

DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-4-361-395

УДК 631.417:502.521-044.3(571.13)

Н.Н. Жаркова, В.А. Игумина

Омский государственный аграрный университет
имени П.А. Столыпина,
644008 г. Омск, Российская Федерация

Эколого-геохимическая оценка состояния почв разных функциональных зон г. Омска по содержанию тяжелых металлов

В последние годы загрязнение почв крупных промышленных городов тяжелыми металлами стало важной экологической проблемой. Город Омск является крупным промышленным центром Сибири. При этом комплексные исследования состояния почвенного покрова Омска по содержанию тяжелых металлов в поверхностном слое почв разных функциональных зон (промышленная, транспортная, селитебная, рекреационная) не проводились. Цель исследования – оценка эколого-геохимического состояния почв разных функциональных зон Омска по содержанию тяжелых металлов. В отобранных образцах почв изучали содержание 5 тяжелых металлов: цинк, медь, свинец, кадмий, мышьяк. Определение Zn, Cu, Cd и Pb проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной атомизацией, As определяли фотометрическим методом. В ходе проведенных исследований установлено, что в поверхностном горизонте почв Омска приоритетными поллютантами выступают цинк и свинец. По суммарному показателю загрязнения почвенный покров города характеризуется

высоким уровнем загрязнения. В транспортной зоне 57,1% почв имеют опасный и чрезвычайно опасный уровень, 14,3% – умеренно-опасный и 28,6% – допустимый; в промышленной зоне – опасный и чрезвычайно опасный уровень загрязненности отмечен на 92,3% обследованных почв. На основе показателя индекса загрязненности почв выделены отдельные загрязненные участки, нуждающиеся в проведении ремедиации. Они преимущественно расположены в импактных зонах предприятий и вблизи крупных транспортных автомагистралей. В селитебной и рекреационной зонах г. Омска складывается более или менее благоприятная ситуация по содержанию тяжелых металлов.

Ключевые слова: городские почвы, тяжелые металлы, уровень загрязнения почв, город Омск

ССЫЛКА НА СТАТЬЮ: Жаркова Н.Н., В.А. Игумина В.А. Эколого-геохимическая оценка состояния почв разных функциональных зон г. Омска по содержанию тяжелых металлов // Социально-экологические технологии. 2025. Т. 15. № 4. С. 361–395. DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-4-361-395

Original research

DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-4-361-395

N.N. Zharkova, V.A. Iguminova

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin,
Omsk, 644008, Russian Federation

Ecological and geochemical assessment of soils of various functional zones of Omsk in the content of heavy metals

In recent years, soil pollution of large industrial cities with heavy metals has become an important environmental problem. The city of Omsk is a large industrial center of Siberia. At the same time, comprehensive studies of the state of the soil cover of the city of Omsk for the content of heavy metals in the surface layer of soils of various functional zones (industrial,

transport, nitrate, and recreational) were not carried out. The purpose of the study is to assess the environmental and geochemical state of soils of various functional zones of Omsk in the content of heavy metals. In the selected soil samples, the content of 5 heavy metals was studied: zinc, copper, lead, cadmium, and arsenic. The definition of Zn, Cu, Cd, and Pb was carried out by atomic-absorptiometric spectrometry with fiery atomization. As was determined by the photometric method. In the course of the studies, it was found that in the surface horizon of soils of Omsk, zinc and lead are priority pollutants. According to the total indicator of pollution, the soil cover of Omsk is characterized by a high level of pollution. In the transport zone, 57.1% of the soils have a dangerous and extremely dangerous level, 14.3% – moderately hazardous and 28.6% – permissible. In the industrial zone, a dangerous and extremely dangerous level of pollution was noted by 92.3% of the soil surveyed. Based on the IPS indicator, separate polluted areas requiring remediation were identified. They are mainly located in the impact zones of enterprises and near large transport motorways. In the residential and recreational zones of Omsk, a more or less favorable situation in the content of heavy metals is developing.

Key words: city soils, heavy metals, soil pollution, the city of Omsk

CITATION: Zharkova N.N., Iguminova V.A. Ecological and geochemical assessment of soils of various functional zones of Omsk in the content of heavy metals. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2025. Vol. 15. No. 4. Pp. 361–395. DOI: 10.31862/2500-2961-2025-15-3-361-395

Введение

В последние годы загрязнение почв крупных промышленных городов тяжелыми металлами стало важной экологической проблемой [Содержание тяжелых металлов..., 2020; Геоэкологическая оценка..., 2021]. Это связано с высокой антропогенной нагрузкой, которую оказывают на почвы промышленные предприятия, автомобильный транспорт, тепловые электростанции и т.д.

Тяжелые металлы относятся к группе приоритетных неорганических загрязняющих веществ [Davydova, 2005; Sharma, Singh, 2015]. Важной особенностью этих элементов является их способность к накоплению в тканях и, как следствие, органах человека. Все это приводит к нарушению физиологических функций, провоцирует всевозможные аспираторные, онкологические и генетические заболевания. Проблема присутствия тяжелых металлов в почвах осложняется

их способностью к аккумуляции и миграции. Известно, что содержание тяжелых металлов в городских почвах часто зависит не только от расстояния до источника негативного воздействия, но и от факторов, влияющих на процесс почвообразования: рельеф местности, гранулометрический состав почв, растительные и микробные сообщества [Сорокин, Савич, Мосина, 2020].

Омск является крупным промышленным, культурным и научным центром Сибири. Это третий по численности населения город в Сибирском федеральном округе, после Новосибирска и Красноярска, и 13 в Российской Федерации. По данным Омскстата, по состоянию на 1 января 2025 г. в Омске проживает 1 336 612 человек¹. Основу промышленности в городе составляют нефтепереработка, нефтехимия, машиностроение (аэрокосмическое, танковое, сельскохозяйственное).

Комплексные исследования состояния почвенного покрова по содержанию тяжелых металлов в разных функциональных зонах Омска не проводились. Имеющиеся немногочисленные исследования в основном охватывают какие-то отдельные районы города и имеют небольшую выборку (2–3 точки) [Самарская, 2019; Кислицына, Шерстобитов, 2020] либо импактные зоны промышленных предприятий [Скрипко, Мальгина, 2019].

В связи с этим исследования, направленные на определение степени загрязнения тяжелыми металлами поверхностного слоя почв разных функциональных зон Омска и выделение районов повышенного риска для здоровья человека, являются весьма актуальными и приобретают все большую значимость в рамках мероприятий, направленных на охрану окружающей среды.

Цель исследования – оценка эколого-геохимического состояния почв разных функциональных зон г. Омска по содержанию тяжелых металлов.

Задачи исследования:

- 1) оценить содержание тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, As) в почвах разных функциональных зон (промышленная, транспортная, селитебная, рекреационная) г. Омска;
- 2) определить степень загрязнения почвенного покрова г. Омска тяжелыми металлами;
- 3) определить приоритетные загрязнители почв г. Омска.

¹ Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Омской области. URL: https://55.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/ind-naselenie_01.01.2025.htm (дата обращения: 06.10.2025).

Материалы и методы

Объектом исследования были поверхностные горизонты антропогенно-преобразованных почв Омска. Отбор почвенных образцов проводился в июне 2024 г. в границах г. Омска в пяти административных округах: Кировском (КАО), Ленинском (ЛАО), Октябрьском (ОАО), Центральном (ЦАО) и Советском (САО). Фоновую пробу отбирали в пос. Дачный в 35 км от города.

Город Омск с учетом вида использования территории был разделен на 4 функциональные зоны: промышленная, транспортная, рекреационная и селитебная, в каждой из которой был проведен отбор почвенных образцов. Территории крупных производственных объектов рассматривались в составе промышленной зоны. Транспортная зона включала участки, прилегающие к дорогам с интенсивным движением транспорта. Скверы и парки города, являющиеся объектами отдыха и туризма, были отнесены к рекреационной зоне. В качестве селитебной зоны была выбрана жилая многоэтажная застройка.

На территории Омска с учетом функционального зонирования было выделено 47 участков опробования. Места отбора почвенных проб представлены на рис. 1. На каждом участке опробования с помощью почвенного бура методом «конверта» отбирали смешанную пробу поверхностного слоя почвы с глубины 0–10 см весом около 1,0–1,5 кг. Всего было отобрано и проанализировано вместе с фоновой пробой 48 почвенных образцов.

Пробоотбор для контроля загрязнения почв и оценки их качественного состояния естественного и нарушенного сложения проводился согласно требованиям, представленным в ГОСТ 17.4.4.02–2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа». Пробоподготовку полученных почвенных образцов осуществляли согласно ГОСТ ISO 11464–2015 «Качество почвы. Предварительная подготовка проб для физико-химического анализа».

