

Особенности минерального состава техногенных отложений урбанизированной среды на примере городов Уральского региона

Екатерина Олеговна ИЛГАСHEВА^{1,2*}

¹Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

²Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация

Цель работы – изучение особенностей минерального состава рыхлых техногенных поверхностных отложений 7 городов Уральского региона России: Уфы, Перми, Тюмени, Челябинска, Нижнего Тагила, Магнитогорска, Екатеринбурга. В ходе работы был проведен отбор грунта, осадка, дорожной пыли и снеготрясовой пульпы в различных функциональных зонах современных городов с целью изучения вещественного состава и особенностей распределения минералов, в частности природного и техногенного происхождения.

Методика работы. В ходе работы были изучены пробы поверхностного осадка, отобранные в районах с разными типами промышленности и периодами застройки. Для всех проб был выполнен гранулометрический анализ, а для дальнейшего исследования были выбраны фракции 100–250 и 250–1000 мкм. Определение минерального состава поверхностных отложений проведено с помощью качественного и полуколичественного минерального анализа гранулометрических фракций методами порошковой дифрактометрии и термического анализа, часть проб изучена с помощью методов оптической и электронной микроскопии. Техногенные частицы отобраны с помощью методов оптической микроскопии. Для описания морфологических особенностей таких частиц были скомбинированы методы оптической и электронной сканирующей микроскопии. Химический состав был получен с помощью сканирующего электронного микроскопа, оборудованного приставкой для энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии.

Результаты. В ходе исследования получены данные по фазово-минеральному составу техногенных поверхностных отложений. Частицы техногенного происхождения классифицированы, определен их вклад в состав поверхностных отложений на урбанизированных территориях. По результатам настоящей работы, минеральный состав представлен ассоциацией природных и техногенных минералов и их агрегатов. Поверхностные отложения городов Уральского региона имеют схожий минеральный состав и техногенную составляющую.

Ключевые слова: урбанизированная территория, современный седиментогенез, техногенез, поверхностные отложения, минеральный состав, техногенные частицы, геоэкология.

Введение

В урбанизированной среде непрерывно происходят процессы седиментогенеза и дальнейшего преобразования поверхностных отложений. Седиментогенез в общем плане рассматривается как важнейший процесс естественной динамики поверхности Земли и является глобальным геохимическим процессом, с которым связаны дифференциация вещества и миграция химических элементов [1]. Он затрагивает в том числе поверхностные отложения современных городов. В процессе седиментогенеза на урбанизированных территориях за счет изменений и перемещений естественных грунтов, размещения в геологической среде отходов производства и потребления (шлаки, шламы, бытовые отходы) с развитием процессов разубоживания и миграции отходов формируются техногенные грунты. Указанные процессы рассматриваются в грунтоведении как искусственный седиментогенез [2].

В процессах искусственного седиментогенеза участвуют значительные массы материала, появление кото-

рых связано с хозяйственной деятельностью человека. Под влиянием миграционных процессов, вызванных поверхностным стоком и высокой автомобильной нагрузкой, происходит накопление в областях транзита и аккумуляции специфических отложений, состоящих из смеси природных и техногенных минералов, техногенных частиц и продуктов их изменения. Такие осадки являются своеобразными по морфологии, составу и свойствам, и до недавнего времени в природе не существовали. Техногенные осадки, размещенные в поверхностных условиях, с течением времени подвергаются процессам выветривания, коррозии и окисления.

Процессы техногенного седиментогенеза наиболее ярко проявлены в промышленно урбанизированных и горнопромышленных районах, где особенно активно происходит образование техногенных отложений, которые концентрируют значительные массы различных химических элементов и являются источниками их вторичного

✉ katerina.ilgasheva@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9538-9685>

рассеяния [3]. В условиях крупномасштабных техногенных преобразований в последние десятилетия научным сообществом такие отложения рассматриваются в качестве техногенной формации [4–6].

