



Ушакова Е.С., Караваева Т.И., Пузик А.Ю., Волкова М.А., Белкин П.А.

## Оценка загрязнённости почв детских площадок на территории жилых районов

Естественнаучный институт ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 614990, Пермь, Россия

**Введение.** Загрязнение почвенного покрова городских территорий тяжёлыми металлами является серьёзной проблемой многих регионов России и зарубежных стран. Повышенные концентрации тяжёлых металлов, содержащихся в почвах детских площадок, представляют серьёзную угрозу здоровью детей. Имеющаяся база нормативных документов, регламентирующих периодический контроль загрязнённости почв селитебных территорий, мероприятия по их ремедиации, не отражает истинных потребностей и в настоящее время требует пересмотра.

**Материалы и методы.** Методом масс-спектрометрии проведён анализ валового содержания тяжёлых металлов и мышьяка в почвах детских площадок жилых территорий Индустриального района г. Перми в 2019 г.

**Результаты.** Проведена оценка уровня загрязнённости тяжёлыми металлами и мышьяком почв детских площадок селитебных территорий Индустриального района г. Перми, свидетельствующая о неудовлетворительном их состоянии. Концентрации мышьяка в почве превышали ПДК до 4,6 раза, цинка – до 2,6 раза; никеля – до 3,5 раза; кадмия – до 1,7 раза; меди – до 1,5 раза; согласно суммарному показателю загрязнения  $Z_c$  и  $Z_{ct}$ , загрязнение почв соответствует допустимому уровню. Уровень загрязнения почв тяжёлыми металлами на основании показателя потенциального экологического риска установлен от «низкого» до «умеренного».

**Ограничения исследования.** Ограничения исследования связаны с малым количеством проб почв на территории детских площадок и разовым опробованием, что ограничивает возможности интерпретации полученных данных для определения тенденций загрязнения почв, а также с отсутствием выявленных закономерностей содержания загрязняющих веществ в почвах от различных источников их поступления.

**Заключение.** Сделан вывод о необходимости мониторинга загрязнённости почв селитебных территорий, своевременной реализации мероприятий по их ремедиации и принятия на законодательном уровне решений об управлении качеством почв селитебных территорий для обеспечения благоприятной экологической среды с учётом отечественного и зарубежного опыта.

**Ключевые слова:** тяжёлые металлы; загрязнение почв; детские площадки; нормативы качества почв

**Соблюдение этических стандартов:** исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

**Для цитирования:** Ушакова Е.С., Караваева Т.И., Пузик А.Ю., Волкова М.А., Белкин П.А. Оценка загрязнённости почв детских площадок на территории жилых районов. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(1): 14–20. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-1-14-20>

**Для корреспонденции:** Ушакова Евгения Сергеевна, мл. науч. сотр. лаб. биогеохимии техногенных ландшафтов ЕНИ ПГНИУ, 614990, Пермь. E-mail: ushakova.evgeniya@gmail.com

**Участие авторов:** Ушакова Е.С. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование; Караваева Т.И. – концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Пузик А.Ю. – сбор и обработка материала, статистическая обработка; Волкова М.А. – сбор и обработка материала, статистическая обработка; Белкин П.А. – статистическая обработка. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Исследования выполнены при финансовой поддержке Пермского научно-образовательного центра «Рациональное недропользование», 2021 г.

Поступила: 30.03.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликована: 09.02.2022

Evgenia S. Ushakova, Tatyana I. Karavaeva, Aleksey Yu. Puzik, Margarita A. Volkova,  
Pavel A. Belkin

## Assessment of soil contamination at playgrounds in residential areas

Institute of Natural Science of the Perm State National Research University, 614990, Perm, Russian Federation

**Introduction.** Heavy metal pollution of soils in urban areas is a severe problem in many regions of Russia and other countries. The higher concentrations of heavy metals in playground soils represent a severe threat to children's health. The lack of legislatively approved decisions on periodic monitoring of soil contamination in residential areas and on remediation measures does not ensure a favourable ecological situation in the urban environment.

**Materials and methods.** The mass spectrometry method was used to analyse the gross content of heavy metals and arsenic in playground soils in residential areas of the Industrialny district of Perm in 2019.

**Results.** The assessment of soil contamination with heavy metals and arsenic in the soils of playgrounds of residential areas of the Industrialny district of Perm indicated their unsatisfactory quality. The concentration of arsenic in the soil exceeded the MPC by up to 4.6 times, zinc–2.6 times; nickel–3.5 times; cadmium–1.7 times; copper–1.5 times. The total indicator of contamination of  $Z_c$  and  $Z_{ct}$  of the soil corresponds to the permissible level. The level of soil contamination with heavy metals ranges from “low” to “moderate” based on the indicator of potential environmental risk.

**Limitations.** The limitations of the study are related to the small number of soil samples on the territory of playgrounds and one-time sampling, which limits the interpretation of the data obtained to determine trends in soil pollution, as well as the absence of identified patterns of contaminants in soils from different sources of their inflow.

**Conclusion.** The results suggest that it is necessary to monitor soil contamination in residential areas and implement timely remediation measures; it is necessary to make decisions at the legislative level on the soil quality management in residential areas to ensure a favourable ecological environment, taking into account domestic and foreign experience.

**Keywords:** heavy metals; soil contamination; playgrounds; soil quality standards

**Compliance with ethical standards:** This study does not require the conclusion of a biomedical ethics committee or other documents.

