

УДК 631.41:631.453

<https://www.doi.org/10.47813/dnit-III.2024.11.1004>

EDN [UAIBJH](#)

Проблема техногенного загрязнения почв в городе Екатеринбурге тяжелыми металлами

Г.В. Харина^{1*}, Л.В. Алешина², М.С. Топорищев¹

¹ФГАОУ ВО Российский государственный профессионально-педагогический университет, Екатеринбург, Россия

²ФГБОУ ВО Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

*E-mail: gvkharina32@yandex.ru

Аннотация: работа посвящена проблеме загрязнения почв Екатеринбурга тяжелыми металлами. Приведены механизмы закрепления тяжелых металлов в почвах; отмечены негативные последствия аккумуляции тяжелых металлов в почвах. Цель работы заключалась в оценке степени техногенной аккумуляции тяжелых металлов в почвах города Екатеринбурга. В экспериментальной части перечислены места отбора почв в Екатеринбурге; описана методика подготовки проб к анализу; отмечено, что валовое содержание тяжелых металлов (меди, свинца, кадмия, цинка и никеля) определялось методом инверсионной вольтамперометрии. Обнаружено, что в большей степени загрязнены почвы, места отбора проб которых находятся неподалеку от промышленных предприятий. Рассчитаны значения индекса геоаккумуляции указанных тяжелых металлов в почвах. Выявлен сильный уровень загрязнения почв свинцом и кадмием и средний уровень загрязнения никелем и цинком. Установлен ряд техногенности тяжелых металлов в почвах Екатеринбурга. Максимальная техногенность установлена для кадмия и свинца.

Ключевые слова: почвы, загрязнение, тяжелые металлы, техногенность, геоаккумуляция.

The problem of technogenic soil pollution in the city of Yekaterinburg with heavy metals

G.V. Kharina^{1*}, L.V. Alyoshina², M.S. Toporishchev¹

¹Russian State Vocational Pedagogical University, Yekaterinburg, Russia

²Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

*E-mail: gvkharina32@yandex.ru

Abstract: the work is devoted to the problem of soil pollution in Yekaterinburg with heavy metals. The mechanisms of fixation of heavy metals in soils are given; the negative effects of accumulation of heavy metals in soils are noted. The purpose of the work was to assess the degree of technogenic accumulation of heavy metals in the soils of the city of Yekaterinburg. The experimental part lists the sites of soil sampling in Yekaterinburg; describes the method of preparing samples for analysis; it is noted that the gross content of heavy metals (copper, lead, cadmium, zinc and nickel) was determined by inversion voltammetry. It was found that soils with sampling sites located near industrial enterprises are more polluted. The values of the geoaccumulation index of these heavy metals in soils are calculated. A strong level of soil contamination with lead and cadmium and an average level of contamination with nickel and zinc were revealed. A number of technogeneities of heavy metals in the soils of Yekaterinburg have been established. The maximum technogenicity is set for cadmium and lead.

Keywords: soils, pollution, heavy metals, technogenicity, geoaccumulation.

1. Введение

Среди огромного количества экотоксикантов, поступающих в окружающую среду в результате интенсивной антропогенной деятельности, особое место занимают тяжелые металлы. Эти элементы, обладающие высокой атомной массой, аккумулируются в почвах, просачиваются через толщи пород с почвенным раствором в грунтовые, а затем попадают и в поверхностные воды и могут передаваться по цепям питания. Закрепление и накопление тяжелых металлов в почвах возможно за счет образования труднорастворимых веществ [1], комплексных соединений, в результате адсорбции алюмосиликатами или гидроксидами железа [2]. Тяжелые металлы отличаются высокой токсичностью; многие из них относятся к высокоопасным веществам (Cd, Pb, Hg, Zn и др.) [3]. В результате попадания соединений тяжелых металлов в организм человека нарушаются функции важнейших органов и систем [4]. Предприятия тяжелого машиностроения, черной и цветной металлургии, энергетика и автотранспорт являются главными виновниками загрязнения почв тяжелыми металлами [5]. В результате непрерывного поступления тяжелых металлов в окружающую среду образуются техногенные геохимические аномалии, свойственные почвам крупных промышленных центров [6].

