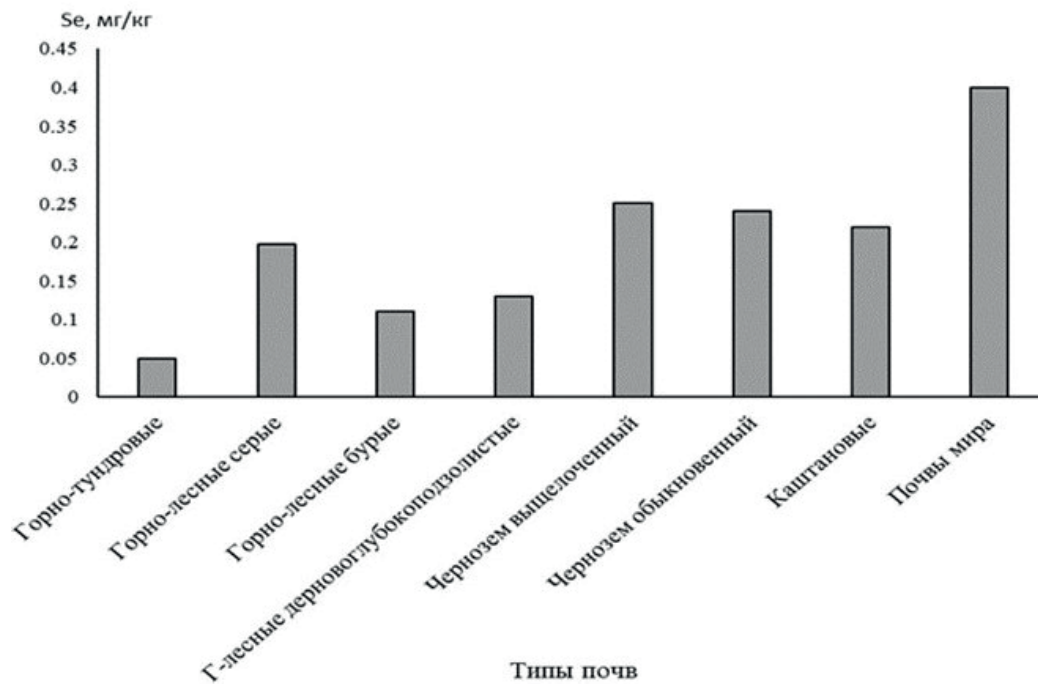


Рис. 3. Содержание селена в почвах

Fig. 3. Selenium content in soils

Проведено сравнение содержания селена в горизонтах А и С основных почв Горного Алтая (табл. 2). Наибольшее содержание элемента в горизонте А наблюдается в почвах, имеющих более высокие концентрации гумуса. Это различные подтипы черноземов. За ними следуют горно-лесные серые, бурые и черноземовидные. В каштановых почвах сухостепных котловин концентрация селена в горизонте С выше,

что можно связать с наличием карбонатов в горизонте С, которые способствуют осаждению элемента.

В почвах с высоким содержанием гумуса значение коэффициента радиальной дифференциации (K_p) больше единицы, что говорит о накоплении селена, в каштановых почвах сухостепных котловин, где этот коэффициент меньше единицы, наблюдается вынос элемента.

Таблица 2

Содержание валового селена в горизонтах А и С

Table 2

Gross selenium content in horizons A and C

Почвы	n	$X_1 \pm \bar{x}_1$	$X_2 \pm \bar{x}_2$	$X_1 - X_2$	K_p
		мг/кг			
Черноземы оподзоленные и выщелоченные низкогорий Северного Алтая	5	0.37 ± 0.08	0.20 ± 0.08	0.17	1.85
Черноземы межгорных котловин и речных долин Центрального Алтая	23	0.31 ± 0.03	0.19 ± 0.04	0.12	1.63
Горно-лесные серые, бурые, дерново-глубокоподзолистые, черноземовидные	16	0.22 ± 0.03	0.14 ± 0.02	0.8	1.57
Каштановые сухостепных котловин	18	0.18 ± 0.01	0.24 ± 0.03	-0.6	0.75

Примечания: X_1 – горизонт А; X_2 – горизонт С; K_p – коэффициент радиальной дифференциации = A/C .

Селен распределяется неодинаково по профилю различных по генезису почв. В горно-лесных почвах содержание элемента убывает вниз по профилю, возрастая в иллювиальном горизонте за счет адсорбции минеральными коллоидами. В профиле выщелоченных и оподзоленных черноземов чаще всего имеются два максимума накопления: один – в верхней части гумусового горизонта, второй – в надкарбонатном и в верхней части карбонатного горизонта. Первый обусловлен высоким содержанием гумуса и преобладанием в нем гуматов, второй – нисходящей миграцией селена и закреплением его карбонатами (рис. 4).

Главными факторами, обуславливающими различное содержание селена, выступают органическое вещество почвы, почвообразующие породы и климатические условия. Связь концентрации селена с содержанием гумуса подтверждается дан-

ными корреляционного анализа (рис. 5).

Содержание подвижного селена в почвах Горного Алтая меняется от 0.006 до 0.23 мг/кг. Пределы колебаний растворимого в воде элемента составляют 1.8–29% от его валового содержания. Количество водорастворимого селена увеличивается сверху вниз до карбонатного и глеевого горизонтов, а затем понижается.

Содержание подвижного селена в почвах варьирует в зависимости от их типа и погодных условий и не всегда отражает обогащенность почв валовым селеном.

Одним из важнейших факторов, определяющих подвижность элемента в почве, является реакция среды. В наших исследованиях прямая зависимость между содержанием водорастворимого селена и pH наблюдается в черноземах обыкновенных и южных (количество элемента более высоко в интервалах от слабокислой до слабощелочной реакции среды).

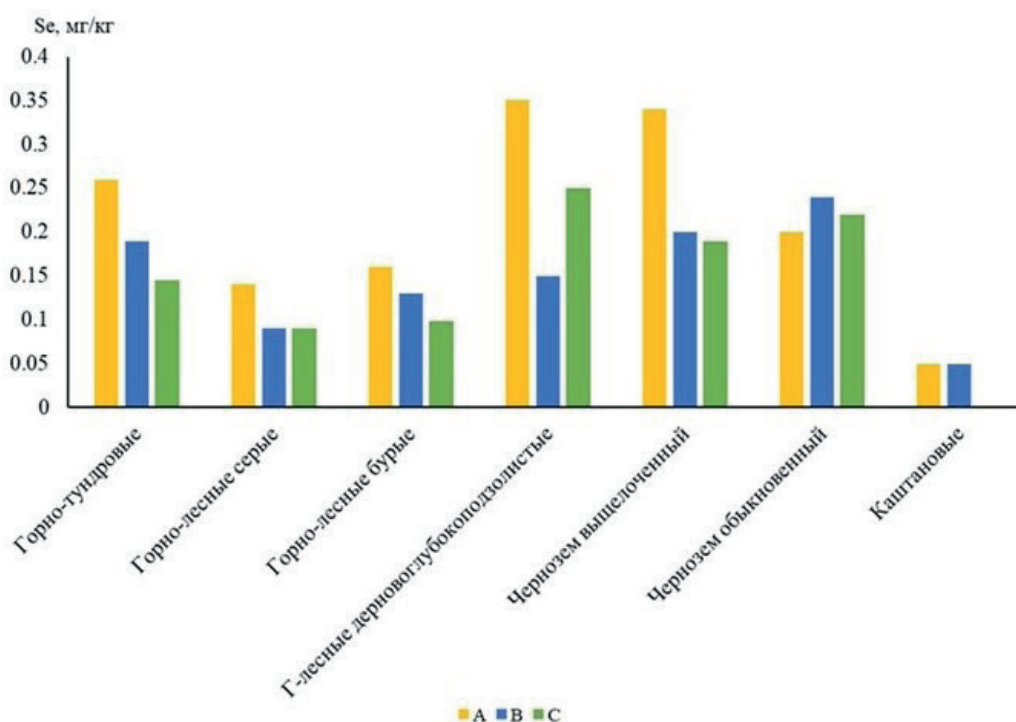


Рис. 4. Содержание селена в различных типах почв по горизонтам.

A – гумусовые, B – переходные, C – почвообразующая порода

Fig. 4. Selenium content in different types of soils by horizons.

A – humic, B – transitional, C – parent material

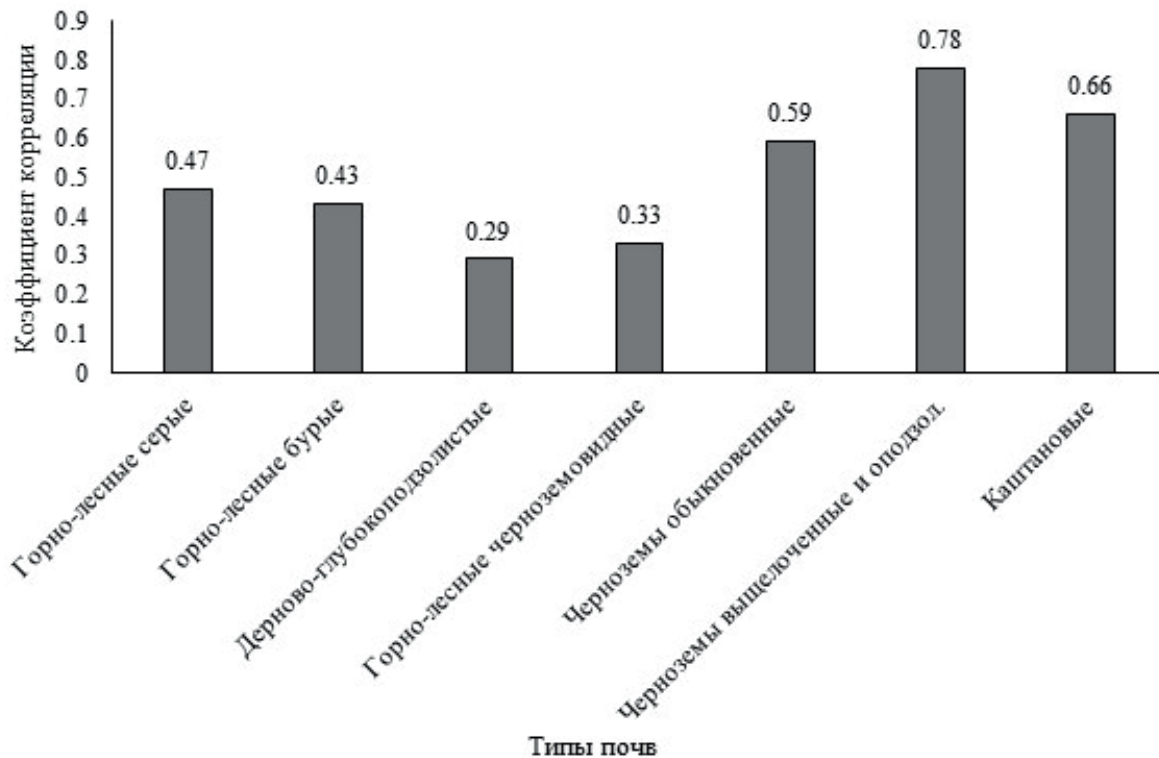


Рис. 5. Корреляция гумус/селен в различных почвах Горного Алтая
Fig. 5. Humus/selenium correlation in the soils of the Gornii Altai

В черноземах выщелоченных такая зависимость не обнаружена, вероятно, она нивелируется увеличением гумидности климата. В каштановых почвах сухостепных котловин зависимости между рН и водорастворимым селеном не замечено, что согласуется с данными по Туве [Пузанов, Мальгин, 2000].

В круговороте селена в ландшафте большую роль играет растительность. От нее зависит направленность почвообразования, передвижение элемента в почвенной толще. Растения, поглощая и накапливая в своих тканях селен, принимают участие в круговороте элемента в ландшафте.

Необходимость в селене для высших растений до настоящего времени не доказана. Поглощение селена растениями зависит от климатических условий, водного

режима, рН среды, количества его водорастворимых форм.

В биохимическом отношении поведение селена в растениях во многом сходно с поведением серы. Селен может замещать серу в аминокислотах, участвовать в некоторых биологических процессах [Виноградов, 2021].

Большое влияние на содержание элемента оказывает вид растения. Разные виды растений, произрастающие на одной и той же почве, по-разному аккумулируют селен (рис. 6).

Содержание валового селена составило 0.22 мг/кг, подвижного – 0.11 мг/кг. Сильнее всех из изученных растений этот элемент накапливает панцерия шерстистая (*Panzeria lanata*) семейства Губоцветные (Labiatae). Слабее накапливают селен полыни и злаковые.

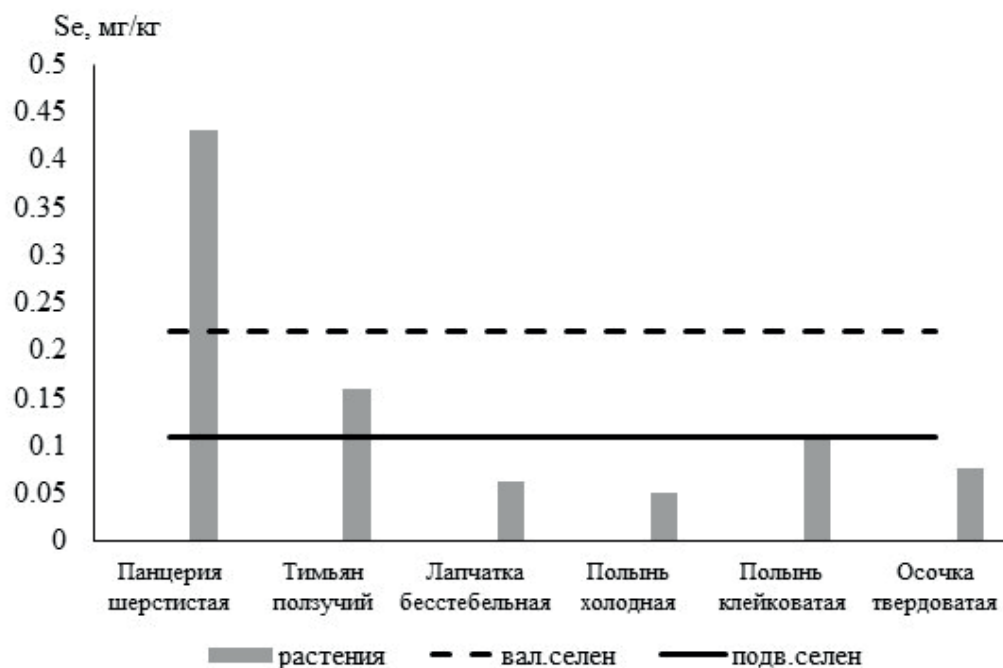


Рис. 6. Селен в почве и растениях. Чернозем южный. Разрез 16 А
Fig. 6. Selenium in soil and plants. Southern chernozem. Section 16 A

Данные по содержанию селена в растениях в зависимости от принадлежности к тому или иному семейству показывают, что содержание элемента варьирует в губоцветных (Labiatae) от 0.02 до 0.43 (в среднем 0.11), сложноцветных (Compositae) от 0.012 до 0.28 (в среднем 0.075), розоцветных (Rosaceae) от 0.036 до 0.25 (в среднем 0.093) и бобовых (Fabaceae) от 0.002 до 0.19 (в среднем 0.091) мг/кг сухой массы, что выше, чем в растениях остальных семейств (рис. 7).

В Пензенской области концентрация селена варьирует следующим образом: в растениях семейства бобовых – от 0.116 до 0.144 (в среднем 0.128 мг/кг), затем следуют растения семейства капустных – от 0.084 до 0.130 (среднее 0.100 мг/кг), астровых – от 0.078 до 0.100 (среднее 0.086 мг/кг), злаковых – от 0.070 до 0.082 (среднее 0.079 мг/кг) [Вихрева и др., 2011].

Кроме видовой принадлежности расте-

ния и количества селена в почве, большое влияние на его поглощение оказывают природно-климатические условия. Все эти параметры взаимосвязаны. Так, при наличии большого количества подвижного селена в горно-тундровых почвах, в растениях его находится мало. Возможно, на это влияет низкая температура, так как известно, что селен лучше усваивается растениями при высоких температурах [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Низкое значение pH (4.7) также не способствует поглощению элемента растениями, так как в кислой среде селен усваивается хуже, чем в слабокислой и слабощелочной.

Основным проявлением биологической активности селена является его способность замещать серу. У крестоцветных селен обычно заменяет серу эфирных масел, у бобовых – серу белков, точнее замещает серу цистеина, цистина и метионина [Войнар, 1960].

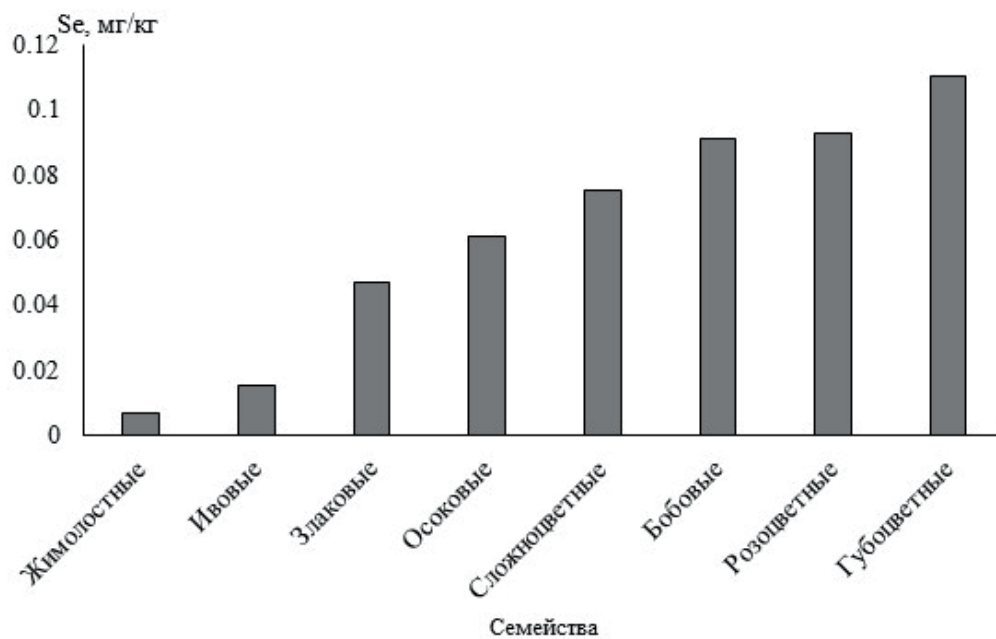


Рис. 7. Селен в различных растительных семействах региона исследований
Fig. 7. Selenium in various plant families of the research region

Самое высокое содержание селена (0.43 мг/кг) обнаружено в панцерии шерстистой (*Panzeria lanata*), произрастающей на черноземе южном вблизи Малого Яломана (среднегорный пояс). Кларк селена у растений 0.1 мг/кг [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989], выше кларкового содержания также имеют: мордовник обыкновенный (*Echinops ritro* L.), курильский чай (*Dasiphora fruticosa* L.), люцерна посевная (*Medicago sativa* L.), копеечник Гмелина (*Hedysarum gmelinii* K.), тимьян ползучий (*Thymus serpyllum* L.), ковыль перистый (*Stipa pennata* L.), василек сибирский (*Psephellus sibiricus* L.), зопник клубненосный (*Phlomis tuberosa* L.).

