

Тяжелые металлы в грунтах на территории г. Екатеринбурга

Андреан Анатольевич СЕЛЕЗНЕВ^{1*},
Алексей Валерьевич КЛИМШИН^{2**}

¹Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН, Россия, Екатеринбург

²ООО «НПФ «Резольвента», Россия, Екатеринбург

Аннотация

Актуальность работы. Грунты на территориях городов имеют искусственное происхождение, формируются в результате инженерно-хозяйственной деятельности, в них преобладают твердые отходы производства наряду с природным минеральным и органическим сырьем, содержится большое количество поллютантов. Не все городские территории имеют систему учета разнообразия грунтов. Оценка степени загрязнения городских грунтов играет ключевую роль в обеспечении экологической безопасности населения.

Цель работы: провести количественную оценку содержания металлов в грунтах на территории г. Екатеринбурга.

Материал для исследования составили результаты инженерно-экологических изысканий, проведенных на территории города в 2012–2015 гг. Пробы грунта отбирались с вертикальной стратификацией до глубины 7 м в разных частях города. В грунтах определялись содержание Pb, Zn, Cu, Mn и Ni, уровень кислотности.

Результаты исследования. Анализ вертикальных профилей грунтов показал уменьшение концентраций Pb, Zn и Ni с увеличением глубины горизонта в г. Екатеринбурге. Накопление поллютантов типичных для городской территории Pb, Zn и Cu происходит в верхнем горизонте 0–20 см. Концентрации металлов в поверхностном горизонте 0–20 см до 5 раз выше содержания металлов в нижних горизонтах, на глубине 1 м наблюдается двукратное уменьшение концентрации металлов. В искусственных грунтах в г. Екатеринбурге наблюдается тенденция к защелачиванию грунтов с увеличением глубины горизонта (рН в поверхностном горизонте грунтов 0–20 см составляет 6,5, в горизонте > 4 м близок к 8).

Ключевые слова: искусственные грунты, современные антропогенные отложения, загрязнение, металлы, урбанизированная среда.

Введение

Грунты на территориях городов в основном имеют искусственное происхождение, формируются в результате инженерно-хозяйственной деятельности [1–4]. Пространственное распределение и вертикальный профиль грунтов имеют сложную мозаичную структуру, обусловленную сменой почв и техногенных образований, многокомпонентным составом, высоким морфологическим и генетическим многообразием материала [5–8]. Современные и погребенные горизонты совместно со слоями техногенных отложений составляют культурный слой города [9, 10]. Как правило, не все городские территории имеют целостную систему учета разнообразия и качества почв и грунтов. Тем более не во всех городах производится учет антропогенных субстратов для почв с описанием их мощности, интенсивности накопления, гранулометрического состава и свойств, что усложняет оценку современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей среды под влиянием антропогенной нагрузки, а также проведение инженерно-экологических изысканий для строительства [11].

В почвы и грунты города постоянно привносится урботехногенный материал [12]. В верхней части профиля

городских почв и грунтов формируется гумусово-аккумулятивный перемешанный горизонт «урбик» из материала природных почв, грунтов [13–16]. Нарастание «урбика» вверх происходит за счет накопления городского седимента – пылевых атмосферных выпадений, эоловых перемещений, антропогенной деятельности. Каждый слой антропогенных грунтов имеет смесевой (меланжевый) характер и отражает направление хозяйственной жизни поселения [4, 8, 12]. Естественные грунты с нормальным залеганием горизонтов приурочены к городским лесам и лесопарковым территориям в черте города [17].

Строительство новых жилых районов в городах, как правило, производится на территориях бывших промышленных площадок, территориях, ранее застроенных. Поэтому в городских грунтах преобладают твердые отходы производства наряду с природным минеральным и органическим сырьем. Грунты подготовленных для строительства территорий имеют широкие плотностные характеристики. Грунты бывших производственных площадок имеют высокое содержание поллютантов, таких, как тяжелые металлы [4].

В результате переноса и перемещения материала, а также вертикальной миграции элементов в искусствен-

✉ sandrian@rambler.ru
** npf-rezolventa@mail.ru

Таблица 1. Параметры распределения концентраций металлов и pH в грунтах г. Екатеринбурга.
Table 1. Distribution parameters of metal concentrations and pH in the subsoil of Yekaterinburg.

Показатель	Число проб	Среднее содержание	Медиана, мг/кг	Диапазон, мг/кг	Стандартное отклонение, мг/кг	Коэффициент вариации, %	Избыточный эксцесс
pH, ед.	525	6,49	6,78	3,18–9,61	1,22	19	–0,3
Pb, мг/кг	448	31	11	0,1–658	60	191	41
Zn, мг/кг	521	104	71	0,1–1859	133	128	73
Cu, мг/кг	525	81	64	2–1403	94	116	90
Mn, мг/кг	56	649	602	26–1493	309	48	0,6
Ni, мг/кг	525	102	56	2–1519	154	152	29

Таблица 2. Значения коэффициента корреляции Спирмена для металлов и pH в грунтах.
Table 2. Spearman correlation coefficient for metals and pH in soil.

