

СОВРЕМЕННЫЕ АНТРОПОГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

А. А. Селезнев, И. В. Ярмошенко, А. С. Савастьянова, А. Б. Макаров

Modern anthropogenic deposits and their usage for the assessment of environmental status of urban areas

A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko, A. S. Savast'yanova, A. B. Makarov

The comparative analysis of two types of recent anthropogenic sediments of urban territory was conducted. The sediments from local surface depressed zones of urban landscape and bottom sediments of anthropogenic water bodies were studied as environmental indicators. The study was conducted at the territory of Ekaterinburg (Russia). The sediments of local surface depressed zones of microrelief are represented by the sediments of puddles and surface mud. Puddle sediments are formed due to the bad urban environmental planning and management. The composition of puddle sediment is represented by the particles of soil, sand, peat, dust and small debris. Studied anthropogenic water bodies are the former open-cut mines flooded with atmospheric precipitations and fire ponds in the suburbs of the city. The composition of sediments of the water bodies is mainly represented by pulp. The correlation was studied between the heavy metals content in the sediments of local surface depressed zones of microrelief and in soils in the city. The similar origin of metals was found for the sediments of local surface depressed zones of microrelief and city soils. It was shown that the puddle sediments and soils in the city have the same association of heavy metals. Two association of heavy metals were found in the puddle sediments: typomorphic association (Mn and Co) and technogenic (Ni, Cu, Zn and Pb). The pH level does not affect the mobility of the metals in the puddle sediment. The characteristic geochemical association for heavy metals Mn-Zn-Ni-Cu-Pb-Co was found for sediments of local surface depressed zones of microrelief, bottom sediments of anthropogenic water bodies and soils in the city.

Keywords: recent anthropogenic sediments; sediments in local surface depressed zones of microrelief; bottom sediments; heavy metals; urban environment; environmental assessment.

Проведен сравнительный анализ двух типов современных антропогенных отложений как индикаторов экологического состояния урбанизированной территории: поверхностных отложений локальных понижений микрорельефа селитебных зон и донных отложений техногенных водоемов. Исследование проведено на территории города Екатеринбурга. Поверхностные современные антропогенные отложения локальных понижений микрорельефа представляют собой осадки и грязь из луж, формируются благодаря недостаткам планировки, техногенных процессов, нарушения стока атмосферных осадков и являются самой верхней частью отложений территорий города. Вещественный состав отложений представлен частицами почвы, песка, торфа, пыли и мелкого мусора. Обследованные техногенные водоемы представляют собой затопленные преимущественно за счет атмосферных осадков карьерные выработки и пожарные водоемы в коллективных садах. Донные отложения в водоемах представлены в основном пеллагеном. Проведен корреляционный анализ содержания тяжелых металлов в отложениях локальных понижений микрорельефа и почвах в городе и обнаружен общий генезис металлов в этих отложениях. Показано, что отложения и почвы в городе и за его пределами имеют общие ассоциации тяжелых металлов (ТМ). Обнаружены две ассоциации металлов в отложениях локальных понижений микрорельефа. Типоморфную ассоциацию составляют Mn и Co, – техногенную ассоциацию – Ni, Cu, Zn и Pb. Показано, что уровень pH не влияет на подвижность металлов в отложениях локальных понижений микрорельефа. Для отложений пониженных участков микрорельефа и донных отложений водоемов и почв города характерна геохимическая ассоциация тяжелых металлов Mn–Zn–Ni–Cu–Pb–Co.

Ключевые слова: современные антропогенные отложения; локальные понижения микрорельефа; донные отложения; тяжелые металлы; урбанизированная среда; оценка экологического состояния.

Современные антропогенные отложения на урбанизированных территориях представляют собой самый молодой слой; их можно характеризовать как самостоятельную фацию, представляющую собой в то же время и геохимический барьер. Они образуются в результате современных природно-антропогенных геологических процессов, эрозии почв и грунтов, инженерно-хозяйственной деятельности, постоянного перераспределения и аккумуляции осадочного материала в локальных зонах концентрирования. Изучению подобных образований урбанизированных территорий посвящены работы Ф. В. Котлова, Д. Ю. Здобина, С. А. Несмеянова, А. А. Каздыма, А. С. Шешнева, Е. М. Пашкина, О. Н. Грязнова, М. А. Глазовской, Е. Н. Огородниковой и др.