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были выбраны пробы поверхностных отложений, отобранные в 7 городах Уральского региона России: Уфе, Перми, Тюмени, Челябинске, Нижнем Тагиле, Магнитогорске, Екатеринбурге. Выбранные города расположены в разных природных и климатических зонах, характеризуются различным литологическим субстратом и типом промышленности. На территории городов кроме четвертичных отложений, вскрытых при строительстве зданий, сооружений и коммуникаций, отмечаются выходы коренных пород. Для Нижнего Тагила, Челябинска, Магнитогорска основной отраслью специализации является черная металлургия. Машиностроение, нефтехимия, деревообработка являются ключевыми сегментами экономического развития Перми. Промышленность Тюмени сосредоточена в нефтегазовой отрасли, машиностроении и металлургии. Промышленность Екатеринбурга представлена машиностроением, приборостроением, металлургией, производством строительных материалов, химической промышленностью. Все перечисленные города отличаются высоким уровнем урбанизации и повышенной автомобильной нагрузкой.

Пробы поверхностного осадка были отобраны в районах с разными типами промышленности и периода застройки. Отбор проб был проведен по нерегулярной сети не менее чем на 40 участках в каждом городе. Пробоотбор проводился с дворовой территории с многоэтажной застройкой. Всего было отобрано от 3 до 5 проб в каждой локации, масса отобранного материала составляет 1–1,5 кг. Процедура отбора проб подробно описана в ранее опубликованных статьях [7–9]. При отборе проб и последующем анализе выделены следующие типы отложений окружающей среды:

- 1) грунты – ненарушенные пробы почвы на газонах и пробы грунта во дворах и внешней части экспериментальных площадок;
- 2) осадок – пробы поверхностного осадка городской среды, отобранные в пониженных участках рельефа;
- 3) RDS – пробы осадка на проезжей части улиц, дорожная пыль [10].

Для изучаемых образцов проводилось определение гранулометрического состава. Для этого сухим просеиванием вначале отделялась фракция размером больше 1 мм. Затем мокрым ситованием отделялись гранулометрические фракции 0,05–0,1 мм, 0,1–0,25 мм и 0,25–1 мм. Методом отмучивания с вакуумным фильтрованием через мембранные фильтры с разным размером пор отделялись фракции 0,002–0,01 мм и 0,01–0,05 мм. Порошковые образцы исследовались методами рентгенофазового и термического анализов. Рентгенофазовый анализ проведен на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu) в фильтрованном медном излучении в области брэгговских углов 2θ 3–70°, скорость съемки – 1°/мин. По полученным дифракционным картинам определен фазово-минеральный состав исследованных образцов.

Полуколичественный расчет проводился методом полно-профильного рентгенодифракционного количественного анализа (метод Ритвельда) с использованием программного комплекса SIROQUANT V4 (Австралия). Для части образцов (фракции 0,002–0,01 мм и 0,01–0,05 мм) выполнен также термический анализ (ДТА) на дериватографе Q-1500D (Венгрия), атмосфера печи – воздух. Термические характеристики образцов определяются по кривым ДТА – качественно, и по кривым ТГ (и ДТГ) количественно (полуколичественно).

Техногенные частицы были отобраны вручную из фракции 0,25–1 мм под бинокулярным микроскопом с помощью методов визуальной диагностики. Большую помощь при определении частиц оказывает сравнение их с коллекцией заведомо известных типов частиц [11, 12]. Морфология частиц была изучена с помощью оптического микроскопа. Химический состав и структура частиц были получены с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JSM-6390LV в сочетании с методами энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) с помощью приставки INCA Energy 350 X-Max 50, Oxford Instruments. Исследования были проведены в ЦКП «Геоаналитик» на базе Института геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН.

Результаты

Типы частиц, слагающих основную массу поверхностного осадка, можно отнести к двум видам: 1) природные минералы и их агрегаты (горные породы); 2) техногенные частицы (минералы, образованные в результате деятельности человека).

