УДК 550.422/550.423/550.424

ТЕХНОГЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ КАК ИСТОЧНИК ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Е. О. Илгашева

Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

В статье представлены результаты изучения химического состава техногенных частиц, отобранных в рыхлом поверхностном осадке на урбанизированных территориях. Химический состав получен с помощью методов сканирующей электронной микроскопии, определено наличие и процентное содержание тяжелых металлов и токсичных элементов, входящих в состав таких частиц.

Ключевые слова: седиментогенез; техногенные частицы; тяжелые металлы; токсичные элементы; урбанизированная среда.

1. Введение

На урбанизированных территориях под действием внешних агентов (ветер, временные и постоянные водотоки, антропогенные факторы и т. д.) непрерывно происходит процесс современного седиментогенеза, в результате которого образуется рыхлый поверхностный осадок. Одна из составляющих такого осадка – частицы техногенного происхождения [1–3]. Их генезис зависит от типов промышленности региона и района, интенсивности строительства и эксплуатации зданий и сооружений, степени антропогенного влияния. Техногенные частицы могут быть источником тяжелых металлов и токсичных элементов.

В ходе исследования была поставлена задача определить, действительно ли техногенные частицы – источник или транспортирующий агент для тяжелых металлов и токсичных элементов.

К группе тяжелых металлов относятся элементы с ванадия до урана, кроме металлов, не имеющих стабильных изотопов. Всего группа тяжелых металлов включает в себя 58 элементов. Оценка содержания элементов в почве и земной коре оценивается с помощью кларков. Кларки (глобальные и региональные) используют в формулах при подсчете показателей загрязнения территорий. Их значения принимают во внимание при назначении предельно допустимых концентраций (ПДК) [4]. Для оценки степени биологического воздействия используют уровни токсичности металлов. Согласно ГОСТ Р 70281-2022 выделено 3 класса тяжелых металлов по степени их опасности: высоко-, умеренно и малоопасные (табл. 1) [5].

Таблица 1. Степень опасности тяжелых металлов (ГОСТ Р 70281-2022)

Опасность	**Элементы**
Высокая	As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn
Умеренная	Co, Ni, Mo, Cu, Cr, Sb
Малая	Ba, V, W, Mn, Sr

Для оценки влияния на здоровье человека используют санитарно-эпидемиологические правила и нормы, в том числе СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [6]. В настоящее время он

содержит нормы для 49 химических соединений. Подвижная форма указана для 8 веществ 1 и 2 класса опасности.

2. Материалы и методы

В ходе настоящего исследования были изучены техногенные частицы, отобранные из проб городов Уральского региона: Челябинска, Екатеринбурга, Нижнего Тагила, Магнитогорска; Европейской части России: Мурманска, Уфы, Перми, Нижнего Новгорода, Ростова-на-Дону; Сибири: Тюмени [7–10]. Всего в ходе исследования было изучено 80 проб с размером частиц 250–1 000 мкм. Техногенные частицы были отобраны вручную под бинокулярным микроскопом с помощью методов визуальной диагностики. Большую помощь при определении частиц оказывает их сравнение с коллекцией заведомо известных типов частиц. Химический состав частиц и особенности их морфологии были получены с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) JSM-6390LV в сочетании с методами энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) с помощью приставки INCA Energy 350 X-Max 50, Oxford Instruments. Детектор ЭДС позволяет определять элементный состав частиц и включений. Исследования были проведены в ЦКП «Геоаналитик» на базе Института геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН.

3. Результаты

В ходе исследования были обнаружены техногенные частицы, в состав которых входят повышенные содержания Pb, Zn, Ni, Cr, Cu, Mn. Такие частицы были идентифицированы как шлаковые частицы (рис. 1, 2), частицы краски и штукатурки (рис. 3, 4), фрагменты тормозных систем автомобилей (рис. 5, 6), магнетитовые микросферы (рис. 7, 8). На рис. 1 представлено изображение шлаковой стекловидной частицы в обратно отраженных электронах. Отмечено повышенное содержания меди, цинка и никеля – до 87, 22 и 28 % соответственно (рис. 2). Следует отметить – элементы входят в состав частицы, что отображено на снимке.