**For citation:** Ushakova E.S., Karavaeva T.I., Puzik A.Yu., Volkova M.A., Belkin P.A. Assessment of soil contamination at playgrounds in residential areas. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(1): 14–20. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-1-14-20> (In Russian)

**For correspondence:** Evgenia S. Ushakova, MD, Junior Researcher, Laboratory of Biogeochemistry of Technogenic Landscapes, Institute of Natural Science of Perm State National Research University, Perm, 614990, Russian Federation. E-mail: ushakova.evgeniya@gmail.com

**Information about authors:**

Ushakova E.S., <https://orcid.org/0000-0002-2016-7356> Karavaeva T.I., <https://orcid.org/0000-0003-0077-3399> Puzik A.Yu., <https://orcid.org/0000-0001-7148-7344>  
Volkova M.A., <https://orcid.org/0000-0002-3416-8296> Belkin P.A., <https://orcid.org/0000-0001-8884-6024>

**Contribution:** Ushakova E.S. – the concept and design of the study, the collection and processing of the material, writing a text, editing; Karavaeva T.I. – the concept and design of the study, writing a text, editing; Puzik A.Yu., Volkova M.A. – the collection and processing of the material, statistical analysis; Belkin P.A. – statistical analysis. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

**Acknowledgement.** This work was supported by the Perm Research and Education Centre for Rational Use of Subsoil, 2021.

Received: March 03, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: February 09, 2022

## Введение

На сегодняшний день в России реализуется программа по улучшению качества городской среды, в рамках которой только в 2019 г. из федерального бюджета выделено более триллиона рублей. Данная программа направлена на модернизацию и благоустройство общественных пространств: дворовых территорий, парков, скверов и др. Параллельно проводится диспансеризация детей и взрослого населения для выявления ранних патологий, которая финансируется из федерального и регионального бюджетов. При этом при реализации обоих проектов недостаточное внимание уделяется экологической ситуации в пределах городской территории, в том числе состоянию почв жилых районов.

Многие крупные города, особенно исторически имеющие промышленные центры, характеризуются высокими концентрациями микроэлементов в атмосферных аэрозолях, уличной пыли и почвах селитебных территорий. Согласно ежегодным докладам, в почвах российских городов за последнюю четверть века зафиксированы повышенные концентрации Hg, Zn, Sn, Mn, Pb, Cu, Mo, As, Co и Cd. Отмечается повышенное содержание металлов (Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Ti, V, W, Zn, Zr) как в почвогрунтах на обочинах дорог с высокой интенсивностью движения, так и на прилегающей территории рядом с автопарковками [1–7]. Повышают геохимическую нагрузку на почвы дворовых территорий размещаемые на газонах и детских площадках снежные массы, собранные в зимний период с проезжей части и тротуаров, где применялись противогололёдные реагенты.

Увеличение загрязнения почв детских площадок тяжёлыми металлами в связи с интенсивной урбанизацией является серьёзной экологической проблемой (табл. 1).

В Норвегии осуществляется систематическое картирование загрязнения на основе отбора проб и анализа поверхностного слоя почвы толщиной 0–2 см. Установлено, что почвы детских садов в центральной части города Бергена очень сильно загрязнены, требуется их восстановление на территориях 45% из 87 центров пребывания детей, а в Осло

почвы 38% из 700 детских дошкольных учреждений нуждались в восстановлении из-за загрязнения Pb, Cd, Hg, Ni, бенз(а)пиреном [11].

В почвах игровых площадок детских садов в Вильнюсе (Литва) зафиксировано превышение относительно ПДК по Zn, As, Pb, Co. По Zn превышены ПДК на 8 площадках до 1,71 раза, As – на 3 площадках до 3,9 раза, Pb – на 2 игровых площадках до 2,11 раза. Согласно гигиенической оценке, почвы 26 (65%) детских площадок характеризуются категорией загрязнения «допустимая», 12 (30%) детских площадок – средней категорией опасности и 2 (5%) детские площадки – опасной категорией загрязнения [13].

Тяжёлые металлы могут серьёзно угрожать здоровью и жизни людей, особенно детскому населению, когда они появляются в чрезмерных концентрациях в окружающей среде, в частности в местах частого посещения и длительного пребывания людей. Потенциально опасные элементы, к которым относятся большинство тяжёлых металлов, могут попадать в организм человека через дыхательные пути, пищеварительный тракт или через кожу. Вредное воздействие тяжёлых металлов на здоровье человека подтверждается результатами исследований [8, 15].

Основной риск для здоровья детей связан с непреднамеренным или преднамеренным проглатыванием почвы в ходе рекреационной деятельности на игровой площадке. Различными исследованиями установлены средние показатели поглощения почвы детьми, достигающие 208 мг/день [14].