Минеральный состав поверхностных техногенных отложений характеризуется наличием следующих минералов: кварц, полевые шпаты, серпентин, кальцит, доломит, магнезит, хлорит, биотит и гидробиотит, амфибол, галит, циркон, мусковит, форстерит, магнетит, сидерит, каолинит, монтмориллонит. Наиболее распространены кварц и полевые шпаты. Для всех изученных проб отмечается увеличение содержания кварца в крупных фракциях по сравнению с мелкими фракциями. Это объясняется использованием кварцевого песка для облагораживания газонов и детских площадок, с которых в дальнейшем происходит снос материала на тротуары и дороги. Повышение содержания амфибола в крупных фракциях обусловлено использованием в зимний период мелкофракционного щебня для посыпки дорог и тротуаров. Слюды и гидрослюды преобладают в тонких фракциях и почти отсутствуют в крупных. Это связано с их физическими свойствами: весьма совершенной спайностью, хрупкостью, низкой твердостью. В поверхностных условиях минералы этих групп быстро перетираются и разрушаются. Наличие в пробах кальцита и доломита указывает на широкое применение этих минералов в строительстве: они входят в состав строительных смесей, штукатурки, минеральных порошков для асфальтобетона. Циркон был определен только с помощью методов электронной микроскопии и только в ассоциации с биотитом (рис. 1). Исходя из этого, можно сделать вывод, что источником цирконов в поверхностном осадке являются кислые интрузивные горные породы. Галит был обнаружен при изуче-

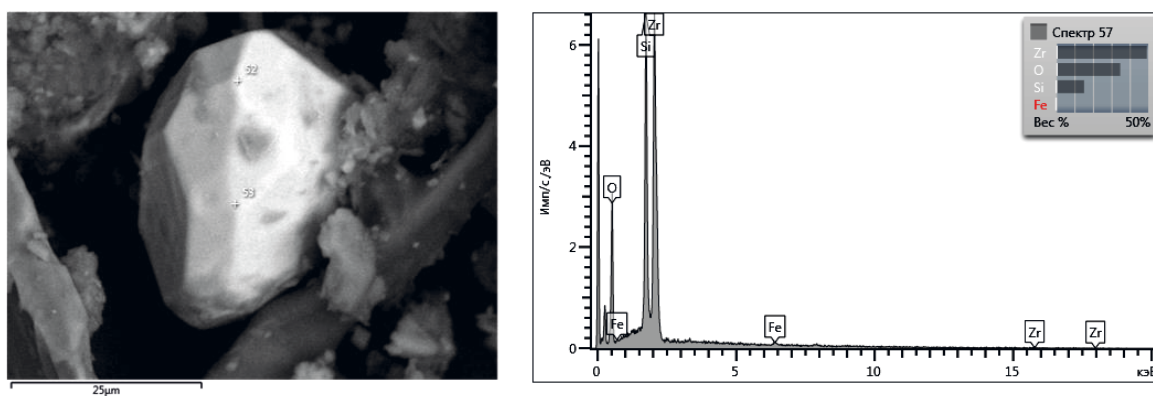


Рисунок 1. Кристалл циркона (слева). Химический состав спектра № 57 (справа). Все – с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ)

Figure 1. Zircon crystal (left). Chemical composition of spectrum no. 57 (right). Done with the help of a scanning electron microscope (SEM)