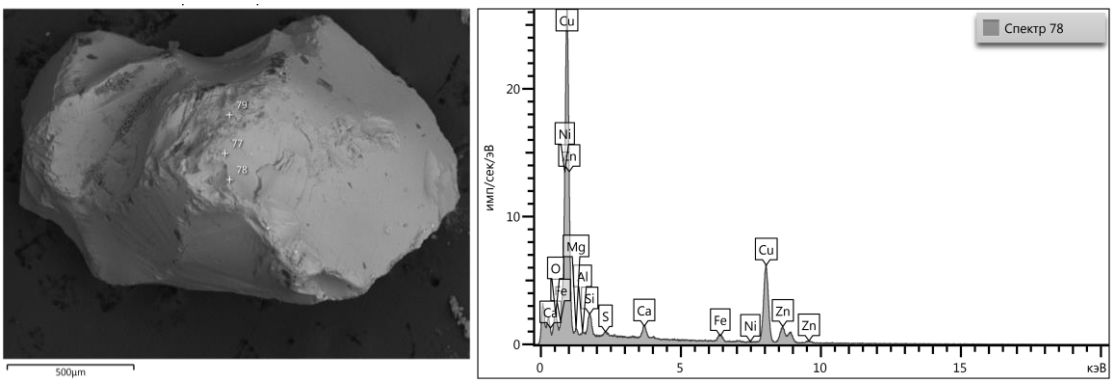

Рис. 1, 2. Шлаковая частица (слева). Химический состав спектра № 78 (справа). Фото и спектр СЭМ

На рис. 3 представлено изображение частицы краски в обратно отраженных электронах. Отмечено повышенное содержание свинца – до 69 % в виде включений пигмента (рис. 4). Основа частицы – фрагмент штукатурной смеси, о чем свидетельствует высокое содержание оксида кальция и незначительная примесь оксида титана. В этом случае частица – скорее транспортная среда для токсичных элементов.

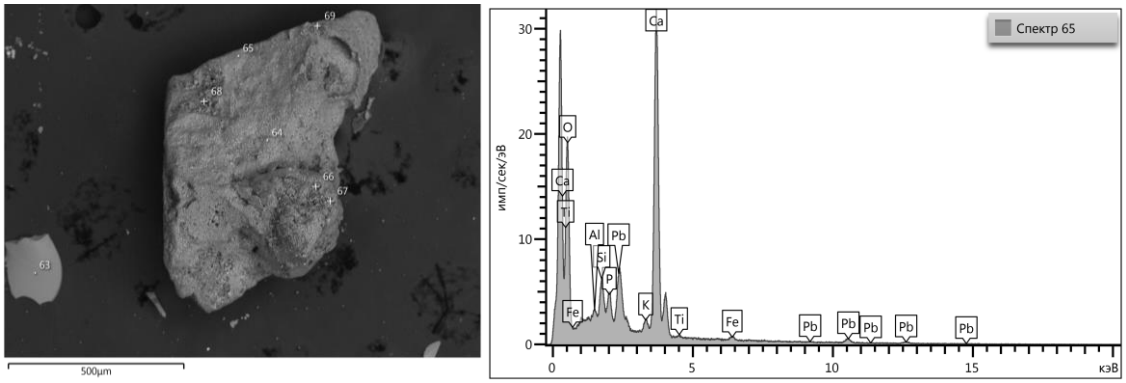

Рис. 3, 4. Частица краски (слева). Химический состав спектра № 65 (справа). Фото и спектр СЭМ

На рис. 5 представлено изображение фрикционной смеси автомобиля, образец которой отобран в районе ледовой трассы на оз. Балтым [11]. Отмечаются включения Ni, Cr (рис. 6). Источником металлов могут быть тормозные колодки и диски, а также кузов автомобиля. За счет маленьких размеров (в результате истирания размер частиц составляет до 5–10 мкм) такие частицы легко переносятся автомобильным транспортом, ветровыми и водными потоками.