Как правило, содержание селена в растениях зависит от содержания его в почве. Были исследованы растения одного вида, произрастающие на разных почвах. Так, при содержании в почве 0.16 мг/кг селена, содержание его в тимьяне ползучем (*Thymus serpyllum*) составило 0.11 мг/кг, а при содержании в почве 0.22 мг/кг –

0.16 мг/кг сухой массы (рис. 8).

Также были исследованы различные органы одного и того же растения. В результате наблюдений было замечено, что более высокое содержание элемента в надземной массе одного и того же растения находится в листьях, а самое минимальное – в стебле.

Было определено содержание селена в надземной части и в луковицах лилии саранки (*Lilium pilosiusculum* L.). Среднее содержание элемента в надземной части составляет 0.17 мг/кг, в луковицах – 0.42 мг/кг, что почти в 2.5 раза выше.

Так как интервал предельных концентраций селена достаточно узок, возникает опасность передозировок в случае использования в качестве добавок в рацион неорганических соединений этого элемента, что может привести к селеновым токсикозам. Использование растений, где селен содержится в органически связанной форме, наиболее доступной и усвояемой, в качестве корма для животных весьма перспективно.

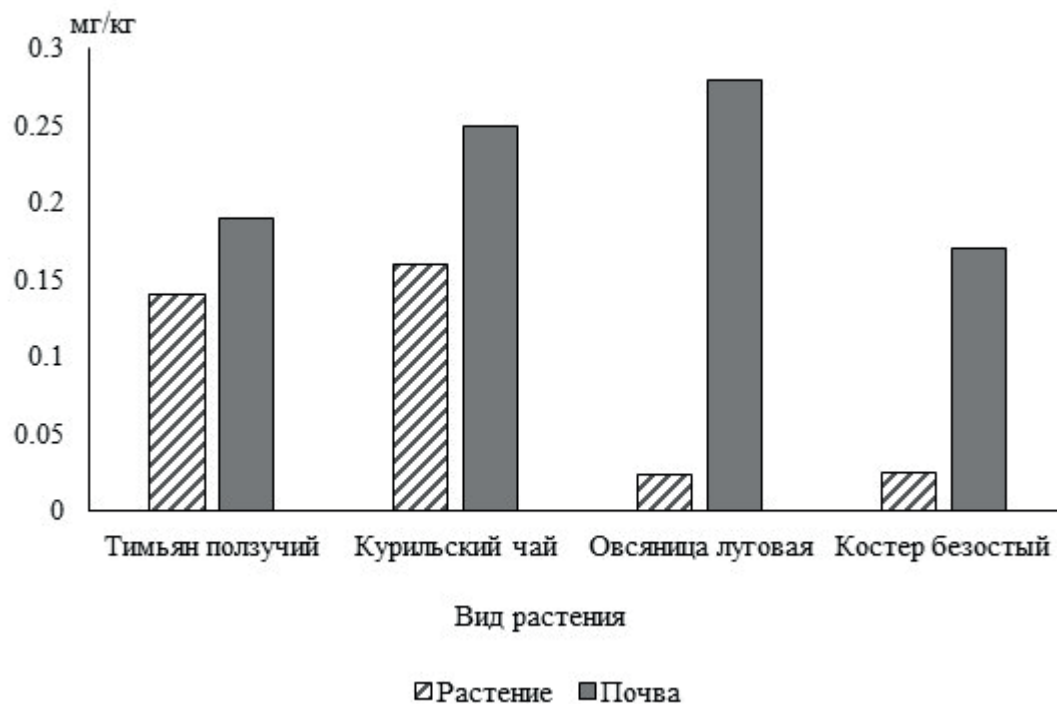


Рис. 8. Зависимость содержания селена в растениях от концентрации его в почве
 Fig. 8. The dependence of the selenium content in plants on the concentration of the element in the soil

Закключение

Проведенные исследования позволили установить уровень содержания селена в почвообразующих породах, основных типах почв и растений-доминантов изучаемой территории. Почвообразующие породы содержат в среднем 0.18 мг/кг элемента. Этот показатель выше, чем в Новосибирской области и примерно одинаков с данными по Туве. Самая высокая концентрация селена в карбонатных суглинках – от 0.01 до 0.92 мг/кг, в среднем 0.25 мг/кг, а самая низкая – в аллювиальных отложениях – в среднем 0.16 мг/кг.

Почвы региона исследований также неоднородны по содержанию изученного элемента. Среднее содержание селена меньше, чем в почвах мира. Черноземы выщелоченные содержат в среднем 0.25 мг/кг, а обыкновенные – 0.24 мг/кг микроэлемента. Это самые высокие показатели концен-

трации селена в почвах региона исследований. Наименьшие значения обнаружены в горно-тундровых почвах – 0.05 мг/кг.

Наиболее сильная биогенная аккумуляция селена отмечается в горно-лесных черноземовидных, горно-лесных серых, черноземах выщелоченных и оподзоленных северных низкогорий и отсутствует в горно-тундровых и каштановых почвах сухостепных котловин.

Исследовано более 50 видов растений из различных семейств. Сильнее всего накапливают селен растения семейств бобовых, губоцветных, сложноцветных и крестоцветных. В целом концентрация данного элемента небольшая, хотя встречаются некоторые виды, которые накапливают микроэлемент в значительных количествах. Например, панцерия шерстистая (*Panzeria lanata*) – 0.43, мордовник обыкновенный (*Echinops ritro*) – 0.28, курильский чай (*Dasiphora fruticose*) – 0.18 мг/кг.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН по проекту FUFZ-2026-0002 с использованием ресурсов Кызыл-Озёкского и Чемальского стационаров ИВЭП СО РАН.

Список литературы

Боев В.А. Селен в почвах и сельскохозяйственных культурах юга Тюменской области // Вестник Тюменского ГУ. 2013. № 12. С. 112–120.

Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. Т.4. М.: РАН, 2021. 298 с.

Вихрева В.А., Лебедева Т.Б. Содержание селена в почвах и растениях Среднего Поволжья // Молодой ученый. 2010. Т. 2, № 11. С. 195–198.

Вихрева В.А., Лебедева Т.Б., Бобылев А.И. Аккумуляция селена растениями в зависимости от количества микроэлемента в черноземах Пензенской области // Нива Поволжья. 2011. № 2 (19). С. 2–6.

Войнар А.И. Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека. М.: Гос. изд-во «Высшая школа». 1960. 544 с.

Ермаков В.В., Ковальский В.В. Биологическое значение селена. М.: Наука. 1974. 298 с.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир. 1989. 439 с.

Полосина А.В. Селен в почвообразующих породах и почвах Новосибирской области // Сибирский экологический журнал. 2009. № 2. С. 293–297.

Пузанов А.В., Мальгин М.А. Селен в почвах Тувы // Сибирский экологический журнал. 2000. № 2. С. 233–241.

Синдеева Н.Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. М.: Изд-во АН СССР. 1959. 257 с.

Торгов В.Т., Удельнова Т.М., Косолапов А.Д. Экстракционно-абсорбционный метод определения селена в водах, растениях и почвах // Журнал аналитической химии. 1998. Т. 53, № 9. С. 964–969.

References

Boev V.A. Selen v pochvah i sel'skohozyajstvennyh kul'turah yuga Tyumenskoj oblasti [Selenium in soils and agricultural crops of the south of the Tyumen region] // Bulletin of Tyumen State University. 2013. No. 12. P. 112–120. (in Russian).

Vinogradov A.P. Geohimiya redkih i rasseyannyh elementov v pochvah. Vol. 4. [Geochemistry of rare and trace elements in soils]. Moscow: RAS, 2021. 298 p. (in Russian)

Vikhreva V.A., Lebedeva T.B. Soderzhanie selena v pochvah i rasteniyah Srednego Povolzh'ya [Selenium content in soils and plants of the Middle Volga region] // Young scientist.

2010. Vol. 2, no. 11. P. 195–198. (in Russian).

Vikhreva V.A., Lebedeva T.B., Bobylev A.I. Akkumulyaciya seleni rasteniyami v zavisimosti ot kolichestva mikroelementa v chernozemah Penzenskoj oblasti [Selenium accumulation by plants depending on the amount of trace element in chernozems of the Penza region] // Niva Povolzhya. 2011. No. 2 (19). P. 2–6. (in Russian).

Voynar A.I. Biologicheskaya rol' mikroelementov v organizme zhivotnyh i cheloveka [Biological role of trace elements in animal and human organisms]. Moscow: State Publishing House "Higher School". Publ. 2. 1960. 544 p. (in Russian).

Ermakov V.V., Koval'skii V.V. Biologicheskoe znachenie seleni [Biological significance of selenium]. Moscow: Science. 1974. 298 p. (in Russian).

Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikroelementy v pochvah i rasteniyah [Trace elements in soils and plants]. Moscow: Mir. 1989. 439 p. (in Russian).

Polosina A.V. Selen v pochvoobrazuyushchih porodah i pochvah Novosibirskoj oblasti [Selenium in parent rocks and soils of the Novosibirsk Region] // Contemporary Problems of Ecology. 2009. No.2. P. 293–297. (in Russian).

Puzanov A.V., Malgin M.A. Selen v pochvah Tuvy [Selenium in soils of Tuva] // Contemporary Problems of Ecology. 2000. No.2. P. 233–241. (in Russian).

Sindeeva N.D. Mineralogiya, tipy mestorozhdenij i osnovnye cherty geokhimii seleni i tellural [Mineralogy, types of deposits and main features of the geochemistry of selenium and tellurium]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 1959. 257 p. (in Russian).

Torgov V.T., Udelnova T.M., Kosolapov A.D. Ekstrakcionno-absorbcionnyj metod opredeleniya seleni v vodah, rasteniyah i pochvah [Extraction-absorption method for determining selenium in waters, plants, and soils] // Journal of Analytical Chemistry. 1998. Vol. 53, no. 9. P. 964–969. (in Russian).

SPATIAL DISTRIBUTION OF SELENIUM IN SOILS AND PLANTS OF THE GORNI ALTAI

A.V. Puzanov, T.M. Maimanova, O.A. Elchinina

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul

E-mail: puzanov@iwep.ru, maimantm@mail.ru, eoa59@mail.ru

The results of studying the selenium content in parent rocks, major soil types, and dominant plants of the Gorny Altai are presented. Regularities in the distribution of selenium across the soil profiles of the region have been identified. The average selenium content in the soils of Gorny Altai was 0.21 mg/kg (529 soil samples were analyzed), which is similar to the level in the soils of the former USSR, but significantly less than in the soils of the world. The nature of the spatial and internal distribution of gross selenium is influenced by the physicochemical properties of the underlying rocks and soils, and by natural conditions. The concentration of the water-soluble form of selenium is in the range of 22.9% of the gross content and depends on the

physicochemical properties of the soils and climatic conditions. The selenium content in plants varies within the mathematical order and more, which is due to their systematic affiliation and the content of available selenium compounds in soils. Most of the element is accumulated by plants of the families Labiatae, Rosales, Leg (Fabaceae, or Leguminosae) and Asteraceae (Compositae). The highest selenium content among those studied was found in the woolly panzeria (Panzeria lanata L.) – 0.43 mg/kg.

Keywords: selenium; soil-forming rocks; soils; gross content; plants.

Received: January 15, 2026. Accepted: March 27, 2026

Сведения об авторах

Пузанов Александр Васильевич – доктор биологических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwep.ru.

Майманова Татьяна Михайловна – кандидат биологических наук, научный сотрудник Горно-алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. E-mail: maimantm@mail.ru.

Ельчининова Ольга Анатольевна – доктор сельскохозяйственных наук, директор Горно-алтайского филиала Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0002-4482-9000. E-mail: eoa59@mail.ru.

Information about the authors

Puzanov Alexander Vasilyevich – Dr Sc. in Biology, Professor, Deputy Director for Scientific Work of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-1340-486X. E-mail: puzanov@iwep.ru.

Maimanova Tatyana Mikhailovna – PhD in Biology, researcher at the Gorno-Altay branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. E-mail: maimantm@mail.ru.

Elchininova Ol'ga Anatol'evna – Doctor of agricultural sciences, Director at the Gorno-Altay branch of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-4482-9000. E-mail: eoa59@mail.ru.

УДК 504.054(571.1)

МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ БАРНАУЛЬСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ (ПО ДАННЫМ ЗА 2025 И 2026 ГГ.)

Д.А. Филиппенко

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

E-mail: filippenko.danil99@yandex.ru

В статье представлены результаты двухлетнего мониторинга загрязнения снежного покрова Барнаульской агломерации частицами микропластика (МП). Отбор проб проведён в 49 точках, охватывающих основные функциональные зоны и ландшафтные обстановки города. Концентрацию МП определяли методом флуоресцентной микроскопии с окрашиванием Нильским красным. Установлено повсеместное загрязнение снега: средние концентрации составили 137.6 ± 77.5 шт./л талого снега (2025 г.) и 57.4 ± 25.9 шт./л талого снега (2026 г.). Выявлена резкая межгодовая изменчивость (снижение более чем вдвое), не объясняемая метеорологическими факторами. Статистически значимые межгодовые различия подтверждены U-критерием Манна-Уитни ($p < 0.001$). Наиболее высокие концентрации зафиксированы в производственной зоне, наиболее низкие – в зоне индивидуальной малоэтажной застройки. Ландшафтная приуроченность максимумов загрязнения меняется от года к году. Полученные результаты обосновывают необходимость регулярного мониторинга МП в снежном покрове урбанизированных территорий.

Ключевые слова: микропластик; Барнаул; снежный покров; пространственное распределение; функциональные зоны; микроскопия; Нильский красный.

DOI: 10.24412/2410-1192-2026-18104

Дата поступления: 12.01.2026. Принята к печати: 27.03.2026

За последнее десятилетие загрязнение МП – частицами пластика < 5 мм – признано глобальной экологической проблемой [O'Brien et al., 2023]. Основным источником эмиссии – урбанизированные территории [Xu et al., 2025], а обнаружение МП в Арктике, Антарктиде и удалённых районах океана подтверждает значимость атмосферного переноса [Hamilton et al., 2024; Tatsii et al., 2024].

Снежный покров, благодаря своей структуре и способности к консервации, считается эффективным аккумулятором

частиц МП на протяжении всего зимнего периода. Исследования последних лет доказывают, что загрязнение частицами синтетических полимеров приобрело глобальный масштаб. Например, в Антарктиде концентрации МП достигают 73–3099 шт./л талого снега [Jones-Williams et al., 2025], в снеге Аляски – от 5.1 до 913 шт./л талого снега [Karapetrova et al., 2024]. Недавнее исследование, охватившее обширную территорию от Алтайских гор до Арктики, также подтвердило повсеместное загрязнение снежного покрова

Западной Сибири микрочастицами синтетических полимеров [Frank et al., 2025]

Главными источниками МП в городской среде являются свалки ТБО, системы ливневой канализации, строительные площадки, а также промышленные предприятия, использующие для своего производства первичный МП в виде гранул [O'Brien et al., 2023; Mutshekwa et al., 2025]. Помимо обычного пути со сточными водами, МП также может выбрасываться в атмосферу, потенциально подвергаясь дальнему переносу и последующему выпадению в виде влажного или сухого осаждения [O'Brien et al., 2023].

Показатели загрязнения снега частицами МП подвержены существенным пространственным и временным флуктуациям в зависимости от внутренней организации города, характеристик его различных функциональных зон и особенностей зимних погодных условий [Chernykh et al., 2023; Yu et al., 2025].

До настоящего времени число работ, анализирующих пространственное перераспределение МП в снеге урбанизированных территорий, остаётся ограниченным, при этом крайне немногочисленны исследования, касаемые российской территории, особенно отражающие межгодовые тенденции загрязнения снежного покрова частицами МП.

Целью настоящего исследования являлось выявление межгодовой динамики и пространственно-временных закономерностей накопления МП в снежном покрове Барнаульской агломерации на основе анализа двух временных срезов (2025 и 2026 гг.).

Задачи исследования:

1. Определить концентрации частиц

МП в снежном покрове различных функциональных зон г. Барнаула в марте 2025 и 2026 гг.

2. Провести сравнительный анализ данных о загрязнении снежного покрова частицами МП, полученных в 2025 г. и 2026 г.

3. Выявить функциональные зоны с устойчиво высокими концентрациями МП, а также зоны, демонстрирующие значимую межгодовую изменчивость.

4. Оценить статистическую значимость межгодовых различий содержания МП в снежном покрове.

Материалы и методы

Город Барнаул является административным центром Алтайского края. Он располагается на юге Западной Сибири, преимущественно на левом берегу р. Обь, у слияния ее с р. Барнаулкой. Агломерация включает в себя сам город, прилегающие поселки и сельские территории [Швецов, Горлов, 2020]. По данным Росстата на 2025 г. численность населения агломерации составляет около 853 881 человек [Росстат, 2026].

В рамках нашего исследования отбор проб частиц МП из снежного покрова производился в период максимального снегонакопления в начале марта в 2025 г. и 2026 г. в 49 точках, которые были определены еще в 2021 г. при первом осуществлении пробоотбора [Chernykh et al., 2023]. Точки расположены относительно равномерно в различных частях агломерации и охватывают 6 функциональных зон (сельскохозяйственные угодья и др. открытые территории, зона пригородных

лесов, внутригородская зеленая зона, зона индивидуальной малоэтажной застройки, зона средне- и многоэтажной застройки и производственная зона) и 3 ландшафтные обстановки, а именно Приобское плато, Барнаульская ложбина древнего стока и долина р. Обь. Отбор проводился в соответствии с требованиями, разработанными в Норвежском институте исследования воздуха [Ask et al., 2016].

На каждой точке предварительно удаляли поверхностный слой снега толщиной 3–5 см для исключения недавно выпавших частиц. Затем с помощью совка из нержавеющей стали отбирали снег на всю глубину снежного покрова (без захвата нижнего припочвенного слоя) в стеклянные контейнеры объёмом 3 л, после чего закрывали их алюминиевой фольгой и металлическими крышками. Объём пробы составлял приблизительно 2.5–3 л. В каждой точке отбирали одну пробу (без повторностей). Весь инвентарь предварительно промывали дистиллированной водой.

После отбора, стеклянные контейнеры транспортировались в лабораторию и оставались в тёмном месте для таяния при комнатной температуре. Жидкость фильтровали через стекловолоконные фильтры на вакуумной установке, используя оборудование без синтетических деталей.