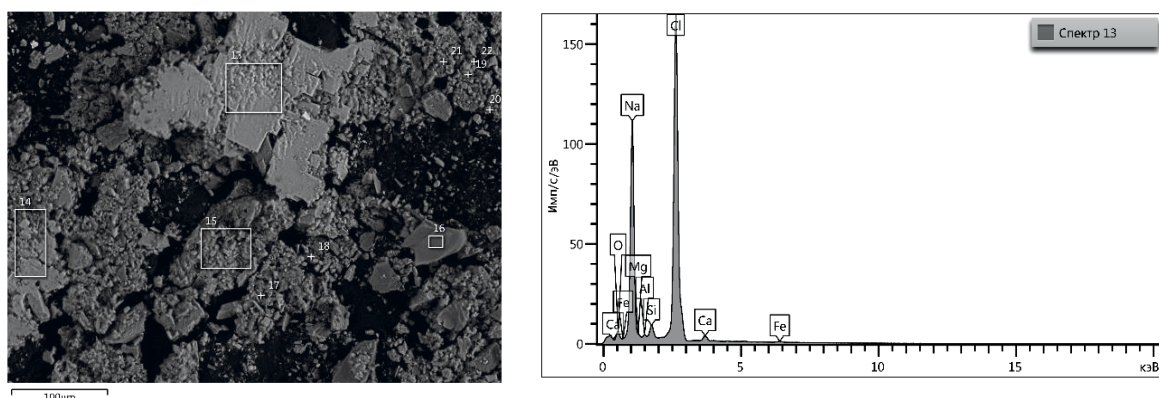


Рисунок 2. Кристаллы галита из проб снегогрязевой пульпы (слева). Химический состав спектра № 13 (справа). Все – с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ)

Figure 2. Halite crystals from snow-mud pulp samples (left). Chemical composition of spectrum no. 13 (right). Done with the help of a scanning electron microscope (SEM)

нии проб снегогрязевой пульпы в виде тонких корок на поверхности других минералов (рис. 2). Галит присутствует в составе реагентов и антигололедной посыпки, поэтому распространен повсеместно. Источником форстерита и магнетита могут являться основные и ультраосновные породы, которые также используются в качестве антигололедной посыпки. Количество этих минералов составляет менее одного процента, они обнаружены не во всех изученных пробах.

Продуктами антропогенного происхождения являются обломки шлака, магнетитовые микросферы и зола уноса, тарное стекло, фрагменты строительных материалов, металлическая стружка, автомобильная резина, уголь и сажа (рис. 3). Типичными техногенными частицами, связанными с металлургией, являются магнетитовые микросферы [13, 14]. Строительство и облагораживание придомовых территорий являются источниками поступления обломков строительных материалов (кирпича, стекла, штукатурки, строительных смесей и красок). Теплоэлектростанции являются источником силикатных микросфер (золы-уноса). С автомобильным транспортом связаны фрагменты резины, тормозных накладок и дисков, частицы сажи.

Для изучения техногенных частиц используются два метода анализа: качественный и количественный.

Отсюда возникает необходимость в расчете погрешности. Количественный анализ характеризуется случайной субъективной погрешностью, которая возникает из-за погрешности счета и зрительных органов человека, т. е. причиной возникновения такой погрешности является человеческий фактор. Согласно полученным данным, погрешность оценки для фракции 100–250 мкм составляет 28,4 %, для фракции 250–1000 мкм – 21,3 %.

По совокупности внешних признаков все изученные техногенные частицы были отнесены к следующим классам: стекловидные шлаковые, камневидные шлаковые, микросферы магнетитовые, микросферы силикатные (зола уноса), фрагменты строительных материалов (обломки кирпича, фрагменты штукатурки и краски), осколки тарного стекла, фрагменты тормозных систем автомобилей (в том числе шины, фрагменты тормозных накладок и дисков).

В ходе исследования из проб поверхностного осадка было отобрано 54 микросферы. По химическому составу все изученные микросферы можно разделить на 4 класса: железистые (магнетитовые), силикатно-железистые (измененные магнетитовые), кислые и основные золы-уноса [15]. На рис. 4 представлено распределение всех полученных ЭДС-спектров в системе Si–Ca–Fe.