В настоящее время существует необходимость получения

более полной информации о распределении поллютантов, в том числе тяжелых металлов, при комплексной оценке экогеохимической обстановки на урбанизированных территориях. Особо актуальным является поиск новых методов геоэкологической оценки и индикаторов мониторинга загрязнения. Современные антропогенные отложения как среда накопления ТМ и геоиндикатор являются перспективным компонентом исследования при проведении эколого-геохимических исследований городских агломераций [1, 2]. Отметим, что при подобных исследованиях урбанизированных территорий в качестве объектов используются следующие типы современных отложений: донные отложения водоемов, грязь и пыль с городских территорий, отложения водосточной сети, различные грунты и почвы [3–8].

Авторами статьи на примере г. Екатеринбурга проведен сравнительный анализ двух типов современных антропогенных отложений, использующихся в качестве индикатора экологического состояния урбанизированной среды: отложений локальных понижений микрорельефа и отложений техногенных водоемов. Поверхностные современные антропогенные отложения локальных понижений микрорельефа, представляющие собой осадки и грязь из луж, формируются благодаря недостаткам планировки, техногенных процессов, нарушения стока атмосферных осадков и являются самой верхней частью отложений территорий города. В вещественном составе отложений фиксируются частицы почвы, песка, торфа, пыли и мелкого мусора. Формирование этого материала происходит на поверхности в пределах урбанизированного микроландшафта (территорий кварталов разных лет постройки). Их мощность варьируется в пределах территории кварталов и составляет в среднем 5 см. Время существования отложений – от нескольких месяцев до нескольких десятилетий. Содержание ТМ в них характеризует загрязнение территории, с которой происходят снос и накопление осадка. Отложения участвуют в долгосрочных процессах миграции и интегрируют загрязнение по времени за период существования микроландшафта и пространству в пределах городской территории. В городе Екатеринбурге содержание тяжелых металлов

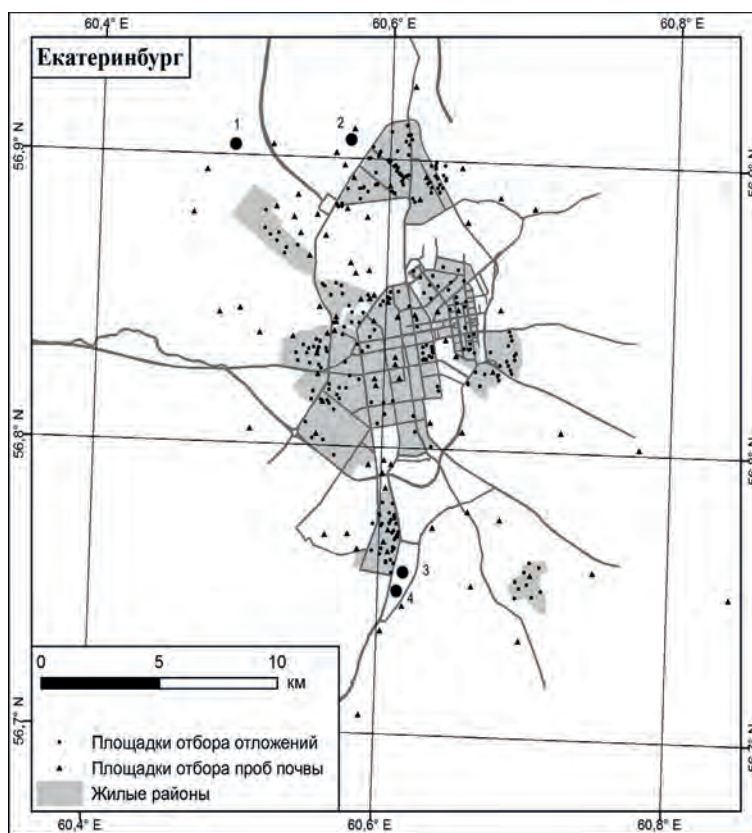


Рисунок 1. Расположение пробных площадок отложений локальных понижений микрорельефа, проб почв и обследованных водоемов (показаны цифрами 1, 2, 3, 4) на территории города Екатеринбурга.

в таких отложениях является информативным индикатором состояния урбанизированной среды. Накопление техногенного радиоактивного изотопа Cs-137 в отложениях позволяет оценить их возраст в микроландшафте городских территорий [9–12]. Анализ распределения тяжелых металлов и Cs-137 в отложениях дает возможность определять спектр загрязнителей территорий, проводить оценку годового поступления и фоновое содержание поллютантов в компонентах окружающей среды.