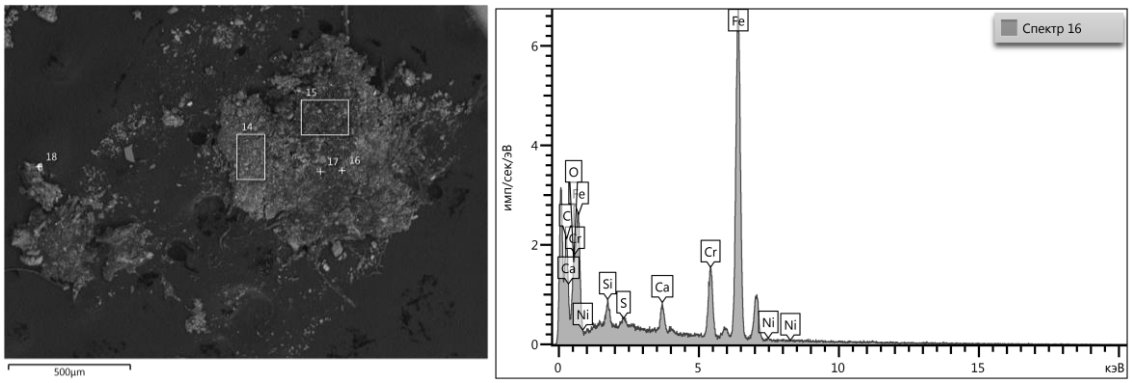

Рис. 5, 6. Фрикционная смесь (слева). Химический состав спектра № 16 (справа). Фото и спектр СЭМ

На рис. 7 представлено изображение магнетитовой микросферы. Наиболее полно составы таких сфер описаны в [12]. Отмечено повышенное содержания хрома – до 15 % (рис. 8). Кроме хрома, магнетитовые микросферы могут включать в себя марганец, цинк, никель, кобальт. Элементы входят как в состав частиц, так и переносятся на поверхности микросфер в виде тонкой (2–10 мкм) фракции.

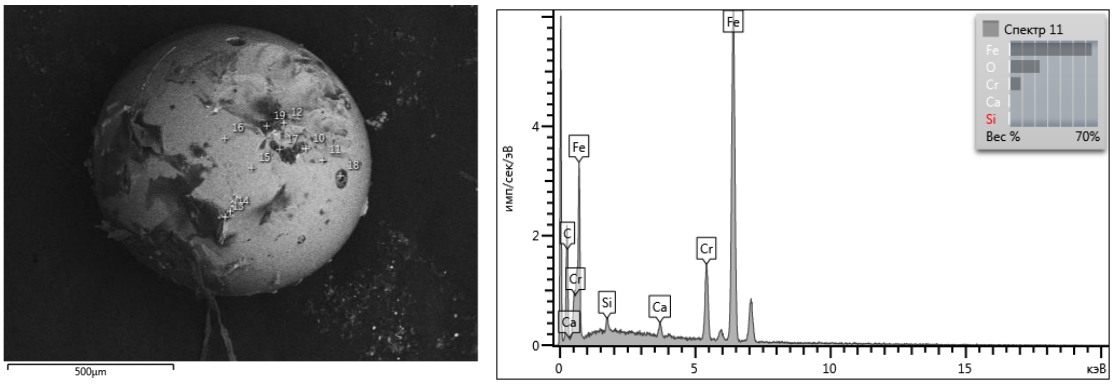

Рис. 7, 8. Магнетитовая микросфера (слева). Химический состав спектра № 11 (справа). Фото и спектр СЭМ

4. Выводы

Исходя из вышеприведенных примеров, можно сделать вывод, что токсичные элементы могут входить в состав собственно техногенных частиц или находиться в виде включений на поверхности или в кавернах техногенных частиц. Под действием воды, атмосферных и промышленных газов, антропогенных факторов (истирание шинами), колебаний температур техногенные частицы подвергаются выветриванию и дальнейшему разрушению и образуют рыхлые поверхностные отложения. Полученный осадок мигрирует, накапливается в пониженных частях микрорельефа, реках, озерах, временных водотоках и в дальнейшем образует новые геохимические барьеры и геохимические аномалии.