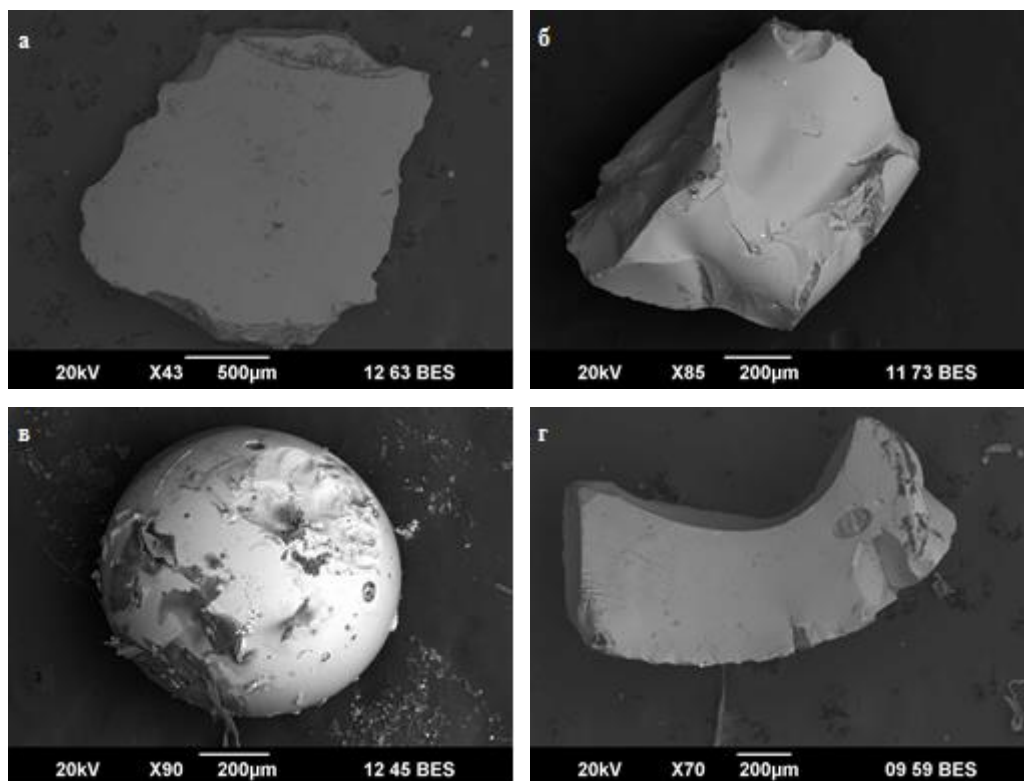


Рисунок 3. Техногенные частицы: а – штукатурка; б – шлаковая частица; в – силикатная микросфера; г – фрагмент тормозных колодок автомобиля. Фото сделано с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ)

Figure 3. Technogenic particles: a – plaster; b – slag particle; c – silicate microsphere; d – a fragment of the brake pads of the car. The photo was taken using a scanning electron microscope (SEM)

Распределение количества природных минералов и техногенных частиц в разных типах поверхностных отложений представлены в табл. 1, 2.

По данным, представленным в табл. 1, 2, можно сделать вывод, что техногенные частицы, поступающие в городскую среду, накапливаются в поверхностном осадке и вносят существенный вклад (до 50 %) в общий объем отложений. Однако количество техногенных частиц уменьшается с уменьшением размерности пробы, что может свидетельствовать об их недолгом нахождении в поверхностном осадке.

Выводы

В целом поверхностные отложения городов Уральского региона имеют схожий минеральный состав, включающий породообразующие минералы и определенную долю частиц техногенного происхождения. Соотношение породообразующих минералов осадка в определенной степени связано с местными геологическими условиями. По результатам анализа минерального состава поверхностного осадка определено, что состав отложений формируется в первую очередь следующими минералами: кварц, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, составляющими более 80 % массы. Наиболее типичными минералами, формирующими оставшуюся часть отложений, являются слюды (в том числе гидрослюда, биотит и др.). В большинстве городов часть поверхностного осадка составляют такие минералы, как кальцит, доломит, магнезит, которые, являются продуктами выветривания строительных конструкций (бетон, строительный раствор, штукатурка и т. п.). В отдельных городах могут встречаться минералы, характер-