Показатель	pH	Pb	Zn	Cu	Ni
pH	1,00	0,35*	0,34*	0,36*	0,35*
Pb	–	1,00	0,69*	0,48*	0,30*
Zn	–	–	1,00	0,62*	0,32*
Cu	–	–	–	1,00	0,29*
Ni	–	–	–	–	1,00
<i>Горизонт 0–0,2 м</i>					
Показатель	pH	Pb	Zn	Cu	Ni
pH	1,00	0,30*	0,26*	0,29*	0,38*
Pb	–	1,00	0,77*	0,63*	0,36*
Zn	–	–	1,00	0,67*	0,38*
Cu	–	–	–	1,00	0,45*
Ni	–	–	–	–	1,00
<i>Горизонт 0,2–1 м</i>					
Показатель	pH	Pb	Zn	Cu	Ni
pH	1,00	0,29*	0,27*	0,31*	0,32*
Pb	–	1,00	0,63*	0,45*	0,17*
Zn	–	–	1,00	0,62*	0,23*
Cu	–	–	–	1,00	0,31*
Ni	–	–	–	–	1,00
<i>Горизонт 1–2 м</i>					
Показатель	pH	Pb	Zn	Cu	Ni
pH	1,00	0,32*	0,28*	0,36*	0,25*
Pb	–	1,00	0,65*	0,43*	0,19
Zn	–	–	1,00	0,60*	0,20
Cu	–	–	–	1,00	0,09
Ni	–	–	–	–	1,00

*Статистически значимый коэффициент корреляции Спирмена при $p < 0,05$.

ных грунтах на урбанизированных территориях могут формироваться геохимические барьеры, депо поллютантов. Оценка степени загрязнения городских грунтов играет ключевую роль в обеспечении экологической безопасности населения.

Целью работы была оценка содержания тяжелых металлов в грунтах на урбанизированной территории. В задачи исследования входило:

- изучение распределения содержания тяжелых металлов и уровня кислотности в искусственных грунтах по вертикальной стратификации;
- анализ связей концентраций металлов и уровня кислотности в искусственных грунтах, в том числе вну-

три горизонтов;

– выявление связи между содержанием металлов в искусственных грунтах и в разных типах современных антропогенных отложений на урбанизированной территории (поверхностных отложениях локальных понижений микрорельефа, почв, донных отложений водоемов). Исследование проведено в г. Екатеринбурге.

Материалы и методы

Объектом исследования являются грунты на территории г. Екатеринбурга. Геоэкологическое опробование и оценка содержания металлов в грунтах проводились в ходе инженерно-экологических изысканий под застройку на северо-восточных территориях города в 2012–2015 гг., кото-

Таблица 3. Число проб, в которых определены показатели, по горизонтам.
Table 3. The number of samples in which indicators are defined, by horizon.

Глубина горизонта, м	Число проб, в которых определены показатели					
	pH	Pb	Zn	Cu	Mn	Ni
0,0–0,2	147	138	146	147	12	147
0,2–1,0	187	171	185	187	18	187
1,0–2,0	99	76	99	99	12	99
2,0–3,0	64	45	63	64	9	64
2,0–3,0	4	3	4	4	2	4
3,0–4,0	19	13	19	19	3	19
4,0–5,0	3	2	3	3	–	3
5,0–6,0	1	–	1	1	–	1
6,0–7,0	1	–	1	1	–	1
Всего	525	448	521	525	56	525

рые проводились согласно СП 11-102-97. Свод правил. Инженерно-экологические изыскания для строительства [18]. Отбор проб грунтов из поверхностного слоя производился методом «конверта» (отбиралась смешанная проба на площади 20–25 м²) на глубину 0–0,2 м. Пробы грунта с вертикальной стратификацией до глубины 7 м отбирались из скважин методом индивидуальной пробы. Полученные данные опробования грунтов стандартизованы по глубине горизонтов по профилям: 0–0,2 м, 0,2–1 м, 1–2 м, 2–3 м, 3–4 м, 4–5 м, 5–6 м, 6–7 м.

В пробах грунта согласно методикам РД 52.18.191-89 [19] и М-МВИ-80-2008 [20] определялось валовое содержание типичных для г. Екатеринбурга металлов-поллютантов Pb, Zn, Cu, Ni и Mn [21] на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Квант-2А». Уровень кислотности определялся согласно ГОСТ 26483–85 с помощью иономер «pH-150M» [22]. Измерения проводились в аккредитованной лаборатории химического анализа ООО «НПФ «Резольвента», г. Екатеринбург.

Результаты

На территории г. Екатеринбурга было отобрано 525 проб грунтов. В табл. 1 показаны параметры распределения концентраций металлов и pH в грунтах.