Исследование выполнено за счет субсидий Минобрнауки РФ на выполнение научной темы FUMN-2024-0001.

5. Список литературы

1. Техногенная составляющая поверхностного осадка на урбанизированных территориях / Е. О. Илгашева, А. А. Селезнев, И. В. Ярмошенко [и др.] // Минералогия техногенеза. – 2019. – № 20. – С. 157–161.
2. *Илгашева, Е. О.* Техногенные частицы в современных антропогенных отложениях городов России / Е. О. Илгашева // Проблемы геологии и освоения недр : Тр. XXV Междунар. симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета. Томск. 5–9 апреля 2021 г. Т. 1. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. – С. 364–366. – EDN SDZBXR.
3. *Илгашева, Е. О.* Техногенные образования в составе современных антропогенных отложений на урбанизированных территориях / Е. О. Илгашева, А. А. Селезнев // Минералы: строение, свойства, методы исследования. – 2020. – С. 104, 105.
4. *Водяницкий, Ю. Н.* Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю. Н. Водяницкий. – М. : ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, 2008.
5. ГОСТ Р 70281-2022 «Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения».
6. СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
7. Пылегрязевые отложения как индикатор эколого-геохимического состояния территории арктического города / И. В. Ярмошенко, А. В. Шевченко, В. С. Глухов [и др.] // Арктика: экология и экономика. – 2024. – Т. 14, № 3. – С. 449–461. – DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-449-461.
8. Rationale for the Ecological Geoindicator Role of Contemporary Surface Sediments of Dust and Dirt in Urban Environment / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko, A. V. Shevchenko // Russ. Meteorol. Hydrol. – 2023. – No. 48. – P. 467–478. – DOI 10.3103/S1068373923050102.
9. *Seleznev, A. A.* Study of urban puddle sediments for understanding heavy metal pollution in an urban environment / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko // Environmental Technology and Innovation. – 2014. – Vol. 1, 2, No. C. – P. 1–7. – DOI 10.1016/j.eti.2014.08.001. – EDN UFWEWV.
10. Indicators of Complex Urban Geochemical Transformation in Russian Metropolises / A. Ryanskaya, A. Seleznev, I. Yarmoshenko, G. Malinovsky // In: Çiner, A., et al. Recent Research on Environmental Earth Sciences, Geomorphology, Soil Science, Paleoclimate, and Karst. MedGU 2021. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42917-0_2.
11. Техногенные частицы в снеговом покрове в районе ледовой гоночной трассы / Е. О. Илгашева, И. В. Ярмошенко, А. А. Селезнев, Г. П. Малиновский // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: химия и климат : Материалы III Байкальской междунар. науч. конф. при поддержке ИЮПАК, Иркутск, 23–27 марта 2020 года. – Иркутск : Репроцентр А1, 2020. – С. 110–114. – EDN FMLAOD.

12. *Илгашева, Е. О.* Техногенные микросферы в поверхностном осадке урбанизированных территорий / Е. О. Илгашева // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333, № 3. – С. 57–67. – DOI 10.18799/24131830/2022/3/3295. – EDN UDTIVE.

Сведения об авторах:

Илгашева Екатерина Олеговна, м. н. с. Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. Старший преподаватель кафедры ГМП ФГиГ Уральского государственного горного университета, г. Екатеринбург, Россия. Эл. почта: e_ilgasheva@mail.ru

TECHNOGENIC PARTICLES AS A SOURCE OF TOXIC ELEMENTS AND HEAVY METALS

E. O. Ilgasheva

Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

The article presents the results of a study of the chemical composition of technogenic particles collected in loose sediment in urbanized areas. The chemical composition was obtained using scanning electron microscopy, which established the presence and percentage of heavy metals and toxic elements included in such particles.