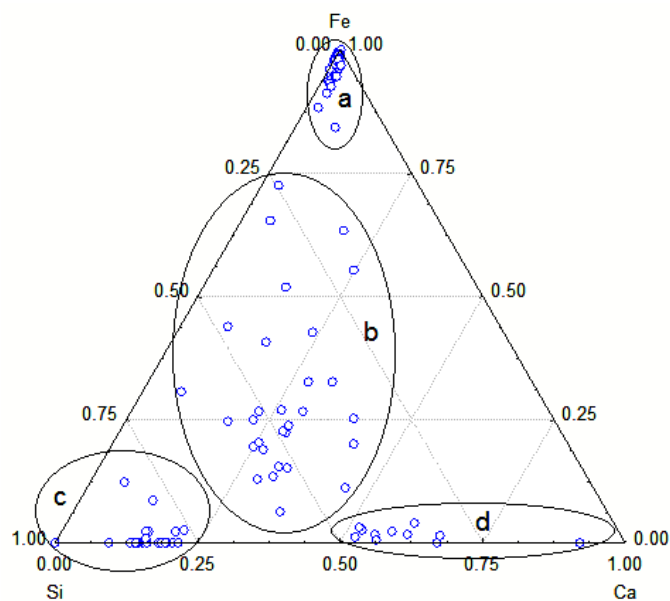


Рисунок 4. Распределение полученных ЭДС-спектров в системе Si–Ca–Fe: а – железистые; б – силикатно-железистые; в – кислые золы-уноса; г – основные золы-уноса

Figure 4. Distribution of the obtained EMF spectra in the Si–Ca–Fe system: a – ferruginous; b – silicate-ferruginous; c – acidic fly ash; d – basic fly ash

ные для соответствующих геологических зон (форстерит, магнетит), и времени года (галит, амфибол – в составе противогололедной посыпки).

Таблица 1. Распределение количества природных минералов и техногенных частиц в разных типах поверхностных отложений (фракция 250–1000 мкм)**Table 1. Distribution of the amount of natural minerals and technogenic particles in different types of surface sediments (fraction 250–1000 µm)**

Тип отложений	Количество проб, шт.	Всего изученных частиц, шт.	Количество техногенных частиц, шт.	Количество техногенных частиц, %	Количество минералов, шт.	Количество минералов, %
Грунт	10	1154	582	50,4	572	49,6
Осадок	19	3527	943	26,7	2584	73,3
Осадок + грунт	15	2319	1023	44,1	1296	55,9
RDS	10	1402	660	47,1	742	52,9

Таблица 2. Распределение количества природных минералов и техногенных частиц в разных типах поверхностных отложений (фракция 100–250 мкм)**Table 2. Distribution of the amount of natural minerals and technogenic particles in different types of surface sediments (fraction 100–250 µm)**

Тип отложений	Количество проб, шт.	Всего изученных частиц, шт.	Количество техногенных частиц, шт.	Количество техногенных частиц, %	Количество минералов, шт.	Количество минералов, %
Грунт	15	2125	484	22,8	1641	77,2
Осадок	19	2808	411	14,6	2397	85,4
Осадок + грунт	14	1994	437	21,9	1557	78,1
RDS	12	1657	301	18,2	1356	81,8

Техногенная составляющая современных отложений влияет на формирование современных экологических и геохимических условий на урбанизированных территориях, закономерности геохимической трансформации. Основными источниками поступления техногенных частиц в осадок являются: тепловые электростанции и производства, связанные со сжиганием топлива с высокой зольностью, термическая переработка минерального сырья,

строительные материалы и бытовой мусор, повышенная автомобильная нагрузка.