Корреляционные связи между металлами и pH в грунтах исследовались путем расчета значений коэффициента корреляции Спирмена. В табл. 2 представлены значения коэффициента корреляции Спирмена для металлов и pH в грунтах для всех проб и проб из горизонтов 0–0,2 м, 0,2–1 м и 1–2 м соответственно.

В табл. 3 показаны распределения числа проб грунта, в которых определены металлы и pH, по горизонтам. Распределение концентраций металлов и pH в пробах грунта по горизонтам показано на рис. 1.

Распределения концентраций металлов в пробах в горизонтах имеют логнормальный вид. Наблюдается тенденция к увеличению концентраций Pb, Zn, Cu и Ni с уменьшением глубины горизонта. Максимальные концентрации этих металлов – в поверхностном грунтово-почвенном слое 0–0,2 м. Концентрации Pb, Zn и Ni в поверхностном горизонте до нескольких (трех-четырех для Pb, для остальных металлов меньше) раз выше, чем в грунтах более глубоких горизонтов.

На рис. 2 показаны геохимические ассоциации ме-

таллов для почв (отобранных в рамках мониторинга ГУ «Свердловский ЦГМС-Р» в 2010 г) [21], отложений локальных понижений микрорельефа [23] и грунтов из горизонта 0–0,2 м в г. Екатеринбурге. Приведены средние концентрации.

Обсуждение и заключение

Согласно табл. 1, распределения концентраций металлов в грунтах не являются ни нормальными, ни логнормальными (о чем можно судить по коэффициенту избыточного эксцесса). Такие распределения позволяют охарактеризовать грунты на территории города как перемешанные с высокой степенью неоднородности материала в разных районах города. Неоднородность содержания металлов в грунтах не исключается как при анализе проб из какого-либо одного района города, так и из разных районов в совокупности. Однако распределение концентраций металлов внутри горизонтов логнормальное, нормальным оно не становится даже на больших глубинах (4–7 м). Логнормальность распределения Pb, Zn, Cu и Ni в компонентах окружающей среды может быть признаком антропогенного происхождения элементов. Металлы Pb, Zn, Cu, Mn и Ni поступали в грунты в разные периоды времени на протяжении всего периода существования города. К антропогенному поступлению можно также отнести поступление металлов при перемещении и перемешивании грунтов из разных горизонтов. Коэффициент вариации концентраций металлов позволяет судить о степени нарушенности грунтов (и их вертикальных профилей). Для металлов Ni, Pb, Zn и Cu он принимает очень высокие значения. Для Mn значение коэффициента вариации находится на уровне 48 % (вариабельность значительно ниже, чем для остальных исследованных металлов), что наряду с коэффициентом избыточного эксцесса может говорить о типоморфном происхождении Mn в грунтах.

Корреляционные связи металлов и pH в грунтах (табл. 2) слабые, однако статистически значимые. Наиболее сильная корреляция наблюдается для пар Pb и Zn, Zn и Cu. Корреляция пар металлов Pb и Zn, Zn и Cu, Pb и Cu становится более ярко выраженной в поверхностном горизонте грунтов 0–0,2 м и остается сильной для пар Pb и Zn, Zn и Cu в более глубоких горизонтах (0,2–1 и 1–2 м). С увеличением глубины горизонта коэффициент корреляции для пар элементов Pb и Zn, Zn и Cu, Pb и Cu умень-