Формирование техногенных водоемов в городе Екатеринбурге определяется преимущественно наличием карьерных выработок [13–15], некоторые водоемы имеют хозяйственное значение, являются пожарными водоемами в коллективных садах. Затопление водоемов происходило преимущественно за счет атмосферных осадков, реже за счет подземных вод. Донные отложения подобных водоемов представлены в основном пеллагеном. В отличие от донных отложений пресноводных водоемов в них верхнюю часть отложений составляют илстые образования, насыщенные водой, нижнюю – песчаные. Тяжелые металлы в донные отложения могут поступать при плоскостном смыве и атмосферных выбросах.

Отложения из локальных понижений микрорельефа отбирались по нерегулярной сетке в г. Екатеринбурге на селитебной территории в кварталах с многоэтажной жилой застройкой в полевые сезоны 2007–2010 гг. Расположение пробных площадок отложений локальных понижений микрорельефа на селитебных территориях, проб почвы, а также расположение обследованных водоемов в городе Екатеринбурга показано на рис. 1.

Характеристики площадей, с которых происходит накопление осадка, были схожими для всех объектов в разных микрорайонах – растительный покров и зеленые зоны, уклоны, наличие крыш домов, асфальта в микроландшафте. Оценивались

объем отложений, площадь, с которой происходит снос осадка, площадь локального пониженного участка микрорельефа, перепад высот. Отбор производили из верхнего пятисантиметрового горизонта, масса отобранных проб составляла 1,0–1,5 кг [12]. После пробоподготовки определялось содержание металлов методом масс-спектрометрии с ионизацией в индуктивно связанной аргонной плазме на масс-спектрометре ELAN-9000 фирмы Perkin Elmer (США).

Опробование донных отложений выполнено для четырех водоемов в разных частях города (два – в северной, два – в его южной части). В южной части города это затопленные глинистые карьеры, в северной части города один из водоемов располагается непосредственно на территории г. Екатеринбурга, второй – за ее пределами (пруд сада «Путеец», ст. Огородная). Опробование выполнялось в зимний период со льда щелевым пробоотборником. Опробовалась верхняя часть отложений – пеллаген. Определялся минеральный состав донных отложений. Получено среднее содержание металлов для обследованных водоемов. Техногенная ассоциация может включать металлы Cu, Zn, Pb, Ni, Co и Mn, распределение металлов в донных отложениях водоемов несет определенные различия в зависимости от их расположения на территории города [15].

Сравнение геохимических спектров отложений тяжелых металлов локальных понижений микрорельефа и донных отложений проведено с почвами городской территории из фонда данных ГУ «Свердловский ЦГМС-Р» за 2010 г. [16]. Пробы почв в городе отбираются каждые пять лет по нерегулярной сетке на 90 постоянных площадках по одинаковому регламенту в местах нарушенного грунта; пробные площадки располагаются в скверах, парках, лесопарковых зонах, на удалении от селитебных зон. На территориях жилых кварталов города отбор проб почвы не

Таблица 1. Значения коэффициентов корреляции r_1 металлов в почвах города.

Металл	Pb	Mn	Ni	Cu	Zn	Co
Pb	1	−0,09	0,01	0,04	0,05	−0,06
Mn	—	1	−0,29*	−0,03	0,00	0,18
Ni	—	—	1	0,20	0,04	0,59*
Cu	—	—	—	1	0,33*	0,14
Zn	—	—	—	—	1	−0,15
Co	—	—	—	—	—	1

*Корреляция статистически значима при $p < 0,05$.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции r_2 металлов в отложениях локальных понижений микрорельефа.

Металл	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Pb
Mn	1	0,59*	0,12	0,23*	−0,04	−0,03
Co	—	1	0,72*	0,38*	0,11	0,07
Ni	—	—	1	0,28*	0,16*	0,16*
Cu	—	—	—	1	0,59*	0,38*
Zn	—	—	—	—	1	0,36*
Pb	—	—	—	—	—	1

*Корреляция статистически значима при $p < 0,05$.