Для изучения вещественного состава поверхностных отложений был применен комбинированный подход, включающий методы минералогического и экологического анализа. Данный подход может быть рекомендован для применения в экологических исследованиях других регионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янин Е. П. Техногенные речные илы (вещественный состав, геохимические особенности, экологическая оценка). М.: ВИНТИ, 2013. 196 с.
2. Трофимов В. Т., Королев В. А. О фундаментальных аспектах генетического подхода к изучению грунтов // Инженерная геология. 2019. Т. 14. № 1. С. 8–19. <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-1-8-19>
3. Valtanen M., Sillanpää N., Setälä H. The Effects of Urbanization on Runoff Pollutant Concentrations, Loadings and Their Seasonal Patterns Under Cold Climate // Water, Air, & Soil Pollution. 2014. Vol. 225. Article number 1977. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1977-y>
4. Каздым А. А. Техногенные отложения древних и современных урбанизированных территорий: палеоэкологический аспект. М.: Наука, 2006. 158 с.
5. Несмеянов С. А., Воейкова О. А., Каздым А. А., Макаров В. И. Техногенные образования как геологическая формация // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2009. № 5. С. 387–398.
6. Несмеянов С. А., Воейкова О. А. Техногенная формация – характерный признак техногенного этапа истории Земли // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2020. № 1. С. 18–21. <https://doi.org/10.31857/S0869780920010147>
7. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P. Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities // Scientific Reports. 2020. Vol. 10. Issue 1. P. 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58434-4>
8. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. Method for reconstructing the initial baseline relationship between potentially harmful element and conservative element concentrations in urban puddle sediment // Geoderma. 2018. Vol. 326. P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.003>
9. Seleznev A., Rudakov M. Some geochemical characteristics of puddle sediments from cities located in various geological, geographic, climatic and industrial zones // Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences. 2019. Vol. 14. No. 1. P. 95–106. <https://doi.org/10.26471/cjees/2019/014/062>
10. Seleznev A., Yarmoshenko I., Malinovsky G., Ilgashva E., Baglaeva E., Ryanskaya A., Kiseleva D., Gulyaeva T. Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment // Scientific Reports. 2019. Vol. 9. No. 1. P. 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53793-z>
11. Илгашева Е. О., Селезнев А. А., Ярмошенко И. В., Малиновский Г. П., Киселева Д. В. Техногенные частицы в современных поверхностных отложениях на урбанизированных территориях // Минералы: строение, свойства, методы исследования. 2019. № 10. С. 97–98.
12. Осовецкий Б. М., Меньшикова Е. А. Природно-техногенные осадки. Пермь: Изд-во ПГУ, 2006. 209 с.
13. Глухов М. С. Морфология и внутреннее строение природных и техногенных железистоокисных микросфер // Известия УГГУ. 2019. Вып. 1(53). С. 60–66. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-1-60-66>
14. Макаров А. Б., Осовецкий Б. М., Антонова И. А. Магнитные сферулы из почв вблизи шлакового отвала Нижнетагильского металлургического комбината // Известия УГГУ. 2017. Вып. 4 (48). С. 42–45. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-42-45>
15. Илгашева Е. О. Техногенные микросферы в поверхностном осадке урбанизированных территорий // Известия ТПУ. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 3. С. 57–67. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/3/3295>

Статья поступила в редакцию 28 декабря 2022 года

Features of the mineral composition of technogenic deposits of the urbanized environment using the example of the cities of the Ural region

Ekaterina Olegovna ILGASHEVA^{1,2*}

¹Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

²Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Abstract

The purpose of the research is to study the features of the mineral composition of loose technogenic surface deposits of 7 cities of the Ural region of Russia: Ufa, Perm, Tyumen, Chelyabinsk, Nizhny Tagil, Magnitogorsk, Yekaterinburg. In the course of the work, soil, sediment, road dust and snow-mud pulp were sampled in various functional zones of modern cities in order to study the material composition and distribution of minerals, in particular of natural and technogenic origin.

Research methodology. In the course of the work, samples of surface sediment were studied, taken in areas with different types of industry and building periods. For all samples, granulometric analysis was performed, and fractions of 100–250 and 250–1000 µm were selected for further study. Determination of the mineral composition of surface deposits was carried out using qualitative and semi-quantitative mineral analysis of granulometric fractions by powder diffractometry and thermal analysis, some samples were studied using optical and electron microscopy. Technogenic particles were selected using optical microscopy methods. To describe the morphological features of such particles, the methods of optical and scanning electron microscopy were combined. The chemical composition was obtained using a scanning electron microscope equipped with an attachment for energy dispersive X-ray spectroscopy.