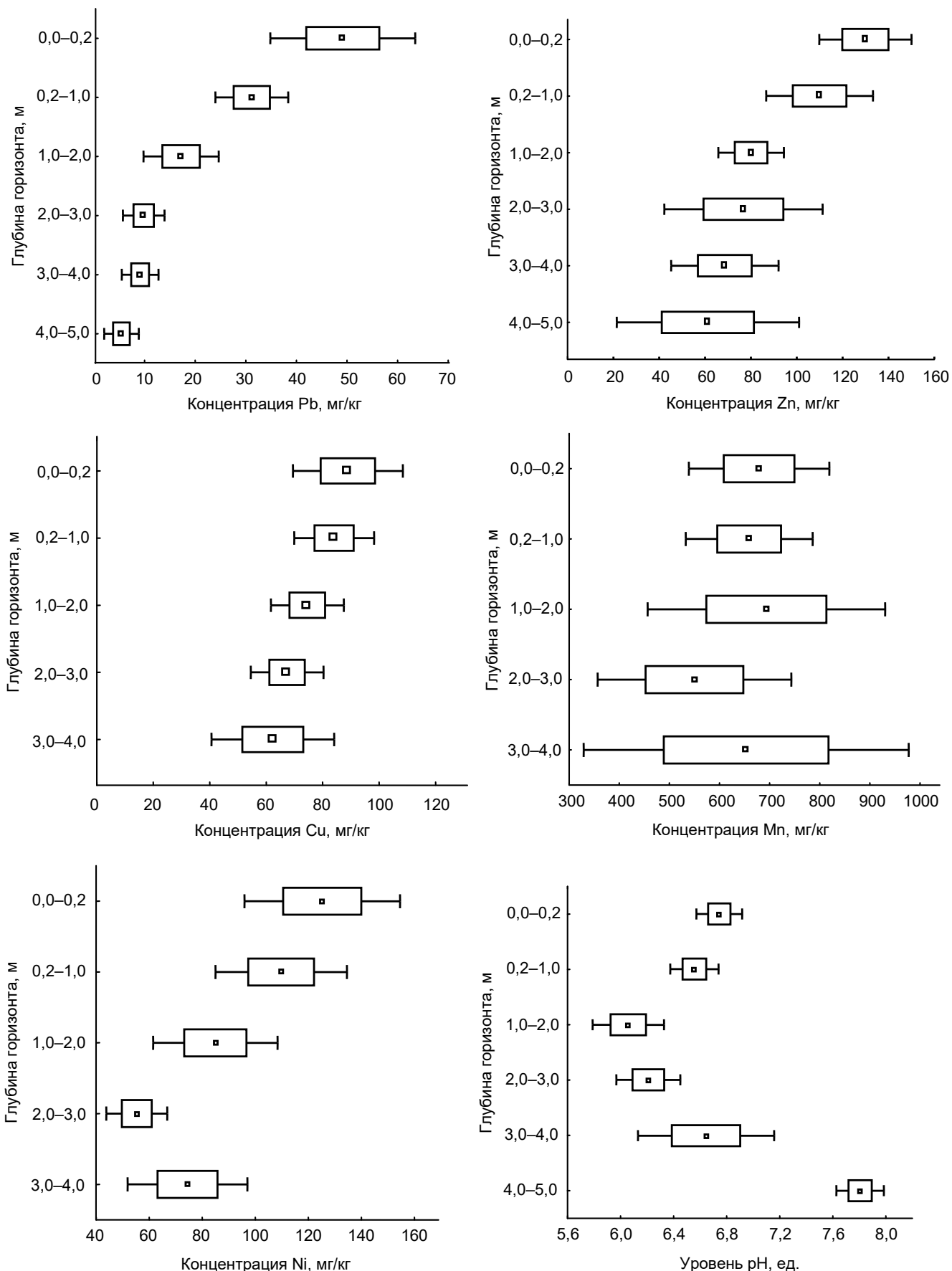


Рисунок 1. Вертикальное распределение концентраций металлов и pH по профилю грунтов в Екатеринбурге (среднее арифметическое, стандартная ошибка и 95 %-ный доверительный интервал).

Figure 1. The vertical distribution of metal concentrations and pH according to the soil profile in Yekaterinburg (arithmetic mean, standard error and 95% confidence interval).

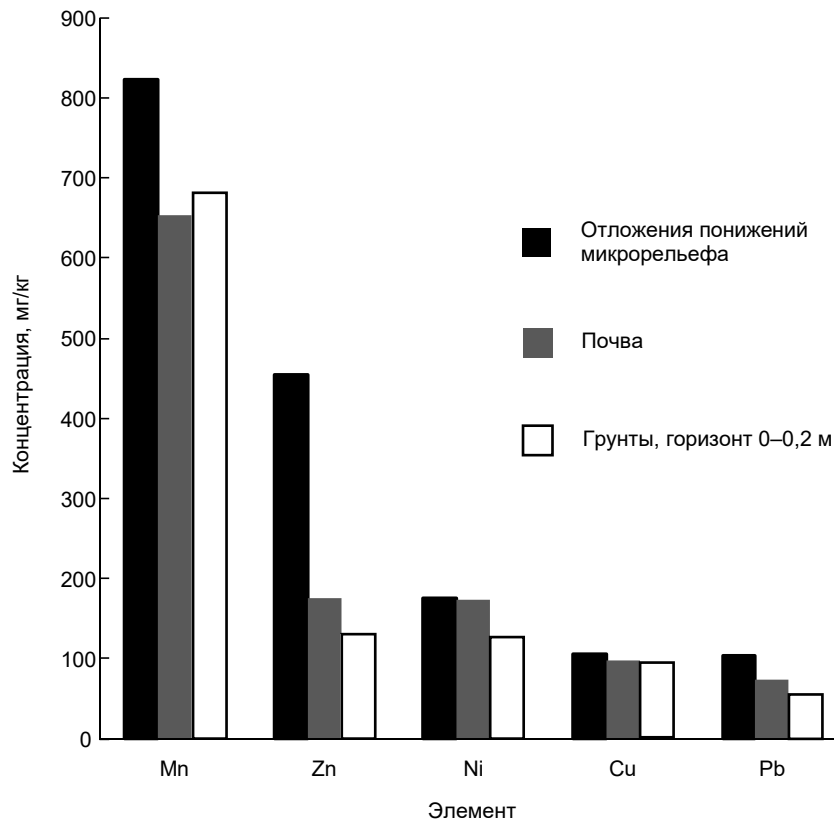


Рисунок 2. Ассоциации металлов для почв (отобранных в рамках мониторинга ГУ «Свердловский ЦГМС-Р» в 2010 г.) [21], отложений локальных понижений микрорельефа [23] и грунтов из горизонта 0–0,2 м в г. Екатеринбурге.
Figure 2. Associations of metals for soils (selected for monitoring by The Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring in 2010) [21] of sediments of local depressions of the microrelief [23] and the subsoil from the 0–0.2 m horizon in Yekaterinburg.