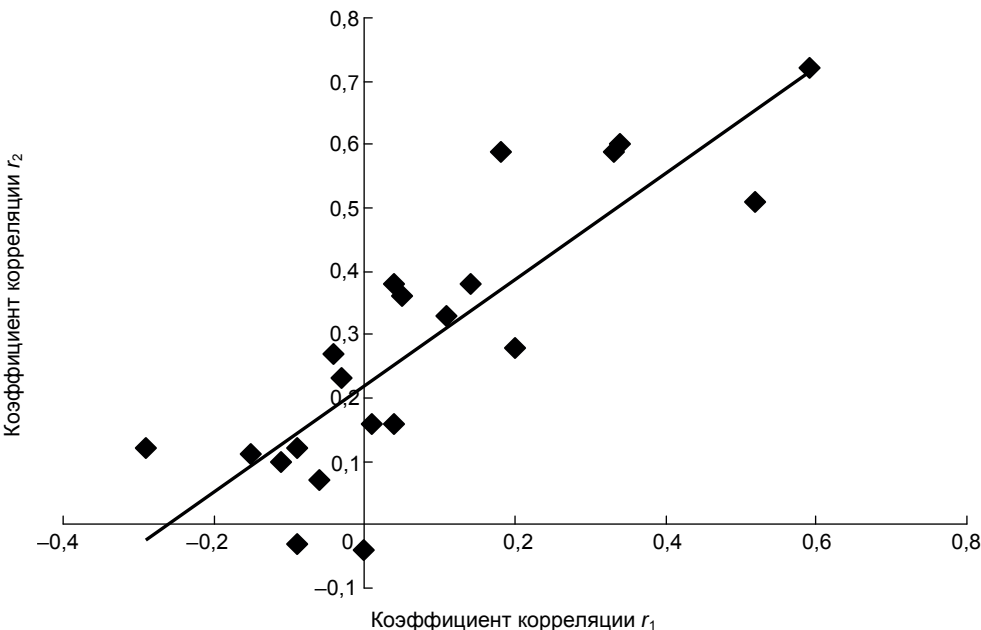


Рисунок 2. График зависимости коэффициентов корреляции r_1 и r_2 .

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между содержанием металлов и pH в отложениях.

Металл	Коэффициент корреляции	Среднее для слабокислой среды	Среднее для слабощелочной среды	p-значение (значимость различий между средними при $p < 0,05$)
Mn	$r = 0,14$; $p = 0,04$	744	835	0,11
Co	$r = 0,31$; $p < 0,01$	17	22	$< 0,01$
Ni	$r = 0,23$; $p < 0,01$	105	155	$< 0,01$
Cu	$r = −0,15$; $p = 0,03$	105	93	0,21
Zn	$r = −0,2$; $p < 0,01$	474	321	0,01
Pb	$r = −0,17$; $p = 0,02$	102	71	0,02

проводится. Фоновые пробы для г. Екатеринбурга отбираются на площадках в 50–60 км в юго-западном направлении за пределами территории города.
Для анализа связи содержания ТМ в отложениях и почвах в городе была составлена трехмерная корреляционная матрица.

В табл. 1 представлены значения коэффициентов корреляции r_1 концентрации металлов в почвах города по данным [12].
Коэффициенты корреляции r_2 концентрации металлов в отложениях локальных понижений микрорельефа показаны в табл. 2.