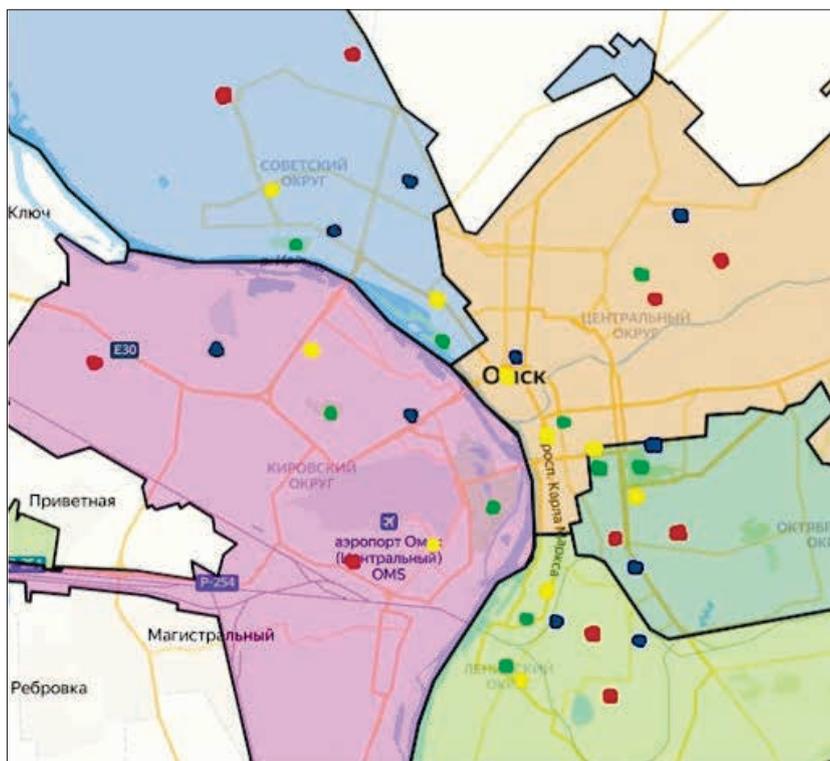
Лабораторные анализы осуществляли в Омском филиале ФГБУ «Агрохимическая служба России». В каждой почвенной пробе проводили количественное определение содержания тяжелых металлов разных классов опасности: Zn, Cu, Pb, Cd и As.

Определение в почве Zn, Cu, Cd и Pb проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной атомизацией с использованием атомно-абсорбционного спектрофотометра «Квант-2мт»².

² Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. М., 1993.

Мышьяк определяли фотометрическим методом на спектрофотометре UNICO 2100³.

Оценку опасности загрязнения почв проводили с использованием установленных в России санитарно-гигиенических нормативов – предельно допустимой концентрации (ПДК)⁴.



Функциональные зоны отбора проб почвы [Functional zones of soil sampling]:

- Промышленная [Industrial]
- Рекреационная [Recreational]
- Транспортная [Transport]
- Селитебная [Residential]

Рис. 1. Карта-схема мест отбора почвенных образцов на территории г. Омска
Fig. 1. The map-scheme of places of selection of soil samples on the territory of Omsk

³ Методические указания по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом. М., 1993.

⁴ СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., 2021. № 62296.

Оценку экологической опасности загрязнения поверхностного слоя почв отдельными тяжелыми металлами проводили путем расчета коэффициента опасности⁵:

$$K_{\text{опасности}} = C_i / C_{\text{ПДК}}, \quad (1)$$

где C_i – содержание тяжелых металлов в поверхностном слое почвы, мг/кг; $C_{\text{ПДК}}$ – санитарно-гигиенический норматив для конкретного тяжелого металла (см. табл. 1).

Опасность тем выше, чем больше фактическое содержание превышает ПДК.

Оценку загрязнения поверхностного слоя почв конкретным тяжелым металлом проводили, используя индекс геоаккумуляции (I_{geo}) [Müller, 1969; Nowrouzi, Pourkhabbaz, 2014; Авдощенко, Климова, 2022]:

$$I_{\text{geo}} = \log_2 (C_i / 1,5C_{\text{ф}}) \quad (2)$$

где C_i – содержание тяжелых металлов в почвенной пробе; $C_{\text{ф}}$ – фоновое содержание тяжелых металлов.

В зависимости от значения I_{geo} почвы подразделяются: $I_{\text{geo}} < 0$ – незагрязненные почвы; $0 < I_{\text{geo}} < 1$ – слабая степень загрязнения; $1 < I_{\text{geo}} < 2$ – умеренная степень загрязнения; $2 < I_{\text{geo}} < 3$ – достаточно сильная степень загрязнения; $3 < I_{\text{geo}} < 4$ – сильная степень загрязнения; $4 < I_{\text{geo}} < 5$ – очень сильная степень загрязнения, $5 < I_{\text{geo}}$ – чрезвычайно сильная степень загрязнения [Авдощенко, Климова, 2022, с. 68].

Для выделения тяжелого металла, представляющего наибольшую угрозу для почвенного покрова, вычисляли индекс загрязнения (PI) [Kowalska et al., 2018; Авдощенко, Климова, 2022]:

$$PI = (C_i / C_{\text{ф}}) \quad (3)$$

При значении $PI < 1$ – загрязнение почв отсутствует; $1 < PI < 2$ – слабая степень загрязнения; $2 < PI < 3$ – средняя степень загрязнения; $3 < PI < 5$ – сильная степень загрязнения; $PI > 5$ – очень сильная степень загрязнения [Авдощенко, Климова, 2022, с. 68].

Для интегральной оценки уровня загрязнения почвенного покрова одновременно несколькими тяжелыми металлами использовали суммарный показатель загрязнения почв (Z_c)⁶:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1), \quad (4)$$

⁵ Методические указания 2.1.7.730–99. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы. Санитарная охрана почв. М., 1999.

⁶ Там же.

где n – количество определяемых элементов в почвенном покрове; K_c – коэффициент концентрации загрязняющих веществ, рассчитывается делением концентрации загрязняющего вещества в почвенном покрове на фоновое содержание этого элемента.

В зависимости от значения суммарного показателя загрязнения почв устанавливаются следующие уровни загрязнения: $Z_c < 16$ – допустимый, $Z_c < 16-32$ – умеренно-опасный, $Z_c < 32-128$ – опасный, $Z_c > 128$ – чрезвычайно опасный⁷.

Комплексная оценка опасности загрязнения почв проводилась с помощью индекса загрязнения почв (ИЗП) [Богданов, 2012; Константинова, 2020]:

$$\text{ИЗП} = \sum K_o / n, \quad (5)$$

где K_o – коэффициент опасности; n – количество анализируемых компонентов. В зависимости от значения индекса загрязнения почвы подразделяются на чистые ($<0,75$), проблемные ($0,75-1,0$) и загрязненные, нуждающиеся в проведении ремедиации ($>1,0$) [Богданов, 2012; Константинова, 2020].

Результаты

Содержание тяжелых металлов в поверхностном горизонте почв Омска значительно варьирует даже в пределах одной зоны (табл. 1), что указывает на разнообразие антропогенных источников их поступления.

На рис. 2 представлено содержание подвижных форм Zn, Cu, Pb, Cd в каждой точке сбора проб.

Концентрация цинка в поверхностном слое почвы всех исследуемых участков г. Омска была выше фонового уровня – 0,3 мг/кг (п. Дальний). Превышения ПДК (23 мг/кг) были зафиксированы в трех точках промышленной зоны: АО «Омсктрансаш» (№ 17), ПО «Полет» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» (№ 19), ПАО «Омкшина» (№ 23) и четырех точках транспортной зоны: Транссибирская ул., д. 2 (№ 2), ул. Лобкова (№ 3), ул. Сухой Пролет (№ 4), Пересечение ул. Масленникова и ул. Куйбышева (№ 6). Максимальная концентрация цинка (36,3 мг/кг) установлена в импактной зоне возле предприятия АО «Омсктрансаш».

⁷ СанПиН 2.1.7.1287–03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы и грунтов. М., 2003. № 4500.