шается. По всей видимости, поступление этих металлов происходило из одного источника, например, сжигание угля в котельных, дров, использование этилированного бензина в качестве топлива.

В литературных данных [13, 14] отмечается, что слабкокислая и кислая реакция грунтовой среды различных горизонтов обусловлена внесением торфа при рекультивации территории или свидетельствует о захоронении гумусированного материала. Слабощелочная реакция почвенного раствора (горизонт 4–5 м) свидетельствует о преобладании карбонатов (материалов щебня, бетона, строительных материалов).

Низкое число исследованных проб грунта из более глубоких горизонтов > 3 м (табл. 3) не позволяет проводить адекватной оценки геохимических условий в разные периоды урбанизации и развития территорий.

Распределение концентраций металлов по профилю грунтов может дать информацию о степени нарушения и трансформации грунтов, а также о возможном происхождении элементов. По результатам анализа рис. 1 Mn не показывает значимых различий в концентрации по глубине горизонта и может быть отнесен к элементам типоморфной ассоциации (что подтверждается другими видами анализа). Элементы антропогенного происхождения (Pb, Zn, Cu и Ni) имеют неоднородное распределение концентраций по вертикальному профилю грунтов, максимальные содержания наблюдаются в верхнем слое. По виду распределения этих четырех элементов в грунтовом

профиле в г. Екатеринбурге можно охарактеризовать степень нарушения (трансформации) грунтов как достаточно низкую. Сильная значимость различий концентраций металлов в грунтовых профилях может быть связана с интенсивностью поступления элементов в разные периоды развития ландшафта.

Концентрации Pb, Zn и Cu в поверхностном горизонте 0,0–0,2 м превышают существующие нормативы ПДК и ОДК в почвах [24], концентрации в почвах в Екатеринбурге и фоновые уровни для города [21]. Концентрации Ni во всех гранулометрических фракциях грязевого осадка выше ПДК и ОДК. Содержание Co в грязевом осадке также выше концентраций в почвах в городе и на фоновых площадках для Екатеринбурга [21]. Концентрации исследуемых металлов, за исключением Mn, выше кларкового содержания элементов в почвах [25]. По результатам сравнительного анализа содержания металлов в грунтах в Екатеринбурге с данными [25] концентрации в исследуемых грунтах (медианные значения) выше, чем в почвах Земли у Zn и Mn, ниже у Cu и Ni; содержание Pb в почвах Екатеринбурга сопоставимо с почвами Земли. Содержание в верхнем горизонте 0–0,2 м в грунтах Екатеринбурга выше, чем в городских почвах у Cu и Ni, ниже у Mn и сопоставимо у Zn и Pb.

Для верхнего горизонта грунтов 0–0,2 м, отложений пониженных участков микрорельефа и почв города характерна геохимическая ассоциация металлов Mn–Zn–Ni–Cu–Pb (рис. 2). Эта ассоциация металлов соответствует ассоциации металлов в донных отложениях водоемов

в г. Екатеринбурге [26], что подтверждает общий генезис металлов в этих компонентах городской среды.

Можно полагать, что горизонт «урбик» располагается в г. Екатеринбурге на глубине 0–20 см. Для него характерен уровень рН 7 (рис. 1), содержание Pb и Zn на уровне 47 мг/кг и 135 мг/кг соответственно. В рамках классификации урбогрунтов [15, 16] можно также полагать, что в Екатеринбурге «гумусовый горизонт с признаками урбопедогенеза» располагается на глубине 0,2–1 м, однако трудно отделить его от «техногенного рекультивационного горизонта (с включениями органических остатков)». В общем же, согласно данным настоящего исследования, выделение городских диагностических горизонтов грунтов весьма условно.

В верхней части горизонта «урбик» происходят современные седиментационные процессы [27]. Каскадом современные наносы с городских территорий доходят