2. Постановка задачи (Цель исследования)

В связи с ухудшающейся экологической ситуацией особую актуальность приобретает регулярный контроль содержания тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Цель данной работы заключалась в оценке степени техногенной аккумуляции тяжелых металлов в почвах города Екатеринбурга.

3. Методы и материалы исследования

Пробы почв были отобраны в городе Екатеринбурге в соответствии с требованиями ГОСТа 17.4.3.01-83 «Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб». Основным критерием выбора участков отбора проб являлось их расположение (не менее 500 м) по отношению к действующим предприятиям или автомагистрали (таблица 1). Навески высушенных проб почв были залиты раствором азотной кислоты, выдержаны в течение 24-х часов и затем отфильтрованы.

Значения pH полученных растворов были измерены потенциометрическим методом с использованием иономера РХ 150.

Таблица 1. Участки отбора проб почв в Екатеринбурге и соответствующие источники загрязнения.

№ пробы	Место отбора пробы	Источники загрязнения
1	Кировский р-н, ул. Блюхера	Завод металлоконструкций
2	Кировский р-н, ул. Сыромолотова	Автомагистраль
3	Орджоникидзевский р-н, ул. Машиностроителей	Металлургический завод
4	Орджоникидзевский р-н, ул. Фронтовых бригад	Дизель-моторный, турбинный заводы
5	Орджоникидзевский р-н, ул. Шефская	ТЭЦ, авторемонтные мастерские
6	Ленинский р-н, ул. Московская	Завод трансформаторных технологий
7	Академический р-н, ул. Академика Сахарова	Автомагистраль
8	Академический р-н, ул. Вильгельма де Геннина	Автомагистраль
9	Верх-Исетский р-н, ул. Токарей	Металлургический, завод
10	Октябрьский р-н, Кольцовский тракт	Инструментальный завод
11	Октябрьский р-н, ул. Куйбышева	Инструментальный, машиностроительный заводы
12	Железнодорожный р-н, ул. Челюскинцев	Электромеханический завод

Степень загрязнения исследуемых почв определяли по валовому содержанию меди, свинца, кадмия, цинка, никеля методом инверсионной вольтамперометрии с использованием анализатора ИВА по ТУ 4215-001-05828695-95 (НПВП «ИВА», г. Екатеринбург).

4. Полученные результаты

Почвы Екатеринбурга имеют сложное геологическое строение и отличаются высоким природным содержанием некоторых тяжелых металлов, обусловленным участками с ультраосновными подстилающими породами [7]. Антропогенное загрязнение почв города Екатеринбурга тяжелыми металлами происходит в условиях уже сформировавшихся природных геохимических аномалий. Почвы Екатеринбурга, относящиеся к среднеуральской южно-таежной почвенной провинции, являются дерново-подзолистыми с преобладанием суглинистых фракций. Почвы характеризуются

слабокислой реакцией среды. Поскольку почвы по гранулометрическому составу суглинистые со слабокислой реакцией среды, большая часть металлов в почвах находится в неподвижном состоянии в виде труднорастворимых соединений и комплексов с органическим веществом почвы, адсорбированных на глинистых фракциях, оксидах и гидроксидах железа, которыми обогащены уральские земли. Какая-то часть тяжелых металлов присутствует в подвижном состоянии в виде катионов. Валовое содержание металла подразумевает суммарную его концентрацию в неподвижной и растворимой формах.

Результаты определения валового содержания тяжелых металлов в почвах приведены в таблице 2. В качестве гигиенического норматива содержания тяжелых металлов в почве взяты значения ориентировочно-допустимых концентраций (ОДК) с учетом гранулометрического состава почв и характера их среды.

Результаты, представленные в табл. 2, свидетельствуют о большем загрязнении разными металлами почв №№ 3, 4, 5, 6, 9, 10, 12. Участки отбора этих проб находятся неподалеку от таких предприятий, как металлургический, дизель-моторный, турбинный, машиностроительный заводы и предприятие трансформаторных технологий. Концентрации металлов в почвах №№ 7, 8, 11, отобранных на участках вдали от промышленных предприятий, не превышают значений их ОДК.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов и значения pH исследуемых проб почв.

Проба	pH	Содержание валовых форм тяжелых металлов, мг/кг									
		Cu ²⁺	ОДК	Pb ²⁺	ОДК	Cd ²⁺	ОДК	Zn ²⁺	ОДК	Ni ²⁺	ОДК
1	5,9	24,3		21,5		1,1		121,8		162,2	
2	6,8	21,6		34,5		0,9		126,2		274,0	
3	6,1	171,0		182,3		1,9		134,0		103,0	
4	6,4	106,0		175,0		2,0		438,0		268,0	
5	5,9	122,0	132,0	155,2	130,0	1,9	2,0	271,0	220,0	259,0	80,0
6	6,7	82,0		98,2		0,7		240,0		136,0	
7	6,8	64,1		31,6		0,7		123,0		57,2	
8	6,8	122,2		55,2		1,0		211,0		67,0	
9	6,5	167,0		167,9		1,9		264,0		103,0	
10	6,2	38,2		89,6		0,3		267,0		172,8	
11	6,8	31,3		14,4		0,3		105,0		25,0	
12	5,9	136,0		118,0		0,9		234,0		90,7	

Оценка загрязнения почв проводилась по индексу геоаккумуляции тяжелых металлов [8]:

$$I_{geo} = \log_2 \cdot \frac{C_i}{1,5C_{\phi i}} \quad (1)$$

C_i – концентрация металла в верхнем слое почвы,

$C_{\phi i}$ – фоновая концентрация металла,

1,5 – коэффициент, позволяющий компенсировать содержание элемента в фоне за счет литогенных факторов.

Техногенное загрязнение ландшафта по величине I_{geo} оценивается следующим образом:

- если $I_{geo} \leq 0$, ландшафт практически незагрязнен;
- при $0 < I_{geo} < 1$ загрязнение ландшафта варьируется от незагрязненного до умеренно загрязненного;
- если $1 < I_{geo} < 2$, ландшафт умеренно загрязнен;
- при $2 < I_{geo} < 3$ загрязнение оценивается как среднее;
- при $3 < I_{geo} < 4$ ландшафт загрязнен сильно;
- если $4 < I_{geo} < 5$ загрязнение ландшафта варьируется от сильно загрязненного до чрезмерно загрязненного;
- при $I_{geo} > 5$ загрязнение оценивается как чрезмерное.

Как видно из рисунка 1, все почвы, кроме №11, загрязнены тяжелыми металлами в разной степени. Почвы №№ 3, 4, 5, 9 сильно загрязнены свинцом и кадмием. Несмотря на соответствие найденного в исследуемых почвах содержания кадмия его ОДК (таблица 2), значения индекса геоаккумуляции свидетельствуют о техногенном загрязнении почв этим элементом. Возможно, такое противоречие вызвано неточными фоновыми концентрациями элементов, сложность определения которых в региональных почвах отмечается многими авторами [3].

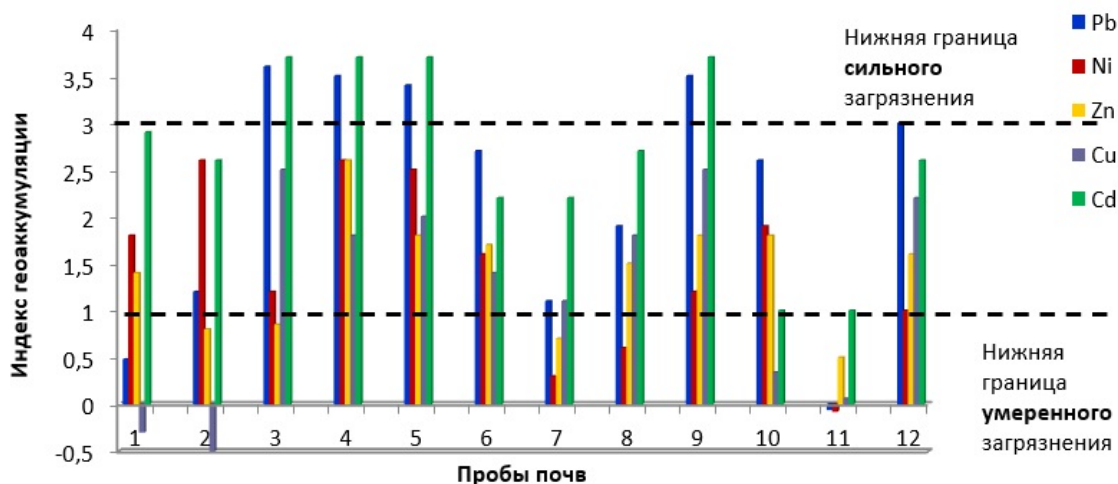


Рисунок 1. Значения индекса геоаккумуляции тяжелых металлов в исследуемых почвах.

С другой стороны, установлено [6], что в почвах крупных городов среди загрязнителей-металлов доминирует именно кадмий, к основным источникам которого относятся предприятия черной и цветной металлургии, продукты сжигания нефтепродуктов, осадки канализационных сточных вод.

Сильное загрязнение указанных почв (№№ 3, 4, 5, 9) свинцом обусловлено близостью расположения участков отбора проб к металлургическим предприятиям. Считается, что даже на значительном удалении от источника загрязнения (несколько км) содержание свинца в почвах может превышать его ОДК. Из рис. 1 видно, что для всех исследуемых почв (кроме №11) характерно техногенное загрязнение от умеренного до сильного.

5. Выводы

Таким образом, установлено, что для почв города Екатеринбурга характерно техногенное загрязнение свинцом, кадмием, никелем и цинком. По значениям индекса геоаккумуляции выявлен сильный уровень загрязнения почв свинцом и кадмием и средний уровень загрязнения никелем и цинком. По вкладу в общее загрязнение почв определяемые тяжелые металлы можно расположить в техногенный ряд $Cd > Pb > Ni > Zn > Cu$. Максимальная техногенность установлена для кадмия и свинца; минимальная – для меди.

Список литературы

1. Bradl Heike B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents / Heike B. Bradl // *Journal of Colloid and Interface Science*, – 2004. – V. 277. – № 1. – P. 1-18
2. Васильев А.А. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения. Монография / А.А. Васильев, Н.Н. Чащин. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. – 197 с
3. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах / Ю.Н. Водяницкий // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. – 2011. – Вып. 68. – С. 56-82
4. Mng'ong'o Marco. Potentially toxic elements status and distribution in Usangu agroecosystem-Tanzania / Marco Mng'ong'o, Sean Comber, Linus K. Munishi, et al. // *Environmental Challenges*. – 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100200> (дата обращения 30.01.2024)
5. Pacyna E.G. Current and future emissions of selected heavy metals to the atmosphere from anthropogenic sources in Europe / E.G. Pacyna, J.M. Pacyna, J. Fudala et al. // *Atmospheric Environment*. – 2007. – V. 41. – № 38. – P. 8557-8566
6. Касимов Н.С. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета) / Н.С. Касимов, Д.В. Власов // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. – 2018. – №3. – С. 14-22
7. Байтимилова Е.А. Оценка загрязнения рекреационных зон мегаполиса тяжелыми металлами (на примере Екатеринбурга) / Е.А. Байтимилова, Е.В. Михеева, Е.Н. Беспмятных [и др.] // *Аграрный вестник Урала*. – 2016. – №4. – С. 71-77
8. М.В. Шабанов. Геохимические процессы накопления тяжелых металлов в ландшафтах Южного Урала / М.В. Шабанов, Г.Б. Стрекулев // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2021.– Т. 332. – №1. – С. 184-192