**Содержание тяжелых металлов
в поверхностном горизонте почв г. Омска (n = 48)
[Heavy metal content in the surface horizon of Omsk soils (n = 48)]**

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	Содержание тяжелых металлов в почвах, мг/кг* [Content of heavy metals in soils, mg/kg*]				
		Pb	Cd	Cu	Zn	As
	Фоновая проба (поселок Дачный) [Background test (Dachny village)]	0,5	0,02	0,1	0,3	5,3
<i>Транспортная зона [Transport area]</i>						
1	Пересечение ул. Комарова и ул. Лукашевича [The intersection of Komarov St. and Lukashevich St.]	3,2	0,04	1,5	4,3	9,8
2	Транссибирская ул., 2 [2, Transsibirskaya St.]	18,3	0,16	1,5	24,8	13,6
3	ул. Лобкова (Дворец культуры им. Красной Гвардии) [Lobkov St. (The Red Guard Palace of Culture)]	16,5	0,12	1,5	30,5	7,9
4	Ул. Сухой Пролет [Sukhoi Prolet St.]	5,0	0,14	1,3	23,8	5,8
5	Пересечение ул. Богдана Хмельницкого и ул. Лизы Чайкиной [Intersection of Bogdan Khmelnitsky St. and Lisa Chaikina St.]	17,3	0,12	1,7	23,0	11,1
6	Пересечение ул. Масленникова и ул. Куйбышева [The intersection of Maslennikov St. and Kuibyshev St.]	16,5	0,13	0,8	27,8	6,0
7	Пересечение ул. Нефтезаводская и ул. 22 Апреля [The intersection of Neftezavodskaya St. and 22 April St.]	1,5	0,10	0,2	2,3	4,2
8	Пересечение ул. Березовая и ул. Красный Путь [Intersection of Berезovaya St. and Krasny Put St.]	1,7	0,04	0,2	3,5	8,1
9	Пересечение ул. Красный Путь и ул. Интернациональная [The intersection of Krasny Put St. and Internatsionalnaya St.]	1,3	0,04	0,1	1,6	8,8
10	Проспект Карла Маркса [Karl Marx Avenue]	3,3	0,09	0,5	11,3	5,5

Продолжение табл. 1

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	Содержание тяжелых металлов в почвах, мг/кг* [Content of heavy metals in soils, mg/kg*]				
		Pb	Cd	Cu	Zn	As
11	Ул. 21-я Амурская [21st Amurskaya St.]	2,8	0,06	0,6	11,0	8,6
12	Ул. Бульварная [Bulvarnaya St.]	1,7	0,06	0,2	0,8	8,1
13	Бульвар Архитекторов [Boulevard Arhitektorov]	1,9	0,08	0,2	6,1	8,1
14	Ул. Конева [Konev St.]	2,0	0,06	0,2	7,0	8,7
<i>Промышленная зона [Industrial area]</i>						
15	Ул. И.Н. Багнюка, 2 (ОАО «САН ИнБев») [2, I.N. Bagnyuk St. (SAN InBev, JSC)]	1,6	0,05	0,2	2,3	10,9
16	Ул. Ключевая, 37/3 (ООО «Сибирский завод металлоизделий») [37/3, Klyuchevaya St. (Siberian Metal Products Plant, LLC)]	4,4	0,12	0,5	9,0	8,4
17	Ул. Красный Переулок, 2 (АО «Омсктрансмаш») [2, Krasny Pereulok St. (Omsktransmash, JSC)]	15,5	0,19	1,2	36,3	4,7
18	Ул. Гуртьева, 18 (АО ОНИИП) [18, Gurtieva St. (ONIIP, JSC)]	2,2	0,13	0,3	8,8	8,2
19	Ул. Богдана Хмельницкого, 226 (ПО «Полет» – филиал ГКНПЦ им. М.В. Хруничева) [226, Bogdan Khmelnitsky St. (Polet Production Association – branch of the Khrunichev State Scientific and Technical University)]	16,8	0,19	1,8	23,8	12,7
20	Ул. Бударкина, 2 (АО «Омкшшина») [2, Buderkin St. (Omskshina, JSC)]	2,8	0,10	0,3	25,0	5,9
21	Ул. Нефтезаводская (АО «Газпромнефть-ОНПЗ») [Neftezavodskaya St. (Gazpromneft-ONPZ, JSC)]	2,4	0,12	0,4	7,3	6,6
22	Проспект Губкина (АО «Омский каучук») [Gubkin Avenue (Omsk Rubber, JSC)]	2,1	0,07	0,3	9,3	8,9
23	Ул. 4-я Челюскинцев, 4/2 (НПО «МИР») [4/2, 4th Chelyuskintsev St. (NPO MIR)]	18,5	0,22	4,0	23,0	10,9

Продолжение табл. 1

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	Содержание тяжелых металлов в почвах, мг/кг* [Content of heavy metals in soils, mg/kg*]				
		Pb	Cd	Cu	Zn	As
24	Ул. 22-го Паргсъезда, 51 (Сладонеж) [51, 22-go Partseyezda St. (Sladonezh)]	2,1	0,07	0,2	9,0	7,2
25	Ул. 10 лет Октября, 219/2 (ТЭЦ-5) [219/2, 10 let Oktyabrya St. (CHP-5)]	2,8	0,06	0,6	11,0	8,6
26	Ул. 3-я Автомобильная, 2А/2 (Омскхлебпродукт-стандарт) [2А/2, 3st Avtomobilnaya St., (Omskhhleproduct-standard)]	4,5	0,11	1,1	16,8	5,8
27	Ул. Нефтезаводская, 49/1 (ООО НПО «Октан») [49/1, Neftezavodskaya St. (NPO Oktan, LLC)]	1,2	0,08	0,2	19,0	8,0
<i>Рекреационная зона [Recreational area]</i>						
28	Парк им. 30-летия Победы [30th Anniversary of Victory Park]	1,9	0,06	0,9	3,0	6,2
29	Парк им. 300-летия города Омска [300th Anniversary of the City of Omsk Park]	1,6	0,05	0,1	1,7	7,4
30	Сквер «Красная звезда» [Krasnaya Zvezda Square]	1,6	0,05	0,3	4,8	5,4
31	Сквер «Юбилейный» [Yubileyny Square]	1,2	0,04	0,1	4,3	6,3
32	Парк им. 30 лет ВЛКСМ [30 Years of Komsomol Park]	17,0	0,10	0,4	17,5	8,1
33	Аллея Литераторов [Alley of Writers]	1,9	0,04	0,2	4,5	7,5
34	ПКиО «Зеленый остров» [“Green Island” Park of Culture and Recreation]	2,3	0,06	0,2	7,0	5,5
35	ПКиО «Советский» [“Sovetsky” Park of Culture and Recreation]	1,8	0,07	0,2	7,0	6,9
36	ПКиО «Сад Сибирь» [“The Garden of Siberia” Park of Culture and Recreation]	1,1	0,03	0,1	1,2	8,7
37	Сквер имени Д.М. Карбышева [D.M. Karbyshev Square]	2,9	0,11	0,3	9,3	8,5

Окончание табл. 1

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	Содержание тяжелых металлов в почвах, мг/кг* [Content of heavy metals in soils, mg/kg*]				
		Pb	Cd	Cu	Zn	As
<i>Селитебная зона [Residential area]</i>						
38	Ул. Лисицкого, 5 [5, Lisitsky St.]	1,5	0,04	0,2	2,0	4,2
39	Ул. 70 лет Октября, 20 [20, 70 let Oktyabrya St.]	2,4	0,07	0,3	5,0	7,4
40	Ул. Карело-Финская, 23 [23, Karelo-Finskaya St.]	2,6	0,50	0,2	18,3	7,8
41	Ул. Труда, 1 [1, Truda St.]	1,9	0,04	0,2	4,5	7,6
42	Ул. Кирова, 6 [6, Kirov St.]	1,9	0,05	0,2	6,5	7,8
43	Ул. 20 лет РККА, 61/1 [61/1, 20 let RKKKA St.]	2,5	0,04	0,3	7,5	7,4
44	Ул. Малиновского, 14/2 [14/2, Malinovsky St.]	17,0	0,11	0,5	9,5	9,3
45	Ул. 4-я Поселковая, 34 [34, 4th Poselkovaya St.]	1,9	0,07	0,2	4,8	6,4
46	Ул. Яковлева, 12 [12, Yakovlev St.]	3,3	0,09	0,5	1,4	8,8
47	Ул. Успешная, 3/1 [3/1, Uspeshnaya St.]	1,3	0,08	0,1	1,4	8,2
	ПДК [Maximum permissible concentration]	6,0	0,50	3,0	23,0	10,0

Содержание меди в почве фонового участка было ниже, чем в промышленной и транспортной зонах г. Омска. В рекреационной и селитебной зонах концентрация меди была близка к фоновому уровню (0,1 мг/кг). В рекреационной зоне концентрация меди изменялась от 0,1 до 0,9 мг/кг, в селитебной – 0,1–0,5 мг/кг. Превышение ПДК в 1,33 раза было отмечено только в одной точке возле предприятия НПО «МИР».

Концентрация свинца превышала ПДК во всех функциональных зонах г. Омска. В промышленной зоне превышение зафиксировано в трех точках (АО «Омсктрансмаш»; ПО «Полет» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»; НПО «МИР»), в транспортной зоне – в четырех (Транссибирская ул. 2; ул. Лобкова; Пересечение ул. Богдана Хмельницкого и ул. Лизы Чайкиной; Пересечение ул. Масленникова

и ул. Куйбышева), в селитебной и рекреационной – в одной точке (ул. Малиновского, д. 14, к. 2 и Парк им. 30 лет ВЛКСМ).