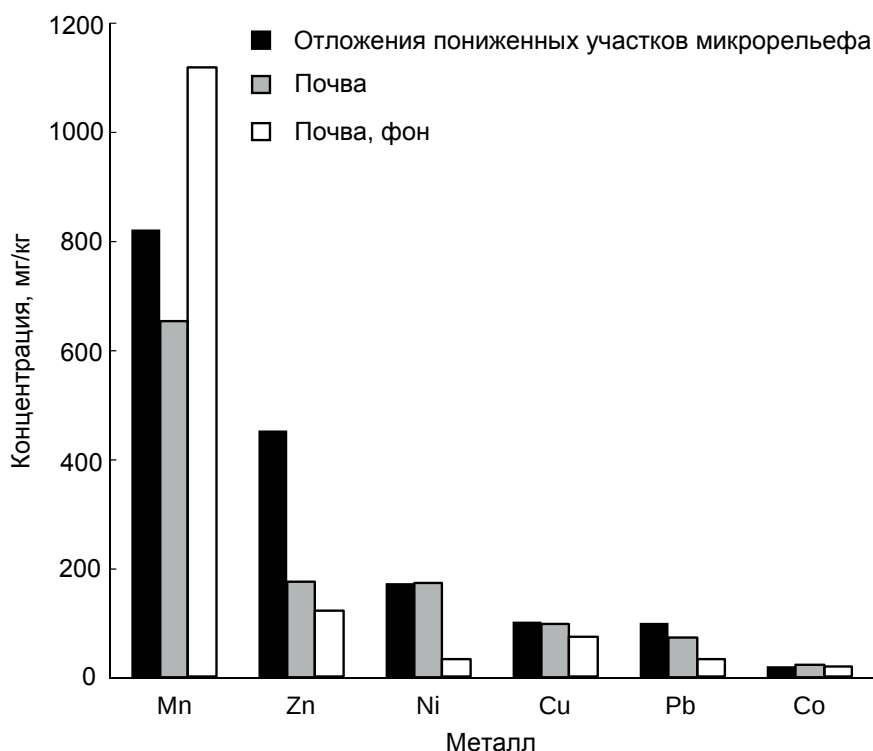


Рисунок 3. Распределение концентрации ТМ для отложений пониженных участков микрорельефа, почв на территории города и почв, отобранных на фоновых площадках в рамках мониторинга ГУ «Свердловский ЦГМС-Р».

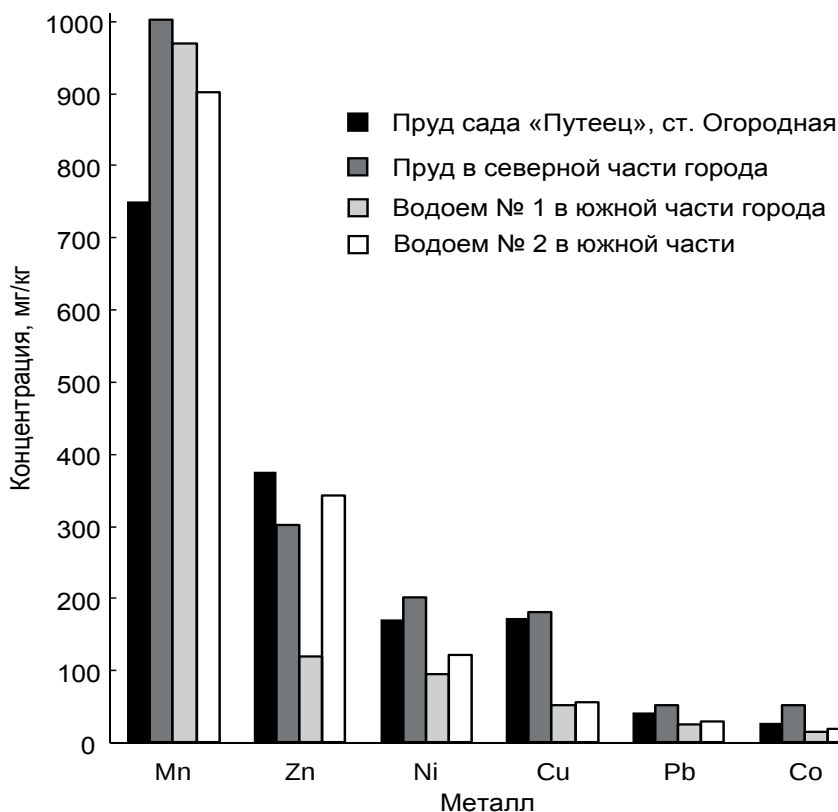


Рисунок 4. Ассоциация металлов для донных отложений четырех водоемов в городе Екатеринбурге.

Проведен корреляционный анализ коэффициентов корреляции r_1 и r_2 , результаты анализа представлены на рис. 2.

Связь между r_1 и r_2 достоверно аппроксимируется линейной функцией вида $y = 0,22 + 0,84 x$, $R^2 = 0,71$. Коэффициент корреляции r между коэффициентами корреляции r_1 и r_2 равен

0,84. Этот факт свидетельствует об общем генезисе металлов в отложениях локальных понижений микрорельефа и почвах.

Среда отложений локальных понижений микрорельефа в городе слабокислая и слабощелочная. Уровень pH составляет 6,13–8,78; среднее – 7,66; доля образцов со слабокислой средой –

12 %, со слабощелочной – 88 %. По результатам дисперсионного анализа средние значения pH отложений пониженных участков микрорельефа на разных типах литогенного субстрата значительно различаются. Обнаруживаются статистически значимые корреляционные связи концентраций Mn, Co, Ni, Cu, Zn и Pb с pH в отложениях пониженных участков микрорельефа (табл. 3).