Key words: sedimentogenesis; technogenic particles; heavy metals; toxic elements; urbanized environment.

References

1. Technogenic component of surface sludge in urbanised areas / E. O. Ilgasheva, A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko [et al.] // Mineralogy of technogenesis. – 2019. – № 20. – P. 157–161.
2. *Ilgasheva, E. O.* Technogenic particles in modern anthropogenic sediments of Russian cities / E. O. Ilgasheva // Problems of geology and subsoil development: Proc. of XXV International Symposium. XXV International Symposium named after Academician M. A. Usov of students and young scientists, dedicated to the 120th anniversary of mining and geological education in Siberia, 125th anniversary of Tomsk Polytechnic University. Tomsk. 5–9 April 2021. Vol. 1. – Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2021. – P. 364–366. – EDN SDZBXR.
3. *Ilgasheva, E. O.* Technogenic formations in the composition of modern anthropogenic deposits in urbanised areas / E. O. Ilgasheva, A. A. Seleznev // Minerals: structure, properties, methods of research. – 2020. – P. 104, 105.
4. Vodyanitsky, Yu. N. Heavy metals and metalloids in soils / Yu. N. Vodyanitsky. – M. : State Scientific Institution Soil Institute named after V. V. Vodyanitsky. B. V. Dokuchaev Soil Institute of Russian Academy of Agricultural Sciences, 2008.
5. GOST R 70281-2022 ‘Nature Protection. Soils. Classification of chemical substances for pollution control’.
6. SanPin 1.2.3685-21 ‘Hygienic norms and requirements to ensure safety and (or) harmlessness for humans of habitat factors’.
7. Urban surface deposited sediments as an indicator of the environmental and geochemical state of the Arctic city / I. V. Yarmoshenko, A. V. Shevchenko, V. S. Glukhov // Arctic: ecology and economics. – 2024. – Vol. 14, – No. 3. – P. 449–461. – DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-449-461.
8. Rationale for the Ecological Geoindicator Role of Contemporary Surface Sediments of Dust and Dirt in Urban Environment / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko, A. V. Shevchenko // Russ. Meteorol. Hydrol. – 2023. – No. 48. – P. 467–478. – DOI 10.3103/S1068373923050102.
9. *Seleznev, A. A.* Study of urban puddle sediments for understanding heavy metal pollution in an urban environment / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko // Environmental Technology and Innovation. – 2014. – Vol. 1, 2, No. C. – P. 1-7. – DOI 10.1016/j.eti.2014.08.001. – EDN UFWEWV.
10. Indicators of Complex Urban Geochemical Transformation in Russian Metropolises / A. Ryanskaya, A. Seleznev, I. Yarmoshenko, G. Malinovsky // In: Çiner, A., et al. Recent Research on Environmental Earth Sciences, Geomorphology, Soil Science, Paleoclimate, and Karst. MedGU 2021. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42917-0_2.
11. Technogenic particles in the snow cover in the area of the ice race track / E. O. Ilgasheva, I. V. Yarmoshenko, A. A. Seleznev, G. P. Malinovsky // Snow cover, precipitation, aerosols: chemistry and climate: Proceedings of the III Baikal International Scientific Conference supported by IUPAC, Irkutsk, 23–27 March 2020. – Irkutsk: Reprocentre A1, 2020. – P. 110–114. – EDN FMLAOD.

12. *Ilgasheva, E. O.* Technogenic microspheres in the surface sediment of urbanised territories / E. O. Ilgasheva // Izvestia Tomsk Polytechnic University. Engineering of georesources. - 2022. – Vol. 333, № 3. – P. 57–67. – DOI 10.18799/24131830/2022/3/3295. – EDN UDTIVE.