Содержание кадмия во всех функциональных зонах было ниже ПДК – 0,50 мг/кг. Только в единственной точке в жилой зоне (ул. Карело-Финская, д. 23) была отмечена наибольшая концентрация кадмия – 0,50 мг/кг. В селитебной и рекреационной зонах концентрация этого вещества изменялась от 0,03 до 0,11 мг/кг (за исключением точки № 40) при фоновом значении 0,02 мг/кг. В промышленной и транспортной зонах содержание кадмия было несколько выше по сравнению с другими зонами и изменялось от 0,04 до 0,22 мг/кг.

Концентрация валового мышьяка в поверхностном слое почв города Омска приведена на рис. 3.

Концентрация мышьяка незначительно превышала ПДК (1,1–1,4 раза) в транспортной и промышленной зонах города. В почвах содержание мышьяка варьировало от 4,2 до 13,6 мг/кг.

Коэффициенты опасности, индексы геоаккумуляции по каждому тяжелому металлу, а также категории загрязнения почв в зависимости от значений I_{geo} приведены в табл. 2.

Опасность загрязнения почв тем или иным тяжелым металлом тем выше, чем больше превышение фактического содержания элемента относительно ПДК. Исходя из значений $K_{опасности}$, наибольшее превышение отмечено по свинцу в транспортной и промышленной зонах – 2,58–3,08 раз. В меньшей степени наблюдалось превышение ПДК по цинку – 1,03–1,58 раз. Единичные превышения были зафиксированы для меди (1,33 раза) и мышьяка (1,09–1,36 раз).

Анализ значений I_{geo} показал, что в отношении свинца и цинка в промышленной и транспортной зонах отмечается очень сильная и чрезвычайно сильная степень загрязнения почвенного покрова. В селитебной и рекреационных зонах степень загрязнения почв цинком характеризуется как сильная. В меньшей степени почвы г. Омска загрязнены мышьяком. В большинстве точек опробования рекреационной и селитебной зон отмечена слабая степень загрязнения для меди и кадмия.

В табл. 3 приведены результаты расчетов индекса загрязнения (PI), суммарного показателя загрязнения (Z_c) и индекса загрязненности почв.

При расчете индекса загрязнения почв сравнение фактического содержания тяжелых металлов проводится с фоновым содержанием элемента. Исходя из полученных значений индекса загрязненности почв, очень сильная степень загрязнения наблюдается во всех зонах по цинку, в транспортной и промышленной зонах – по свинцу, кадмию и меди.

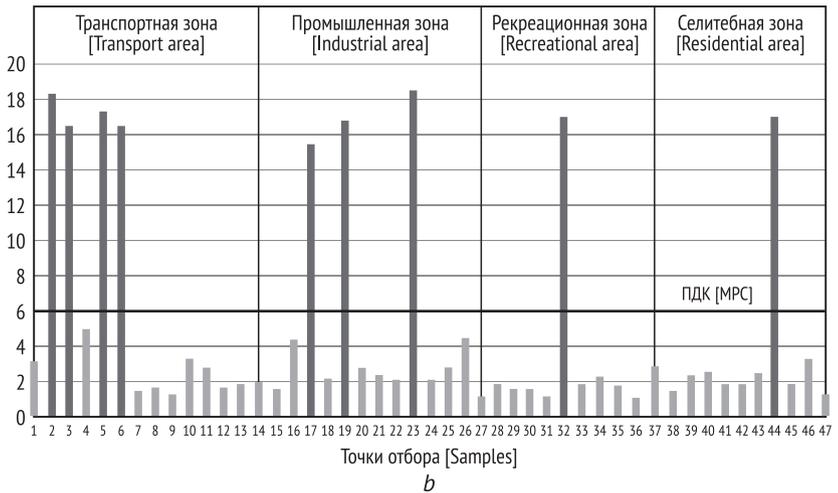
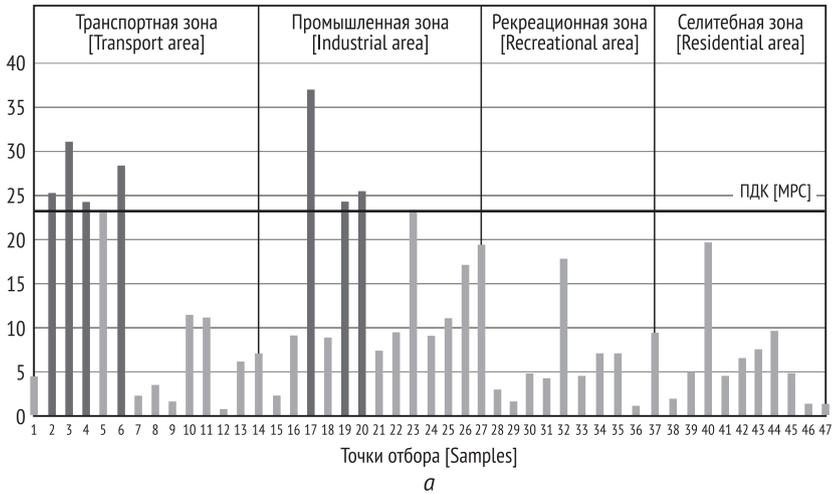


Рис. 2. Содержание подвижных форм тяжелых металлов (мг/кг) в почвах разных функциональных зон г. Омска:

a – Zn; *b* – Pb; *c* – Cu; *d* – Cd

Темным цветом отмечено превышение предельно-допустимой концентрации загрязняющих веществ



Рис. 3. Содержание валового количества мышьяка (мг/кг) в почвах разных функциональных зон г. Омска
Темным цветом отмечено превышение предельно-допустимой концентрации загрязняющего вещества

Fig. 3. The content of gross As (mg/kg) in soils of different functional zones of Omsk
The dark color indicates that the maximum permissible concentration of pollutant has been exceeded

Выполненные расчеты суммарного показателя загрязнения почв показали, что в транспортной и промышленной зоне преобладает умеренно-опасный и опасный уровень загрязнения, в рекреационной и селитебной зоне – допустимый и умеренно-опасные уровни загрязнения почвы. Максимальные значения по цинку (131–171) были зафиксированы вблизи крупных промышленных предприятий и в местах с интенсивным движением транспорта.

Проводя оценку загрязненности почв согласно индекса загрязненности почвы, стоит отметить, что в селитебной и рекреационной зонах большинство точек опробования характеризовались как чистые, за исключением точек по ул. Малиновского, д. 14, корп. 2 (селитебная зона) и парка 300-летия ВЛКСМ (рекреационная зона). В этих местах отмечено превышение ПДК по свинцу (2,8 раз), что, возможно, связано с близостью транспортных линий и парковочных площадок. В промышленной зоне загрязненные почвы, нуждающиеся в проведении ремедиации, были обнаружены вблизи трех предприятий: АО «Омсктрансмаш», ПО «Полет» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», НПО «МИР». В транспортной зоне из 14 точек опробования только 4 имели категорию загрязненная.

Значения коэффициентов опасности и индексов геоаккумуляции
[The values of the hazard coefficients and geo-accumulation indices]

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	K _{опасности} [Hazard ratio]					I _{geo}				
		Pb	Cd	Cu	Zn	As	Pb	Cd	Cu	Zn	As
<i>Транспортная зона [Transport area]</i>											
1	Пересечение ул. Комарова и ул. Лукашевича [The intersection of Komarov St. and Lukashevich St.]	0,53	0,08	0,50	0,19	0,98	2,09 ⁴	0,42 ²	3,32 ⁵	3,26 ⁵	0,30 ²
2	Транссибирская ул., 2 [2, Transsibirskaya St.]	3,05	0,32	0,50	1,08	1,36	4,61 ⁶	2,42 ⁴	3,32 ⁵	5,78 ⁷	0,77 ²
3	Ул. Лобкова (Дворец культуры им. Красной Гвардии) [Lobkov St. (The Red Guard Palace of Culture)]	2,75	0,24	0,50	1,33	0,79	4,46 ⁶	2,00 ³	3,32 ⁵	6,08 ⁷	-0,01 ¹
4	ул. Сухой Пролет [Sukhoi Prolet St.]	0,83	0,28	0,43	1,03	0,58	2,74 ⁴	2,22 ³	3,12 ⁵	5,72 ⁷	-0,45 ¹
5	Пересечение ул. Богдана Хмельниц- кого и ул. Лизы Чайкиной [Intersection of Bogdan Khmelnitsky St. and Lisa Chaikina St.]	2,88	0,24	0,57	1,00	1,11	4,53 ⁶	2,00 ³	3,50 ⁵	5,68 ⁷	0,48 ²
6	Пересечение ул. Масленникова и ул. Куйбышева [The intersection of Maslennikov St. and Kuibyshev St.]	2,75	0,26	0,27	1,21	0,60	1,00 ²	1,74 ³	0,42 ²	2,35 ⁴	-0,92 ¹
7	Пересечение ул. Нефтезаводская и ул. 22 Апреля [The intersection of Neftezavodskaya St. and 22 April St.]	0,25	0,20	0,07	0,10	0,42 ¹	1,18 ³	0,42 ²	0,42 ²	2,96 ⁴	0,03 ²