После фильтрации фильтры, для удаления органических примесей и повышения качества анализа, помещались в тщательно вымытые дистиллированной водой чашки Петри, в каждую из которых добавляли по 5 мл перекиси водорода (H_2O_2 37%), и в закрытом виде устанавливались в термостат при температуре

62°C на 48 часов для полного высыхания фильтров. За основу были взяты стандартные методики [Al-Azzawi et al., 2020; Maw et al., 2022].

Идентификация частиц МП выполнялась методом световой микроскопии с флуоресценцией на микроскопе Zeiss AXIO LAB.A1. Для повышения надёжности детекции использовался сольватохромный краситель Нильский красный (Nile Red), избирательно связывающийся с гидрофобными полимерами. Подготовку образцов начинали с отделения верхнего слоя высушенного фильтра, из которого затем вырезали пять квадратов размером 5×5 мм. Каждый квадрат помещали на предметное стекло и наносили на него 5–10 мкл раствора Нильского красного в ацетоне в концентрации 10 мкг/мл. Квадраты инкубировали с красителем 5–10 минут при комнатной температуре для достижения полного связывания маркера с полимерными частицами, после чего накрывали покровным стеклом и проводили микроскопический анализ. Согласно современным данным, окрашивание Nile Red позволяет уверенно идентифицировать частицы МП размером от 11 мкм [Ho et al., 2024; Ruvina & Castillo, 2024; Süssmann et al., 2024]. Данный метод позволил идентифицировать микрочастицы даже малых размеров, которые могли остаться незамеченными при стандартном визуальном анализе.

Также, для идентификации частиц МП использовали сопоставление полученных изображений с заранее подготовленными измельчёнными и окрашенными образцами полимеров. Аналогичный подход, основанный на создании библиотек спек-

тральных характеристик, окрашенных Нильским красным эталонов, применялся в работах Ивановой с соавт. [2020], Meyers et al. [2022] и Но et al. [2024], где показана высокая эффективность метода.

Концентрацию частиц выражали в шт./л талого снега, пересчитывая количество МП, найденное в фактическом объёме пробы, на единицу объёма. Десятые доли являются следствием арифметического пересчёта, а не усреднения повторных измерений.

Статистическую обработку данных выполняли с помощью Microsoft Excel. Проверку нормальности распределения концентраций МП для 2025 и 2026 гг. проводили при уровне значимости $p = 0.05$ с использованием тестов Шапиро-Уилка, Колмогорова-Смирнова и χ^2 . Также рассчитывали стандартное отклонение по всей выборке и отдельно по группам точек, выделенным по ландшафтным элементам и функциональным зонам для каждого года наблюдений, и выполняли сравнение средних значений между временными срезами. Для сравнения двух независимых выборок

(2025 и 2026 гг.) использован непараметрический U-критерий Манна-Уитни, так как распределение данных в 2025 г. не соответствовало нормальному. Для оценки статистической значимости различий между тремя ландшафтными обстановками, а также между шестью функциональными зонами, применялся непараметрический тест Краскела-Уоллиса.

Результаты и обсуждение

Частицы МП были обнаружены во всех 49 пробах снега, отобранных в пределах Барнаульской городской агломерации. В пробах 2025 г. концентрации варьировали от 25.7 (мкрн. «Авиатор») до 401.9 шт./л талого снега (пересечение пр. Строителей и Павловского тракта) со средней концентрацией по всей выборке 137.6 ± 77.5 шт./л талого снега. В пробах 2026 г. концентрации варьировали от 8.4 (пос. Бельмесёво) до 140.2 шт./л талого снега (пересечение пр. Строителей и Павловского тракта) со средней концентрацией по всей выборке 57.4 ± 25.9 шт./л талого снега (рис. 1, 2).

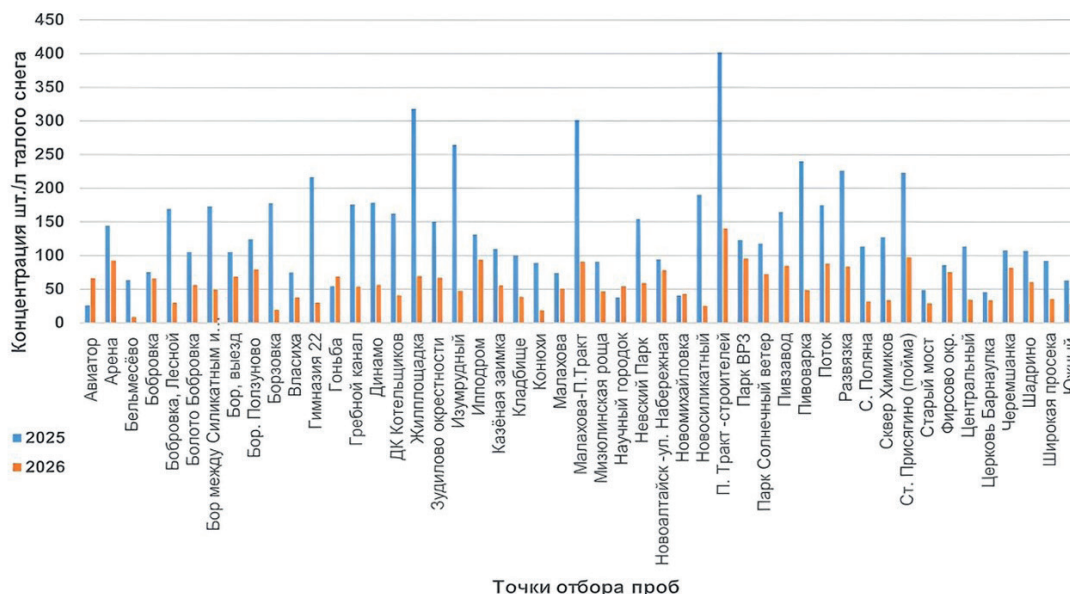


Рис. 1. Гистограммы распределения концентраций МП в снежном покрове Барнаульской агломерации в 2025 и 2026 гг.

Fig. 1. Histograms of MP concentration distribution in the snow cover of the Barnaul agglomeration in 2025 and 2026

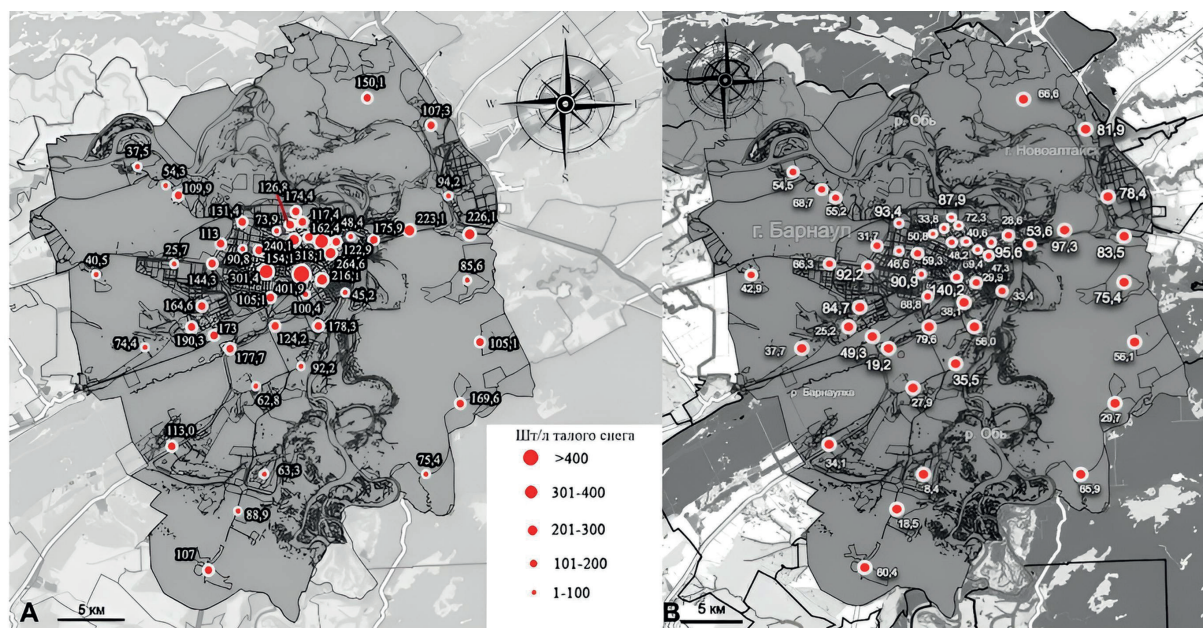


Рис. 2. Концентрации МП (шт./л талого снега) в пробах снежного покрова Барнаурской городской агломерации в 2025 (А) и 2026 (В) гг.
Fig. 2. Concentrations of MP (pcs/l of melted snow) in snow samples from the Barnaul urban agglomeration in 2025 (A) and 2026 (B)

Для оценки статистической значимости межгодовых различий использован U-критерий Манна-Уитни (для независимых выборок). Выбор метода обусловлен ненормальным распределением данных в 2025 г. (тест Шапиро-Уилка, $p = 0.002$). Расчётное значение $U = 320$, $p < 0.001$. Полученный уровень значимости подтверждает, что снижение концентраций МП в 2026 г. по сравнению с 2025 г. статистически высоко значимо.

Точки отбора проб были сгруппированы по следующим критериям: по элементам природного ландшафта и по функциональным зонам Барнаурской городской агломерации.

Концентрации МП по элементам природных ландшафтов

При группировке точек отбора проб на основе трёх различных ландшафтных обстановок было выявлено, что в долине реки Оби в 2026 г. наблюдалась самая высо-

кая средняя концентрация частиц МП – 68.8 ± 6.0 шт./л талого снега. Приобское плато и ложбина древнего стока характеризуются чуть меньшими, но близкими друг к другу концентрациями МП – 55.1 ± 4.9 шт./л талого снега и 53.2 ± 8.5 шт./л талого снега, соответственно. При этом, в 2025 г. в ложбине древнего стока, к которой, с одной стороны приурочен центр города, а с другой – крупные массивы сосновых боров, наблюдалась самая высокая средняя концентрация частиц МП – 150.9 ± 24.9 шт./л талого снега. Приобское плато и долина реки Обь характеризовались меньшими средними концентрациями МП – 141.2 ± 17.7 шт./л талого снега и 128.7 ± 15.0 шт./л талого снега, соответственно (табл. 1; рис. 3). Таким образом, ландшафтная приуроченность максимального накопления МП не является постоянной и меняется от года к году, что свидетельствует о высокой межгодовой изменчивости факторов, влияющих на осаждение и аккумуляцию частиц.

Таблица 1

Сравнительный анализ концентраций частиц МП (шт./л талого снега)
в пробах снежного покрова Барнаульской городской агломерации
по элементам природных ландшафтов в 2025 г. и 2026 г.

Table 1

Comparative analysis of MP particle concentrations (pcs/l of melted snow) in snow cover samples of the Barnaul urban agglomeration by natural landscape elements in 2025 and 2026

Ландшафтные условия	Среднее значение		Стандартное отклонение		Стандартная ошибка	
	2025	2026	2025	2026	2025	2026
Приобское плато	128.7	55.1	74.8	24.7	15.0	4.9
Ложбина древнего стока	150.9	53.2	96.5	31.9	24.9	8.5
Долина реки Обь	141.2	68.8	55.9	19.0	17.7	6.0

Для оценки статистической значимости различий между тремя ландшафтными обстановками (Приобское плато, ложбина древнего стока, долина р. Оби) применён непараметрический тест Краскела-Уоллиса. В 2025 г. различия между группами не достигли статистической значимости ($H = 0.68$, $p = 0.713$), в 2026 г. также не выявлено значимых различий ($H = 3.67$, $p = 0.160$). Следовательно, ландшафтная приуроченность не является определяющим фактором в межгодовой динамике накопления МП в снежном покрове.

Концентрации МП по элементам городских ландшафтов (функциональным зонам)

Анализ проб снежного покрова показал, что наибольшее среднее содержание частиц МП в 2026 г. характерно для производственной зоны Барнаульской городской агломерации – 72.0 ± 26.1 . В 2025 г. наибольшая средняя концентрация также была зарегистрирована в производственной зоне – 214.3 ± 65.3 (табл. 2). На рисунке 4 представлены сравнительные диаграммы средних концентраций МП в функциональных зонах города Барнаула в 2025 и 2026 годах.

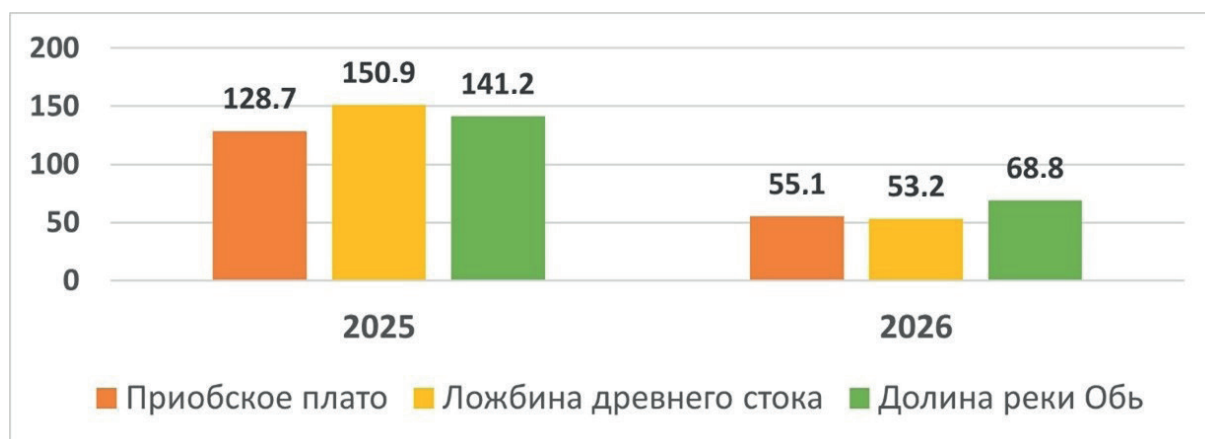


Рис. 3. Средние концентрации МП по элементам природных ландшафтов Барнаульской городской агломерации в 2025 и 2026 гг.

Fig. 3. Average MP concentrations by natural landscape elements in the Barnaul urban agglomeration in 2025 and 2026

Таблица 2

Сравнительный анализ концентраций частиц МП (шт./л талого снега)
в пробах снежного покрова Барнаульской городской агломерации
по элементам городских ландшафтов (функциональные зоны) в 2025 г. и 2026 г.

Table 2

Comparative analysis of MP particle concentrations (pcs/l of melted snow) in snow cover
samples of the Barnaul urban agglomeration by urban landscape elements
(functional zones) in 2025 and 2026

Зона	Среднее значение		Стандартное отклонение		Стандартная ошибка	
	2025	2026	2025	2026	2025	2026
Сельскохозяйственные угодья и др. открытые территории	119.3	59.6	67.3	22.8	20.3	6.9
Зона пригородных лесов	125.0	52.5	42.9	20.1	12.4	5.8
Внутригородская зеленая зона	120.9	62.0	65.0	23.2	19.6	7.0
Зона индивидуальной малоэтажной застройки	116.8	49.3	62.5	30.5	25.5	12.5
Зона средне- и многоэтажной застройки	208.6	52.8	111.2	26.3	45.5	11.8
Производственная зона	214.3	72.0	130.7	52.2	65.3	26.1

Важно отметить, что в 2026 г. во всех зонах наблюдается резкое снижение средних концентраций. Обращает на себя также внимание устойчивый минимум загрязнения в

зоне индивидуальной малоэтажной застройки: за оба периода здесь фиксировались наименьшие средние концентрации МП – 116.8 и 49.3 шт./л талого снега соответственно.

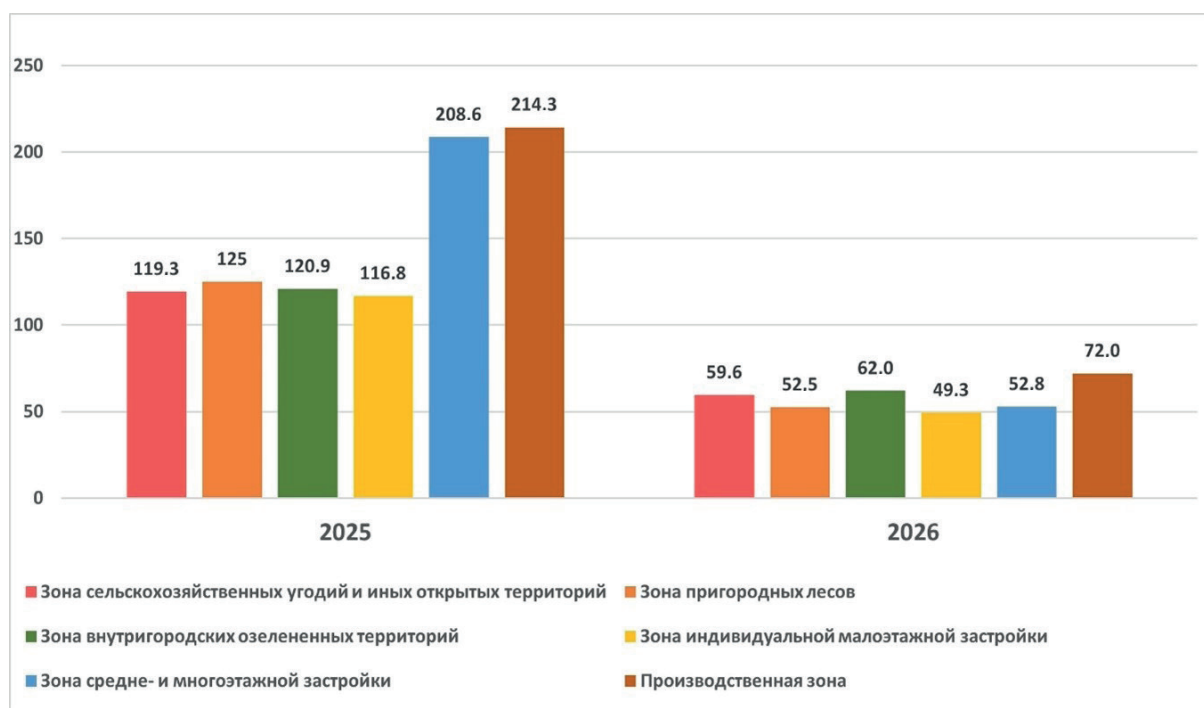


Рис. 4. Средние концентрации МП по функциональным зонам
Барнаульской городской агломерации в 2025 и 2026 гг.

Fig. 4. Average MP concentrations by functional zones of the Barnaul urban agglomeration in 2025 and 2026

Для оценки статистической значимости различий между шестью функциональными зонами использован тест Краскела-Уоллиса. В 2025 г. различия не достигли статистической значимости ($H = 5.68$, $p = 0.338$), в 2026 г. также не выявлено значимых различий ($H = 1.47$, $p = 0.917$). Несмотря на видимые различия средних концентраций (например, производственная зона и зона индивидуальной застройки), статистический анализ не подтверждает значимости этих отличий, что может быть связано с высокой внутригрупповой изменчивостью и недостаточным объёмом выборок для отдельных зон.