до поверхностных водных объектов [28, 29]. Доходящий до водного объекта поверхностный миграционный поток твердого осадка и поллютантов может привести к изменению содержания и форм нахождения элементов в воде и донных отложениях, изменению морфологических особенностей водного объекта и является неточечным (площадным, рассредоточенным, диффузным) источником загрязнения [30]. Горизонт «урбик» является основным поставщиком поллютантов, седимента и веществ с территорий города в водоемы и водотоки, в водосборах которых находится город. Диффузные источники загрязнения трудно и зачастую невозможно идентифицировать. Изучение комплекса современных седиментационных процессов на урбанизированной территории как водосборной площади могло бы идеально дополнить картину миграции наносов и загрязнения от неточечных источников с городских территорий в водоемы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-60011.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шешнёв А. С. Антропогенные отложения и формы рельефа городских территорий: формирование, развитие, геоэкологическая роль (на примере Саратова). Саратов: Изд-во СГТУ, 2012. 287 с.
2. Котлов Ф. В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 263 с.
3. Котлов Ф. В. Город и геологические процессы. М.: Наука, 1967. 225 с.
4. Boudreault J.-P., Dubé J.-S., Chouteau M., Winiarski T., Hardy É. Geophysical characterization of contaminated urban fills // Engineering Geology. 2010. № 116(3-4). P. 196–206. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.09.002>
5. Каздым А. А. Техногенные негеологические отложения – культурные слои и процессы аутигенного минералообразования // Вестник РУДН. Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2001. № 5. С. 45–53.
6. Шешнёв А. С., Решетников М. В., Жучков П. С., Кузнецов В. В. Генетические комплексы антропогенных отложений на территории Саратова // Вестник СГТУ. 2013. № 4 (73). С. 248–254.
7. Séré G., Schwartz C., Ouvrard S., Renat J.-C., Watteau F., Villemin G., Morel J. L. Early pedogenic evolution of constructed Technosols // Journal of Soils and Sediments. 2010. № 10. P. 1246–1254.
8. Огородникова Е. Н., Николаева С. К. Техногенные грунты. М.: Изд-во МГУ, 2004. 250 с.
9. Baltakov G. Culture layers as geological objects // Geoarchaeology and Archaeomineralogy: proceedings of the International Conference. 2008. P. 274–276.
10. Peloggia A. U. G. Geological classification and mapping of technogenic (artificial) ground: a comparative analysis (Classificação e mapeamento geológico de terrenos Tecnogênicos (artificiais): uma análise comparativa) // Revista do Instituto Geológico, São Paulo. 2018. № 39(2). P. 1–15. <https://doi.org/10.5935/0100-929X.20180005>
11. Грязнов О. Н. Инженерно-геологические условия Урала. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. 240 с.
12. Каздым А. А. Литогеохимические особенности культурного слоя – продукта техногенного литогенеза // Уральский геологический журнал. 2002. № 4(28). С. 225–231.
13. Ковалева Г. В., Старожилов В. Т., Дербенцева А. М. и др. Почвы и техногенные поверхностные образования в городских ландшафтах. Владивосток: Изд-во Дальнаука, 2012. 159 с.
14. Еремченко О. З., Шестаков И. Е., Москвина Н. В. Почвы и техногенные поверхностные образования урбанизированных территорий Пермского Прикамья. Пермь: ПГНИУ, 2016. 252 с.
15. Прокофьева Т. В., Герасимова М. И., Безуглова О. С., Бахматова К. А., Гольева А. А., Горбов С. Н., Жарикова Е. А., Матинян Н. Н., Наквасина Е. Н., Сивцева Н. Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1155–1164.
16. Прокофьева Т. В., Мартыненко И. А., Иванников Ф. А. Систематика почв и почвообразующих пород города Москвы и возможность включения их в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 611–623.
17. Залесов С. В., Колтунов Е. В. Содержание тяжелых металлов в почвах лесопарков г. Екатеринбурга // Аграрный вестник Урала. 2009. № 6(60). С. 71–72.
18. СП 11-102-97. Свод правил. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Одобрен Департаментом развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России (письмо от 10.07.1997 № 9-1-1/69). Введ. 1997–08–15. М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997.
19. РД 52.18.191-89. Руководящий документ. Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. Введ. 01.01.91. М.: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1990. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293849/4293849262.htm>
20. М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. СПб., 2008. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293824/4293824289.htm>
21. Ежегодник загрязнения почв городов Свердловской области токсикантами промышленного происхождения в 2010 году. Екатеринбург: Свердловский ЦГМС-Р. 2011. 213 с.
22. ГОСТ 26483–85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. Введ. 1986–06–30. М.: Изд-во стандартов, 1985. 4 с. URL: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/29278>
23. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V. Study of urban puddle sediments for understanding heavy metal pollution in an urban environment // Environmental Technology & Innovation. 2014. № 12. P. 1–7.
24. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы: утв. Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 19.01.06 г.; дата введ.: 1 апр. 2006.
25. Alekseenko V., Alekseenko A. The abundances of chemical elements in urban soils // Journal of Geochemical Exploration. 2014. Vol. 147, part B. P. 245–249. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.003>

26. Селезнев А. А., Ярмошенко И. В., Савастьянова А. С., Макаров А. Б. Современные антропогенные отложения и их использование для оценки экологического состояния урбанизированных территорий // Изв. УГГУ. 2017. № 1(45). С. 44–49. <http://dx.doi.org/10.21440/2307-2091-2017-1-44-49>
27. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P. Assessment of Total Amount of Surface Sediment in Urban Environment Using Data on Solid Matter Content in Snow-Dirt Sludge // Environ. Process. 2019. № 6. P. 581–595.
28. Taylor K. Urban environments. In: Perry C., Taylor K. (eds). Environmental Sedimentology. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2007. P. 190–222.
29. Taylor K. G., Owens P. N. Sediments in urban river basins: a review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities // Journal of Soils and Sediments. 2009. № 9(4). P. 281–303.
30. Дрюпина Е. Ю., Эйрих А. Н., Эйрих С. С., Папина Т. С. Пространственно-временная динамика содержания загрязняющих веществ в коммунальных и смешанных сточных водах Барнаула // Изв. АлтГУ. 2014. № 3-1(83). С. 182–187. УДК 550.42/502.175

Статья поступила в редакцию 25 декабря 2019 года

Heavy metals in urban grounds in Ekaterinburg (Russia)

Andrian Anatol'evich SELEZNEV^{1*},
Aleksey Valer'evich KLIMSHIN^{2**}

¹The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

²SIF Resolventa Ltd, Ekaterinburg, Russia

Annotation

Problem Statement. Urban grounds have an artificial origin, they are formed as a result of construction activities, contain solid waste products and pollutants along with natural mineral and organic raw materials. Not all the cities have a system of registration of the urban ground types. The assessment of the pollution degree of urban grounds plays a key role in the environmental quality assessment in urban areas.

The objective of the study is to conduct quantitative assessment of pollution with heavy metals for the urban grounds (on the example of Ekaterinburg, Russia).

The material for the study is represented by the results of environmental engineering surveys conducted in Ekaterinburg in 2012–2015. The samples of the urban ground were collected with vertical stratification to a depth of 7 m in different geographical parts of the city. The content of Pb, Zn, Cu, Mn and Ni, and the level of acidity were determined in the urban ground samples.

Results. The analysis of vertical ground profiles showed a decrease in Pb, Zn and Ni content with increasing the depth. The accumulation of typical pollutants for urban environment (Pb, Zn and Cu) was found in the upper ground layer 0–20 cm. The metal content in the layer 0–20 cm was up to 5 times higher than the metal content in the lower horizons with a twofold decrease in metal concentration to depth of 1 m. In artificial ground in Ekaterinburg, there was a tendency to alkalization of soils with increasing depth (pH of the surface layer 0–20 cm was 6.5, when pH value was close to 8 at the depth > 4 m).

Keywords: urban grounds, contemporary anthropogenic sediments, pollution, metals, urban environment.

The study was supported by RFBR (grant no. 19-35-60011).

REFERENCES

- Sheshnyov A. S. 2012, *Antropogennyye otlozheniya i formy rel'yefa gorodskikh territoriy: formirovaniye, razvitiye, geoekologicheskaya rol' (na primere Saratova)* [Anthropogenic deposits and landforms of urban areas: formation, development, geoecological role (for example, Saratov)]. Saratov, 287 p.
- Kotlov F. V. 1978, *Izmeneniye geologicheskoy sredy pod vliyaniem deyatel'nosti cheloveka* [Change in the geological environment under the influence of human activity], Moscow, 263 p.
- Kotlov F. V. 1967, *Gorod i geologicheskkiye protsessy* [City and geological processes], Moscow, 225 p.
- Boudreault J.-P., Dubé J.-S., Chouteau M., Winiarski T., Hardy É. 2010, Geophysical characterization of contaminated urban fills. *Engineering Geology*. No 116(3-4). pp. 196–206. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.09.002>
- Kazdym A. A. 2001, Technogenic neogeological deposits - cultural layers and processes of authigenous mineral formation. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov* [RUDN Journal of Ecology and Life Safety], No 5. pp. 45–53. (In Russ.)
- Sheshnev A.S., Reshetnikov M.V., Zhuchkov P.S., Kuznetsov V.V. 2013, Genetic complexes of anthropogenic deposits within the territory of Saratov. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni Gagarina YU.A.* [Bulletin of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov]. No 4 (73). pp. 248–254. (In Russ.)
- Séré G., Schwartz C., Ouvrard S., Renat J.-C., Watteau F., Villemain G., Morel J. L. 2010, Early pedogenic evolution of constructed Technosols. *Journal of Soils and Sediments*. No 10. pp. 1246–1254.
- Ogorodnikova E. N., Nikolaeva S. K. 2004, *Tekhnogennyye grunty* [Technogenic soils], Moscow, 250 p.
- Baltakov G. 2008, Culture layers as geological objects. *Geoarchaeology and Archaeomineralogy: proceedings of the International Conference*. pp. 274–276.
- Peloggia A. U. G. 2018, Geological classification and mapping of technogenic (artificial) ground: a comparative analysis (Classificação e mapeamento geológico de terrenos Tecnogênicos (artificiais): uma análise comparativa). *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*. No 39(2). pp. 1–15. <https://doi.org/10.5935/0100-929X.20180005>
- Gryaznov O. N. 2017, *Inzhenerno-geologicheskkiye usloviya Urala* [Engineering-geological conditions of the Urals], Yekaterinburg, 240 p.
- Kazdym A. A. 2002, Lithochemical features of the cultural layer - a product of technogenic lithogenesis. *Ural'skiy geologicheskii zhurnal* [Uralian Geological Journal], No 4(28). pp. 225–231. (In Russ.)
- Kovaleva G. V., Starozhilov V. T., Derbentseva A. M. et al. 2012, *Pochvy i tekhnogennyye poverkhnostnyye obrazovaniya v gorodskikh landshaftakh* [Soil and technogenic surface formations in urban landscapes], Vladivostok, 159 p.
- Yeremchenko O. Z., Shestakov I. E., Moskvina N. V. 2016, *Pochvy i tekhnogennyye poverkhnostnyye obrazovaniya urbanizirovannykh territoriy Permskogo Priam'ya* [Soil and technogenic surface formations of the urbanized territories of Perm Priamye], Perm, 252 p.
- Prokofieva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S., Bakhmatova K.A., Goleva A.A., Gorbov S.N., Zharikova E.A., Matinyan N.N., Nakvasina E N., Sivtseva N. E. 2014, Introduction of soils and soil-like formations of urban territories to the classification of soils in Russia. *Pochvovedeniye* [Eurasian Soil Science], No 10. pp. 1155–1164. (In Russ.)
- Prokofieva T.V., Martynenko I.A., Ivannikov F.A. 2011, Systematics of soil and parent rocks of the city of Moscow and the possibility of including them in the general classification. *Pochvovedeniye* [Eurasian Soil Science], No 5. pp. 611–623. (In Russ.)