По результатам дисперсионного анализа среднее содержание Ni и Co, среднее логарифмов концентрации Pb и Zn в выборках значений pH со слабощелочной и слабощелочной средой значительно различаются.

Геохимическая ассоциация металлов для отложений пониженных участков микрорельефа, почв на территории города и почв, отобранных на фоновых площадках в рамках мониторинга ГУ «Свердловский ЦГМС-Р», показана на рис. 3, где представлена средняя концентрация в исследуемых компонентах окружающей среды.

На рис. 4 показана геохимическая ассоциация металлов для донных отложений четырех водоемов.

Дисперсионный анализ связей металлов почв и отложений локальных понижений микрорельефа в городе в пределах разного литогенного субстрата выявил две генетические ассоциации. Первую, типоморфную ассоциацию, составляют Mn и Co. По-видимому, их накопление связано с процессами выветривания коренных пород и последующей миграцией металлов. Техногенную ассоциацию составляют Ni, Cu, Zn и Pb. Накопление этих элементов связано с техногенными источниками, такими как автотранспорт и промышленные предприятия. Щелочно-кислотные свойства отложений также могут быть обусловлены в какой-то мере составом материнских пород.

Поскольку корреляционные связи между концентрациями металлов и pH слабые, то уровень pH не влияет на подвижность металлов в отложениях. Тем не менее, принимая во внимание, что катионогенные элементы образуют более растворимые соединения в кислых водах и менее растворимы в нейтральных и щелочных [17] и что доля образцов со слабощелочной средой составляет лишь 12 %, в то время как со слабощелочной 88 %, можно полагать, что в большей части водосборных поверхностей городских ландшафтов перенос металлов происходит в нерастворимой форме в слабощелочной среде. В нерастворимой форме в отложения попадают Ni, Co и Mn. Однако наблюдаются значимо высокие концентрации Cu, Zn и Pb в слабощелочной среде, что может свидетельствовать о существовании переноса этих металлов в растворимой форме, но доля ее незначительна.

Для отложений пониженных участков микрорельефа и почв города характерная геохимическая ассоциация металлов Mn–Zn–Ni–Cu–Pb–Co отличается от ассоциации металлов в фоновых пробах (Mn–Zn–Cu–Ni–Pb–Co). В то же время ассоциация металлов в фоновых пробах почв в целом соответствует ассоциации металлов в донных отложениях пруда в коллективном саду за пределами г. Екатеринбурга. В остальном же ассоциация металлов в почвах города, донных отложениях водоемов и отложениях пониженных участков микрорельефа на северо-восточных территориях города выглядит следующим образом: Mn–Zn–Ni–Cu–Pb–Co, что свидетельствует об общем генезисе металлов в этих компонентах городской среды.

Максимальные значения содержания металлов в донных отложениях фиксируются в водоемах, расположенных вблизи крупных промышленных предприятий. В пруду сада «Путеец» выявлены достаточно высокие концентрации Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, однако в целом уровни загрязнения здесь невысокие. Максимальная концентрация Mn характерна для донных отложений пруда в северной части города. Наиболее низкая концентрация металлов характерна для донных отложений водоемов в бывших карьерах Уктусского кирпичного завода.

Выводы

Использование различных видов современных антропогенных отложений для изучения проблем, связанных с современными экологически значимыми геохимическими процессами в среде обитания человека, позволяет получить дополнительную эколого-геохимическую информацию о долгосрочных процессах миграции и накопления тяжелых металлов.

Так, накопление Pb, Zn, Cu и Ni в отложениях локальных понижений микрорельефа связано с техногенными источниками, такими как автотранспорт и промышленные предприятия, в то же время Mn и Co имеют литогенное происхождение. Миграция элементов в отложения пониженных участков микрорельефа происходит в слабощелочной и слабощелочной среде, однако уровень pH не является фактором, определяющим процессы переноса элементов.