Производственная зона демонстрирует наиболее выраженную межгодовую изменчивость. В 2025 г. средняя концентрация МП достигала максимального за весь период наблюдений значения 214.3 ± 65.3 шт./л талого снега. В 2026 г. средняя концентрация снизилась до 72.0 ± 26.1 шт./л талого снега. Максимум за оба периода наблюдений зафиксирован на пересечении Павловского тракта и пр. Строителей – здесь в 2025 г. отмечено 401.9 шт./л, а в 2026 г. – 140.2 шт./л. Столь высокие значения, вероятно, могут быть связаны с наличием здесь крупной транспортной развязки с интенсивным движением, низким гипсометрическим положением относительно окружающих пространств, завихрениями атмосферного воздуха вследствие наличия островов тепла, способствующими локальной аккумуляции частиц МП [Klein, Fischer, 2019; Han et al., 2020]. Другие точки производственной зоны характеризуются меньшими концентрациями, причём в 2026 г. значения здесь также снизились

в 2–4 раза по сравнению с 2025 г.: Булыгино-Кировское кладбище (в 2025 г. – 100.4 шт./л талого снега, в 2026 г. – 38.1 шт./л талого снега), Барнаульский пивоваренный завод (в 2025 г. – 164.6 шт./л талого снега, в 2026 г. – 84.7 шт./л талого снега) и микрорайон Новосиликатный (в 2025 г. – 190.3 шт./л талого снега, в 2026 г. – 25.2 шт./л талого снега). Данные объекты производственной зоны характеризуются меньшей интенсивностью движения (район Булыгино-Кировского кладбища) и специализацией (Барнаульский пивоваренный завод).

Зона средне- и многоэтажной застройки в 2025 г. демонстрирует вторую по величине из всех функциональных зон среднюю концентрацию МП – 208.6 ± 45.5 шт./л талого снега. Максимальное значение 318.1 шт./л талого снега в 2025 г. зафиксировано в локации «Жилплощадка», где в непосредственной близости от жилых кварталов располагается транспортная развязка, аналогичная развязке на пересечении Павловского тракта и пр. Строителей, за которой располагается производственная зона. В 2026 г. средняя концентрация в этой зоне составила 52.8 ± 11.8 шт./л талого снега с максимальной концентрацией 90.9 шт./л талого снега в точке на пересечении ул. Малахова и Павловского тракта.

В зоне индивидуальной малоэтажной застройки средняя концентрация составила 116.8 ± 25.5 шт./л талого снега в 2025 г. Максимальная концентрация в этой зоне зафиксирована на улице Северо-Западная в районе малой р. Пивоварка – 240.1 шт./л талого снега в 2025 г. Однако в 2026 г. сред-

ная концентрация в этой зоне резко снизилась в несколько раз – 49.3 ± 12.5 шт./л талого снега, с максимальной концентрацией 81.9 шт./л талого снега в пойме малой р. Большая Черемшанка, находящейся в г. Новоалтайске. Минимальная же концентрация в 2026 г. была зафиксирована в точке вдали от змеиногорского тракта, расположенной в пос. Бельмесёво – 8.4 шт./л талого снега.

Зона сельскохозяйственных угодий и других открытых территорий, находящаяся на периферии агломерации, за два отбора характеризуется средними концентрациями МП – 119.3 ± 20.3 (2025) и 59.6 ± 6.9 (2026 г.) шт./л талого снега. Опираясь на данные результаты, можно сделать вывод, что такая ситуация обусловлена доминирующей ролью локальных источников высвобождения частиц МП, по сравнению с их глобальным атмосферным переносом на другие территории, на что уже обращали внимание другие исследователи [Blomqvist et al., 2023].

Зоны пригородных лесов и зоны внутригородских озелененных территорий. В 2025 г. концентрации МП в данных зонах имели близкие значения: зона пригородных лесов – 125.0 ± 12.4 , а внутригородская зелёная зона – 120.9 ± 19.6 шт./л талого снега. При этом, парк «Изумрудный», расположенный в центре Барнаула и испытывающий интенсивную рекреационную нагрузку, показал в 2025 г. максимальное значение – 264.6 шт./л талого снега. Удалённые от центра парки и скверы в 2025 г. характеризуются более низкими концентрациями: Мизюлинская роща (90.8 шт./л талого снега), Парк «Солнечный ветер» (117.4 шт./л талого снега), Сквер Химиков

(126.8 шт./л талого снега), Невский парк (154.1 шт./л талого снега).

В 2026 г. зона пригородных лесов характеризуется средней концентрацией 52.5 ± 6.9 шт./л талого снега. Максимум наблюдается в точке ленточного бора в окрестностях ж. ст. «Ползуново» – 79.6 шт./л талого снега, минимум же зафиксирован в пос. Борзовая Заимка – 19.2 шт./л талого снега. Зона внутригородских озелененных территорий не сильно отличается по среднему значению от зоны пригородных лесов – 62.0 ± 7.0 , но также является одной из зон, где наблюдается одна из максимальных средних концентраций. Максимум наблюдался в точке парка ВРЗ, находящийся близ самого вагоноремонтного завода, автомагистралей и коммунального моста – 95.6 шт./л талого снега. Минимум 28.6 шт./л талого снега – в древесных зарослях недалеко от ул. Парфёнова по направлению к коммунальному мосту.

Анализ зависимости концентраций МП от метеоусловий по годам

Для оценки влияния погодных факторов на аккумуляцию МП в снежном покрове были проанализированы метеоданные за периоды накопления снежного покрова (декабрь-февраль) 2024/25 и 2025/26 гг. по следующим параметрам: сумма осадков (мм), средняя температура воздуха (°C), средняя скорость ветра (м/с) и средняя относительная влажность (%) [Архив погоды, 2026]. В связи с недостаточным количеством временных срезов ($n = 2$) корреляционный анализ не проводился; визуальное сопоставление (рис. 5) не выявило однонаправленных изменений ни по одному из метеопараметров.

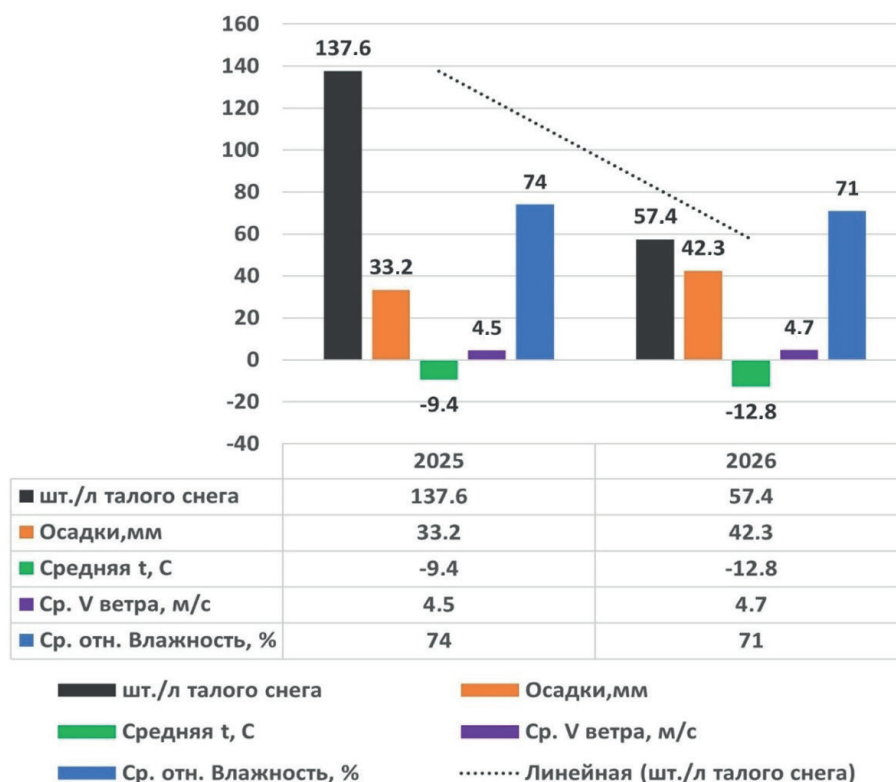


Рис. 5. Сравнение средних концентраций МП по годам с метеорологическими показателями
 Fig. 5. Comparison of average MP concentrations by year with meteorological indicators

Отсутствие явной зависимости объясняется двумя причинами: малым числом временных срезов ($n = 2$), недостаточным для надёжного статистического вывода и доминирующей ролью локальных источников МП, перекрывающей метеорологический фактор. Для более детального анализа необходимы данные о погодных аномалиях в период непосредственно перед отбором проб, а также учёт розы ветров и интенсивности оттепелей.

Заключение

По итогам двух временных срезов (2025 и 2026 гг.) установлено повсеместное загрязнение снежного покрова Барнаульской агломерации частицами МП. Средние концентрации МП по совокупности проб составили 137.6 ± 77.5 и 57.4 ± 25.9 шт./л талого снега соответственно. Выявлена выраженная ме-

жговая изменчивость в виде резкого снижения в 2026 г., причём метеорологические факторы не объясняют этой динамики.

Пространственное распределение МП в снеге отличается нестабильностью. Тем не менее, идентифицированы зоны с устойчиво высоким (производственная зона) и устойчиво низким (индивидуальная малоэтажная застройка) уровнями загрязнения.

Ландшафтная приуроченность максимумов меняется по годам, что указывает на сложный комплекс факторов, влияющих на осаждение и аккумуляцию частиц.

Полученные результаты обосновывают необходимость регулярного мониторинга МП в снежном покрове. Барнаул может служить модельной территорией для изучения многолетних трендов накопления МП в условиях континентального климата юга Западной Сибири.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interests.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (№ FUFZ-2026-0003).

Список литературы

Архив погоды. 2026. URL: [https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Барнауле_\(АМС\)](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Барнауле_(АМС)) (дата обращения: 20.03.2026).

Иванова Е.В., Гузева А.В., Лапенков А.Е., Поздняков Ш.Р., Капустина Л.Л., Митрукова Г.Г., Тихонова Д.А. Особенности применения красителя нильский красный для идентификации частиц пластика в природных объектах // Российский журнал прикладной экологии. 2020. №4 (24). С. 36–42.

Росстат. Население Барнаульского городского округа. 2026. URL: <https://22.rosstat.gov.ru/folder/219321#> (дата обращения: 20.03.2026).

Швецов А.Я., Горлов Е.А. Природные условия Барнаула. Барнаул: Изд-во «Новый формат», 2020. 178 с.

Al-Azzawi M.S.M., Kefer S., Weißer J., Reichel J., Schwaller C., Glas K., Knoop O., Drewes J.E. Validation of sample preparation methods for microplastic analysis in wastewater matrices – reproducibility and standardization // Water. 2020. Vol. 12, no. 9. P. 2445. doi: 10.3390/w12092445

Ask A., Anker-Nilssen T., Herzke D., Trevail A., van Franeker J.A., Gabrielezen G.W. Contaminants in northern fulmars (*Fulmarus glacialis*) exposed to plastic. Nordic Council of Ministers, 2016. 543 p. doi: 10.6027/TN2016-543

Blomqvist G., Järskog I., Gustafsson M., Polukarova M., Andersson-Sköld Y. Microplastics in snow in urban traffic environments. Statens vägoch transportforskningsinstitut, 2023. P. 1–81. VTI rapport 1171A 03476030 (ISSN).

Chernykh D.V., Biryukov R.Y., Kuryatnikova N.A., Malygina N.S. Microplastics in the Snow Cover of Urban Landscapes: A Case Study of Barnaul // Geography and Natural Resources. 2023. Vol. 43. P. S44–S49. doi: 10.1134/S1875372822050080

Frank Y.A., Tatsii D., Rednikin A.R., Plach A., Rakhmatullina S.N., Vorobiev D.S., Stohl A. It is snowing microplastics in Western Siberia // Environmental Pollution. 2025. Vol. 364. P. 125293. doi: 10.1016/j.envpol.2024.125293

Han W., Li Z., Wu F., Zhang Y., Guo J., Su T., Cribb M., Fan J., Chen T., Wei J., Lee S.S. The mechanisms and seasonal differences of the impact of aerosols on daytime surface urban heat island effect // Atmospheric Chemistry and Physics. 2020. Vol. 20, no. 11. P. 6479–6493. doi: 10.5194/acp-20-6479-2020

Hamilton B.M., Harris L.N., Provencher J.F., Rochman C.M. The utility of monitoring snow for microplastics in the Arctic: a pilot study from Iqaluktuuttiaq, Nunavut // Arctic Science. 2024. Vol. 10, no. 3. P. 476–482. doi: 10.1139/as-2023-0041

Ho D., Liu S., Wei H., Karthikeyan K.G. The glowing potential of Nile red for microplastics identification: science and mechanism of fluorescence staining // Microchemical Journal. 2024.

Vol. 197. P. 109708. doi: 10.1016/j.microc.2023.109708

Jones-Williams K., Rowlands E., Primpke S., Galloway T., Cole M., Waluda C., Manno C. Microplastics in Antarctica – a plastic legacy in the Antarctic snow? // *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 966. P. 178543. doi: 10.1016/j.scitotenv.2025.178543

Karapetrova A., Cowger W., Michell A., Braun A., Bair E., Gray A., Gan J. Exploring microplastic distribution in Western North American snow // *Journal of Hazardous Materials*. 2024. Vol. 480. P. 136126. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.136126

Klein M., Fischer E.K. Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 685. P. 96–103. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.405

Maw M.M., Boontanon N., Fujii S., Boontanon S.K. Rapid and efficient removal of organic matter from sewage sludge for extraction of microplastics // *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 853, No. 9. P. 158642. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158642

Meyers N., Catarino A.I., Declercq A.M., Brenan A., Devriese L., Vandegheuchte M., de Witte B., Janssen C., Everaert G. Microplastic detection and identification by Nile red staining: towards a semiautomated, cost and timeeffective technique // *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 823. P. 153441. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153441

Mutshekwa T., Mulaudzi F., Maiyana V.P., Mofu L., Munyai L.F., Murungweni F.M. Atmospheric deposition of microplastics in urban, rural, forest environments: a case study of Thulamela Local Municipality // *PLoS ONE*. 2025. Vol. 20, no. 3. doi: 10.1371/journal.pone.0313840

O'Brien S., Rauert C., Ribeiro F., Okoffo E.D., Burrows S.D., O'Brien J.W., Wang X., Wright S.L., Thomas K.V. There's something in the air: a review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere // *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 874, no. 23. P. 162193. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162193

Ruvina T., Castillo J.D. Rapid detection of microplastic contamination using Nile red fluorescent tagging // *International Journal of Biosciences*. 2024. Vol. 24, no. 2. P. 103–109. doi: 10.12692/ijb/24.2.103-109

Süssmann J., Fischer E.K., Hildebrandt L., Walz E., Greiner R., Rohn S., Fritsche J. Nile red staining for rapid screening of plasticsuspect particles in edible seafood tissues // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2024. Vol. 416, no. 14. P. 3459–3471. doi: 10.1007/s00216-024-05296-8

Tatsii D., Bucci S., Bhowmick T., Guettler J., Bakels L., Bagheri G., Stohl A. Shape matters: longrange transport of microplastic fibers in the atmosphere // *Environmental Science & Technology*. 2024. Vol. 58, no. 1. P. 671–682. doi: 10.1021/acs.est.3c08209

Xu R., Sheng W., Zhou F., Persson B.N.J. Correction: Rubber wear: history, mechanisms, and perspectives // *Tribology Letters*. 2025. Vol. 73. P. 123. doi: 10.1007/s11249-025-02057-1

Yu J.T., Diamond M.L., Ward E., Adams J.K., Cherian-Hall A., Gamberg M., Obediah T., Palmer M., Platt A., Worthy C., Finkelstein S.A., Jantunen L.M. Snow as an indicator of atmospheric transport of anthropogenic particles (microplastics and microfibers) from urban to Arctic regions // *Arctic Science*. 2025. Vol. 11. P. 1–14. doi: 10.1139/as-2024-0045

References

Arxiv pogody. 2026. URL: [https://rp5.ru/Arxiv_pogody_v_Barnaule_\(AMS\)](https://rp5.ru/Arxiv_pogody_v_Barnaule_(AMS)) (accessed: 20.03.2026).

Ivanova E.V., Guzeva A.V., Lapenkov A.E., Pozdnyakov Sh.R., Kapustina L.L., Mitrukova G.G., Tixonova D.A. Osobennosti primeneniya krasitelya nil'skij krasnyj dlya identifikacii chastic plastika v prirodnyh ob'ektah [Features of using Nile red dye for identification of plastic particles in natural objects] // Rossijskij zhurnal prikladnoj ekologii [Russian Journal of Applied Ecology]. 2020. No. 4 (24). P. 36–42. (in Russian).

Rosstat. Naselenie Barnaul'skogo gorodskogo okruga [Population of the Barnaul urban district]. 2026. URL: <https://22.rosstat.gov.ru/folder/219321#> (accessed: 20.03.2026).

Shveczov A.Ya., Gorlov E.A. Prirodnye usloviya Barnaula [Natural conditions of Barnaul]. Barnaul: Novyj format, 2020. 178 p. (in Russian).

Al-Azzawi M.S.M., Kefer S., Weißer J., Reichel J., Schwaller C., Glas K., Knoop O., Drewes J.E. Validation of sample preparation methods for microplastic analysis in wastewater matrices – reproducibility and standardization // Water. 2020. Vol. 12, no. 9. P. 2445. doi: 10.3390/w12092445

Ask A., Anker-Nilssen T., Herzke D., Trevail A., van Franeker J.A., Gabrielezen G.W. Contaminants in northern fulmars (*Fulmarus glacialis*) exposed to plastic. Nordic Council of Ministers, 2016. 543 p. doi: 10.6027/TN2016-543

Blomqvist G., Järnskog I., Gustafsson M., Polukarova M., Andersson-Sköld Y. Microplastics in snow in urban traffic environments. Statens vägoch transportforskningsinstitut, 2023. P. 1–81. VTI rapport 1171A 03476030 (ISSN).