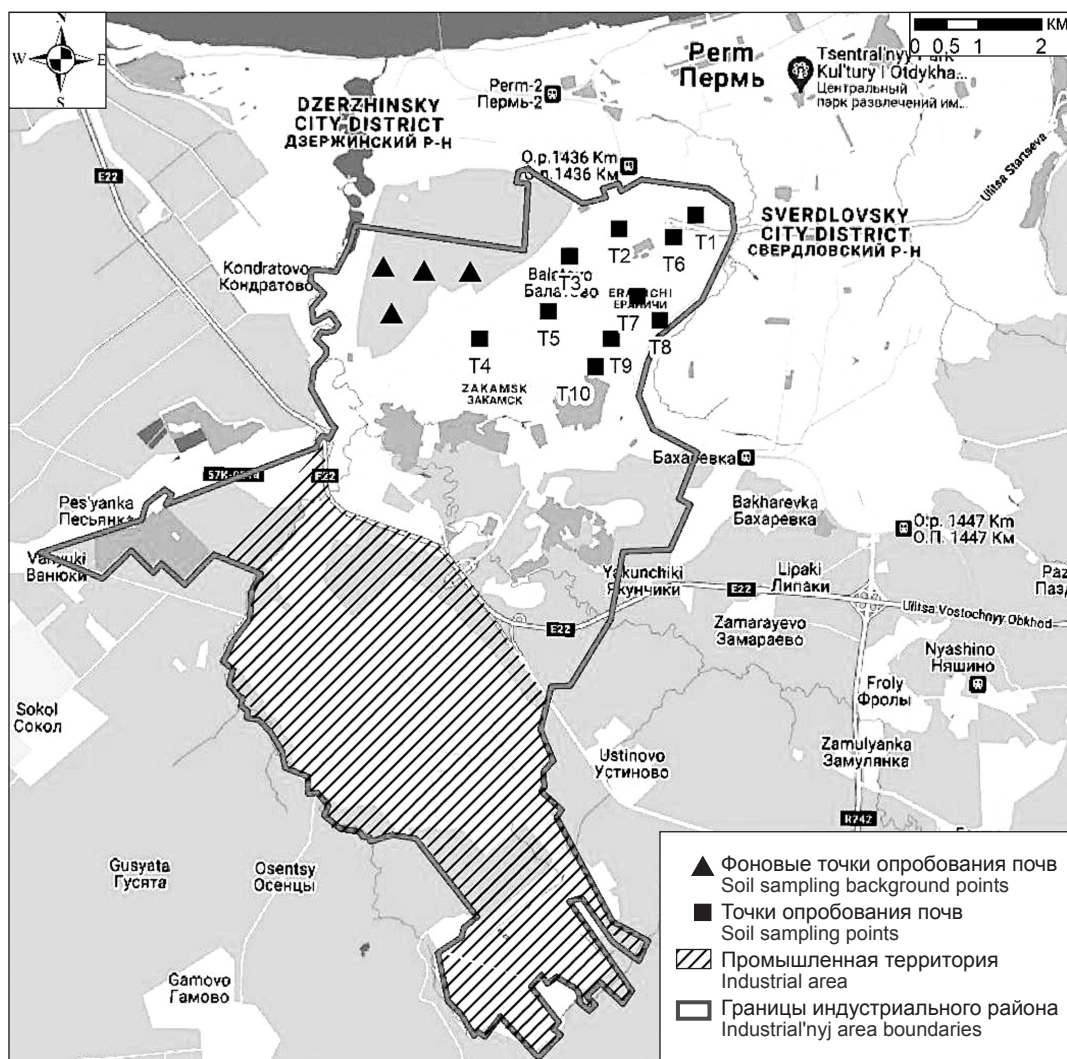
Цель работы – обоснование необходимости принятия на законодательном уровне решения о периодическом контроле загрязнённости почв селитебных территорий, мероприятий по их ремедиации для минимизации негативного воздействия на здоровье населения и обеспечения благоприятной экологической обстановки городской среды.

В задачи исследований входила оценка состояния почв детских площадок жилых районов г. Перми, анализ результатов оценки при использовании отечественных и зарубежных методов, изучение опыта зарубежных стран по управлению качеством почв на детских площадках.

Таблица 1 / Table 1

### Концентрации элементов в почве на детских игровых площадках Concentrations of elements in soil at kids playgrounds

Элемент, мг/кг Element, mg/kg	Люблин, Польша [8] Lublin, Poland [8]	Пекин, Китай [5] Beijing, China [5]	Афины, Греция [9] Athens, Greece [9]	Сараево, Босния и Герцеговина [10] Sarajevo, Bosnia and Herzegovina [10]	Тронхейм, Норвегия [11] Trondheim, Norway [11]	Белград, Сербия [12] Belgrade, Serbia [12]
Ni	3.8–31.7	17.89–47.49	33.5–170.3	–	33–59	–
Cu	1.3–60.4	21.29–155.3	21.9–85.9	18.92–140.74	22–82	8.8–251.3
As	–	10.73–20.73	–	–	< 3–8	–
Hg	–	–	–	–	0.1–0.9	–
Cd	3.0–8.8	–	–	0.81–2.14	< 0.5–1.1	1.1–3.1
Pb	11.0–191.2	12.28–326.3	59.7–289.6	41.07–152.72	38–115	5–785.7
Zn	9.1–476.1	–	71–676.5	71.76–199.04	52–398	63.2–691.1
Co	–	7.60–21.60	9–30.7	–	–	4.4–36.0



Карта-схема расположения участков опробования почв.  
Location map of soil sampling sites.

## Материалы и методы

Исследование загрязнённости почв выполнено на территории Индустриального района г. Перми. Большую часть территории района занимают промышленные объекты, которые расположены в его южной части и специализируются на нефтепереработке топливно-масляного профиля, производстве пластика и каучука, аммиака, карбамида. На территории района также расположена ТЭЦ-9, проходят крупные автомагистрали с повышенным трафиком.

Участки, где проводились исследования, приурочены к территории жилой застройки Индустриального района. Опробование проводилось весной 2019 г. сразу после схода снежного покрова. Количество обследованных участков составило 13 (см. рисунок). Пробы отбирали на придомовых территориях в пределах детских игровых площадок. В качестве фоновой территории выбраны рекреационные лесопарковые зоны в пределах особо охраняемой природной территории, удалённые от локального влияния крупных промышленных предприятий и автомагистралей. Фоновые концентрации элементов получены усреднением значений содержания элементов в пробах почв с четырёх фоновых площадок в пределах исследуемого района.

Оценка загрязнённости почв проведена по 7 стандартным элементам с использованием российских гигиенических нормативов (ПДК и ОДК – согласно СанПиН 1.2.3685-21\*),

\* СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утв. Гл. гос. санитарным врачом РФ 28.01.2021 г.

а также нормативов содержания, установленных для почв детских площадок и селитебных территорий Германии, Канады, пороговых и директивных значений, принятых в Финляндии, Дании, Норвегии, Нидерландах (табл. 2) [16–22]. В настоящее время в Российской Федерации система нормирования недостаточно разработана и не позволяет дать точную характеристику загрязнению с учётом функционального назначения территории.