Сравнительный анализ двух типов современных антропогенных отложений урбанизированной среды свидетельствует об общем генезисе металлов в отложениях водоемов и отложениях локальных понижений микрорельефа в городе. Сравнение геохимической ассоциации металлов в отложениях и почвах также показывает ее общее происхождение в этих компонентах городской окружающей среды.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-35-60044 мол_а_дк и 16-35-00129 мол_а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касимов Н. С. Экогеохимия городских ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1995. 327 с.
2. Экология города / под ред. Н. С. Касимова. М.: Научный мир, 2004. 624 с.
3. Wei B., Jiang F., Li X., Mu S. Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China // Microchemical Journal. 2009. № 93. P. 147–152.
4. Atiemo M. S., Ofori G. F., Kuranchie-Mensah H., Tutu A. O., Palm N. D. M. L., Blankson S. A. Contamination Assessment of Heavy Metals in Road Dust from Selected Roads in Accra, Ghana // Research Journal of Environmental and Earth Sciences. 2011. № 3(5). P. 473–480.
5. Liu E., Yan T., Birch G., Zhu Y. Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China // Science of the Total Environment. 2014. № 476–477. P. 522–531.
6. Saeedi M., Li L. Y., Salmandadeh M. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: Pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran // Journal of Hazardous Materials. 2012. № 227–228. P. 9–17.
7. Tang R., Ma K., Zhang Y., Mao Q. The spatial characteristics and pollution levels of metals in urban street dust of Beijing, China // Applied Geochemistry. 2013. № 35. P. 88–98.
8. Jordanova D., Jordanova N., Petrov P. Magnetic susceptibility of road deposited sediments at a national scale Relation to population size and urban pollution // Environmental Pollution. 2014. № 189. P. 239–251.
9. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. 137Cs in puddle sediments as timescale tracer in urban environment // Journal of Environmental Radioactivity. 2015. № 142. P. 9–13.
10. 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.
11. Селезнев А. А., Ярмошенко И. В., Медведев А. Н. Оценка возраста загрязнения грунтов на урбанизированных территориях с использованием датирования по содержанию цезия-137 // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2014. № 4. С. 329–336.
12. Селезнев А. А. Эколого-геохимическая оценка состояния урбанизированной среды на основе исследования отложений пониженных участков микрорельефа (на примере г. Екатеринбург): дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.36: защищена 26.03.2015; утв. 01.07.2015. Екатеринбург, 2015. 141 с.
13. Макаров А. Б., Устюгова И. С., Захаров А. В. Минеральный состав и геохимические особенности донных отложений техногенных водоемов в юго-восточной части г. Екатеринбурга // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского: сб. науч. ст. Пермь: ПГУ, 2010. Вып. 13. С. 316–321.
14. Макаров А. Б., Устюгова И. С. Техногенные водоемы городской агломерации города Екатеринбурга, их типизация и оценка загрязнения // Минералогия техногенеза-2009. Миасс: Ин-т минералогии УрО РАН, 2009. С. 83–85.
15. Макаров А. Б., Устюгова И. С., Щукин С. И. Донные отложения техногенных водоемов городской агломерации Екатеринбурга как индикатор загрязнения окружающей среды // Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Екатеринбург:

УГГУ, 2011. С. 82–84.

16. Ежегодник загрязнения почв городов Свердловской области токсикантами промышленного происхождения в 2010 году. Екатеринбург: Свердловский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями (ГУ «Свердловский ЦГМС-Р»), 2011. 213 с.
17. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.

REFERENCES

1. Kasimov N. S. 1995, *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov* [Ecogeochemistry of urban landscapes], Moscow, 327 p.
2. Kasimov N. S. 2004, *Ekologiya goroda* [City ecology], Moscow, 624 p.
3. B. Wei, F. Jiang, X. Li, S. Mu. 2009, Spatial distribution and contamination assessment of heavy metals in urban road dusts from Urumqi, NW China. *Microchemical Journal*, no. 93, pp. 147–152.
4. M. S. Atiemo, G. F. Ofosu, H. Kuranchie-Mensah, A. O. Tutu, N. D. M. L. Palm, S. A. Blankson. 2011, Contamination Assessment of Heavy Metals in Road Dust from Selected Roads in Accra, Ghana. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, no. 3(5), pp. 473–480.
5. E. Liu, T. Yan, G. Birch, Y. Zhu. 2014, Pollution and health risk of potentially toxic metals in urban road dust in Nanjing, a mega-city of China. *Science of the Total Environment*, no. 476–477, pp. 522–531.
6. M. Saeedi, L. Y. Li, M. Salmanzadeh. 2012, Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: Pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of Hazardous Materials*, no. 227–228, pp. 9–17.
7. R. Tang, K. Ma, Y. Zhang, Q. Mao. 2013, The spatial characteristics and pollution levels of metals in urban street dust of Beijing, China. *Applied Geochemistry*, no. 35, pp. 88–98.
8. D. Jordanova, N. Jordanova, P. Petrov. 2014, Magnetic susceptibility of road deposited sediments at a national scale Relation to population size and urban pollution. *Environmental Pollution*, no. 189, pp. 239–251.
9. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. 2015, 137Cs in puddle sediments as timescale tracer in urban environment. *Journal of Environmental Radioactivity*, no. 142, pp. 9–13.
10. 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.
11. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Medvedev A. N. 2014, *Otsenka vozrasta*