Results. In the course of the study, data were obtained on the phase-mineral composition of technogenic surface deposits. Particles of technogenic origin are classified, their contribution to the composition of surface deposits in urban areas is determined. According to the results of this work, the mineral composition is represented by an association of natural and technogenic minerals and their aggregates. Surface deposits of the cities of the Ural region have a similar mineral composition and technogenic component.

Keywords: urbanized territory, modern sedimentogenesis, technogenesis, surface deposits, mineral composition, technogenic particles, geoecology.

REFERENCES

1. Yanin E. P. 2013, Technogenic river silts (material composition, geochemical features, environmental assessment). Moscow, 196 p. (*In Russ.*)
2. Trofimov V. T., Korolev V. A. 2019, On the fundamental aspects of the genetic approach to the study of soils. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology], vol. 14, no. 1, pp. 8–19. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2019-14-1-8-19>
3. Valtanen M., Sillanpää N., Setälä H. 2014, The Effects of Urbanization on Runoff Pollutant Concentrations, Loadings and Their Seasonal Patterns Under Cold Climate. *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 225. Article number 1977. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-1977-y>
4. Kazdym A. A. 2006, Technogenic deposits of ancient and modern urban areas: paleoecological aspect. Moscow, 158 p. (*In Russ.*)
5. Nesmeyanov S. A., Voeikova O. A., Kazdym A. A., Makarov V. I. 2009, Technogenic formations as a geological one. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology], no. 5, pp. 387–398. (*In Russ.*)
6. Nesmeyanov S. A., Voeikova O. A. 2020, Technogenic formation – a characteristic feature of the technogenic stage of the Earth's history. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology, hydrogeology, geocryology], no. 1, pp. 18–21. (*In Russ.*) <https://doi.org/10.31857/S0869780920010147>
7. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P. 2020, Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities. *Scientific Reports*, vol. 10, issue 1, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58434-4>
8. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. 2018, Method for reconstructing the initial baseline relationship between potentially harmful element and conservative element concentrations in urban puddle sediment. *Geoderma*, vol. 326, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.003>
9. Seleznev A., Rudakov M. 2019, Some geochemical characteristics of puddle sediments from cities located in various geological, geographic, climatic and industrial zones. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, vol. 14, no. 1, pp. 95–106. <https://doi.org/10.26471/cjees/2019/014/062>
10. Seleznev A., Yarmoshenko I., Malinovsky G., Ilgashева E., Baglaeva E., Ryanskaya A., Kiseleva D., Gulyaeva T. 2019, Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment. *Scientific Reports*, vol. 9, no. 1, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53793-z>

*katerina.ilgashева@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9538-9685>

11. Ilgasheva E. O., Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P., Kiseleva D. V. 2019, Technogenic Particles in Modern Surface Sediments in Urbanized Areas. *Mineraly: stroyeniye, svoystva, metody issledovaniya* [Minerals: structure, properties, research methods], no. 10, pp. 97–98. (In Russ.)
12. Osovetsky B. M., Menshikova E. A. 2006, Natural-technogenic precipitation. Perm, 209 p. (In Russ.)
13. Glukhov M.S. 2019, Morphology and internal structure of natural and technogenic iron oxide microspheres. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], issue 1(53), pp. 60–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-1-60-66>
14. Makarov A. B., Osovetsky B. M., Antonova I. A. 2017, Magnetic spherules from soils near the slag dump of the Nizhny Tagil Iron and Steel Works. *Izvestiya UGGU* [News of the Ural State Mining University], issue 4 (48), pp. 42–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2017-4-42-45>
15. Ilgasheva E. O. 2022, Technogenic microspheres in the surface sediment of urban areas. *Izvestiya TPU. Inzhiniring georesurov* [Izvestiya TPU. Georesource engineering], vol. 333, no. 3, pp. 57–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/3/3295>

The article was received on December 28, 2022