Зарубежные стандарты нормирования почв учитывают функциональное назначение территории. Наиболее разработана нормативная база для оценки качества почв различных функциональных зон (детские площадки, сельскохозяйственные, селитебные, парковые и индустриальные территории) в Германии. Однако недостатком её является ограниченный перечень химических элементов, имеющих нормативные значения содержания, – 6 элементов [21].

Оценивая загрязнённость почв дворовых территорий с применением критериев, принятых в Канаде [29], можно использовать нормативы содержания химических элементов для селитебно-парковых зон, которые являются территориями проживания и отдыха людей. В качестве порогового значения выбрано минимальное значение, рассчитанное по экологическим характеристикам и возможному причинению вреда здоровью с учётом типичных фоновых концентраций веществ в почвах [16, 20].

Особое внимание качеству почв на территории детских садов и игровых площадок уделяется в Норвегии. Помимо пороговых значений (ПДК) имеются триггерные критерии качества почв, которые означают «уровень вмешательства» и «запускают» процедуру ремедиации загрязнённых участков.



### Нормативы содержания элементов в почвах Standards for the elements content in soils

Элемент, мг/кг Element, mg/kg	Россия Russia		Германия Germany <sup>1</sup>	Канада Canada <sup>2</sup>	Финляндия Finland <sup>3</sup>	Норвегия Norway <sup>4</sup>	Дания Denmark <sup>5</sup>	Нидерланды Netherlands <sup>6</sup>
	ПДК / MPC	ОДК / APC						
As	–	2–10	25	12	5	2	10	34
Cd	–	0.5–2.0	10	10	1	3	0.3	1.6
Pb	–	32–130	200	140	60	60	50	40
Ni	–	20–80	70	50	50	50	10	38
Hg	2.1	–	10	6.6	0.5	1	0.1	2.2
Cu	–	33–132	–	63	100	100	30	40
Zn	–	55–220	–	200	200	100	100	160

#### Примечание / Note.

<sup>1</sup> BBodSchV. Bundes-Bodenschutz-und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999. Bundesgesetzblatt I, 1554.

<sup>2</sup> CCME. Canadian Council for Ministers for the Environment. Canadian Environmental Quality Guidelines. 2018.

<sup>3</sup> Jarva J. Geochemical baselines in the assessment of soil contamination in Finland. Espoo, Geological Survey of Finland, 2016.

<sup>4</sup> NPCA. Guidelines on risk assessment of contaminated sites, report 99:06. Norwegian Pollution Control Authority, Oslo, 1999.

<sup>5</sup> DEPA (Danish Environmental Protection Agency). Soil Quality Criteria for Selected Compounds. Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen, 1997.

<sup>6</sup> Crommentuijn, T., Polder, M.D. and Van de Plasche, E.J. Maximum Permissible Concentrations and Negligible Concentrations for metals. Taking Background Concentrations into account. 1997.

Превышение триггерных критериев содержания тяжёлых металлов в почвах на территориях центров пребывания детей – As (> 2 мг/кг), Cd (> 10 мг/кг), Hg (> 1 мг/кг), Ni (> 135 мг/кг), (Pb > 100 мг/кг) – свидетельствует о необходимости проведения восстановительных работ. Устранение загрязнения происходит по следующим рекомендациям: удалить почву на глубину до 30–50 см, покрыть территорию геотекстилем и чистыми материалами (песком или почвой), качество которых подтверждается необходимыми документами [11].

В Финляндии, Дании и Нидерландах в основу нормирования положены значения фоновых концентраций, пороговые значения и директивные значения (уровни вмешательства) [18, 28, 30]. Природоохранная практика Европы и Канады предполагает подход, основанный на оценке экологических рисков. В настоящей статье он применён для интегральной оценки уровня загрязнения почв по следующим критериям: суммарный показатель загрязнения почв  $Z_C$  и  $Z_{CT}$  с использованием коэффициента токсичности элемента, показатель потенциальной экологической опасности  $RI$ , разработанный шведским учёным Л. Хакансоном [21–26].

Суммарный показатель химического загрязнения  $Z_C$  характеризует степень химического загрязнения почв обследуемых территорий вредными веществами различных классов опасности и определяется как сумма коэффициентов концентрации отдельных компонентов:

$$Z_C = K_{C1} + \dots K_{Ci} + \dots R_{Cn} - (n - 1),$$

где  $n$  – число определяемых компонентов;  $K_{Ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента по отношению к фоновому значению.

Расчёт экологического показателя суммарного загрязнения  $Z_{CT}$  основан на определении степени токсичности (и опасности) тяжёлых элементов с использованием соответствующих поправок (коэффициентов) на токсичность.

Экологический показатель суммарного загрязнения  $Z_{CT}$  рассчитывается по сумме коэффициентов концентрации  $K_{Ki}$  с учётом степени токсичности элементов:

$$K_{Ki} = C_i / C_{if},$$

где  $C_{if}$  и  $C_i$  – фоновое и фактическое содержание  $i$ -го элемента в почве соответственно;

$$Z_{CT} = \sum_{i=0}^n (K_{Ki} \cdot K_{Ti} - (n - 1)),$$

где  $K_{Ki}$  – коэффициент токсичности  $i$ -го элемента. Для элементов первого класса опасности (As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn) коэффициент составляет 1,5; для элементов второго класса опасности (Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr) – 1; для элементов третьего класса опасности (Ba, V, W, Mn, Sr) – 0,5.

Критические значения, позволяющие охарактеризовать суммарное загрязнение по степени опасности, для показателей  $Z_C$  и  $Z_{CT}$  едины: при  $Z_C (Z_{CT}) < 16$  загрязнение считается безопасным; при  $16 < Z_C (Z_{CT}) < 32$  – умеренно опасным; при  $32 < Z_C (Z_{CT}) < 128$  – опасным; при  $Z_C (Z_{CT}) > 128$  – чрезвычайно опасным.

Показатель потенциальной экологической опасности  $RI$  (potential ecological risk index by Hakanson L. [31]) применяется для оценки загрязнения тяжёлыми металлами почв с учётом не только содержания этих элементов в почве, но и их экотоксикологической опасности [27].

$$RI = \sum E_i = \sum \frac{T_i \cdot C_i}{B_i},$$

где  $C_i$  и  $B_i$  – фактическое и фоновое содержание  $i$ -го элемента в почве. Коэффициент токсичности  $T_i$  составляет Zn – 1, Cu, Pb, Ni – 2, As – 10, Cd – 30, Hg – 40.  $E_i$  (potential ecological risk factor) характеризует степень опасности  $i$ -го элемента для окружающей среды,  $RI$  отражает суммарный уровень загрязнения.

Значения  $E_i$  и  $RI$  характеризуются следующими категориями:  $E_i < 40$  – низкая степень опасности;  $40 < E_i \leq 80$  – умеренная степень опасности;  $80 < E_i \leq 160$  – значительная степень опасности;  $160 < E_i \leq 320$  – высокая степень опасности;  $E_i > 320$  – чрезмерно высокая степень опасности;  $RI < 150$  – низкий уровень загрязнения;  $150 < RI < 300$  – умеренное загрязнение;  $300 < RI < 600$  – высокий уровень загрязнения;  $RI \geq 600$  – экстремально высокий уровень загрязнения.

## Результаты

Результаты оценки почвенного покрова на территории детских площадок в Индустриальном районе г. Перми на основе отечественных и зарубежных методов отражены в табл. 3–5. Почвенный покров представлен нейтральными, реже щелочными (pH до 6,5–7,3), преимущественно супесчаными и песчаными антропогенными урбанозёмами,

Таблица 3 / Table 3

Содержание тяжёлых металлов и мышьяка (мг/кг) в почвах на территории детских площадок и рекреационных зон Индустриального района г. Перми

The content of heavy metals and arsenic (mg/kg) in soils within playgrounds and recreational areas of the Industrial District of Perm

Элемент Element	Детские площадки жилых районов Kids playgrounds in residential areas n = 10			Фон, рекреационная зона Background, recreational area n = 4
	min	max	среднее / average	среднее / average
Ni	22.97	70.02	45.61	16.73
Cu	17.46	48.78	27.38	41.59
As	6.69	9.11	8.05	5.69
Hg	0.46	1.05	0.75	0.41
Cd	0.46	0.83	0.60	0.35
Pb	10.74	23.39	17.0	19.83
Zn	48.27	143.71	91.73	71.15

экрanoзёмами. Почвенный покров территории, принятой в качестве фоновой, представлен псаммозёмами гумусовыми.

При оценке загрязнённости почв тяжёлыми металлами и мышьяком анализировали валовое содержание элементов с учётом кислотности среды и литологического состава субстрата. Превышение относительно ПДК (ОДК) выявлено для всех участков опробования по мышьяку, отмечены превышения по кадмию, цинку, никелю и меди. Кратность превышений ПДК (ОДК) по содержанию мышьяка до-

стигает 4,6 раза; цинка – 2,6; никеля – 3,5; кадмия – 1,7; меди – 1,5 раза. Категория загрязнения исследуемых почв неорганическими соединениями I и II классов опасности, согласно СанПиН 1.2.3685-21, установлена как «опасная» по содержанию As, Zn, Ni, Cd, Cu.

Результаты оценки уровня загрязнения почвенного покрова на основании системы нормирования качества почв Канады, учитывающей функциональное назначение территории (жилые/парковые зоны), Германии (для территорий детских площадок), на основании критических значений (ПДК) Финляндии, Дании, Норвегии, Нидерландов и на основании российских ПДК свидетельствуют о повышенных уровнях содержания Ni, As, Cu, Cd, Zn и Hg (см. табл. 4).

Анализ данных табл. 4 показывает, что более строгие требования к состоянию почв предъявляются в Дании и России. Соответственно наибольшая степень загрязнённости почв устанавливается при использовании нормативов этих стран: наблюдается превышение ПДК по пяти из семи исследованных элементов, при этом превышения ПДК в 100% проб фиксируются по As и Ni в сравнении с российскими нормативами, по Ni, Cd и Hg – в сравнении с нормативами Дании. Менее строгие нормативные значения, принятые в Норвегии и Финляндии, закономерно обуславливают меньшее количество их превышений: превышение ПДК в 100% проб наблюдается только по содержанию As. Минимальной степенью загрязнения будут характеризоваться почвы при оценке относительно нормативных значений, принятых в Нидерландах и Канаде. А в сравнении с критериями Германии качество исследуемых почв полностью соответствует требованиям, предъявляемым к почвам детских площадок.

Наиболее высокий уровень загрязнения относительно ПДК по мышьяку отмечается при использовании нормативов России и Норвегии, по никелю – Дании, по меди – Дании, по кадмию – Дании, по цинку – России, по ртути – Дании.

Таблица 4 / Table 4

Уровень загрязнения почв относительно нормативных значений  
The level of soil contamination relative to the standard values

Страна Country	Показатель Index	Элемент / Element						
		As	Ni	Cu	Cd	Pb	Zn	Hg
Российская Федерация Russian Federation	Min	3.35	1.15	0.53	0.85	0.34	0.88	0.22
	Max	4.55	3.50	1.48	1.65	0.73	2.61	0.50
	Среднее / Average	4.03	2.28	0.83	1.21	0.53	1.67	0.36
Канада (жилые/парковые зоны) Canada (residential/park areas)	Min	0.56	0.46	0.28	0.04	0.08	0.24	0.07
	Max	0.76	1.40	0.77	0.08	0.17	0.72	0.16
	Среднее / Average	0.67	0.91	0.43	0.06	0.12	0.46	0.11
Германия (детские площадки) Germany (playgrounds)	Min	0.27	0.33	–	0.04	0.05	–	0.05
	Max	0.36	1.00	–	0.08	0.12	–	0.11
	Среднее / Average	0.32	0.65	–	0.06	0.08	–	0.07
Финляндия (ПДК) Finland (MPC)	Min	1.34	0.46	0.17	0.43	0.18	0.24	0.91
	Max	1.82	1.40	0.49	0.83	0.39	0.72	2.11
	Среднее / Average	1.61	0.91	0.27	0.60	0.28	0.46	1.49
Дания (ПДК) Denmark (MPC)	Min	0.67	2.30	0.58	1.42	0.21	0.48	4.56
	Max	0.91	7.00	1.63	2.76	0.47	1.44	10.53
	Среднее / Average	0.81	4.56	0.91	2.01	0.34	0.92	7.47
Норвегия (ПДК) Norway (MPC)	Min	3.35	0.46	0.17	0.14	0.18	0.48	0.46
	Max	4.55	1.40	0.49	0.28	0.39	1.44	1.05
	Среднее / Average	4.03	0.91	0.27	0.20	0.28	0.92	0.75
Нидерланды (ПДК) Netherlands (MPC)	Min	0.20	0.60	0.44	0.27	0.27	0.30	0.21
	Max	0.27	1.84	1.22	0.52	0.58	0.90	0.48
	Среднее / Average	0.24	1.20	0.68	0.38	0.42	0.57	0.34

Таблица 5 / Table 5

Оценка уровня загрязнения тяжёлыми металлами почв территорий детских площадок  
Assessment of heavy metal pollution of soils within territories of kids playgrounds

Место отбора проб Sampling site	$E_i$							$RI$	Уровень загрязнения Pollution level
	As	Cd	Hg	Pb	Zn	Ni	Cu		
T1	13.46	55.77	65.06	3.83	0.85	16.50	3.19	158.64	Умеренный / Moderate
T2	12.32	50.10	51.28	4.22	1.26	9.85	2.62	131.65	Низкий / Low
T3	12.18	60.62	89.63	3.05	1.65	18.38	5.48	190.99	Умеренный / Moderate
T4	11.99	40.55	63.78	2.75	1.75	9.38	3.04	133.24	Низкий / Low
T5	11.60	45.36	45.17	2.21	0.65	6.03	2.00	113.03	Низкий / Low
T6	12.45	45.90	82.96	2.73	0.88	6.62	2.26	153.80	Умеренный / Moderate
T7	14.32	65.88	68.18	3.72	1.89	12.31	3.39	169.69	Умеренный / Moderate
T8	14.10	70.87	85.09	3.59	1.21	16.15	3.80	194.82	Умеренный / Moderate
T9	13.64	46.02	46.03	2.61	1.28	15.75	3.02	128.35	Низкий / Low
T10	10.53	36.43	38.78	1.94	0.63	8.73	1.96	98.99	Низкий / Low
Среднее / Average	12.66	51.75	63.60	3.06	1.20	11.97	3.08	147.32	Низкий / Low

По результатам расчётов значения суммарного показателя  $Z_C$  и  $Z_{CT}$  изменяются в пределах от 2 до 7 и от 4 до 13 соответственно (при допустимом уровне, равном 16). Для почв всех участков опробования устанавливается категория загрязнения «допустимая».

Результаты оценки уровня загрязнения почв тяжёлыми металлами и мышьяком по показателю потенциальной экологической опасности ( $RI$ ) с учётом степени экологической опасности каждого элемента ( $E_i$ ) приведены в табл. 5. Распределение ( $E_i$ ) тяжёлых металлов по степени опасности имеет следующий вид:  $Hg > Cd > As > Ni > Cu > Pb > Zn$ . Значения показателя степени опасности по элементам изменяются от 0,6 до 90. Низкая степень опасности установлена по содержанию As, Zn, Cu, Pb и Ni, умеренная – по Cd, значительная и умеренная – по Hg.

Среднее значение показателя потенциальной экологической опасности  $RI$  составляет 147,32 и свидетельствует в целом о низком уровне загрязнения. Значения  $RI$  по всем участкам находятся в диапазоне от 98,99 до 194,82, что соответствует уровню загрязнения от «низкого» до «умеренного».

Показатель потенциальной экологической опасности  $RI$  является аналогичным экологическому показателю суммарного загрязнения  $Z_{CT}$ , поскольку при расчёте данных показателей учитывается токсичность элементов. Уровень загрязнения  $RI$  соответствует «умеренному» и «низкому» – в равных соотношениях. Согласно экологическому суммарному показателю  $Z_{CT}$ , почвы всех участков опробования соответствуют одному «допустимому» (низкому) уровню загрязнения.

Несмотря на «допустимую» категорию загрязнения по  $Z_C$  и «умеренный» и «низкий» уровни загрязнения по  $RI$ , установленные превышения российских и зарубежных значений ПДК содержания Ni, As, Cu, Cd, Zn и Hg в исследованных почвах свидетельствуют о возможной серьёзной угрозе здоровью людей, особенно детей, поскольку данные площадки относятся к местам их частого посещения и длительного пребывания.

## Обсуждение

На примере норвежской модели рассмотрим функционирование руководящих принципов по оценке и восстановлению загрязнённых участков. Министерство окружающей среды Норвегии в 2009 г. выделило более 16 млн долларов на исследования и ремедиацию загрязнённых участков. Загрязнённые участки постоянно регистрируются в базе данных национального реестра загрязнённых участков и ото-

бражаются на ГИС-картах, доступных для всех граждан в сети Интернет. ГИС-карты содержат информацию о местоположении загрязнённых участков, видах функционального использования территории, типе загрязнения и т. д. После восстановительных работ информация обновляется в национальном реестре загрязнённых участков [30].

На территории исследования в двух точках опробования (T3 и T8) зафиксировано содержание Hg более 1 мг/кг. Согласно норвежским критериям качества, для выполнения ремедиационных работ на этих участках необходимо проведение восстановительных мероприятий.

Почвы на всех детских игровых площадках опробования характеризуются опасной категорией загрязнения. К сожалению, действующие в настоящее время СанПиН 1.2.3684-21 не позволяют корректно установить ограничения по использованию загрязнённых почв.

В странах Европы и Канады имеются руководства по оценке уровня загрязнения территорий, в которых поэтапно изложена методика определения загрязнённых участков и последующего управления ими. В ряде стран, в том числе в Норвегии, такие рекомендации разработаны и для детских площадок [17, 28, 29].

Требованиями МУ 2.1.7.730-99 с целью контроля санитарного состояния почв детских дошкольных, школьных и лечебно-профилактических учреждений, игровых площадок и зон отдыха предусмотрен отбор проб не менее 2 раз в год – весной и осенью. Однако в настоящее время на территории Российской Федерации управление качеством почв дворовых территорий осуществляется, как правило, в рамках принятых проектных решений при строительстве, реконструкции объектов капитального строительства. Согласно результатам оценки санитарно-гигиенического состояния и выявленной категории загрязнения, принимается решение о возможном дальнейшем использовании почв при проектировании или реконструкции на данной территории либо о необходимости их вывоза и утилизации. После завершения работ по благоустройству территории мониторинг загрязнённости почв жилых районов осуществляется не в полном объёме.

Отсутствие на стадии эксплуатации придомовых территорий мероприятий по поддержанию качества почв, соответствующего нормативному, приводит к формированию очагов загрязнения, угрожающих в первую очередь здоровью детей. Решением проблемы может стать разработка технического регламента, устанавливающего требования к периодическому контролю состояния почв и своевременной их ремедиации.



## Заключение

Результаты проведенных исследований почв детских игровых площадок в пределах придомовых территорий Индустриального района г. Перми свидетельствуют о значительной геохимической нагрузке на почвенный покров, выражающейся в повышенном относительном ПДК содержания As, Ni, Cu, Cd, и Zn. Для минимизации негативного воздействия на здоровье населения необходим мониторинг почв селитебных территорий с целью выявления загрязненности и проведения своевременной ремедиации. На законодательном уровне следует проработать вопросы периодического контроля почв селитебных территорий и управления их качеством для обеспечения благоприятной экологической среды.

## Литература

(п. п. 1, 3, 5, 6, 8–19, 22–25, 27–31 см. References)

- Касимов Н.С., Власов Д.В. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета). *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2018; (3): 14–22.
- Ворончихина Е.А., Шукин А.В., Шукина Н.И. К оценке геохимического состояния урбоэкосистемы Перми в связи с использованием противооголедных реагентов. *Географический вестник*. 2014; (2): 78–94.
- Балтрукова Т.Б., Янушанец О.И., Иванова О.И., Фролова Н.М., Носков С.Н., Леванчук А.В. Гигиеническая оценка расположения и состояния детских игровых площадок на территории Санкт-Петербурга. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(6): 619–24. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-619-624>
- Семенов И.Н., Королева Т.В. Мировой опыт нормирования содержания химических элементов в почве. *Экология и промышленность России*. 2019; 23(2): 62–7. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-2-68-71>
- Ушакова Е.С., Каравая Т.И., Белкин П.А. Экологическое состояние почв промышленных территорий (на примере г. Березники, Пермский край): сравнение отечественных и зарубежных методов оценки. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2020; 331(10): 58–70. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/10/2850>
- Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л. и др. *Геохимия окружающей среды*. М.: Недра; 1990.
- Verla E.N., Verla A.W., Osisi A.F., Okeke P.N., Enyoh C.E. Finding a relationship between mobility factors of selected heavy metals and soil particle size in soils from children's playgrounds. *Environ. Monit. Assess.* 2019; 191(12): 742. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7937-7>
- Kasimov N.S., Vlasov D.V. Heavy metals and metalloids in urban soils of Russian cities (according to the annual reports of Rosgidromet). *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2018; (3): 14–22. (in Russian)
- Aleksander-Kwarcerczak U., Rajca A. Urban soil contamination with lead and cadmium in the playgrounds located near busy streets in Cracow (South Poland). *Geol. Geophys. Environ.* 2015; 41(1): 7–16. <https://doi.org/10.7494/geol.2015.41.1.7>
- Voronchikhina E.A., Shchukin A.V., Shchukina N.I. To assess the status of geochemical urboekosistemy perm in connection with the use of anti-frost agents. *Geograficheskiy vestnik*. 2014; (2): 78–94. (in Russian)
- Jin Y., O'Connor D., Ok Y.S., Tsang D.C.W., Liu A., Hou D. Assessment of sources of heavy metals in soil and dust at children's playgrounds in Beijing using GIS and multivariate statistical analysis. *Environ. Int.* 2019; 124: 320–8. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.024>
- Adamiec E., Wieszała R., Strzebońska M. An attempt to identify traffic related elements in snow. *Geol. Geophys. Environ.* 2013; 39(4): 317–29. <https://doi.org/10.7494/geol.2013.39.4.317>
- Baltrukova T.B., Yanushanets O.I., Ivanova O.I., Frolova N.M., Noskov S.N., Levanchuk A.V. Hygienic evaluation of the dislocation and state of recreations for children in the city of Saint-Petersburg. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(6): 619–24. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-6-619-624> (in Russian)
- Zgłobicki W., Telecka M., Skupiński S. Heavy metals in playgrounds in Lublin (E Poland): sources, pollution levels and health risk. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2021; 28(15): 18328–41. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09375-y>
- Massas I., Ehaliotis C., Kalivas D., Panagopoulou G. Concentrations and availability indicators of soil heavy metals; The case of children's playgrounds in the city of Athens (Greece). *Water Air Soil Pollut.* 2010; 212: 51–63. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0321-4>
- Šapčanin A., Čakal M., Ramić E., Smajović A., Pehlić E. Heavy metals pollution in children playgrounds – an environmental modelling and statistical analysis. *Bulletin of the Chemists and Technologists of Bosnia and Herzegovina*. 2016; (47): 21–6.
- Ottesen R.T., Alexander J., Langedal M., Haugland T., Høygaard E. Soil pollution in day-care centers and playgrounds in Norway: National action plan for mapping and remediation. *Environ. Geochem. Health*. 2008; 30(6): 623–37. <https://doi.org/10.1007/s10653-008-9181-x>
- Marjanović M.D., Vukčević M.M., Antonović D.G., Dimitrijević S.I., Jovanović Đ.M., Matavujić M.N., et al. Heavy metals concentration in soils from parks and green areas in Belgrade. *J. Serb. Chem. Soc.* 2009; 74(6): 697–706. <https://doi.org/10.2298/JSC0906697M>
- Valsky V., Ignatavicius G., Sinkevicius S., Gasiunaite U. Soil contamination by heavy metals in playgrounds of kindergartens in Vilnius. *J. Environ. Sci. Int.* 2016; 25(1): 11–21. <https://doi.org/10.5322/JESI.2016.25.1.11>
- Elom N.I., Entwistle J.A., Dean J.R. How safe is the playground? An environmental health risk assessment of As and Pb levels in school playing fields in NE England. *Environ. Chem. Lett.* 2013; 11(4): 343–51. <https://doi.org/10.1007/s10311-013-0413-7>
- Dixit R., Wasiullah, Malaviya D., Pandiyan K., Singh U.B., Sahu A., et al. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability*. 2015; 7(2): 2189–12. <https://doi.org/10.3390/su7022189>
- CCME. Canadian Council for Ministers for the Environment. Canadian Environmental Quality Guidelines; 2018.
- Danish Environmental Protection Agency 2002. Guidelines on remediation of contaminated sites. Environmental Guidelines No. 7; 2002. Vejledning fra Miljø-styrelsen. Available at: [https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2002/87-7972-280-6/html/lelepubl\\_eng.htm#ref53](https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2002/87-7972-280-6/html/lelepubl_eng.htm#ref53)
- Tarvainen T., Jarva J. Using geochemical baselines in the assessment of soil contamination in Finland. In: *Mapping the Chemical Environment of Urban Areas*. John Wiley & Sons; 2011: 223–31. <https://doi.org/10.1002/9780470670071.ch15>
- Chernova O.V., Beketskaya O.V. Permissible and background concentrations of pollutants in environmental regulation (heavy metals and other chemical elements). *Eur. Soil Sci.* 2011; 44(9): 1008–17. <https://doi.org/10.1134/S106422931109002X>
- Semenkov I.N., Koroleva T.V. World experience in rationing the content of chemical elements in the soil. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2019; 23(2): 62–7. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-2-68-71> (in Russian)
- Ushakova E.S., Karavaeva T.I., Belkin P.A. Ecological condition of soils in industrial areas (as in the case of Berezniki, Perm region): comparison of Russian and foreign methods of assessment. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurosov*. 2020; 331(10): 58–70. <https://doi.org/10.18799/24131830/2020/10/2850> (in Russian)
- Provoost J., Cornelis C., Swartjes F. Comparison of soil clean-up standards for trace elements between countries: Why do they differ? (9 pages). *J. Soils Sediments*. 2006; 6(3): 173–81. <https://doi.org/10.1065/jss2006.07.169>
- Weissmannová H.D., Pavlovský J. Indices of soil contamination by heavy metals – methodology of calculation for pollution assessment (minireview). *Environ. Monit. Assess.* 2017; 189(12): 616. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6340-5>
- Kowalska J.B., Mazurek R., Gašior M., Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination – A review. *Environ. Geochem. Health*. 2018; 40(6): 2395–420. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>
- Vodyanitskii Yu.N. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *Annals of Agrarian Science*. 2016; 14(3): 257–263.
- Saev Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P., Smirnova R.S., Basharkovich I.L., Onishchenko T.L., et al. *Environmental Geochemistry [Geokhimiya okruzhayushchey sredy]*. Moscow: Nedra; 1990. (in Russian)
- Guan Y., Shao C., Ju M. Heavy metal contamination assessment and partition for industrial and mining gathering areas. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2014; 11(7): 7286–303. <https://doi.org/10.3390/ijerph110707286>
- Norwegian Pollution Control Authority. Soil contamination in day-care centers and playgrounds; 2009. Available at: <https://www.miljodirektoratet.no>
- CCME. Environmental Guideline for Contaminated Site Remediation; 2003. Available at: <https://st-ts.ccm.ca>
- Danish Environmental Protection Agency 2002. Ecological risk assessment of contaminated sites. Environmental project. No. 1422; 2012. Vejledning fra Miljø-styrelsen. Available at: <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2012/05/978-87-92903-12-9.pdf>
- Hakanson L. An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control. A Sedimentological Approach. *Water Res.* 1980; (14): 975-1001.