Chernykh D.V., Biryukov R.Y., Kuryatnikova N.A., Malygina N.S. Microplastics in the Snow Cover of Urban Landscapes: A Case Study of Barnaul // Geography and Natural Resources. 2023. Vol. 43. P. S44–S49. doi: 10.1134/S1875372822050080

Frank Y.A., Tatsii D., Rednikin A.R., Plach A., Rakhmatullina S.N., Vorobiev D.S., Stohl A. It is snowing microplastics in Western Siberia // Environmental Pollution. 2025. Vol. 364. P. 125293. doi: 10.1016/j.envpol.2024.125293

Han W., Li Z., Wu F., Zhang Y., Guo J., Su T., Cribb M., Fan J., Chen T., Wei J., Lee S.S. The mechanisms and seasonal differences of the impact of aerosols on daytime surface urban heat island effect // Atmospheric Chemistry and Physics. 2020. Vol. 20, no. 11. P. 6479–6493. doi: 10.5194/acp-20-6479-2020

Hamilton B.M., Harris L.N., Provencher J.F., Rochman C.M. The utility of monitoring snow for microplastics in the Arctic: a pilot study from Iqaluktuuttiaq, Nunavut // Arctic Science. 2024. Vol. 10, no. 3. P. 476–482. doi: 10.1139/as-2023-0041

Ho D., Liu S., Wei H., Karthikeyan K.G. The glowing potential of Nile red for microplastics identification: science and mechanism of fluorescence staining // Microchemical Journal. 2024. Vol. 197. P. 109708. doi: 10.1016/j.microc.2023.109708

Jones-Williams K., Rowlands E., Primpke S., Galloway T., Cole M., Waluda C., Manno C.

Microplastics in Antarctica – a plastic legacy in the Antarctic snow? // *Science of the Total Environment*. 2025. Vol. 966. P. 178543. doi: 10.1016/j.scitotenv.2025.178543

Karapetrova A., Cowger W., Michell A., Braun A., Bair E., Gray A., Gan J. Exploring microplastic distribution in Western North American snow // *Journal of Hazardous Materials*. 2024. Vol. 480. P. 136126. doi: 10.1016/j.jhazmat.2024.136126

Klein M., Fischer E.K. Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 685. P. 96–103. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.405

Maw M.M., Boontanon N., Fujii S., Boontanon S.K. Rapid and efficient removal of organic matter from sewage sludge for extraction of microplastics // *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 853, No. 9. P. 158642. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158642

Meyers N., Catarino A.I., Declercq A.M., Brenan A., Devriese L., Vandegheuchte M., de Witte B., Janssen C., Everaert G. Microplastic detection and identification by Nile red staining: towards a semiautomated, cost and timeeffective technique // *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 823. P. 153441. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153441

Mutshekwa T., Mulaudzi F., Maiyana V.P., Mofu L., Munyai L.F., Murungweni F.M. Atmospheric deposition of microplastics in urban, rural, forest environments: a case study of Thulamela Local Municipality // *PLoS ONE*. 2025. Vol. 20, no. 3. doi: 10.1371/journal.pone.0313840

O'Brien S., Rauert C., Ribeiro F., Okoffo E.D., Burrows S.D., O'Brien J.W., Wang X., Wright S.L., Thomas K.V. There's something in the air: a review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere // *Science of the Total Environment*. 2023. Vol. 874, no. 23. P. 162193. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162193

Ruvina T., Castillo J.D. Rapid detection of microplastic contamination using Nile red fluorescent tagging // *International Journal of Biosciences*. 2024. Vol. 24, no. 2. P. 103–109. doi: 10.12692/ijb/24.2.103-109

Süssmann J., Fischer E.K., Hildebrandt L., Walz E., Greiner R., Rohn S., Fritsche J. Nile red staining for rapid screening of plasticsuspect particles in edible seafood tissues // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2024. Vol. 416, no. 14. P. 3459–3471. doi: 10.1007/s00216-024-05296-8

Tatsii D., Bucci S., Bhowmick T., Guettler J., Bakels L., Bagheri G., Stohl A. Shape matters: longrange transport of microplastic fibers in the atmosphere // *Environmental Science & Technology*. 2024. Vol. 58, no. 1. P. 671–682. doi: 10.1021/acs.est.3c08209

Xu R., Sheng W., Zhou F., Persson B.N.J. Correction: Rubber wear: history, mechanisms, and perspectives // *Tribology Letters*. 2025. Vol. 73. P. 123. doi: 10.1007/s11249-025-02057-1

Yu J.T., Diamond M.L., Ward E., Adams J.K., Cherian-Hall A., Gamberg M., Obediah T., Palmer M., Platt A., Worthy C., Finkelstein S.A., Jantunen L.M. Snow as an indicator of atmospheric transport of anthropogenic particles (microplastics and microfibers) from urban to Arctic regions // *Arctic Science*. 2025. Vol. 11. P. 1–14. doi: 10.1139/as-2024-0045

INTERANNUAL DYNAMICS OF MICROPLASTIC CONTENT IN THE SNOW COVER OF THE BARNAUL AGGLOMERATION (BASED ON DATA FROM 2025 AND 2026)

D.A. Filippenko

Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul,

E-mail: filippenko.danil99@yandex.ru

The article presents the results of two-year monitoring of snow cover pollution in the Barnaul agglomeration with microplastics (MP) particles. Samples were collected at 49 points covering the main functional zones and landscape settings of the city. The concentration of MP was determined using fluorescence microscopy with Nile red staining. Snow pollution was found to be widespread, with average concentrations of 137.6 ± 77.5 particles/liter of melted snow (2025) and 57.4 ± 25.9 particles/liter of melted snow (2026). A sharp inter-annual variability (decrease by more than half) was revealed, which is not explained by meteorological factors. Statistically significant inter-annual differences were confirmed by the Mann-Whitney U test ($p < 0.001$). The highest concentrations were recorded in the industrial zone, and the lowest concentrations were recorded in the zone of individual low-rise buildings. The landscape distribution of pollution peaks varies from year to year. These results highlight the need for regular monitoring of MP in the snow cover of urbanized areas.

Keywords: microplastics; Barnaul; snow cover; spatial distribution; functional zones; microscopy; Nile red.

Received: January 12, 2026. Accepted: March 27, 2026

Сведения об авторе

Филиппенко Данил Алексеевич – аспирант Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID: 0000-0003-3483-4161. E-mail: filippenko.danil99@yandex.ru.

Information about the author

Filippenko Danil Alekseevich – Postgraduate student of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-3483-4161. E-mail: filippenko.danil99@yandex.ru.

Раздел 2 ГИДРОЛОГИЯ СУШИ, ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ,
 ГИДРОХИМИЯ
Section 2 HYDROLOGY OF LAND, WATER RESOURCES,
 HYDROCHEMISTRY

УДК 502.7 + 577.4

**МОДЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА АССИМИЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ
МЕТАЛЛОВ НА ПРИМЕРЕ МЕДИ В ВОДЕ ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА**

А.А. Цхай¹, М.А. Романов²

¹ Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

² Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул,

E-mail: tskhai@iwep.ru, max.rom1@mail.ru

Объектом исследования является крупнейший пресноводный водоем Западной Сибири – Телецкое озеро (ТО). Целью работы является оценка особенностей удержания тяжелых металлов на примере меди (Cu) в воде ТО как результата их накопления, трансформации и ассимиляции. Из-за низкой температуры воды в течение всего года ТО отличается малым ресурсом самоочищения, что подтверждают расчеты. Приведено кинетическое уравнение для меди и вычислены предварительные значения коэффициентов удержания и скорости трансформации соединений Cu в поверхностных водах ТО. Оценены величины суммарной ассимиляции, допустимой нагрузки и допустимой концентрации меди в воде ТО для сохранения устойчивого состояния его экосистемы.

Ключевые слова: тяжелые металлы; медь; гидрология; лимнология; трансформация; ассимиляция; модель; Телецкое озеро.

DOI: 10.24412/2410-1192-2026-18105

Дата поступления: 14.01.2026. Принята к печати: 31.03.2026

Телецкое озеро – самый глубокий пресноводный водоем Западной Сибири, расположено в истоке одной из крупнейших рек мира – Оби. По принятой гидрологической классификации ТО относится к водоемам димиктического типа. Работа О.А. Алекина (1930) положила начало систематическому изучению качества воды в ТО. Существенный интерес вызывает поведение в ТО тяжелых металлов, в том числе меди Cu. Среди предшествующих работ с анализом данных полевых измерений Cu в воде ТО, следует выделить работы сотрудников Института водных и экологических проблем СО РАН [Мальгин, 1997; Кузнецова, 2012; Пузанов и др., 2015; Робертус и др., 2021 и т.д.]. Кроме того, материалы по упомянутой теме содержатся в публикациях исследователей из других организаций [Малолетко, 2009; Шевченко, 2010а; Бурцева, Александрова, 2022 и др.].

В природе медь часто встречается как в самородном состоянии, так и виде сульфидов, арсенидов, хлоридов и карбонатов [Мур, Рамамурти, 1987]. В Горном Алтае имеются значительные запасы меди по типу полиметаллических сульфидных руд. Основным источником поступления меди в поверхностные воды здесь являются процессы химического выветривания горных пород и минералов, сопровождающиеся их растворением.

В данной работе рассматривается вопрос о процессе ассимиляции тяжелых металлов на примере меди (*Сu*) в водах ТО. Под ассимиляционным потенциалом водного объекта здесь и далее понимается его способность без потери для устойчивости разлагать загрязняющие вещества природного и антропогенного происхождения, устранять их вредное воздействие. Для рассмотрения случая ассимиляции азота и фосфора в ТО была выполнена работа [Цхай, Романов, 2024].

Соединения тяжелых металлов могут присутствовать в природных водах в растворённой, коллоидной и взвешенной формах. Соотношение между ними в значительной степени определяется величиной рН и составом воды. В лимнологических объектах Сибири роль взвешенных форм в миграции меди, от истоков рек к впадению в водоемы, резко снижается, и она обнаруживается в последних, в основном, в растворенном состоянии [Линник, Набиванец, 1986].

Обычно растворённые формы тяжелых металлов могут быть представлены как гидратированными ионами и гидроксокомплексами, так и комплексными

соединениями с минеральными и органическими веществами вод (преимущественно комплексными соединениями с гуминовыми и фульвокислотами). Медь относится к числу активных микроэлементов и ее повышенное содержание в воде оказывает токсическое воздействие на гидробионты и человека. В связи с этим содержание меди в поверхностных водах нормируется. ПДК растворённых форм меди в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляет 1 г/м³, рыбохозяйственного назначения – 0.001 г/м³ [Руководящий..., 1994].

Целью исследования является оценка особенностей удержания тяжелых металлов на примере меди в воде ТО как результата их накопления, трансформации и ассимиляции.

Материалы и методы

ТО – олиготрофный глубокий водоем тектонического происхождения, расположенный на юге Западной Сибири (рис. 1). Значения гидрологических характеристик ТО: площадь зеркала – 223 км², объем котловины – порядка 40 км³, глубины озера (максимальная – 325 м, средняя – 174 м) использовались в модельном расчете.

В мировой лимнологии используется понятие коэффициента удержания *R* (*coefficient of retention*) [Vollenweider, 1975; Dillon, Rigler, 1975]. Под этим термином понимается относительное снижение концентрации загрязняющего вещества в потоке речных вод в результате попадания в озеро.

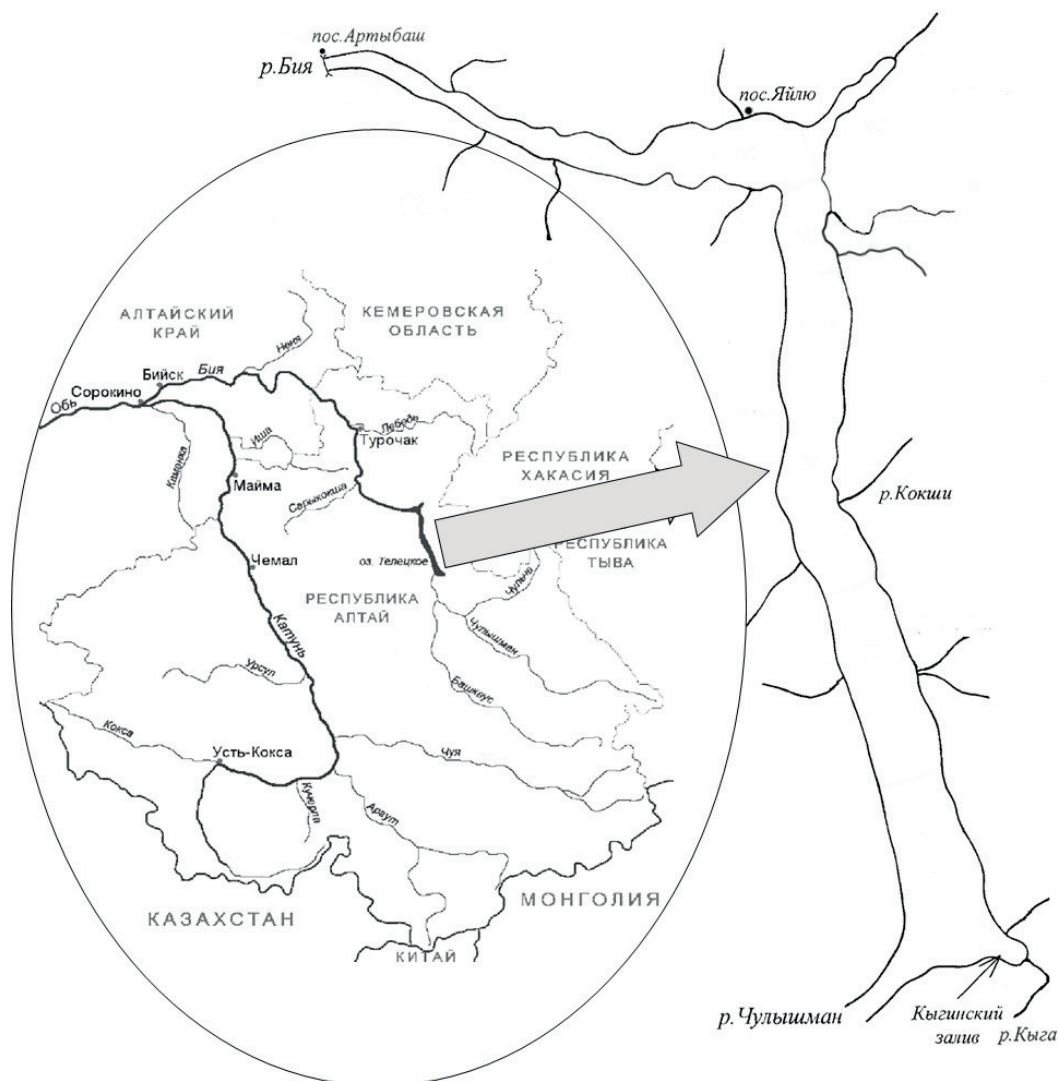


Рис. 1. Карта-схема Телецкого озера [Цхай и др., 2024]

Fig. 1. Cartography of Lake Teletskoye [Tskhai et al., 2024]

Удержание меди в озере происходит, в основном, за счет седиментации взвешенных веществ вследствие замедления скорости руслового потока. При этом растворенные формы меди, сорбированные на поверхности взвеси, вместе с оседающим материалом выпадают на дно. Еще одним фактором является меняющаяся интенсивность процессов биологического потребления меди водными организмами, особенно в период сезонного развития водорослей, либо их отмирания. Осадок, в т. ч. остатки отмерших организмов, составляют материал

для седиментации и накапливаются в ДО. Далее, в результате их частичного разложения и взмучивания, в водную толщу возвращается часть меди, однако, в силу большой глубины ТО, эффект «вторичного загрязнения» от дна незначителен.

ТО принадлежит к умеренному типу водных объектов по гидротермическим условиям. Вся толща воды в ТО в течение 7 месяцев охлаждена ниже 4°C , а температура свыше 10°C , достигается лишь в верхних 10–20 м: на поверхности – до 2.5 месяцев, на глубине 20 м – менее одной декады [Селегей, Селегей, 1978].

Для оценки ассимиляционного потенциала ТО в случае простейшей детализации используется условное разделение периодов года на «теплый» (июль-сентябрь) и «холодный» (октябрь-июнь) по среднесуточной температуре. В данном исследовании используются сценарные предположения о гидротермических условиях в ТО из работы [Цхай, Романов, 2025].

Также в работе использовались данные гидрохимического мониторинга за 12 лет, с 1985 по 1996 гг., по содержанию меди: в воде ТО – на примере пункта наблюдений (далее п. н.) Яйлю; в основном притоке ТО – в реке Чулышман, п. н. Балыкча; боковой приточности ТО – на примере п. н. Кыгинский залив. Мониторинг осуществлялся Государственной службой наблюдений Росгидромета в соответствии с действовавшей в то время версией методики выполнения измерений массовой концентрации меди в природных водах [Руководящий, 1994].

Результаты и обсуждение

Для обработки данных гидрохимического мониторинга была выполнена следующая процедура. Из общей совокупности данных в поверхностной приточности были выделены данные, полученные в п. н. Балыкча вблизи устья основного притока – реки Чулышман (порядка 70% от общей величины поступлений в ТО). Далее предполагалось, что оставшаяся часть поступала в ТО с оставшимися притоками и боковым распределенным стоком в ТО в пренебрежении доли остальных источников поступлений (с метеоосадками и проч.) (Шевченко, 2010b). В качестве содержания

загрязнений в боковой приточности (менее 30% от общей величины поступлений в ТО) использовалось распределение их концентраций в одном из боковых притоков – реке Кыга, где расположен пункт наблюдений.

Для выполнения модельных оценок было принято следующее упрощение. Каждая из двух полученных совокупностей мониторинговых данных была разделена на два периода года: «теплый» и «холодный». Каждый из них характеризовался средним за период года значением (см. предыдущий раздел статьи). На рис. 2 представлено такое распределение концентраций, в котором отрезками прямых, для определенности, в серединах месяцев соединены полученные значения.

На следующем этапе обработки входных данных для растворенных форм меди была использована процедура отсева грубых ошибок по критерию 3σ [Брандт, 2003]. В расчетах использовались средние концентрации меди в рассматриваемые периоды.

Среднее находилось по i -му периоду значение концентрации меди (г/м^3) C_i и среднеквадратическое отклонение σ . Далее из выборки отсеивались значения, которые не вошли в интервал $(C_i - 3\sigma, C_i + 3\sigma)$. Такая отбраковка повторялась до тех пор, пока после очередного отсеивания в выборке не оставались только те же самые исходные значения. С этого момента больше ни одно значение не отбрасывалось. Итоговое среднее значение считалось средним значением переменной за соответствующий i -тый период. Результаты на рис. 3 практически совпадают с их версией на рис. 2.

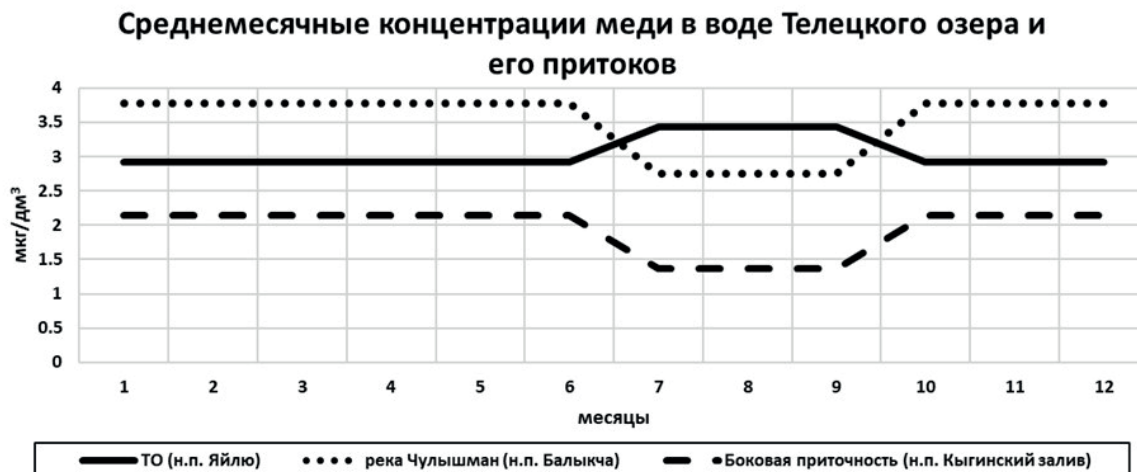
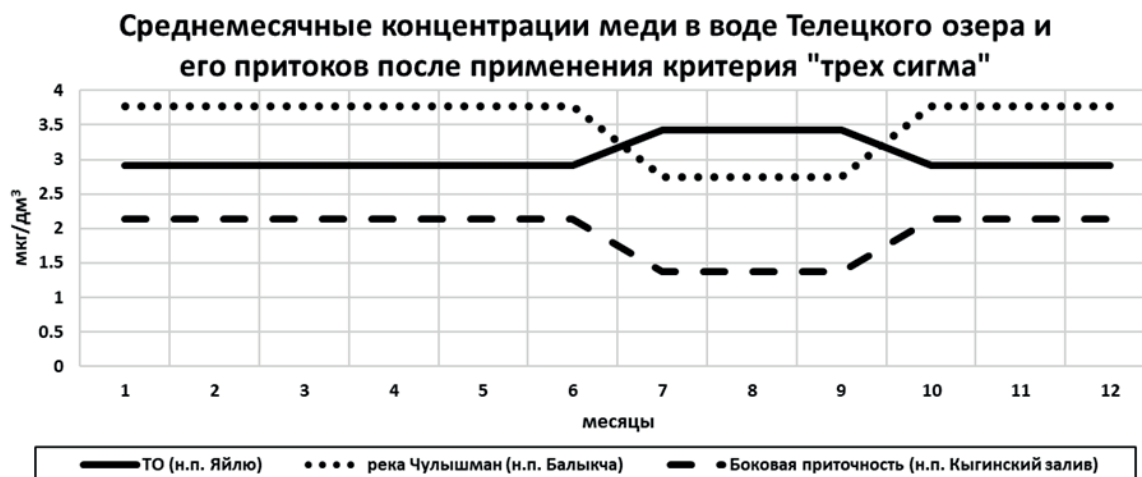


Рис. 2. Данные гидрохимического мониторинга 1985–1996 гг.

Fig. 2. Hydrochemical monitoring data from 1985–1996

Рис. 3. Данные гидрохимического мониторинга 1985–1996 гг. после отсева случайных реализаций, выходящих за рамки 3σ Fig. 3. Hydrochemical monitoring data from 1985–1996 after screening out random implementations beyond 3σ

Временной период сбора мониторинговых гидрохимических данных, использованных в данном исследовании, считается временем, ограниченного антропогенного воздействия на экологическое состояние природных вод, в том числе, ТО [Шевченко, 2010b]. По крайней мере, в это время состояние его экосистемы было стабильным, а нагрузка на ТО была приближена к фоновой. С этим предположением становится возможным оценить допустимую нагрузку, при которой уровень загрязнения вод ТО не меняется.

Пусть коэффициент R удержания (безразмерная величина) в водоеме, свидетельствующий об относительном понижении концентрации C_u в озере по сравнению с его средневзвешенным значением в поверхностной приточности

$$R = \frac{\bar{C}_{in} - \bar{C}_l}{\bar{C}_{in}}. \quad (1)$$

Здесь $\bar{C}_{in}$ и $\bar{C}_l$ – средневзвешенные по стоку концентрации меди (г/м^3) в поверхностной приточности и в водоеме соответственно.

Для расчета коэффициента K (год⁻¹) – показателя скорости трансформации загрязняющего вещества в природных водах используется кинетическое уравнение, предложенное П.А. Лозовиком с соавторами [2020] в виде:

$$K = \frac{R}{\tau(1 - R \cdot e^{-1/\tau})} \quad \tau = \frac{V_0}{V_{out}}, \quad (2)$$

где τ – временной период водообмена в ТО с размерностью (год); V_0 – объем воды в озере в начальный момент, м³; V_{out} – годовой водный сток из озера, м³/год.

В таблице для сравнения приведены характеристики меди в воде достаточно хорошо изученного Онежского озера и выполненные в данной работе соответствующие оценки для случая ТО.

Суммарная ассимиляция в озере As рассчитывается по формуле:

$$As = K \cdot C_l \cdot V_{out} \cdot (\tau + 1). \quad (3)$$

Здесь C_l – средневзвешенная по стоку концентрация растворенной меди в ТО.

Расчетная годовая ассимиляция растворенных форм меди в ТО составляет 1.7 т/год при общем поступлении с поверхностной приточностью в озеро 27.4 т/год и выносе из озера с рекой Бией 27.9 т/год. Таким образом, выполненные расчеты позволяют сделать

предварительный вывод о том, что ТО несколько очищает речной сток от меди.

Ассимиляционный потенциал ТО по отношению к растворенным формам меди – незначителен, практически на порядок меньше, чем в Онеге. Это объясняется относительно малым пребыванием рассматриваемого тяжелого металла в ТО – приблизительно в 4 раза меньшим, чем в Онежском озере. Кроме того, более холодная вода и сравнительно бедный состав фитопланктона замедляют процессы самоочищения экосистемы ТО в течение года по сравнению с Онежским озером.

Среднегодовая допустимая концентрация, соответствующая случаю допустимой нагрузки для сохранения устойчивости экосистемы ТО, равна $Cu = 0.003$ г/м³, т.е. выше наблюдаемой средневзвешенной по стоку концентрации меди 0.0029 г/м³ в период ограниченной антропогенной нагрузки. Таким образом, значение расчетной допустимой концентрации Cu – более чем в триста раз ниже ПДК_в = 1.0 г/м³ для растворённых форм меди в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, но выше, чем ПДК_{рх} = 0.001 г/м³ для водоемов рыбохозяйственного назначения.

Таблица

Период водообмена, удерживающая способность озер, коэффициенты скорости трансформации веществ и суммарная ассимиляция

Table

Water exchange period, retention capacity of lakes, coefficients of the rate of transformation of substances and total assimilation

№	Озеро	τ, лет	Cu		
			R, б/р	K, год ⁻¹	As, т/год
1	Онежское [Лозовик и др., 2020]	15.6	0.05	0.04	11.7
2	Телецкое	4.35	0.02	0.01	1.7

Относительно высокий, по сравнению с $ПДК_{рх}$, уровень концентраций растворенных форм меди определяется природными факторами, в первую очередь, наличием в Горном Алтае месторождений полиметаллов на водосборе ТО.

Полученные значения свидетельствуют о существенной роли меди в составе аллохтонной взвеси, попадающей в объект исследований с водосбора. В случае проведения интенсивной промышленной разработки полиметаллических руд на водосборе ТО может возникнуть риск появления новых эффектов, в том числе неблагоприятных для экологической ситуации, поэтому требуется расширение мониторинговых исследований содержания как тяжелых металлов, так и органогенных веществ (нефтепродуктов, органических и биогенных веществ), с соответствующим анализом возникающих тенденций изменения качества вод.

Заключение

Выполнен расчет кинетического уравнения для меди в водной экосистеме и установлены предварительные значения коэффициентов удержания и скорости трансформации соединений $Си$ в поверхностных водах ТО. Оценены

величины суммарной ассимиляции, допустимой нагрузки и допустимой концентрации меди для экосистемы ТО.

Получен и обоснован предварительный вывод о том, что ТО очищает речной сток от меди, поступающей с поверхностным притоком.

Расчетный ассимиляционный потенциал самоочищения ТО примерно на порядок меньше, чем в Онежском озере, что может быть объяснено более низкой температурой воды в течение года и сравнительно малым содержанием фитопланктона.

Медь является существенным составляющим аллохтонной взвеси, попадающей в ТО с его водосборного бассейна. Расчетная допустимая концентрация меди – выше наблюдавшейся средне-взвешенной годовой концентрации $Си$ в период ограниченной антропогенной нагрузки. Ввиду перспективной возможности промышленной разработки полиметаллических руд на водосборе ТО, актуальным является расширение мониторинговых исследований содержания как тяжелых металлов, так и органогенных веществ, с соответствующим анализом возникающих тенденций изменения качества вод.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН и плана инициативных работ в АлтГТУ им. И. И. Ползунова.

Список литературы

- Алёкин О.А. На Алтай, к Телецкому озеру (Путевой очерк). Л., 1930. 46 с.
- Брандт З. Анализ данных. Статистические и вычислительные методы для научных работников и инженеров. Москва: Мир, 2003. 686 с.

Бурцева Л.В., Александрова М.С. Анализ данных мониторинга состояния загрязнения тяжелыми металлами атмосферных осадков и поверхностных вод на территории Алтайского государственного биосферного заповедника // Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике. 2022. № 4. С. 127–136. doi: 10.52245/26867109_2022_4_127

Кузнецова О.В. Медь в основных компонентах ландшафтов бассейна Телецкого озера // Мир науки, культуры, образования. 2012. № 5(36). С. 317–320.

Линник П.Н., Набиванец П.Н. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 270 с.

Лозовик П.А., Лозовик П.А., Кулик Н.В., Ефременко Н.А. Литофильные элементы и тяжелые металлы в Онежском озере: источники поступления, содержание и трансформация // Тр. Кар. НЦ РАН. 2020. № 4. С. 62–74.

Малолетко А.М. Телецкое озеро по исследованиям 1973–1975 гг. Томск: Томский государственный университет, 2009. 224 с.

Мальгин М.А. Биогеохимические особенности бассейна Верхней Оби: Автореф. дис. ... доктора биологических наук. Барнаул-Новосибирск, 1997. 48 с.

Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния. М.: Мир, 1987. 286 с.

Пузанов А.В., Бабошкина С.В., Горбачев И.В. Содержание и распределение основных макро- и микроэлементов в поверхностных водах Алтая // Водные ресурсы. 2015. Т. 42, № 3. С. 298–310. doi: 10.7868/S0321059615030165

Руководящий документ 52.24.465-95. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой концентрации меди в водах денситометрическим методом с реактивной индикаторной бумагой. Роскомгидромет. Ростов-на-Дону: Гидрохимический институт. 1994. 9 с.

Робертус Ю.В., Кивацкая А.В., Любимов Р.В. Экологическое состояние воды Телецкого озера в XXI веке // Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике. 2021. № 3. С. 182–189. doi:10.52245/26867109_2021_12_3_182

Селегей В.В., Селегей Т.С. Телецкое озеро. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 143 с.

Цхай А.А., Романов М.А., Куприянов В.А. Модель ассимиляционного потенциала озерной экосистемы на примере биогенных загрязнений // Компьютерные исследования и моделирование. 2024. №6. С. 1447–1465. doi: 10.20537/2076-7633-2024-16-6-1447-1465

Цхай А.А., Романов М.А. Математическое моделирование трансформации соединений азота, фосфора и кислородного режима в экосистеме Телецкого озера // Водные ресурсы. 2025. Т. 52, №5. С. 14–27. doi: 10.7868/S0321059625050025

Шевченко Г.А. Характер пространственного распределения микроэлементов в воде Телецкого озера (Горный Алтай) // Проблемы региональной экологии. 2010а. № 5. С. 90–94.

Шевченко Г.А. Геоэкологическое состояние акватории и прибрежной зоны Телецкого озера (Горный Алтай): Дис. ... канд. геолого-минерал. наук. Томск, 2010b. 149 с.

Dillon P.J., Rigler F.N. A Simple Method for Predicting the Capacity of a Lake for Development Based on Lake Trophic Status // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 1975. Vol. 32 (9). P. 1519–1531.

Vollenweider R.A. Input-Output Models with Special Reference to the Phosphorus Loading Concept in Limnology // Zielsetzungen des Gewässerschutzes. 1975. Vol. 57(1). P. 53–84.

References

Alyokin O.A. Na Altaj, k Teleczkomu ozeru (Putevoj ocherk) [To Altai, to Lake Teletskoye (Travelogue)]. L., 1930. 46 p. (in Russian).

Brandt Z. Analiz dannyh. Statisticheskie i vychislitel'nye metody dlja nauchnyh rabotnikov i inzhenerov [Data analysis: Statistical and computational methods for scientists and engineers]. Moscow: Mir, 2003. 686 p. (in Russian).

Burceva L.V. Aleksandrova M. S. Analiz danny'x monitoringa sostoyaniya zagryazneniya tyazhely'mi metallami atmosfery'x osadkov i poverxnostny'x vod na territorii Altajskogo gosudarstvennogo biosfernogo zapovednika [Analysis of monitoring data on the contamination of precipitation and surface water with heavy metals in the Altai State Biosphere Reserve] // Field research in the Altai Biosphere Reserve. 2022. № 4. P. 127–136. (in Russian). doi: 10.52245/26867109_2022_4_127

Kuzneczova O.V. Med' v osnovny'x komponentax landshaftov bassejna Teleczkogo ozero [Copper in the main components of the landscapes of Lake Teletskoye basin] // The world of science, culture and education. 2012. No. 5(36). P. 317–320. (in Russian).

Linnik P.N., Nabivanecz P.N. Formy' migracii metallov v presny'x poverxnostny'x vodax [Forms of metal migration in fresh surface waters]. L.: Gidrometeoizdat, 1986. 270 p. (in Russian).

Lozovik P.A., Lozovik P.A., Kulik N.V., Efremenko N.A. Litofil'ny'e i tyazhely'e metally' v Onezhskom ozere: istochniki postupleniya, sodержание i transformaciya [Lithophilic elements and heavy metals in Lake Onega: sources of entry, content, and transformation] // Proceedings of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences. 2020. No. 4. P. 62–74. (in Russian).

Maloletko A.M. Teleczkoe ozero po issledovaniyam 1973–1975 gg. [Lake Teletskoye according to research conducted in 1973–1975]. Tomsk: Tomsk State University. 2009. 224 p. (in Russian).

Mal'gin M.A. Biogeoхимические особенности бассейна Верхней Оби [Biogeochemical features of the Upper Ob basin]: Biol.) Summary of DSc (Dr. of Biol.) thesis. Barnaul-Novosibirsk, 1997. 48 p. (in Russian).

Mur Dzh.V., Ramamurti S. Tyazhely'e metally' v prirodny'x vodax. Kontrol' i ocenka vliyaniya [Heavy metals in natural waters. Control and assessment of the impact]. Moscow: Mir, 1987. 286 p. (in Russian).

Puzanov A.V., Baboshkina S.V., Gorbachev I.V. Soderzhanie i raspredelenie osnovny`x makro- i mikroelementov v poverxnostny`x vodax Altaya [Content and distribution of major macro- and microelements in the surface waters of Altai] // Water resources. 2015. Vol. 42, no. 3. P. 298–310. (in Russian). doi: 10.7868/S0321059615030165

Rukovodyashhij dokument 52.24.465-95. Metodicheskie ukazaniya. Metodika vy`polneniya izmerenij massovoj koncentraciya medi v vodax densitometricheskim metodom s reaktivnoj indikatornoj bumagoj. [Guidelines 52.24.465-95. Methodological instructions. Method for measuring the mass concentration of copper in water using the densitometric method with reactive indicator paper]. Roskomhydromet. Rostov-on-Don: Hydrochemical Institute. 1994. 9 p. (in Russian).

Robertus Yu.V., Kivaczkaya A.V., Lyubimov R.V. E`kologicheskoe sostoyanie vody` Teleczkogo ozera v XXI veke [Problems of Regional Ecology the Ecological State of Lake Teletskoye in the 21st Century] // Field research in the Altai Biosphere Reserve. 2021. No. 3. P. 182–189. (in Russian). doi:10.52245/26867109_2021_12_3_182

Selegej V.V., Selegej T.S. Teleckoe ozero [Teletskoye Lake]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. 143 p. (in Russian).

Tskhai A.A., Romanov M.A., Kuprijanov V.A. Model` assimiljacionnogo potenciala ozernoj jekosistemy na primere biogennyh zagryaznenij [Model of assimilation potential in lake ecosystem on the example of biogenic pollutants] // Computer Research and Modeling. 2024. No. 6. P. 1447–1465. (in Russian). doi: 10.20537/2076-7633-2024-16-6-1447-1465

Tskhai A.A., Romanov M.A. Matematicheskoe modelirovanie transformacii soedinenij azota, fosfora i kislorodnogo rezhima v e`kosisteme Teleczkogo ozera [Mathematical modeling of nitrogen, phosphorus, and oxygen transformation in the Teletskoye Lake ecosystem] // Water resources. 2025. Vol. 52, no. 5. P. 14–27. (in Russian). doi: 10.7868/S0321059625050025

Shevchenko G.A. Xarakter prostranstvennogo raspredeleniya mikroelementov v vode Teleczkogo ozera (Gorny`j Altaj) [Spatial distribution of trace elements in the water of Lake Teletskoye (Gorny Altai)] // Problems of regional ecology. 2010a. No. 5. P. 90–94. (in Russian).

Shevchenko G.A. Geojekologicheskoe sostojanie akvatorii i pribrezhnoj zony Teleckogo ozera (Gornyj Altaj): [Geoecological condition of the water area and coastal zone of Lake Teletskoye (Gorny Altai)]: DSc (PhD of Geol.-mineral.) thesis. Tomsk, 2010b. 149 p. (in Russian).

Dillon P.J., Rigler F.N. A Simple Method for Predicting the Capacity of a Lake for Development Based on Lake Trophic Status // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 1975. Vol. 32 (9). P. 1519–1531.

Vollenweider R.A. Input-Output Models with Special Reference to the Phosphorus Loading Concept in Limnology // Zielsetzungen des Gewässerschutzes. 1975. Vol. 57(1). P. 53–84.

MODEL ASSESSMENT OF HEAVY METAL ASSIMILATION USING THE EXAMPLE OF COPPER IN THE WATER OF LAKE TELETSKOYE

A.A. Tskhai¹, M.A. Romanov²

¹*Institute for Water and Environmental Problems, SB RAS, Barnaul,*

²*Polzunov Altai State Technical University, Barnaul,*

E-mail: tskhai@iwep.ru, max.rom1@mail.ru

The object of the study is the largest freshwater reservoir in Western Siberia, Lake Teletskoy (LT). The aim of the study is to evaluate the features of heavy metal retention using the example of copper (Cu) in water of LT as a result of their accumulation, transformation and assimilation. Due to the low water temperature throughout the year, LT has a low self-cleaning resource, which is confirmed by calculations. The kinetic equation for copper is given and the preliminary values of the retention coefficients and the rate of transformation of Cu compounds in surface waters are calculated. The values of total assimilation, permissible load and permissible concentration of copper in the water of LT for maintaining the stable state of its ecosystem are estimated.

Keywords: heavy metals; copper; hydrology; limnology; transformation; assimilation; model; Lake Teletskoye.

Received: January 14, 2026. Accepted: March 31, 2026

Сведения об авторах

Цхай Александр Андреевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ИВЭП СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1 ORCID: 0000-0003-3892-1502. E-mail: tskhai@iwep.ru.

Романов Максим Анатольевич – преподаватель кафедры прикладной математики Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. Россия, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46. ORCID: 0000-0001-5010-6469. E-mail: max.rom1@mail.ru.

Information about the authors

Tskhai Aleksandr Andreevich – Dr Sc in Technics, Professor, chief researcher of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS (IWEP SB RAS). 1, Molodezhnaya Str., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-3892-1502. E-mail: tskhai@iwep.ru.

Romanov Maxim Anatol'evich – Lecturer of the Applied Mathematics Chair of the Altai State Technical University. 46, Lenin Av., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0001-5010-6469. E-mail: max.rom1@mail.ru.

Раздел 3

Section 3

ЭКОЛОГИЯ

ECOLOGY

УДК 616-036.22:616-066 (571.15)

**ОСОБЕННОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ ЛЕГКОГО
У НАСЕЛЕНИЯ СУБЪЕКТОВ
СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА**

А.О. Ковригин¹, И.В. Вихлянов², В.А. Лубенников², Г.Г. Губина¹, А.Ф. Лазарев³

¹Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул,

²Алтайский краевой онкологический диспансер, Барнаул,

³Алтайский государственный медицинский университет, Барнаул,

E-mail: anton-kovrigin@yandex.ru

Проведен картографический анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями трахеи, бронхов, легкого у населения субъектов Сибирского федерального округа (СФО) Российской Федерации по полу. Цель исследования – изучить территориальные особенности географического распространения злокачественных новообразований трахеи, бронхов, легкого у населения субъектов СФО за период с 2011 по 2020 годы с помощью ГИС-технологий. Онкоэпидемиологическое аналитическое исследование основано на изучении статистических ретроспективных и современных медицинских данных злокачественных новообразований (ЗН) трахеи, бронхов, легкого у населения субъектов СФО. Представлены картосхемы ранжирования территории СФО по интенсивным показателям заболеваемости населения ЗН трахеи, бронхов, легкого по полу. Выявлена высокая заболеваемость ЗН трахеи, бронхов, легкого у населения субъектов СФО: оба пола – в Республике Хакасия, Алтайском крае, Иркутской и Омской областях; у мужчин – в Алтайском крае, Республике Хакасия и Омской области; у женщин – в Иркутской, Омской, Кемеровской, Новосибирской областях и Красноярском крае. Низкая заболеваемость раком легкого: в Республиках Тыва и Алтай.

Ключевые слова: злокачественные новообразования трахеи, бронхов, легкого; заболеваемость; население по полу; субъекты СФО.

DOI: 10.24412/2410-1192-2026-18106

Дата поступления: 09.02.2026. Принята к печати: 06.04.2026

По данным Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Российской Федерации, загрязнение атмосферного воздуха занимает лидирующее место среди основных факторов риска здоровью населения,

связанных с окружающей средой. По данным Всемирной организации здравоохранения, 91% населения мира живет на территориях, качество атмосферного воздуха которых превышает приемлемые уровни загрязнения. Приоритетными веществами,

формирующими загрязнение атмосферного воздуха городских территорий в России, являются бензапирен, тяжелые металлы, фтороводород, сероводород, фенол и взвешенные вещества, сельских – амины (алифатические и ароматические), хлороводород, фтороводород, аммиак, фенол и оксид углерода. Риск возникновения и развития общетоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других неблагоприятных эффектов для здоровья населения зависит не только от концентрации вещества в воздухе, но и от длительности вдыхания загрязненного воздуха. Повышенное содержание в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, обладающих неканцерогенным и канцерогенным эффектами, способствует развитию токсических эффектов со стороны таких «органов-мишеней», как органы дыхания, иммунная, нервная, мочеполовая, костно-мышечная системы, система кровообращения, кровеносных органов, а также ЗН.

В реальных условиях неблагоприятное качество окружающей среды воздействует на население не изолированно, а, как правило, в виде сочетанного воздействия основных факторов – химического загрязнения воздуха, воды, почвы и комплекса физических факторов (шум, вибрация, электромагнитные поля и др.). Среди приоритетных санитарно-гигиенических факторов (химических, физических, биологических) показатели комплексной химической нагрузки на население продолжают занимать лидирующую позицию, по сравнению с показателями комплексной биологической нагрузки и нагрузки по физическим факторам.

Пандемия COVID-19 оказала негативное воздействие на онкологическую службу в мире в целом и регионы СФО в частности с приостановлением профилактических мероприятий, что обусловило снижение заболеваемости раком легкого в связи с недовыявлением ЗН [Чернышев и др., 2021; Жуйкова и др., 2023].

Необходимость более глубокого и детального изучения онкоэпидемиологических данных в Российской Федерации и в мировом сообществе обусловлена значительным воздействием ЗН на общую картину заболеваемости. Цель исследования – изучить заболеваемость ЗН трахеи, бронхов, легкого у населения субъектов СФО и их территориальные особенности географического распространения за период с 2011 по 2020 годы с помощью ГИС-технологий.

Материалы и методы

Использовались официальные статистические данные Российского Центра информационных технологий и эпидемиологических исследований в области онкологии в составе Московского научно-исследовательского онкологического института им. П.А. Герцена – филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, статистической системы ЕМИСС Росстата и статистические методы, рекомендованные при онкоэпидемиологических аналитических исследованиях [Отдельнова, 1980; Breslow et al., 1987; Характеристика..., 2005; Дронов, 2015; Наркевич, Виноградова, 2019]. Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием лицензионной программы Microsoft Excel 2016.

Результаты и обсуждение

На территории СФО отмечено снижение заболеваемости ЗН легкого среди мужчин при неизменном уровне данного показателя среди женщин. При сравнении показателей онкологической помощи больным ЗН легкого исследуемого периода повысился удельный вес морфологически верифицированных злокачественных новообразований с 72.9 до 87.9%, случаев на I–II стадиях – с 24.2 до 29.1%, состоящих на учете больных 5 лет и более – с 37.3 до 43.4%, индекс накопления контингента – с 2.2 до 2.7. Снизились: величина одногодичной летальности с 55.2 до 47.8%, отношения одногодичной летальности к доле IV стадии предыдущего года – с 1.3 до 1.0. Однако отмечен рост регистрации доли запущенных случаев с 39.4 до 40.6%.

В субъектах СФО наибольшие значения интенсивного показателя заболеваемости ЗН легкого (в расчете на сто тысяч населения) выявлены:

оба пола в Республике Хакасия (54.21), Алтайском крае (54.19), Иркутской (52.91), Омской (52.58), Кемеровской (48.12), Томской (46.89) и Новосибирской (43.84) областях, Красноярском крае (44.63) и наименьшие – в Республиках Тыва (18.24) и Алтай (35.36), (по СФО 48.20; РФ 37.13);

мужчин в Алтайском крае (97.85), Республике Хакасия (94.52), Омской (87.89), Иркутской (85.56), Кемеровской (81.01), Томской (77.94), Новосибирской (72.81) областях и Красноярском крае (73.08), и наименьшие – в Республиках Тыва (24.75) и Алтай (58.21) (по СФО 80.80; РФ 62.22);

женщин в Иркутской (24.83), Омской (22.23), Кемеровской (20.14), Томской (19.45), и Новосибирской (18.62) областях, Красноярском (19.73) и Алтайском (16.75) краях и Республике Хакасия (19.26) и наименьшие – в Республиках Тыва (12.26) и Алтай (14.68) (по СФО 19.97; РФ 15.38).

Для рака легкого более характерна высокая частота встречаемости среди мужского населения в сравнении с женским населением субъектов СФО.

Среди субъектов СФО выделяется Иркутская область, как единственный регион, входящий в лидирующую тройку по заболеваемости раком легкого среди мужского населения и занимающий первое место по раку легкого среди женского населения.

В целом по Российской Федерации было отмечено 2.8% случаев смертей населения от болезней органов дыхания и 0.4% – от злокачественных новообразований, ассоциированных с воздействием химического загрязнения атмосферного воздуха [Государственный..., 2018; Государственный..., 2021].

Злокачественные новообразования трахеи, бронхов, легкого (ЗН легкого) входят в лидирующую тройку по заболеваемости во всем мире и являются лидером по смертности среди всех видов рака. По данным World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, Global cancer statistics (Globocan) за 2020 г., в мире зарегистрировано более 2.4 млн. случаев заболевания ЗН легкого (13.2% от всех заболевших ЗН) и 1.8 млн. смертей (18.8% от всех умерших ЗН). Согласно прогнозу

ВОЗ, к 2040 г. число новых случаев рака легкого составит более 3.8 млн., в том числе 2.5 млн. среди мужчин и 1.3 млн. среди женщин (63.5 и 36.5% соответственно). В мировой структуре онкологической заболеваемости в мужской популяции ЗН легкого занимает первое место (16.4%), в женской – ЗН легкого являются второй по частоте выявляемости локализацией (9.9%), после рака молочной железы (25.0%) [Жуйкова и др., 2020, 2023, 2024; Cancer Today..., 2020; Sung et al., 2021].

В Российской Федерации в общей структуре онкологической заболеваемости в 2020 г. ЗН легкого занимали третью позицию (9.2%) после ЗН молочной железы (12.3%) и немеланомного ЗН кожи (12.7%). Среди мужчин ЗН легкого (16.5%) находятся на первом месте, на втором – ЗН предстательной железы (14.9%), в женской популяции не входит в первую пятерку лидирующих локализаций ЗН (10-е место – 4.0%) [Злокачественные новообразования..., 2013; 2021].

При анализе заболеваемости ЗН по субъектам Сибири и Дальнего Востока, проведенный в НИИ онкологии Томского НИМЦ за период с 2010 по 2021 гг. было выявлено 1 233 759 новых случаев злокачественных новообразований, при этом 74.9% из них пришлось на Сибирский Федеральный округ РФ (СФО) (924 111 случаев). На территории СФО наибольшее число заболевших ЗН было отмечено в Новосибирской области (15.7%), Красноярском (15.2%) и Алтайском (14.4%) краях, наименьшее – в Республиках Алтай (0.7%)

и Тыва (0.8%). По частоте выявления в регионе Сибири и Дальнего Востока в 2021 г. лидировали у мужчин: рак лёгкого (18.7%), предстательной железы (14.1%) и колоректальный рак (11.1%); у женщин – рак молочной железы (21.0%), кожи (12.6%) и колоректальный рак (11.3%).

С 2010 по 2019 гг. в регионе наблюдался темп прироста заболеваемости ЗН на 26.7%. Остались лидерами в структуре онкологической заболеваемости рак легкого у мужчин и молочной железы у женщин [Чойнзонов и др., 2020; Жуйкова и др., 2019, 2023, 2024; Ковригин и др., 2024, 2025].

Онкоэпидемиологические данные, полученные при оценке заболеваемости ЗН трахеи, бронхов, легкого у населения субъектов СФО за период с 2011–2020 годы, приведены на картосхемах (рис. 1–3).

Заключение

Полученные результаты аналитического исследования показывают о сохранении более высокого уровня заболеваемости ЗН трахеи, бронхов, легкого населения субъектов СФО в сравнении с РФ, вне зависимости от пола. В связи с чем требуется более углубленное изучение онкоэпидемиологической ситуации на региональном и муниципальном уровнях для выявления причинно-следственных связей, влияющих на поддержание и увеличение показателей заболеваемости населения субъектов СФО. Необходим постоянный медико-экологический мониторинг онкоэпидемиологической ситуации на территории субъектов СФО.

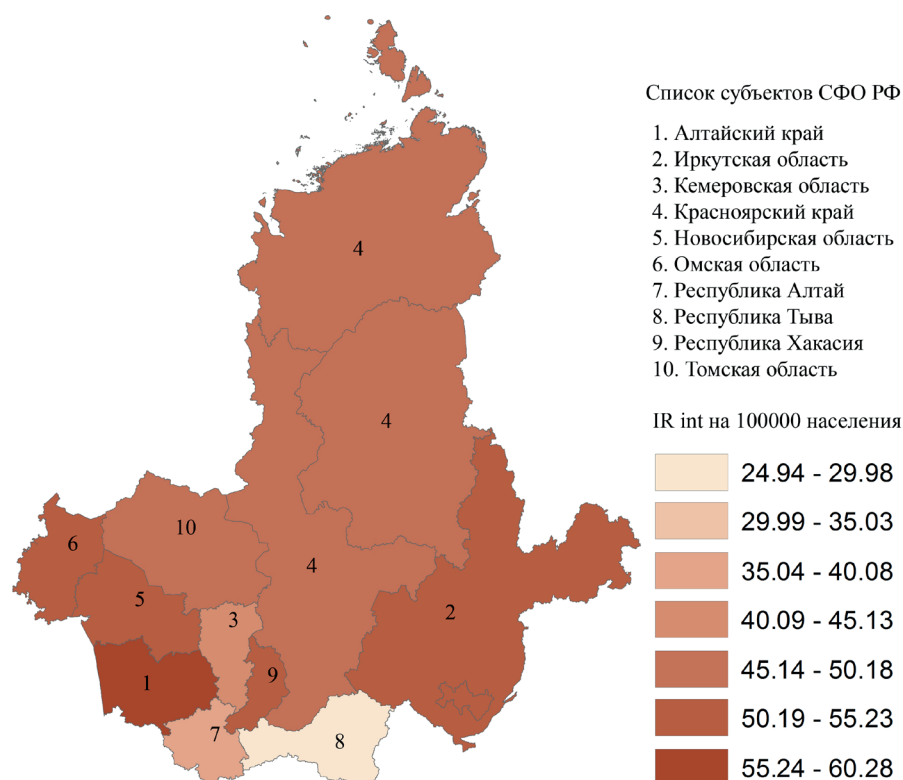


Рис. 1. Картосхема заболеваемости ЗН трахеи, бронхов, легкого населения субъектов СФО за период 2011–2020 годы (интенсивный показатель на 100 000 населения)

Fig. 1. Map of the incidence of malignant neoplasms of the trachea, bronchi, lungs in the population of the subjects of the Siberian Federal District for the period 2011–2020 (intensive indicator per 100 000 population)

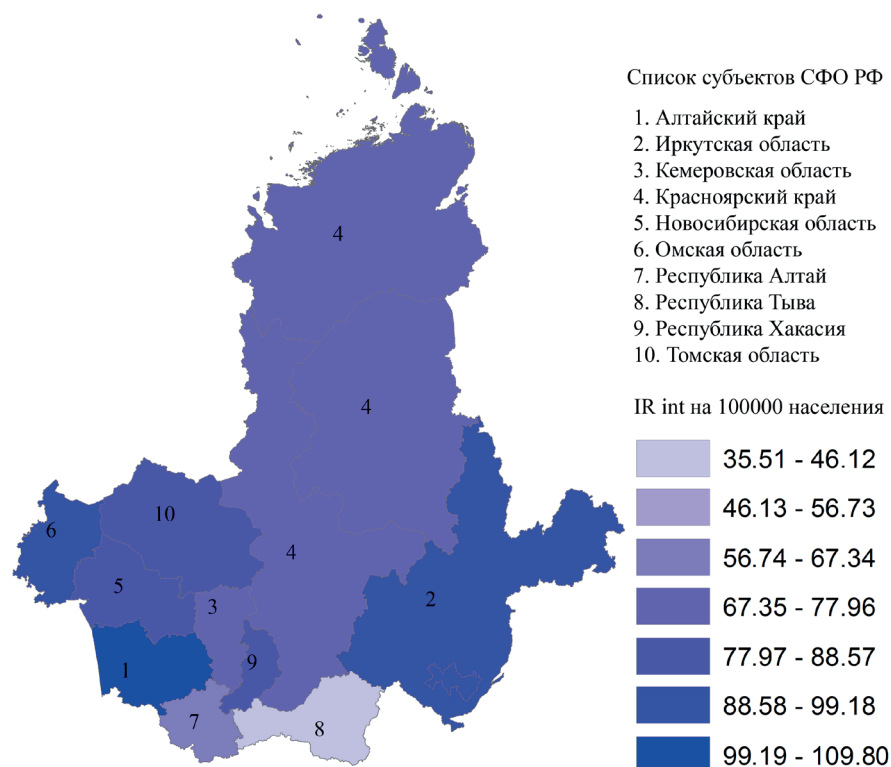


Рис. 2. Картосхема заболеваемости ЗН трахей, бронхов, легкого мужского населения субъектов СФО за период 2011–2020 годы (интенсивный показатель на 100 000 населения)

Fig. 2. Map of the incidence of malignant neoplasms of the trachea, bronchi, lungs in the male population of the subjects of the Siberian Federal District for the period 2011–2020 (intensive indicator per 100 000 population)

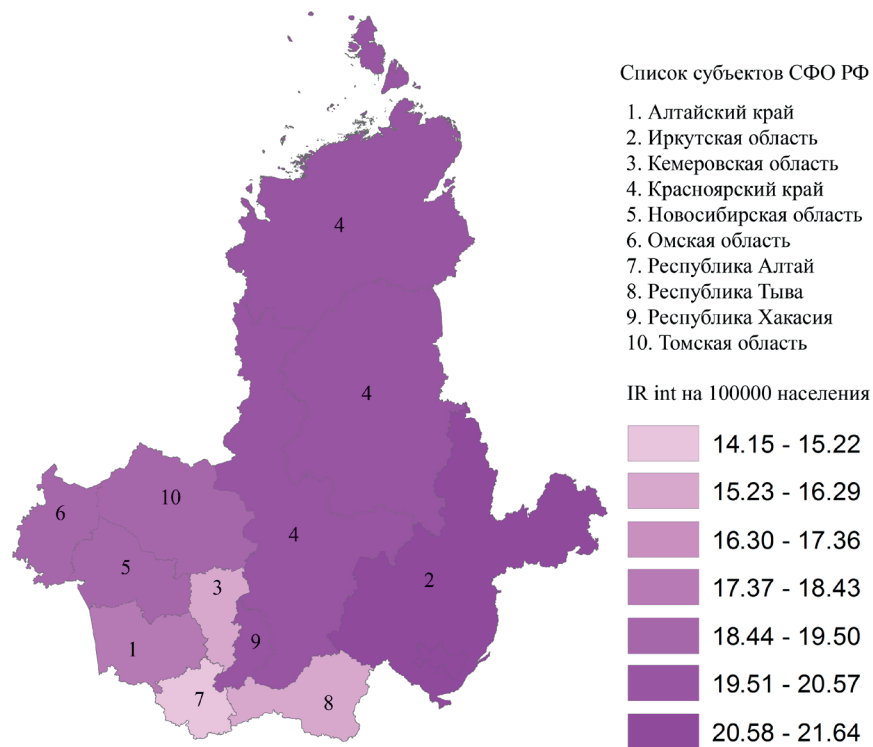


Рис. 3. Картосхема заболеваемости ЗН трахеи, бронхов, легкого женского населения субъектов СФО за период 2011–2020 годы (интенсивный показатель на 100 000 населения)

Fig. 3. Map of the incidence of malignant neoplasms of the trachea, bronchi, lungs in the female population of the subjects of the Siberian Federal District for the period 2011–2020 (intensive indicator per 100 000)

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interests.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН по проекту FUFZ-2026-0002.

Список литературы

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. 888 с.

Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2020 году». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 256 с.

Дронов С.В. Методы и задачи многомерной статистики. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2015. 275 с.

Злокачественные новообразования в России в 2011 году (заболеваемость и смертность) / Ред. В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: ФГБУ «МНИОИ им. П.А. Герцена» Минздрава России. 2013. 289 с.

Злокачественные новообразования в России в 2020 году (заболеваемость и смертность) / Ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им.

П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2021. 252 с.

Жуйкова Л.Д., Чойнзонов Е.Л., Ананина О.А., Одинцова И.Н. Онкологическая заболеваемость в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах // Сибирский онкологический журнал. 2019. № 18 (6). С. 5–11. doi: 10.21294/1814-4861-2019-18-6-5-11

Жуйкова Л.Д., Чойнзонов Е.Л., Ананина О.А., Ляхова Н.П., Пикалова Л.В. Заболеваемость раком легкого в различных городах мира (обзор) // Вопросы онкологии. 2020. № 66 (3). С. 239–246.

Жуйкова Л.Д., Чойнзонов Е.Л., Ананина О.А., Пикалова Л.В., Кононова Г.А. Распространённость онкологических заболеваний среди населения региона Сибири и Дальнего Востока // Здравоохранение Российской Федерации. 2023. Т. 67, № 1. С. 64–71. doi: 10.47470/0044-197X-2023-67-1-64-71

Жуйкова Л.Д., Полищук Т.В., Кононова Г.А., Ананина О.А., Пикалова Л.В., Миллер С.В. Влияние COVID-19 на эпидемиологию рака легкого в Томской области // Вопросы онкологии. 2023. Т. 69, № 4. С. 648–655.

Жуйкова Л.Д., Чойнзонов Е.Л., Ананина О.А., Кононова Г.А., Кондрашина Ю.Д., Пикалова Л.В., Лунева Е.Е., Жуйкова А.С. Картографический анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями населения региона Сибири и Дальнего Востока в 1993–2022 гг. // Вопросы онкологии. 2024. Т. 70, № 3. С. 481–492. doi:10.37469/0507-3758-2024-70-3-481-492

Жуйкова Л.Д., Полищук Т.В., Ананина О.А., Кондрашина Ю.Д., Кононова Г.А., Миллер С.В., Пикалова Л.В. Эпидемиология рака легкого в Сибирском Федеральном округе: Ретроспективное наблюдательное исследование // Кубанский научный медицинский вестник. 2024. Т. 31, № 6. С. 72–85.

Ковригин А.О., Лубенников В.А., Вихлянов И.В., Лазарев А.Ф., Изучение особенностей географического распространения злокачественных новообразований легкого у населения муниципальных районов Алтайского края // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2025. №2 (77). С. 83–98. doi: 10.24412/2410-1192-2025-17705

Ковригин А.О., Лазарев А.Ф., Вихлянов И.В., Лубенников В.А. Территориальный анализ заболеваемости злокачественными новообразованиями бронхов и легкого населения Алтайского края // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. 2024. № 2(73). С. 65–76. doi: 10.24412/2410-1192-2024-17305

Наркевич А.Н., Виноградов К.А. Методы определения минимально необходимого объема выборки в медицинских исследованиях // Социальные аспекты здоровья населения. 2019. Т. 65, № 6. С. 10. doi: 10.21045/2071-5021-2019-65-6-10

Отдельнова К.А. Определение необходимого числа наблюдений в социально-гигиенических исследованиях // Сб. трудов 2-го ММИ. 1980. Т. 150, № 6. С. 18–22.

Характеристика и методы расчета статистических показателей, применяемых в онкологии: практ. пособие. М.: МНИОИ, 2005. 43 с.

Чернышев В.М., Воевода М.И., Стрельченко О.В., Шалыгина Л.С., Мингазов И.Ф. О состоянии здоровья населения и здравоохранения Сибирского федерального округа в период пандемии (некоторые итоги 2020 года) // Сибирский научный медицинский журнал. 2021. № 41 (6). С. 101–109. doi: 10.18699/SSMJ20210612

Чойнзонов Е.Л., Жуйкова Л.Д., Ананина О.А., Одинцова И.Н., Вальков М.Ю., Пикалова Л.В. Эпидемиология злокачественных новообразований в административных центрах Сибирского федерального округа // Экология человека. 2020. № 11. С. 53–59. doi: 10.33396/1728-0869-2020-11-53-59

Breslow N.E., Day N.E. Statistical Methods in Cancer Research. Volume II – The design and analysis of cohort studies. Lyon: IARC Scientific Publications (82), 1987. 415 p.

Cancer Today / Estimated number of new cases in 2020, World, both sexes, all ages (excl. NMSC). URL: https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-table?v=2020&mode=cancer&mode_population=continents&population=900&populations=900&key=asr&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=17&group_cancer=1&include_nmssc=0&include_nmssc_other=1 (accessed: 08.01.2026).

Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., Laversanne M., Soerjomataram I., Jemal A., Bray F. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries // CA Cancer J Clin. 2021. Vol. 71, no. 3. P. 209–249. doi: 10.3322/caac.21660

References

Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2017 godu» [State Report “On the State and Protection of the Environment of the Russian Federation in 2017”]. Moscow: Ministry of Natural Resources of the Russian Federation; NPP “Cadastr”, 2018. 888 p. (in Russian).

Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossijskoj Federacii v 2020 godu» [State Report “On the State of Sanitary and Epidemiological Welfare of the Population in the Russian Federation in 2020”]. Moscow: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare, 2021. 256 p. (in Russian).

Dronov S.V. Metody i zadachi mnogomernoj statistiki [Methods and tasks of multivariate statistics]. Barnaul: Altai State University Publishing House, 2015. 275 p. (in Russian).

Zlokachestvennye novoobrazovaniya v Rossii v 2011 godu (zabolevaemost' i smertnost') [Malignant tumors in Russia in 2011 (morbidity and mortality)] / Eds V.I. Kaprin, V.V. Starinsky,

G.V. Petrova. Moscow, 2013. 289 p. (in Russian).

Zlokachestvennye novoobrazovaniya v Rossii v 2020 godu (zabolevaemost' i smertnost') [Malignant tumors in Russia in 2020 (morbidity and mortality)] / Eds V.I. Kaprin, V.V. Starinsky, A.O. Shakhzadova. Moscow, 2013. 289 p. (in Russian).

Zhuikova L.D., Choynzonov E.L., Ananina O.A., Odintsova I.N. Onkologicheskaya zabolevaemost' v Sibirskom i Dal'nevostochnom federal'nyh okrugah [Cancer incidence in Siberia and Russian Far East] // Sibirskij onkologicheskij zhurnal [Siberian Journal of Oncology]. 2019. Vol. 18, no. 6. P. 5–11. (in Russian).

Zhuikova L.D., Choynzonov E.L., Ananina O.A., Lyakhova N.P., Pikalova L.V. Zabolevaemost' rakom legkogo v razlichnyh gorodah mira (obzor) [Lung Cancer Incidence in Various Cities Around the World (Review)] // Voprosy Onkologii. 2020. No. 66 (3). P. 239–246.

Zhuikova L.D., Choynzonov E.L., Ananina O.A., Pikalova L.V., Kononova G.A. Rasprostranyonnost onkologicheskikh zabolevanij sredi naseleniya regiona Sibiri i Dal'nego Vostoka [The prevalence of oncological diseases among the population of Siberia and the Far East] // Zdravoohranenie Rossijskoj Federacii [Healthcare of the Russian Federation]. 2023. Vol. 67, no. 1. P. 64–71. (in Russian). doi: 10.47470/0044-197X-2023-67-1-64-71

Zhuikova L.D., Polishchuk T.V., Kononova G.A., Ananina O.A., Pikalova L.V., Miller S.V. Vliyanie COVID-19 na epidemiologiyu raka legkogo v Tomskoj oblasti [The impact of COVID-19 on lung cancer epidemiology in the Tomsk region] // Voprosy onkologii. 2023. Vol. 69, no. 4. P. 648–655. (in Russian).

Zhuikova L.D., Choynzonov E.L., Ananina O.A., Kononova G.A., Kondrashina Yu.D., Pikalova L.V., Luneva E.E., Zhuikova A.S. Kartograficheskij analiz zabolevaemosti zlokachestvennymi novoobrazovaniyami naseleniya regiona Sibiri i Dal'nego Vostoka v 1993–2022 gg. [Cartographic analysis of the incidence of malignant neoplasms in the population of Siberia and the Far East in 1993–2022] // Voprosy onkologii. 2024. Vol. 70, no. 3. P. 481–492. (in Russian). doi: 10.37469/0507-3758-2024-70-3-481-492

Zhuikova L.D., Polishchuk T.V., Ananina O.A., Kondrashina Yu.D., Kononova G.A., Miller S.V., Pikalova L.V. Epidemiologiya raka legkogo v Sibirskom Federal'nom okruge: Retrospektivnoe nablyudatel'noe issledovanie [Epidemiology of Lung Cancer in the Siberian Federal District: A Retrospective Observational Study] // Kuban Scientific Medical Bulletin. 2024. Vol. 31, no. 6. P. 72–85.

Kovrigin A.O., Lubennikov V.A., Vikhlyanov I.V., Lazarev A.F. Izuchenie osobennostej geograficheskogo rasprostraneniya zlokachestvennyh novoobrazovanij legkogo u naseleniya municipal'nyh rajonov Altajskogo kraja [Study of the Geographical Distribution of Lung Cancer in the Population of Municipal Districts of the Altai Territory] // Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society. 2025. No. 2 (77). P. 83–98. (in Russian). doi: 10.24412/2410-1192-2025-17705

Kovrigin A.O., Lazarev A.F., Vikhlyanov I.V., Lubennikov V.A. Territorial'nyj analiz zabolevaemosti zlokachestvennymi novoobrazovaniyami bronhov i legkogo naseleniya Altajskogo kraja [Territorial Analysis of Bronchial and Pulmonary Cancer Incidence in the Altai Territory] // Bulletin of the Altai Branch of the Russian Geographical Society. 2024. No. 2(73). P. 65–76. (in Russian). doi: 10.24412/2410-1192-2024-17305

Narkevich A.N., Vinogradov K.A. Metody opredeleniya minimal'no neobhodimogo ob'ema vyborki v medicinskih issledovaniyah [Methods for determining the minimum required sample size in medical research] // Social'nye aspekty zdorov'ya naseleniya [Social aspects of population health]. 2019. Vol. 65, no. 6. P. 10. (in Russian). doi: 10.21045/2071-5021-2019-65-6-10

Otdelnova K.A. Opredelenie neobhodimogo chisla nablyudenij v social'no-gigienicheskikh issledovaniyah [Determination of the required number of observations in social and hygienic studies] // Sb. trudov 2-go MMI [Collection of works of the 2nd MMI]. 1980. Vol. 150, no. 6. P. 18–22. (in Russian).

Harakteristika i metody rascheta statisticheskikh pokazatelej, primenyaemyh v onkologii: prakt. posobie [Characteristics and methods of calculating statistical indicators used in oncology: practical manual]. M.: MNIOI, 2005. 43 p. (in Russian).

Chernyshev V.M., Voevoda M.I., Strelchenko O.V., Shalygina L.S., Mingazov I.F. On the Health Status of the Population and Healthcare in the Siberian Federal District during the Pandemic (Some Results of 2020) // Siberian Scientific Medical Journal. 2021. No.41 (6). P. 101–109. doi: 10.18699/SSMJ20210612

Choyazonov E.L., Zhuikova L.D., Ananina O.A., Odintsova I.N., Valkov M.Yu., Pikalova L.V. Epidemiologiya zlokachestvennykh novoobrazovanij v administrativnykh centrakh Sibirskogo federal'nogo okruga [Epidemiology of malignant neoplasms in the administrative centers of the Siberian Federal District] // Ekologiya cheloveka [Human ecology]. 2020. No. 11. P. 53–9. (in Russian). doi: 10.33396/1728-0869-2020-11-53-59

Breslow N.E., Day N.E. Statistical Methods in Cancer Research. Volume II – The design and analysis of cohort studies. Lyon: IARC Scientific Publications (82), 1987. 415 p.

Cancer Today / Estimated number of new cases in 2020, World, both sexes, all ages (excl. NMSC). URL: https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-table?v=2020&mode=cancer&mode_population=continents&population=900&populations=900&key=asr&sex=0&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=17&group_cancer=1&include_nmssc=0&include_nmssc_other=1 (accessed: 08.01.2026).

Sung H., Ferlay J., Siegel R.L., Laversanne M., Soerjomataram I., Jemal A., Bray F. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries // CA Cancer J Clin. 2021. Vol. 71, no. 3. P. 209–249. doi: 10.3322/caac.21660

FEATURES OF THE GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION OF MALIGNANT LUNG NEOPLASMS IN THE POPULATION OF THE SIBERIAN FEDERAL DISTRICT

A.O. Kovrigin¹, I.V. Vikhlyanov², V.A. Lubennikov², G.G. Gubina¹, A.F. Lazarev³

¹*Institute for Water and Environmental Problems of SB RAS, Barnaul,*

²*Regional State Budgetary Healthcare Institution «Altai Regional Oncologic Dispensary», Barnaul,*

³*Altai State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Barnaul,*

E-mail: anton-kovrigin@yandex.ru

A cartographic analysis of the incidence of malignant neoplasms of the trachea, bronchi, and lungs in the population of the Siberian Federal District (SFD) of the Russian Federation by gender was conducted. The purpose of the study is to examine the territorial features of the geographical distribution of malignant neoplasms of the trachea, bronchi, and lungs in the population of the SFD for the period from 2011 to 2020 using GIS technologies. The oncoepidemiological analytical study is based on the study of statistical retrospective and current medical data on malignant neoplasms (MN) of the trachea, bronchi, and lungs in the population of the Siberian Federal District. The maps show the ranking of the Siberian Federal District by the intensive indicators of the population's morbidity from MN of the trachea, bronchi, and lungs by gender. High incidence of tracheal, bronchial, and lung cancer in the population of the Siberian Federal District: both sexes in the Republic of Khakassia, Altai Territory, Irkutsk Region, and Omsk Region; in men in the Altai Territory, Republic of Khakassia, and Omsk Region; in women in the Irkutsk Region, Omsk Region, Kemerovo Region, Novosibirsk Region, and Krasnoyarsk Territory. Low incidence of lung cancer in the Republics of Tyva and Altai.

Keywords: malignant neoplasms of the trachea, bronchi, and lungs; incidence; population by gender; subjects of the Siberian Federal District.

Received: February 9, 2026. Accepted: April 6, 2026

Сведения об авторах

Ковригин Антон Олегович – соискатель ученой степени кандидата медицинских наук, заведующий медико-экологическим сектором лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID 0000-0002-0214-0192. E-mail: anton-kovrigin@yandex.ru.

Вихлянов Игорь Владиславович – доктор медицинских наук, главный врач Краевого государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Алтайский краевой онкологический диспансер». Россия, 656049, Барнаул, ул. Никитина, 77. ORCID: 0000-0003-3290-7187. E-mail: akod@akod22.ru.

Лубенников Владимир Алексеевич – кандидат медицинских наук, заместитель главного врача Краевого государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Алтай-

ский краевой онкологический диспансер». Россия, 656049, Барнаул, ул. Никитина, 77. ORCID: 0000-0002-0407-5435. E-mail: vladimir-lubennikov@mail.ru.

Губина Галина Геннадьевна – ведущий инженер медико-экологического сектора лаборатории биогеохимии Института водных и экологических проблем СО РАН. Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, д. 1. ORCID 0009-0004-4304-4019. E-mail: galina-gubina2008@yandex.ru.

Лазарев Александр Федорович – доктор медицинских наук, профессор кафедры онкологии, лучевой терапии и лучевой диагностики с курсом ДПО Алтайского государственного медицинского университета Минздрава России. Россия, 656038, Барнаул, пр. Ленина, 40. ORCID: 0000-0003-1080-5294. E-mail: lazarev@akzs.ru.

Information about the authors

Kovrigin Anton O. – A competitor for PhD, Head of Medical-Environmental Sector at the Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-0214-0192. E-mail: anton-kovrigin@yandex.ru.

Vikhlyanov Igor V. – Dr of Medical Sciences, Chief Physician of the Regional State Budgetary Healthcare Institution «Altai Regional Oncologic Dispensary». 77, Nikitin St., 656049 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-3290-7187. E-mail: akod@akod22.ru.

Lubennikov Vladimir A. – PhD in Medical Sciences, Head of the surgical department of the dispensary, Deputy Chief Physician of the Regional State Budgetary Healthcare Institution «Altai Regional Oncologic Dispensary». 77, Nikitin St., 656049 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0002-0407-5435. E-mail: vladimir-lubennikov@mail.ru.

Gubina Galina G. – Lead Engineer of Medical-Environmental Sector at the Laboratory of Biogeochemistry of the Institute for Water and Environmental Problems of SB RAS. 1, Molodezhnaya St., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0009-0004-4304-4019. E-mail: galina-gubina2008@yandex.ru.

Lazarev Alexander F. – Dr of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Oncology, Radiation Therapy and Radiation Diagnostics, Lecturer of additional professional education course at the Institute of Clinical Medicine of the Altai State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation. 40, Lenin Av., 656038 Barnaul, Russia. ORCID: 0000-0003-1080-5294. E-mail: lazarev@akzs.ru.

Журнал
Известия Алтайского отделения
Русского географического общества

№ 2 (81) 2026

Регистрационный номер СМИ от 31.08.2021

ПИ № ТУ22-00790

Зарегистрирован Управлением Федеральной службы по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
по Алтайскому краю и Республике Алтай

Подписано в печать 26.06.2026. Дата выхода в свет 30.06.2026.

Формат 60x84 1/8. Печать – цифровая. П.л. 11.25

Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Пять плюс»
656049, Алтайский край, г. Барнаул, ул. Крупской, 97,
Тел.: +7(385-2) 62-32-07,
e-mail: fiveplus07@mail.ru
www.five-plus.ru

Цена свободная

Возрастная категория – 12+