✉ sandrian@rambler.ru

** npf-rezolventa@mail.ru

17. Zalesov S. V., Koltunov E. V. 2009, The content of heavy metals in the soil of forest parks in Yekaterinburg. *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian bulletin of the Urals], No 6(60). pp. 71–72. (In Russ.)
18. 1997, Regulations 11-102-97. Environmental engineering surveys for construction. Approved by the department of development strategies and scientific and technological policy, front-end engineering and design of the State Committee for Construction of Russia (10.07.1997 No. 9-1-1 / 69). Effective 1997–08–15. Moscow.
19. 1990, Directive document 52.18.191-89. Methodology for measuring the mass fraction of acid-soluble forms of metals (copper, lead, zinc, nickel, cadmium) in soil samples by atomic absorption analysis. Effective 01/01/91. Moscow. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293849/4293849262.htm>
20. 2008, М-МВИ-80-2008. Methodology for measuring the mass fraction of elements in samples of soil and bottom sediments by atomic emission and atomic absorption spectrometry. Saint—Petersburg., URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293824/4293824289.htm>
21. 2011, Yearbook of soil pollution in cities of the Sverdlovsk region with toxicants of industrial origin in 2010. Ekaterinburg, 213 p.
22. 1985, GOST 26483–85. Soils. Determination of nitrates by CINAO method. Effective. 1986–06–30. Moscow. 4 p. URL: <https://www.internet-law.ru/gosts/gost/29278>
23. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V. 2014, Study of urban puddle sediments for understanding heavy metal pollution in an urban environment. *Environmental Technology & Innovation*. No 12. pp. 1–7.
24. Sanitary-hygienic standard 2.1.7.2041-06. Maximum concentration limit (MCL) of chemicals in the soil. Approved by G. G. Onishchenko, Head of the Federal Service for the Surveillance in the Sphere of Consumer's Rights Protection and Public Welfare, Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation 19.01.06.; Effective: 1 April 2006.
25. Alekseenko V., Alekseenko A. 2014, The abundances of chemical elements in urban soils. *Journal of Geochemical Exploration*. Vol. 147, part B. pp. 245–249. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.08.003>
26. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Savastyanova A. S., Makarov A. B. 2017, Modern anthropogenic deposits and their use for assessing the ecological state of urbanized territories. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], No 1(45). pp. 44–49. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21440/2307-2091-2017-1-44-49>
27. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P. 2019, Assessment of Total Amount of Surface Sediment in Urban Environment Using Data on Solid Matter Content in Snow-Dirt Sludge. *Environ. Process*. No 6. pp. 581–595.
28. Taylor K. 2007, Urban environments. In: Perry C., Taylor K. (eds). *Environmental Sedimentology*. Hoboken: Wiley-Blackwell. pp. 190–222.
29. Taylor K. G., Owens P. N. 2009, Sediments in urban river basins: a review of sediment-contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities. *Journal of Soils and Sediments*. No 9(4). pp. 281–303.
30. Dryupina E. Yu., Eyrikh A.N., Eyrikh S.S., Papina T.S. 2014, Spatiotemporal dynamics of the content of pollutants in communal and combined wastewater of Barnaul. *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta* [Izvestiya of Altai State University journal], No 3-1(83). pp. 182–187. (In Russ.)

The article was received on December 25, 2019