- zagryazneniya gruntov na urbanizirovannykh territoriyakh s ispol'zovaniem datirovaniya po soderzhaniiyu tseziya-137* [Age assessment of soil pollution in urban areas with the use of dating by the content of cesium-137]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* [Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology], no. 4, pp. 329–336.
12. Seleznev A. A. 2015, *Ekologo-geokhimicheskaya otsenka sostoyaniya urbanizirovannoy sredy na osnove issledovaniya otlozheniy ponizhennykh uchastkov mikrorel'efa (na primere goroda Ekaterinburga). Dis. ... kand. geol.-min. nauk* [Ecological-geochemical assessment of the state of the urban environment on the basis of studies of deposits depressed areas of micro topography (on the example of Ekaterinburg). Dissertation of the candidate of geological-mineralogical sciences], Ekaterinburg, 141 p.
13. Makarov A. B., Ustyugova I. S., Zakharov A. V. 2010, *Mineral'nyy sostav i geokhimicheskie osobennosti donnykh otlozheniy tekhnogennykh vodoemov v Yugo-vostochnoy chasti g. Ekaterinburga* [The mineral composition and geochemical characteristics of sediments of anthropogenic reservoirs in the South-eastern part of Ekaterinburg]. *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnye chteniya pamyati P. N. Chirvinskogo: sb. nauch. st.* [Problems of miner-alogy, petrography and metallogeny. Scientific Readings in Memory of Chirvinskiy P. N.: collection of scientific articles], Perm', vol. 13, pp. 316–321.
14. Makarov A. B., Ustyugova I. S. 2009, *Tekhnogennyye vodoemy gorodskoy aglomeratsii goroda Ekaterinburga, ikh tipizatsiya i otsenka zagryazneniya* [Anthropogenic reservoirs of urban agglomeration of Ekaterinburg, their typology and assessment of pollution]. *Mineralogiya tekhnogeneza-2009: Nauchnoe izdanie* [Mineralogy of technogenesis 2009: Scientific publication], Miass, pp. 83–85.
15. Makarov A. B., Ustyugova I. S., Shchukin S. I. 2014, *Donnye otlozheniya tekhnogennykh vodoemov gorodskoy aglomeratsii Ekaterinburga kak indikator zagryazneniya okruzhayushchey sredy. Materialy Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Bottom sediments of anthropogenic reservoirs of urban agglomeration of Ekaterinburg as indicator of the environment pollution. Materials of the All-Russia scientific-practical conference], Ekaterinburg, pp. 82–84.
16. 2011. *Ezhegodnik zagryazneniya pochv gorodov Sverdlovskoy oblasti toksikantami promyshlennogo proiskhozhdeniya v 2010 godu* [Yearbook of polluted soils of cities of the Sverdlovsk region with toxicants of industrial origin in 2010], Ekaterinburg, 213 p.
17. Pereľman A. I., Kasimov N. S. 1999, *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry], Moscow, 610 p.

Андрян Анатольевич Селезнев,
seleznev@ecko.uran.ru
Илья Владимирович Ярмошенко,
ivy@ecko.uran.ru
Институт промышленной экологии УрО РАН
Россия, Екатеринбург,
ул. С. Ковалевской, 20

Анастасия Сергеевна Савастьянова,
an.savastianova@yandex.ru
Уральский федеральный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19

Анатолий Борисович Макаров,
makarova211253@yandex.ru
Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Andrian Anatol'evich Seleznev,
seleznev@ecko.uran.ru
Il'ya Vladimirovich Yarmoshenko
ivy@ecko.uran.ru
Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the RAS
Ekaterinburg, Russia

Anastasiya Sergeevna Savast'yanova
an.savastianova@yandex.ru
Ural Federal University
Ekaterinburg, Russia

Anatoliy Borisovich Makarov,
makarova211253@yandex.ru
Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia