

УДК 550.4:631.41:631.453
DOI 10.17513/use.38216

ПРОБЛЕМА МЕТАЛЛИЗАЦИИ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

¹Харина Г.В., ²Алешина Л.В., ³Шалыгина Ж.В.

¹ФГАОУ ВО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»,
Екатеринбург, e-mail: gvkharina32@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»,
Екатеринбург, e-mail: alv@usue.ru;

³ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: z.v.shalygina@urfu.ru

Работа посвящена проблеме аккумуляции тяжелых металлов в почвах промышленных центров. Актуальность работы обоснована необходимостью регулярного мониторинга и оценки состояния окружающей среды в связи с ухудшающейся экологической ситуацией в Екатеринбурге. Цель работы заключалась в оценке загрязнения почвенного покрова города Екатеринбурга тяжелыми металлами. Объектом исследования являлись пробы почв, отобранные в разных районах Екатеринбурга. Описана подготовка проб к анализу; указаны методы исследования: потенциометрический (для определения характера среды) и инверсионно-вольтамперометрический (для определения тяжелых металлов – свинца, никеля, меди, цинка и кадмия). Приведена карта города с указанием участков отбора почвенных проб. Отмечено, что в Екатеринбурге преобладают дерново-подзолистые почвы, по гранулометрическому составу – среднесуглинистые. Указаны источники загрязнения почв, приведен механизм аккумуляции тяжелых металлов в почвах. Рассчитаны коэффициенты концентрации тяжелых металлов и значения интегрального показателя загрязнения Zc; составлены геохимические специализации почв по коэффициентам концентрации тяжелых металлов. Обнаружено, что высоким уровнем загрязнения характеризуются почвы четырех участков отбора проб; средним уровнем – почвы восьми участков. Установлено, что в почвах Екатеринбурга формируются техногенные геохимические ассоциации состава $Cd_{3-20}Pb_{3-18}Zn_{2-9}Ni_{1-9}Cu_{1-7}$. Подчеркнуто, что в результате техногенного воздействия уровень металлизации почв в Екатеринбурге достаточно высок.

Ключевые слова: тяжелые металлы, аккумуляция, техногенное загрязнение, интегральный показатель загрязнения

THE PROBLEM OF METALLIZATION OF SOILS OF URBANIZED TERRITORIES ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF YEKATERINBURG

¹Kharina G.V., ²Aleshina L.V., ³Shalygina Zh.V.

¹Russian State Vocational Pedagogical University, Yekaterinburg,
e-mail: gvkharina32@yandex.ru;

²Ural State University of Economics, Yekaterinburg, e-mail: alv@usue.ru;

³Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, e-mail: z.v.shalygina@urfu.ru

The work is devoted to the problem of accumulation of heavy metals in the soils of industrial centers. The relevance of the work is justified by the need for regular monitoring and assessment of the state of the environment in connection with the deteriorating environmental situation in Yekaterinburg. The purpose of the work was to assess the contamination of the soil cover of the city of Yekaterinburg with heavy metals. The object of the study was soil samples taken in different districts of Yekaterinburg. The preparation of samples for analysis is described; The research methods are indicated: potentiometric (to determine the nature of the medium) and inversion-voltammetric (to determine heavy metals – lead, nickel, copper, zinc and cadmium). A map of the city with an indication of soil sampling sites is provided. It is noted that sod-podzolic soils predominate in Yekaterinburg, medium loamy in terms of granulometric composition. The sources of soil pollution are indicated, and the mechanism of accumulation of heavy metals in soils is given. The concentration coefficients of heavy metals and the values of the integral pollution index Zc are calculated; geochemical specializations of soils according to the concentration coefficients of heavy metals have been compiled. It was found that the soils of four sampling sites are characterized by a high level of pollution; the soils of eight sites are characterized by an average level. It has been established that technogenic geochemical associations of the composition $Cd_{3-20}Pb_{3-18}Zn_{2-9}Ni_{1-9}Cu_{1-7}$ are formed in the soils of Yekaterinburg. It is emphasized that as a result of man-made impact, the level of metallization of soils in Yekaterinburg is quite high.

Keywords: heavy metals, accumulation, man-made pollution, integral pollution indicator

Почва выполняет множество разнообразных функций в глобальной экосистеме: обеспечение устойчивости функционирования биогеоценозов; связывание поллютантов и перевод их в безопасное для живых организмов состояние; регуляция химического состава природных вод и др. В почве происходят процессы гумусообразования и биогенной аккумуляции химических элементов. Вместе с тем почва является одним из природных объектов, испытывающих наиболее сильное антропогенное воздействие.

Техногенное загрязнение биосферы особенно остро ощущается в крупных промышленных центрах, к числу которых относится Екатеринбург. Критическая экологическая ситуация в столице Урала обусловлена чрезмерным поступлением в окружающую среду экотоксикантов из различных антропогенных источников. Почва, являясь частью биосферы, тесно связана с другими ее компонентами – атмосферой и гидросферой – потоками вещества, энергии и информации. В этой связи все загрязнители так или иначе неизменно попадают в почву. Кроме того, почвы с избыточным содержанием поллютантов сами являются источником вторичного загрязнения поверхностных и подземных вод, приземного слоя воздуха.

Почвы городских ландшафтов представляют собой сложные природно-антропогенные биогеохимические системы. Например, дерново-подзолистые почвы в пределах города в результате антропогенной деятельности постепенно трансформируются в новое состояние – урбанозем, в котором зональные почвы смешаны со строительным мусором, кирпичной крошкой, стеклом и т.д. [1, с. 89]. Техногенные загрязнители, попадая в почву, накапливаются в ней, меняют химический состав и природные миграционные потоки. Из наиболее опасных поллютантов выделяют тяжелые металлы с низкими значениями кларков в земной коре (Pb, Cd, Hg и др.), образующих контрастные по сравнению с фоном геохимические аномалии и обладающие сильным негативным воздействием на живые организмы, в том числе на человека [2–4].

Машиностроительные и металлургические предприятия, теплоэнергетика, транспорт являются основными поставщиками тяжелых металлов в окружающую среду и, следовательно, источниками образования техногенных геохимических

аномалий в городских почвах. Согласно [5, с. 14] многие города Свердловской области характеризуются высоким уровнем загрязнения тяжелыми металлами и образованием полиэлементных геохимических аномалий Cd – Cu – Pb – Zn. Очевидно, почва является достаточно емким акцептором для тяжелых металлов, которые быстро накапливаются в ней и очень медленно удаляются, что приводит к постепенной металлизации почв урбанизированных территорий [6, с. 76].

Цель данной работы заключалась в определении степени загрязнения почвенного покрова города Екатеринбурга тяжелыми металлами.

Актуальность работы обоснована необходимостью регулярного мониторинга и оценкой состояния окружающей среды в связи с ухудшающейся экологической ситуацией в Екатеринбурге.

Материалы и методы исследования

Для проведения анализа были отобраны пробы почв в разных районах города Екатеринбурга (табл. 1) в соответствии с требованиями к отбору проб по ГОСТ 17.4.3.01-83 [7].

Таблица 1

Места отбора проб почв в Екатеринбурге

№ пробы	Место отбора пробы
1	Кировский р-н, ул. Блюхера
2	Кировский р-н, ул. Сыромолотова
3	Орджоникидзевский р-н, ул. Машиностроителей
4	Орджоникидзевский р-н, ул. Фронтальных бригад
5	Орджоникидзевский р-н, ул. Шефская
6	Ленинский р-н, ул. Московская
7	Академический р-н, ул. Академика Сахарова
8	Академический р-н, ул. Вильгельма де Геннина
9	Верх-Исетский р-н, ул. Токарей
10	Октябрьский р-н, Кольцовский тракт
11	Октябрьский р-н, ул. Куйбышева
12	Чкаловский р-н, ул. Лучистая
13	Чкаловский р-н, ул 8-е Марта
14	Чкаловский р-н, ул. Патриса Лумумбы
15	Верх-Исетский р-н, ул. Металлургов
16	Железнодорожный р-н, ул. Челюскинцев

Подготовка проб к определению валового содержания тяжелых металлов состояла из следующих этапов: 1) высушивание проб в сушильном шкафу при температуре не выше 4°C; 2) растирание проб почв в ступке и просеивание их через сито; 3) получение кислых вытяжек в результате выдержки почвенных образцов в растворе азотной кислоты в течение суток с последующей их фильтрацией.

Значения pH измеряли потенциометрическим методом с помощью иономера РХ 150.

Валовое содержание тяжелых металлов (меди, свинца, кадмия, цинка, никеля) определяли методом инверсионной вольтамперометрии (ИВА) с использованием инверсионного вольтамперометрического анализатора по ТУ 4215-001-05828695-95

(НПВП «ИВА», г. Екатеринбург). Аналитическим сигналом при этом является ток растворения продукта предварительного электролиза с электрода (при определении меди, свинца, кадмия, цинка) или катодного восстановления комплексного соединения на электроде (при определении никеля).

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 представлены точки отбора почвенных проб в разных районах Екатеринбурга. При отборе проб авторы придерживались принципа максимально возможного охвата территории города; из рис. 1 видно, что места отбора проб находятся как вблизи промышленных предприятий, так и на некотором удалении от них.

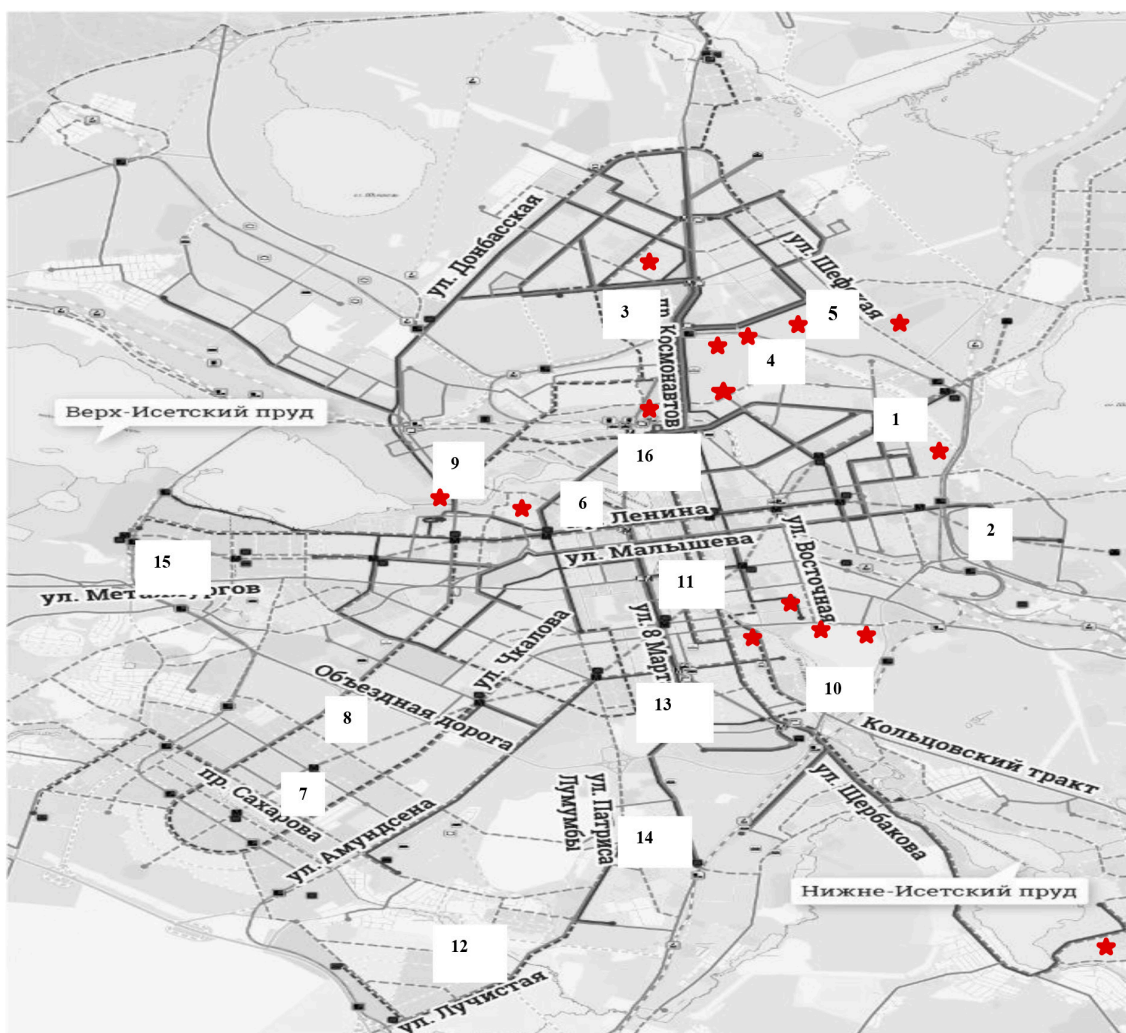


Рис. 1. Участки отбора почвенных проб в городе Екатеринбурге
★ – примерное расположение некоторых промышленных предприятий

Таблица 2

Концентрации валовых форм тяжелых металлов в пробах почв Екатеринбурга

Проба	рН	Содержание валовых форм тяжелых металлов, мг/кг									
		Pb ²⁺	ОДК	Ni ²⁺	ОДК	Zn ²⁺	ОДК	Cu ²⁺	ОДК	Cd ²⁺	ОДК
1	5,9	21,5		162,2		121,8		24,3		1,1	
2	6,8	34,5		274,0		126,2		21,6		0,9	
3	6,1	182,3		103,0		134,0		171,0		1,9	
4	6,4	175,0		268,0		438,0		106,0		2,0	
5	5,9	155,2		259,0		271,0		122,0		1,9	
6	6,7	98,2		136,0		240,0		82,0		0,7	
7	6,8	31,6		57,2		123,0		64,1		0,7	
8	6,8	55,2	130,0	67,0	80,0	211,0	220,0	122,2	132,0	1,0	2,0
9	6,5	167,9		103,0		264,0		167,0		1,9	
10	6,2	89,6		172,8		267,0		38,2		0,3	
11	6,8	14,4		25,0		105,0		31,3		0,3	
12	6,7	44,5		64,2		119,0		101,0		0,4	
13	6,1	88,0		74,1		112,3		123,0		0,6	
14	6,7	32,5		89,1		137,2		52,2		0,6	
15	6,0	96,0		44,5		89,5		117,0		0,5	
16	5,9	118,0		90,7		234,0		136,0		0,9	

Согласно почвенно-географическому районированию [8, с. 51] почвы Екатеринбурга и его окрестностей относятся к среднеуральской южно-таежной почвенной провинции, где преобладают почвы с кислой реакцией среды. Одной из особенностей этой провинции является повышенное содержание железа по сравнению с алюминием за счет специфики почвообразующих пород. В большей степени здесь распространены дерново-подзолистые почвы; по гранулометрическому составу – среднесуглинистые. Последнее особенно актуально, поскольку аккумуляция многих тяжелых металлов происходит в результате адсорбции их соединений глинистыми и суглинистыми отложениями, а также оксидами (гидроксидами) железа в составе почв.

Найденное содержание валовых форм тяжелых металлов приведено в табл. 2.

При оценке степени загрязнения почв авторы руководствовались значениями ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) тяжелых металлов с учетом характера среды и гранулометрического состава почв [9, с. 7]. Как следует из табл. 2, исследуемые почвы имеют слабокислую среду, и, как было сказано выше, в составе почв преобладают среднесуглинистые фракции.

Результаты, представленные в табл. 2, свидетельствуют о загрязнении проб № 1–6,

8–10 и 16 тяжелыми металлами (Pb, Ni, Zn, Cu) в разной степени.

Техногенное загрязнение почв в городах тяжелыми металлами происходит главным образом за счет их непосредственного попадания при работе различных промышленных предприятий и автотранспорта. Однако возможно поступление экотоксикантов из атмосферного воздуха (оседание продуктов сгорания топлива) или из загрязненных грунтовых вод. В крупных промышленных центрах атомтехногенный путь загрязнения почв доминирует, что подтверждается зависимостью содержания тяжелых металлов в почве от их концентрации в атмосферном воздухе [10, с. 204].

Почвы характеризуются большим разнообразием веществ минеральной и органической природы, которые связывают металлы, попадающие в почвенный покров, в новые прочные, чаще всего труднорастворимые, соединения (соли, гидроксиды, комплексы). Кроме того, фиксация тяжелых металлов в почве возможна и за счет процессов комплексообразования с гумусовыми кислотами, адсорбции глинистыми минералами, оксидами и гидроксидами железа, алюминия, марганца и т.д.

К основным источникам поступления свинца в почвы городских ландшафтов относятся предприятия металлургии, авто-

транспорт, отработанные аккумуляторы и т.д. Загрязнение почв свинцом может охватывать значительные по площади территории: даже на значительном расстоянии от источника загрязнения содержание растворимых форм свинца в почве может значительно превышать его допустимые нормы. Для свинца характерно закрепление в почве в результате образования солей гуминовых кислот – гуматов и адсорбции алюмосиликатами [11, с. 235]. Из рис. 2 видно, что наибольший вклад в загрязнение почв с участков № 3–5, 9 вносят находящиеся неподалеку от мест отбора проб промышленные предприятия (Уральский турбинный, Верх-Исетский металлургический, дизель-моторный заводы, теплоэлектростанция и др.).

Как следует из табл. 2, большая часть проб (№ 1–6, 9, 10, 16) загрязнена никелем, к источникам поступления которого можно отнести сжигание органического топлива, осадки сточных вод и выбросы металлообрабатывающих и металлургических предприятий. В почвах никель связывается с органическими соединениями, оксидами и гидроксидами железа и марганца в составе ультраосновных горных пород, содержащих тяжелые глины и суглинки [12, с. 76]. Участки отбора проб, загрязненных никелем, располагаются либо вблизи оживленных транспортных развязок (№ 2), либо рядом с промышленными предприятиями (№ 1, 3–6, 9, 10, 16) (рис. 2).

Антропогенное загрязнение почв цинком связано с использованием цинковых удобрений, работой горнодобывающих и металлургических заводов. Цинк в отличие от свинца аккумулируется в верхнем почвенном профиле в виде органоминеральных комплексов. Цинк наряду с кадмием и медью довольно активно адсорбируется глинистыми минералами и оксидами железа, переходя в неподвижное состояние. По загрязнению исследуемых почв цинк уступает никелю: превышение допустимого содержания цинка обнаружено в шести пробах – № 4–6, 9, 10, 16.

К основным источникам загрязнения почв медью можно отнести металлургические предприятия. Накопление меди в верхних слоях почвы происходит также в процессе сжигания топлива, в результате истирания шин и тормозных колодок автомобилей. В нейтральных и слабокислых почвах медь присутствует главным образом в подвижной форме в виде комплексных со-

единений с гуминовыми кислотами и в адсорбированном состоянии на поверхности оксидов марганца и железа. Как следует из табл. 2, повышенное содержание меди выявлено в пробах почв № 3, 9, 16.

Поступление кадмия в почву происходит при сжигании топлива, в процессе работы автотранспорта и предприятий металлургической и горнодобывающей промышленности и др. Пополняют запасы кадмия в почвах урбанизированных территорий и отработанные никелево-кадмиевые батареи. Кадмий в почвах может аккумулироваться как в виде малоустойчивых органических комплексов, так и виде труднорастворимых солей: сульфидов, фосфатов и др. В исследуемых почвенных пробах содержание кадмия не превышает его ОДК.

Таким образом, определяемые тяжелые металлы по их вкладу в техногенное загрязнение исследуемых почв можно расположить в ряд $Ni > Zn > Pb > Cu > Cd$, что хорошо согласуется с данными проведенных авторами ранее исследований [13, с. 178].

Для оценки степени техногенного загрязнения почв необходимо воспользоваться интегральным показателем загрязнения [14, с. 63]:

$$Z_C = \left(\sum_{i=1}^n K_{Ci} \right) - (n-1), \quad (1)$$

где K_{Ci} – коэффициент концентрации i -го металла; n – число определяемых металлов;

$$K_{Ci} = C_i / C_{\phi i}, \quad (2)$$

где C_i – фактическое содержание металла в почве; $C_{\phi i}$ – фоновое содержание металла.

С учетом коэффициентов токсичности тяжелых металлов [12, с. 9] расчетная формула интегрального показателя загрязнения приобретает следующий вид:

$$Z_{CT} = \left(\sum_{i=1}^n K_{Ci} \cdot K_{Ti} \right) - (n-1), \quad (3)$$

где K_{Ti} – коэффициент токсичности i -го металла.

Фоновые концентрации тяжелых металлов в почвах регионов [5, с. 140], используемые для сравнения различных геохимических систем и оценки техногенной трансформации ландшафтов, зачастую существенно отличаются от условных кларков этих элементов в земной коре [3, с. 2] (табл. 3).

Таблица 3

Условные кларки тяжелых металлов, их фоновые концентрации и коэффициенты токсичности

Металл	Условные кларки тяжелых металлов в континентальной земной коре, мг/кг	Фоновые концентрации тяжелых металлов в почве, мг/кг	Коэффициенты токсичности металлов, K_T
Pb	17	10	1,5
Ni	50	30	1,0
Zn	75	50	1,5
Cu	27	20	1,0
Cd	0,09	0,1	1,5

Таблица 4

Уровни загрязнения участков отбора почв

Участок отбора проб	Геохимическая ассоциация почв по коэффициентам концентрации тяжелых металлов K_{Ci}	Основные источники загрязнения	Zc
1	$Cd_{11} Ni_5 Zn_2 Pb_2 Cu_1$	Завод металлоконструкций	18
2	$Cd_9 Ni_9 Zn_3 Pb_3 Cu_1$	Автомагистраль	21
3	$Cd_{19} Pb_{18} Cu_9 Zn_3 Ni_3$	Металлургический завод	48
4	$Cd_{20} Pb_{18} Zn_9 Ni_9 Cu_5$	Дизель-моторный, турбинный заводы, ТЭЦ	56
5	$Cd_{19} Pb_{16} Ni_9 Zn_5 Cu_6$	"_""_""_"	51
6	$Pb_{10} Cd_7 Zn_5 Ni_5 Cu_4$	Завод трансформаторных технологий	26
7	$Cd_7 Pb_3 Cu_3 Zn_{2,5} Ni_2$	Автомагистраль	14
8	$Cd_{10} Cu_6 Pb_{5,5} Zn_4 Ni_2$	Автомагистраль	24
9	$Cd_{19} Pb_{17} Cu_8 Zn_5 Ni_3$	Металлургический, завод	49
10	$Pb_9 Ni_6 Zn_5 Cd_3 Cu_2$	Инструментальный завод	21
11	$Cd_3 Zn_2 Cu_{1,6} Pb_{1,5} Ni_1$	–	5
12	$Cu_5 Pb_{4,5} Cd_4 Zn_{2,5} Ni_2$	–	14
13	$Pb_9 Cd_6 Cu_6 Ni_{2,5} Zn_2$	Автомагистраль	22
14	$Cd_6 Pb_3 Ni_3 Zn_{2,5} Cu_{2,5}$	–	14
15	$Pb_{10} Cu_6 Cd_5 Zn_2 Ni_{1,5}$	Автомагистраль	20
16	$Pb_{12} Cd_9 Cu_7 Zn_5 Ni_3$	Электромеханический завод	31

По величине Zc можно выделить следующие градации загрязнения почв:

- $Zc > 128$ – чрезвычайно опасная экологическая ситуация при максимальном уровне загрязнения;
- $64 < Zc < 128$ – очень высокий уровень загрязнения (очень опасная экологическая ситуация);
- $32 < Zc < 64$ – высокий уровень загрязнения (экологическая ситуация опасная);
- $16 < Zc < 32$ – средний уровень загрязнения, умеренно опасная экологическая ситуация;
- $Zc < 16$ – низкий уровень загрязнения, неопасная экологическая ситуация [5, с. 17].

Результаты, представленные в табл. 4, свидетельствуют о высоком уровне загрязнения почв № 3, 4, 5, 9. Среди загрязнителей доминирует кадмий, несмотря на то, что его содержание не превышает значения ОДК (табл. 2). Возможно это связано со сложностями определения региональных фоновых концентраций тяжелых металлов.

Как видно из рис. 2, загрязнение ниже среднего уровня отмечается только для четырех участков отбора проб: № 7, 11, 12, 14. Однако с учетом коэффициентов токсичности металлов значения суммарного показателя загрязнения резко возрастают, и низкий уровень загрязнения при этом свойствен лишь одной пробе почвы – № 11.

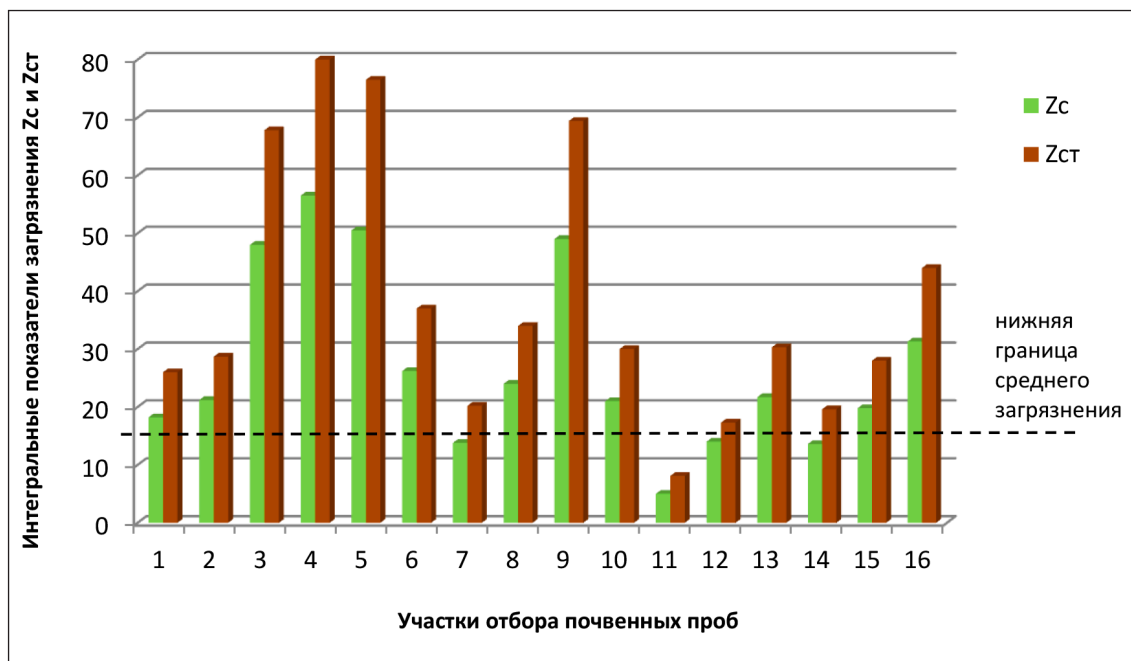


Рис. 2. Значения интегральных показателей загрязнения почв на участках отбора проб

Выявлено, что исследуемые почвы, отобранные в разных районах города Екатеринбурга, характеризуются слабкокислой реакцией среды, что свидетельствует о существовании тяжелых металлов в основном в неподвижной форме в виде органоминеральных комплексов с гуминовыми кислотами. Загрязнение почв имеет антропогенный характер и определяется близостью расположения источников загрязнения. Установлено, что в почвах Екатеринбурга формируются техногенные геохимические аномалии состава $Cd_{3-20} Pb_{3-18} Zn_{2-9} Ni_{1-9} Cu_{1-7}$. Наибольшим загрязнением характеризуются почвы (№ 3, 4, 5, 9), расположенные неподалеку от металлургических комбинатов; рассчитанный для этих почв интегральный показатель загрязнения соответствует высокому уровню загрязнения.

Таким образом, очевидно, что в результате техногенного воздействия уровень металлизации почв в Екатеринбурге достаточно высок.

Как видно из рис. 2, загрязнение ниже среднего уровня отмечается только для четырех участков отбора проб: № 7, 11, 12, 14. Однако с учетом коэффициентов токсичности металлов значения суммарного показателя загрязнения резко возрастают, и низкий уровень загрязнения при этом свойствен лишь одной пробе почвы – № 11.

Заключение

Выявлено, что исследуемые почвы, отобранные в разных районах города Екатеринбурга, характеризуются слабкокислой реакцией среды, что свидетельствует о существовании тяжелых металлов в основном в неподвижной форме в виде органоминеральных комплексов с гуминовыми кислотами. Загрязнение почв имеет антропогенный характер и определяется близостью расположения источников загрязнения. Установлено, что в почвах Екатеринбурга формируются техногенные геохимические ассоциации состава $Cd_{3-20} Pb_{3-18} Zn_{2-9} Ni_{1-9} Cu_{1-7}$. Наибольшим загрязнением характеризуются почвы (№ 3, 4, 5, 9), расположенные неподалеку от металлургических комбинатов; рассчитанный для этих почв интегральный показатель загрязнения соответствует высокому уровню загрязнения.

Таким образом, очевидно, что в результате техногенного воздействия уровень металлизации почв в Екатеринбурге достаточно высок.

Список литературы

1. Сухоносенко Д.С. Анализ пространственной динамики загрязнения почв тяжелыми металлами в пределах селитебной зоны города Михайловка // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2019. № 3. С. 88–94. DOI: 10.23683/0321-3005-2019-3-88-94.
2. Yizhang Liu, Tangfu Xiao, Robert B. Perkins, Jianming Zhu, Zhengjie Zhu, Yan Xiong, Zengping Ning. Geogenic cad-

- mium pollution and potential health risks, with emphasis on black shale // *Jornal of Geochemical Exploration*. 2017. Vol. 176. P. 42–49. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.04.004.
3. Михеева Е.В., Байтимилова Е.А., Голдырева Е.В. Химическая безопасность населения: природный компонент // *Технологии гражданской безопасности*. 2009. Т. 6, № 3–4. С. 137–143.
4. Z. Li, Z. Ma, T.J. van der Kuijp, Z. Yuan, L. Huang. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment // *Science of the Total Environment*. 2014. Vol. 468–469. P. 843–853. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.08.090.
5. Касимов Н.С., Власов Д.В. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета) // *Вестник Московского университета*. 2018. № 3. С. 14–22.
6. Маркова А.В., Ермолаева С.В., Гончаренко А.П. Оценка загрязнения почв территории города Ульяновска тяжелыми металлами // *Экология урбанизированных территорий*. 2019. № 2. С. 75–79. DOI: 10.24411/1816-1863-2019-12075.
7. ГОСТ 17.4.3.01-83. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Издательство стандартов, 2004. 4 с. URL: <http://www.цнмвл.рф/assets/files/gost-174301-83.pdf> (дата обращения: 02.01.2024).
8. Гафуров Ф.Г. Почвы Свердловской области. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2008. 396 с.
9. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах: ГН 2.1.7.020-94 (Дополнение № 1 к перечню ПДК и ОДК № 6229-91) Утв. ГКСН РФ. 27.12.94. М., 1995. 7 с.
10. Шабанов М.В., Маричев М.С. Тяжелые металлы в почвах геохимически сопряженных ландшафтов Красноуральского промышленного узла // *Социально-экологические технологии*. 2020. Т. 10, № 2. С. 201–225. DOI: 10.31862/2500-2961-2020-10-2-201-225.
11. Шабанов М.В., Маричев М.С. Геохимические аномалии тяжелых металлов в почвах природных и антропогенных ландшафтов (на примере Красноуральского промузла) // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022. Т. 333, № 6. С. 203–239. DOI: 10.18799/24131830/2022/6/3545.
12. Байтимилова Е.А., Михеева Е.В., Беспамятных Е.Н., Донник И.М., Кривоногова А.С. Оценка загрязнения рекреационных зон мегаполиса тяжелыми металлами (на примере Екатеринбурга) // *Аграрный вестник Урала*. 2016. № 4. С. 71–77.
13. Харина Г.В., Алешина Л.В. Аккумуляция тяжелых металлов в почвах Свердловской области // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022. Т. 333, № 2. С. 173–183. DOI: 10.18799/24131830/2022/2/3330.
14. Ушакова Е.С., Караваева Т.И., Белкин П.А. Экологическое состояние почв промышленных территорий (на примере города Березники, Пермский край): сравнение отечественных и зарубежных методов оценки // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2020. Т. 331, № 10. С. 58–70. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2850.