Продолжение табл. 2

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	К _{опасности} [Hazard ratio]					I _{geo}				
		Pb	Cd	Cu	Zn	As	Pb	Cd	Cu	Zn	As
8	Пересечение ул. Березовая и ул. Красный Путь [Intersection of Berezovaya St. and Krasny Put St.]	0,28	0,08	0,07	0,15	0,81	0,79 ²	0,42 ²	-0,58 ¹	1,83 ³	0,15 ²
9	Пересечение ул. Красный Путь и ул. Интернациональная [The intersection of Krasny Put St. and Internatsionalnaya St.]	0,22	0,08	0,03	0,07	0,88	2,14 ⁴	1,58 ³	1,74 ³	4,65 ⁶	-0,53 ¹
10	Проспект Карла Маркса [Karl Marx Avenue]	0,55	0,18	0,17	0,49	0,55	1,90 ³	1,00 ²	2,00 ³	4,61 ⁶	0,11 ²
11	Ул. 21-я Амурская [21st Amurskaya St.]	0,47	0,12	0,20	0,48	0,86	1,18 ³	1,00 ²	0,42 ²	0,83 ²	0,03 ²
12	Ул. Бульварная [Bulvarnaya St.]	0,28	0,12	0,07	0,03	0,81	1,34 ³	1,42 ³	0,42 ²	3,76 ⁵	0,03 ²
13	Бульвар Архитекторов [Boulevard Arhitektorov]	0,32	0,16	0,07	0,27	0,81	1,42 ³	1,00 ²	0,42 ²	3,96 ⁵	0,13 ²
14	Ул. Конева [Konev St.]	0,33	0,12	0,07	0,30	0,87	1,00 ²	1,74 ³	0,42 ²	2,35 ⁴	-0,92 ¹
<i>Промышленная зона [Industrial area]</i>											
15	Ул. И.Н. Багнюка, 2 (ОАО «САН ИнБев») [2, I.N. Bagnyuk St. (SAN InBev, JSC)]	0,27	0,10	0,07	0,10	1,09	1,09 ³	0,74 ²	0,42 ²	2,35 ⁴	0,46 ²

16	Ул. Ключевая, 37/3 (ООО «Сибирский завод металлоизделий») [37/3, Klyuchevaya St. (Siberian Metal Products Plant, LLC)]	0,73	0,24	0,17	0,39	0,84	2,55 ⁴	2,00 ³	1,74 ³	4,32 ⁶	0,08 ²
17	Ул. Красный Переулок, 2 (АО «Омсктрансмаш») [2, Krasny Pereulok St. (Omsktransmash, JSC)]	2,58	0,38	0,40	1,58	0,47	4,37 ⁶	2,66 ⁴	3,00 ⁴	6,33 ⁷	-0,76 ¹
18	Ул. Гуртьева, 18 (АО «ОНИИП») [18, Gurtiev St. (ONIP, JSC)]	0,37	0,26	0,10	0,38	0,82	1,55 ³	2,12 ⁴	1,00 ²	4,29 ⁶	0,04 ²
19	Ул. Богдана Хмельницкого, 226 (ПО «Полет» – филиал ГКНПЦ им. М.В. Хруничева) [226, Bogdan Khmelnitsky St. (Polet Production Association – branch of the Khrunichev State Scientific and Technical University)]	2,80	0,38	0,60	1,03	1,27	4,49 ⁶	2,66 ⁴	3,58 ⁵	5,72 ⁷	0,68 ²
20	Ул. Бударкина, 2 (АО «Омкшина») [2, Buderkin St. (Omskshina, JSC)]	0,47	0,20	0,10	1,09	0,59	1,90 ³	1,74 ³	1,00 ²	5,80 ⁷	-0,43 ¹
21	Ул. Нефтезаводская (АО «Газпромнефть-ОНПЗ») [Neftezavodskaya St. (Gazpromneft-ONPZ, JSC)]	0,40	0,24	0,13	0,32	0,66	1,68 ³	2,00 ³	1,42 ³	4,02 ⁶	-0,27 ¹
22	Проспект Губкина (АО «Омский каучук») [Gubkin Avenue (Omsk Rubber, JSC)]	0,35	0,14	0,10	0,40	0,89	1,49 ³	1,22 ³	1,00 ²	4,37 ⁶	0,16 ²

Продолжение табл. 2

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	K _{опасности} [Hazard ratio]					I _{geo}				
		Pb	Cd	Cu	Zn	As	Pb	Cd	Cu	Zn	As
23	Ул. 4-я Челюскинцев, 4/2 (НПО «МИР») [4/2, 4th Chelyuskintsev St. (NPO MIR)]	3,08	0,44	1,33	1,00	1,09	4,62 ⁶	2,87 ⁴	4,74 ⁶	5,68 ⁷	0,46 ²
24	Ул. 22-го Партсъезда, 51 (Сладонез) [51, 22-go Partsyezda St. (Sladonezh)]	0,35	0,14	0,07	0,39	0,72	1,49 ³	1,22 ³	0,42 ²	4,32 ⁶	-0,14 ¹
25	Ул. 10 лет Октября, 219/2 (ТЭЦ-5) [219/2, 10 let Oktyabrya St. (CHP-5)]	0,47	0,12	0,20	0,48	0,86	1,90 ³	1,00 ²	2,00 ³	4,61 ⁶	0,11 ²
26	Ул. 3-я Автомобильная, 2А/2 (Омскхлебпродукт-стандарт) [2А/2, 3st Avtomobilnaya St., (Omskxlebleproduct-standard)]	0,75	0,22	0,37	0,73	0,58	2,58 ⁴	1,87 ³	2,87 ⁴	5,22 ⁷	-0,45 ¹
27	Ул. Нефтезаводская, 49/1 (ООО НПО «Октан») [49/1, Neftezavodskaya St. (NPO Oktan, LLC)]	0,20	0,16	0,07	0,83	0,80	0,68 ²	1,42 ³	0,42 ²	5,40 ⁷	0,01 ²
<i>Рекреационная зона [Recreational area]</i>											
28	Парк им. 30-летия Победы [30th Anniversary of Victory Park]	0,32	0,12	0,30	0,13	0,62	1,34 ³	1,00 ²	2,58 ⁴	2,74 ⁴	-0,36 ¹
29	Парк им. 300-летия города Омска [300th Anniversary of the City of Omsk Park]	0,27	0,10	0,03	0,07	0,74	1,09 ³	0,74 ²	-0,58 ¹	1,92 ³	-0,10 ¹

30	Сквер «Красная звезда» [Krasnaya Zvezda Square]	0,27	0,10	0,10	0,21	0,54	1,09 ³	0,74 ²	1,00 ²	3,42 ⁵	-0,56 ¹
31	Сквер «Юбилейный» [Yubileyny Square]	0,20	0,08	0,03	0,19	0,63	0,68 ²	0,42 ²	-0,58 ¹	3,26 ⁵	-0,34 ¹
32	Парк им. 30 лет ВЛКСМ [30 Years of Komsomol Park]	2,83	0,20	0,13	0,76	0,81	4,50 ⁶	1,74 ³	1,42 ³	5,28 ⁷	0,03 ²
33	Аллея Литераторов [Alley of Writers]	0,32	0,08	0,07	0,20	0,75	1,34 ³	0,42 ²	0,42 ²	3,32 ⁵	-0,08 ¹
34	ПКиО «Зеленый остров» [“Green Island” Park of Culture and Recreation]	0,38	0,12	0,07	0,30	0,55	1,62 ³	1,00 ²	0,42 ²	3,96 ⁵	-0,53 ¹
35	ПКиО «Советский» [“Sovetsky” Park of Culture and Recreation]	0,30	0,14	0,07	0,30	0,69	1,26 ³	1,22 ³	0,42 ²	3,96 ⁵	-0,20 ¹
36	ПКиО «Сад Сибирь» [“The Garden of Siberia” Park of Culture and Recreation]	0,18	0,06	0,03	0,05	0,87	0,55 ²	0,00 ¹	-0,58 ¹	1,42 ³	0,13 ²
37	Сквер имени Д.М. Карбышева [D.M. Karbyshev Square]	0,48	0,22	0,10	0,40	0,85	1,95 ³	1,87 ³	1,00 ²	4,37 ¹	0,10 ²
<i>Селитебная зона [Residential area]</i>											
38	Ул. Лисицкого, 5 [5, Lisitsky St.]	0,25	0,08	0,07	0,09	0,42	1,00 ²	0,42 ²	0,42 ²	2,15 ⁴	-0,92 ¹
39	Ул. 70 лет Октября, 20 [20, 70 let Oktyabrya St.]	0,40	0,14	0,10	0,22	0,74	1,68 ³	1,22 ³	1,00 ²	3,47 ⁵	-0,10 ¹
40	Ул. Карело-Финская, 23 [23, Karelo-Finskaya St.]	0,43	1,00	0,07	0,80	0,78	1,79 ³	4,06 ⁶	0,42 ²	5,35 ⁷	-0,03 ¹

Окончание табл. 2

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	$K_{\text{опасности}}$ [Hazard ratio]					I_{geo}				
		Pb	Cd	Cu	Zn	As	Pb	Cd	Cu	Zn	As
41	Ул. Труда, 1 [1, Truda St.]	0,32	0,08	0,07	0,20	0,76	1,34 ³	0,42 ²	0,42 ²	3,32 ⁵	-0,06 ¹
42	Ул. Кирова, 6 [6, Kirov St.]	0,32	0,10	0,07	0,28	0,78	1,34 ³	0,74 ²	0,42 ²	3,85 ⁵	-0,03 ¹
43	Ул. 20 лет РККА, 61/1 [61/1, 20 let RKKA St.]	0,42	0,08	0,10	0,33	0,74	1,74 ³	0,42 ²	1,00 ²	4,06 ⁶	-0,10 ¹
44	Ул. Малиновского, 14/2 [14/2, Malinovsky St.]	2,83	0,22	0,17	0,41	0,93	4,50 ⁶	1,87 ³	1,74 ³	4,40 ⁶	0,23 ¹
45	Ул. 4-я Поселковая, 34 [34, 4th Poselkovaya Street]	0,32	0,14	0,07	0,21	0,64	1,34 ³	1,22 ³	0,42 ²	3,42 ⁵	-0,31 ¹
46	Ул. Яковлева, 12 [12, Yakovlev St.]	0,55	0,18	0,17	0,06	0,88	2,14 ⁴	1,58 ³	1,74 ³	1,64 ³	0,15 ²
47	Ул. Успешная, 3/1 [3/1, Uspeshnaya Street]	0,22	0,16	0,03	0,06	0,82	0,79 ²	1,42 ³	-0,58 ¹	1,64 ³	0,04 ²

Примечание. Жирным отмечены $K_{\text{опасности}}$, значения которых превышают ПДК.

Степень загрязнения почв в зависимости от значений I_{geo} : ¹ – незагрязненные; ² – слабая степень загрязнения; ³ – умеренная степень загрязнения; ⁴ – достаточно сильная степень загрязнения; ⁵ – сильная степень загрязнения; ⁶ – очень сильная степень загрязнения; ⁷ – чрезвычайно сильная степень загрязнения.

[Note. Values that exceed the maximum permissible concentration are marked in bold.

The degree of soil pollution, depending on the I_{geo} values: ¹ – uncontaminated; ² – low degree of pollution; ³ – moderate degree of pollution; ⁴ – sufficiently strong degree of pollution; ⁵ – strong degree of pollution; ⁶ – very strong degree of pollution; ⁷ – extremely strong degree of pollution.]

**Значения индекса загрязнения (PI), суммарного показателя загрязнения почв (Z_s)
и индекса загрязненности почв г. Омска
[The values of the pollution index (PI), the total indicator of soil pollution (Z_s)
and the soil pollution index of Omsk]**

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	PI					Z_s	Уровень загрязнения [Pollution level]	Индекс загрязненности почв [Soil pollution index]	Категория почв [Soil category]
		Pb	Cd	Cu	Zn	As				
<i>Транспортная зона [Transport area]</i>										
1	Пересечение ул. Комарова и ул. Лукашевича [The intersection of Komarov St. and Lukashevich St.]	6,4 ⁵	2,0 ²	15,0 ⁵	14,3 ⁵	1,8 ²	35	Опасная [Dangerous]	0,46	Чистая [Uncontaminated]
2	Транссибирская ул., 2 [2, Transsibirskaya St.]	36,6 ⁵	8,0 ⁵	15,0 ⁵	82,7 ⁵	2,6 ³	139	Чрезвычайно опасная [Extremely dangerous]	1,26	Загрязненная [Contaminated]
3	ул. Лобкова (Дворец культуры им. Красной Гвардии) [Lobkov St. (Palace of Culture named after The Red Guard)]	33,0 ⁵	6,0 ⁵	15,0 ⁵	101,7 ⁵	1,5 ²	153	Чрезвычайно опасная [Extremely dangerous]	1,12	Загрязненная [Contaminated]

Продолжение табл. 3

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	PI					Z _s	Уровень загрязнения [Pollution level]	Индекс загрязненности почв [Soil pollution index]	Категория почв [Soil category]
		Pb	Cd	Cu	Zn	As				
4	ул. Сухой Пролет [Sukhoi Prolet]	10,0 ⁵	7,0 ⁵	13,0 ⁵	79,3 ⁵	1,1 ²	106	Опасная [Dangerous]	0,63	Чистая [Uncontaminated]
5	Пересечение ул. Богдана Хмельницкого и ул. Лизы Чайкиной [Intersection of Bogdan Khmelnitsky St. and Lisa Chaikina St.]	34,6 ⁵	6,0 ⁵	17,0 ⁵	76,7 ⁵	2,1 ³	131	Чрезвычайно опасная [Extremely dangerous]	1,16	Загрязненная [Contaminated]
6	Пересечение ул. Масленникова и ул. Куйбышева [The intersection of Maslennikov St. and Kuibyshev St.]	33,0 ⁵	6,5 ⁵	8,0 ⁵	92,7 ⁵	1,1 ²	137	Чрезвычайно опасная [Extremely dangerous]	1,02	Загрязненная [Contaminated]
7	Пересечение ул. Нефтезаводская и ул. 22 Апреля [The intersection of Neftezavodskaya St. and 22 April St.]	3,0 ³	5,0	2,0 ²	7,7 ⁵	0,8 ¹	15	Допустимая [Permissible]	0,21	Чистая [Uncontaminated]

8	Пересечение ул. Березовая и ул. Красный Путь [Intersection of Berезovaya St. and Krasny Put St.]	3,4 ⁴	2,0 ²	2,0 ²	11,7 ⁵	1,5 ²	16	Допустимая [Permissible]	0,28	Чистая [Uncontaminated]
9	Пересечение ул. Красный Путь и ул. Интернациональная [The intersection of Krasny Put St. and Internatsionalnaya St.]	2,6 ³	2,0 ²	1,0	5,3 ⁵	1,7 ²	8	Допустимая [Permissible]	0,26	Чистая [Uncontaminated]
10	Проспект Карла Маркса [Karl Marx Avenue]	6,6 ⁵	4,5 ⁴	5,0 ⁴	37,7	1,0 ²	51	Опасная [Dangerous]	0,39	Чистая [Uncontaminated]
11	Ул. 21-я Амурская [21st Amurskaya St.]	5,6 ⁵	3,0 ³	6,0 ⁵	36,7 ⁵	1,6 ²	48	Опасная [Dangerous]	0,42	Чистая [Uncontaminated]
12	Ул. Бульварная [Bulvarnaya St.]	3,4 ⁴	3,0 ³	2,0 ²	2,7 ⁵	1,5 ²	8	Допустимая [Permissible]	0,26	Чистая [Uncontaminated]
13	Бульвар Архитекторов [Boulevard Arhitektorov]	3,8 ⁴	4,0 ⁴	2,0 ²	20,3 ⁵	1,5 ²	27	Умеренно-опасная [Moderately hazardous]	0,32	Чистая [Uncontaminated]
14	Ул. Конева [Konev St.]	4,0 ⁴	3,0 ³	2,0 ²	23,3 ⁵	1,6 ²	29	Умеренно-опасная [Moderately hazardous]	0,34	Чистая [Uncontaminated]

Продолжение табл. 3

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	PI					Z _s	Уровень загрязнения [Pollution level]	Индекс загрязненности почв [Soil pollution index]	Категория почв [Soil category]
		Pb	Cd	Cu	Zn	As				
<i>Промышленная зона [Industrial area]</i>										
15	Ул. И.Н. Багнюка, 2 (ОАО «САН ИнБев») [2, I.N. Bagnyuk St. (SAN InBev, JSC)]	3,2 ⁴	2,5 ³	2,0 ²	7,7 ⁵	2,1 ³	12	Допустимая [Permissible]	0,32	Чистая [Uncontaminated]
16	Ул. Ключевая, 37/3 (ООО «Сибирский завод металлоизделий») [37/3, Klyuchevaya St. (Siberian Metal Products Plant, LLC)]	8,8 ⁵	6,0 ⁵	5,0 ⁴	30,0 ⁵	1,6 ²	47	Опасная [Dangerous]	0,47	Чистая [Uncontaminated]
17	Ул. Красный Переулк, 2 (АО «Омсктрансмаш») [2, Krasny Pereulok St. (Omsktransmash, JSC)]	31,0 ⁵	9,5 ⁵	12,0 ⁵	121,0 ⁵	0,9 ¹	171	Чрезвычайно опасная [Extremely dangerous]	1,08	Загрязненная [Polluted]
18	Ул. Гуртьева, 18 (АО «ОНИИП») [18, Gurtiev St. (ONIP, JSC)]	4,4 ⁴	6,5 ⁵	3,0 ³	29,3 ⁵	1,5 ²	40	Опасная [Dangerous]	0,39	Чистая [Uncontaminated]

19	Ул. Богдана Хмельницкого, 226 (ПО «Полет» – филиал ГКНПЦ им. М.В. Хруничева) [226, Bogdan Khmelniysky St. (Polet Production Association – branch of the Khrunichev State Scientific and Technical University)]	33,6 ⁵	9,5 ⁵	18,0 ⁵	79,3 ⁵	2,4 ³	137	Чрезвычайно опасная [Extremely dangerous]	1,22	Загрязненная [Contaminated]
20	Ул. Бударкина, 2 (АО «Омскшина») [2, Buderkin St. (Omskshina, JSC)]	5,6 ⁵	5,0 ⁴	3,0 ³	83,3 ⁵	1,1 ²	94	Опасная [Dangerous]	0,49	Чистая [Uncontaminated]
21	Ул. Нефтезаводская (АО «Газпромнефть-ОНПЗ») [Neftezavodskaya St. (Gazpromneft-ONPZ, JSC)]	4,8 ⁴	6,0 ⁵	4,0 ⁴	24,3 ⁵	1,2 ²	36	Опасная [Dangerous]	0,35	Чистая [Uncontaminated]
22	Проспект Губкина (АО «Омский каучук») [Gubkin Avenue (Omsk Rubber, JSC)]	4,2 ⁴	3,5 ⁴	3,0 ³	31,0 ⁵	1,7 ²	39	Опасная [dangerous]	0,38	Чистая [Uncontaminated]
23	Ул. 4-я Челюскинцев, 4/2 (НПО «МИР») [4/2, 4th Chelyuskin-tsev St. (NPO MIR)]	37,0 ⁵	11,0 ⁵	40,0 ⁵	76,7 ⁵	2,1 ³	162	Чрезвычайно опасная [Extremely dangerous]	1,39	Загрязненная [Contaminated]

Продолжение табл. 3

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	PI					Z _s	Уровень загрязнения [Pollution level]	Индекс загрязненности почв [Soil pollution index]	Категория почв [Soil category]
		Pb	Cd	Cu	Zn	As				
24	Ул. 22-го Партсъезда, 51 (Сладонезж) [51, 22-go Partsyezda St. (Sladonezh)]	4,2 ⁴	3,5 ⁴	2,0 ²	30,0 ⁵	1,4 ²	37	Опасная [Dangerous]	0,33	Чистая [Uncontaminated]
25	Ул. 10 лет Октября, 219/2 (ТЭЦ-5) [219/2, 10 let Okt'yabrya St. (CHP-5)]	5,6 ⁵	3,0 ³	6,0 ⁵	36,7 ⁵	1,6 ²	48	Опасная [Dangerous]	0,42	Чистая [Uncontaminated]
26	Ул. 3-я Автомо- бильная, 2А/2 (Омскхлебпродукт- стандарт) [2А/2, 3st Avtomobilnaya St., (Omskkhlebpproduct- standard)]	9,0 ⁵	5,5 ⁵	11,0	56,0 ⁵	1,1 ²	79	Опасная [Dangerous]	0,53	Чистая [Uncontaminated]
27	Ул. Нефтезавод- ская, 49/1 (ООО НПО «Октан») [49/1, Neftezavod- skaya St. (NPO Oktan, LLC)]	2,4 ³	4,0	2,0 ²	63,3 ⁵	1,5 ²	69	Опасная [Dangerous]	0,41	Чистая [Uncontaminated]

Рекреационная зона [Recreational area]										
28	Парк им. 30-летия Победы [30th Anniversary of Victory Park]	3,8 ⁴	3,0 ³	9,0 ⁵	10,0 ⁵	1,2 ²	23	Умеренно-опасная [Moderately hazardous]	0,30	Чистая [Uncontaminated]
29	Парк им. 300-летия города Омска [300th Anniversary of the City of Omsk Park]	3,2 ⁴	2,5 ³	1,0 ²	5,7 ⁵	1,4 ²	9	Допустимая [Permissible]	0,24	
30	Сквер «Красная звезда» [Krasnaya Zvezda Square]	3,2 ⁴	2,5 ³	3,0 ³	16,0 ⁵	1,0 ²	22	Умеренно-опасная [Moderately hazardous]	0,24	
31	Сквер «Юбилейный» [Yubileyny Square]	2,4 ³	2,0 ²	1,0 ²	14,3 ⁵	1,2 ²	17	Умеренно-опасная [Moderately hazardous]	0,23	
32	Парк им. 30 лет ВЛКСМ [30 Years of Komsomol Park]	34,0 ⁵	5,0 ⁴	4,0 ⁴	58,3 ⁵	1,5	98	Опасная [Dangerous]	0,95	Проблемная [Problematic]
33	Аллея Литераторов [Alley of Writers]	3,8 ⁴	2,0 ²	2,0 ²	15,0 ⁵	1,4 ²	20	Умеренно-опасная [Moderately hazardous]	0,28	Чистая [Uncontaminated]
34	ПКиО «Зеленый остров» [“Green Island” Park of Culture and Recreation]	4,6 ⁴	3,0 ³	2,0 ²	23,3 ⁵	1,0 ²	30	Умеренно-опасная [Moderately hazardous]	0,28	

Продолжение табл. 3

№ пробы [Sample number]	Место отбора проб [Sampling location]	PI					Z _s	Уровень загрязнения [Pollution level]	Индекс загрязненности почв [Soil pollution index]	Категория почв [Soil category]
		Pb	Cd	Cu	Zn	As				
35	ПКиО «Советский» [“Sovetsky” Park of Culture and Recreation]	3,6 ⁴	3,5 ⁴	2,0 ²	23,3 ⁵	1,3 ²	29	Умеренно-опасная [Moderately hazardous]	0,30	Чистая [Uncontaminated]
36	ПКиО «Сад Сибирь» [“The Garden of Siberia” Park of Culture and Recreation]	2,2 ³	1,5 ²	1,0 ²	4,0 ⁴	1,6 ²	6	Допустимая [Permissible]	0,24	
37	Сквер имени Д.М. Карбышева [D.M. Karbyshev Square]	5,8 ⁵	5,5 ⁵	3,0 ³	31,0 ⁵	1,6 ³	42	Опасная [Dangerous]	0,41	
<i>Селитебная зона [Residential area]</i>										
38	Ул. Лисицкого, 5 [5, Lisitsky St.]	3,0 ³	2,0 ²	2,0 ²	6,7 ⁵	0,8 ¹	11	Допустимая [Permissible]	0,18	Чистая [Uncontaminated]
39	Ул. 70 лет Октября, 20 [20, 70 let Oktyabrya St.]	4,8 ⁴	3,5 ⁴	3,0 ³	16,7 ⁵	1,4 ²	25	Умеренно-опасная [Moderately hazardous]	0,32	
40	Ул. Карело-Финская, 23 [23, Karelo-Finskaya St.]	5,2 ⁵	25,0 ⁵	2,0 ²	61,0 ⁵	1,5 ²	90	Опасная [Dangerous]	0,62	

41	Ул. Труда, 1 [1, Truda St.]	3,8 ⁴	2,0 ²	2,0 ²	15,0 ⁵	1,4 ²	20	Умеренно- опасная [Moderately hazardous]	0,28	Чистая [Uncontaminated]
42	Ул. Кирова, 6 [6, Kirov St.]	3,8 ⁴	2,5 ³	2,0 ³	21,7 ⁵	1,5 ²	27	Умеренно- опасная [Moderately hazardous]	0,31	
43	Ул. 20 лет РККА, 61/1 [61/1, 20 let RKKA St.]	5,0 ⁴	2,0 ³	3,0 ³	25,0 ⁵	1,4 ²	32	Опасная [Dangerous]	0,33	
44	Ул. Малинов- ского, 14/2 [14/2, Malinovsky St.]	34,0 ⁵	5,5 ⁵	5,0 ⁴	31,7 ⁵	1,8	73	Опасная [Dangerous]	0,91	Проблемная [Problematic]
45	Ул. 4-я Поселковая, 34 [34, 4th Poselkovaya Street]	3,8 ⁴	3,5 ⁴	2,0 ²	16,0 ⁵	1,2	22	Умеренно- опасная [Moderately hazardous]	0,27	Чистая [Uncontaminated]
46	Ул. Яковлева, 12 [12, Yakovlev S]	6,6 ⁵	4,5 ⁴	5,0 ⁴	4,7 ⁴	1,7 ²	18	Умеренно- опасная [Moderately hazardous]	0,37	
47	Ул. Успешная, 3/1 [3/1, Uspeshnaya Street]	2,6 ³	4,0 ⁴	1,0 ²	4,7 ⁴	1,5 ²	9	Допустимая [Permissible]	0,26	

Примечание. Степень загрязнения почв в зависимости от значений индекса загрязнения: ¹ – загрязнение почв отсутствует; ² – слабая степень загрязнения; ³ – средняя степень загрязнения; ⁴ – сильная степень загрязнения; ⁵ – очень сильная степень загрязнения.

[Note. The degree of soil contamination depends on the *PI* values: ¹ – no soil contamination; ² – low degree of contamination; ³ – medium degree of contamination; ⁴ – high degree of contamination; ⁵ – very high degree of contamination.]

Выводы

Анализ содержания тяжелых металлов в почвах Омска показал, что их содержание в пределах города значительно выше фона. Наибольшее превышение относительно фоновых уровней во всех функциональных зонах города отмечено по цинку (4–121 раз). Основные очаги загрязнения почв формируются в районах с высокой техногенной нагрузкой (промышленная и транспортная зоны).

Основными приоритетными загрязнителями почв в городе являются цинк и свинец. Пробные площадки, где отмечено превышение этих элементов, в основном сосредоточены в районах автомагистралей с оживленным движением транспорта и вблизи промышленных предприятий, т.е. основными источниками загрязнения почв являются производственные предприятия и автотранспортный комплекс.

По суммарному показателю загрязнения почвенный покров характеризуется высоким уровнем загрязнения. Так, в транспортной зоне 57,1% почв имеют опасный и чрезвычайно опасный уровень, 14,3% – умеренно-опасный и только 28,6% – допустимый. В промышленной зоне ситуация несколько хуже: опасный и чрезвычайно опасный уровень загрязненности отмечен на 92,3% обследованных почв.

На основе индекса загрязненности почв выделены отдельные загрязненные участки, нуждающиеся в проведении ремедиации. Они преимущественно расположены в импактных зонах предприятий и вблизи крупных транспортных автомагистралей. В жилой и рекреационной зонах г. Омска складывается более-менее благоприятная ситуация по содержанию тяжелых металлов.

Библиографический список / References

Авдощенко В.Г., Климова А.В. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв города Петропавловска-Камчатского, Камчатский край // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2022. № 61. С. 65–81. [Avdoshchenko V.G., Klimova A.V. Assessment of heavy metal pollution of soils in the city of Petropavlovsk-Kamchatsky, Kamchatka Krai. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2022. No. 61. Pp. 65–81. (In Rus.)]

Богданов Н.А. Анализ информативности интегральных показателей химического загрязнения почв при оценке состояния территорий // Гигиена и санитария. 2012. № 1. С. 10–13. [Bogdanov N.A. Analysis of the information content of integrated indicators of chemical pollution of soils when assessing the state of territories. *Gigiena i sanitariya*. 2012. No. 1. Pp. 10–13. (In Rus.)]

Геоэкологическая оценка современного содержания свинца в почвенном покрове урбанизированных территорий Нижнего Поволжья / А.В. Синцов, А.Н. Бармин, П.А. Зимовец, М.В. Валов // Геология, география и глобальная энергия. 2021. № 2 (81). С. 137–144. [Sintsov A.V., Barmin A.N., Zimovets P.A., Valov M.V. Geocological assessment of the current lead content in the soil cover of urbanized areas of the Lower Volga region. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya*. 2021. No. 2 (81). Pp. 137–144. (In Rus.)]

Кислицына Т.С., Шерстобитов М.Б. Экологическая оценка антропогенно-преобразованных почв территории города Омска // Экологические чтения – 2020: сборник материалов XI Национальной научно-практической конференции (с международным участием), Омск, 5 июня 2020 года. Омск, 2020. С. 288–292. [Kislitsyna T.S., Sherstobitov M.B. Ecological assessment of anthropogenically transformed soils in the city of Omsk. *Ekologicheskie chteniya – 2020: sbornik materialov XI Natsionalnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem)*, Omsk, 5 iyunya 2020 goda. Omsk, 2020. Pp. 288–292. (In Rus.)]

Константинова Е.Ю. Эколого-геохимическая оценка загрязнения почвенного покрова города Тюмени тяжелыми металлами и полициклическими ароматическими углеводородами: дис. ... канд. геогр. наук. Тюмень, 2020. [Konstantinova E.Yu. Ekologo-geokhimicheskaya otsenka zagryazneniya pochvennogo pokrova goroda Tyumeni tyazhelymi metallami i politsiklichesкими aromaticeskimi uglevodorodami [Ecological and geochemical assessment of pollution of the Tyumen city soil cover by heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons]. PhD dis. Tyumen, 2020.]

Самарская Ю.В. Содержание тяжелых металлов в почве города Омска // Безопасность городской среды: материалы VI Международной научно-практической конференции, Омск, 21–23 ноября 2018 г. / под общ. ред. Е.Ю. Тюменцевой. Омск, 2019. С. 334–336. [Samarская Yu.V. Heavy metal content in the soil of Omsk. *Bezopasnost gorodskoi sredy: Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*, Omsk, 21–23 noyabrya 2018 g. E.Yu. Tyumentsevaeva (ed.). Omsk, 2019. Pp. 334–336. (In Rus.)]

Скрипко Т.В., Мальгина И.Л. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами // Успехи современного естествознания. 2019. № 6. С. 105–110. [Skripko T.V., Malgina I.L. Ekologicheskie posledstviya zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2019. No. 6. Pp. 105–110. (In Rus.)]

Содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd) в почвах г. Тюмени / А.С. Петухов, Т.А. Кремлева, Н.А. Хритохин и др. // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2020. № 1. С. 127–134. [Petukhov A.S., Kremleva T.A., Khritokhin N.A. et al. Content of heavy metals (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd) in the soils of Tyumen. *Vestnik Nizhnevarтовского gosudarstvennogo universiteta*. 2020. No. 1. Pp. 127–134. (In Rus.)]

Сорокин А.Е., Савич В.И., Мосина Л.В. Особенности содержания тяжелых металлов в городских почвах // Плодородие. 2020. № 4. С. 60–63. [Sorokin A.E., Savich V.I., Mosina L.V. Features of heavy metal content in urban soils. *Plodorodie*. 2020. No. 4. Pp. 60–63. (In Rus.)]

Davydova S. Heavy metals as toxicants in big cities. *Microchemical Journal*. 2005. Vol. 79. Pp. 133–136.

Kowalska J.B., Mazurek R., Gasiorek M., Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination. A review. *Environmental Geochemistry and Health*. 2018. Vol. 40. Pp. 2395–2420.

Müller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geochemical Journal*. 1969. Vol. 2. Pp. 108–118.

Nowrouzi M., Pourkhabbaz A. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara Biosphere Reserve, Iran. *Chemical Speciation & Bioavailability*. 2014. Vol. 26. Pp. 99–105.

Sharma V., Singh P. Heavy metals pollution and it's effects on environment and human health. *International Journal of Recent Scientific Research*. 2015. Vol. 6. Issue 12. Pp. 7752–7755.

Статья поступила в редакцию 19.06.2025, принята к публикации 09.08.2025

The article was received on 19.06.2025, accepted for publication 09.08.2025

Сведения об авторах / About the authors

Жаркова Наталья Николаевна – доктор сельскохозяйственных наук, доцент; профессор кафедры экологии, природопользования и биологии факультета агрохимии, почвоведения, экологии, природообустройства и водопользования, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина

Natalia N. Zharkova – Dr. Hab. in Agricultural Sciences; Professor at the Department of Ecology, Nature Management and Biology of the Faculty of Agrochemistry, Soil Science, Ecology, Environmental Management and Water Management, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2970-328X>

E-mail: nn.zharkova@omgau.org

Игумина Виктория Викторовна – аспирант кафедры экологии, природопользования и биологии факультета агрохимии, почвоведения, экологии, природообустройства и водопользования, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина

Victoria V. Iguminova – postgraduate student at the Department of Ecology, Nature Management and Biology of the Faculty of Agrochemistry, Soil Science, Ecology, Environmental Management and Water Management, Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

E-mail: va.iguminova2301@omgau.org

Заявленный вклад авторов

Н.Н. Жаркова – руководство исследованием, интерпретация результатов, помощь в статистической обработке данных, описание исследования

В.А. Игумина – сбор полевого материала, статистическая обработка данных, интерпретация результатов, описание исследования

Contribution of the authors

N.N. Zharkova – study management, results interpretation, assistance with statistical data processing, study description

V.A. Igumina – field data collection, statistical data processing, results interpretation, study description

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript