

Количество техногенного материала и его состав в современных осадках городской территории

Душевина Е. С.^{1,2}, Шевченко А. В.^{1,2}, Иванчукова Н. В.^{1,2}, Селезнев А. А.^{1,2}

¹ Институт промышленной экологии Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия, elizaveta19-20@mail.ru; sandrian@rambler.ru; av.shev98@gmail.com; ivanchukova.natali@gmail.com

² Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия, elizaveta19-20@mail.ru; sandrian@rambler.ru; av.shev98@gmail.com; ivanchukova.natali@gmail.com

Аннотация. В летний и зимний период 2024 г. были обследованы города Свердловской области: Алапаевск, Качканар, Серов и Верхняя Пышма. В каждом из городов на селитебной территории районов малоэтажной и многоэтажной застройки было отобрано зимой 10 проб снеготрясовой пульпы и летом 40 проб поверхностного осадка. В исследовании были использованы: гранулометрический, шлиховой анализ, морфология частиц была определена с помощью визуальной диагностики с использованием оптического микроскопа. Определены факторы неопределенности, влияющие на точность анализа. Полученные количественные данные показывают, что доля антропогенных частиц ниже в зимних пробах (8 %), чем в летних (11 %). Частицы были классифицированы по 18 типам. Основными источниками антропогенных частиц являются отходы металлургического производства и продукты выветривания строительных материалов. Результаты дополняют ранее полученные паттерны распределения техногенного материала в современном осадке крупных городах России.

Ключевые слова: техногенные частицы, сферулы, шлак, современные поверхностные осадки, снеготрясовая пульпа, малые и средние города.

The amount of technogenic particles and its composition in modern sediments of urban areas

Dushevina E. S.^{1,2}, Shevchenko A. V.^{1,2}, Ivanchukova N. V.^{1,2}, Seleznev A. A.^{1,2}

¹ Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia, elizaveta19-20@mail.ru; sandrian@rambler.ru; av.shev98@gmail.com; ivanchukova.natali@gmail.com

² Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia, elizaveta19-20@mail.ru; sandrian@rambler.ru; av.shev98@gmail.com; ivanchukova.natali@gmail.com

Abstract. In summer and winter 2024, the following cities in the Sverdlovsk region were surveyed: Alapaevsk, Kachkanar, Serov and Verkhnyaya Pyshma. In each of the cities, 10 samples of snow-mud slurry were collected in winter and 40 samples of surface sediment in summer in the residential areas of low-rise and high-rise buildings. In the study were used: granulometric, schlich analysis, particle morphology was determined by visual diagnostics using an optical microscope. The quantitative data obtained show that the proportion of anthropogenic particles is lower in winter samples (8 %) than in summer samples (11 %). The particles were classified in 18 types. The main sources of anthropogenic particles are metallurgical waste and weathering products of construction materials. The results complement the previously obtained patterns of technogenic material distribution in the modern sludge of large Russian cities.

Keywords: technogenic particles, types of technogenic particles, spherulites, slag, urban sediments, snow-mud-slurry, small and medium-sized towns.

Введение

Техногенные частицы и материалы в городской среде представляют собой искусственно созданные или модифицированные вещества, образующиеся в результате антропогенной деятельности. К ним относятся продукты износа транспортных средств (резиновая пыль от шин, частицы от тормозных колодок), строительные отходы (бетон, кирпич, асфальт) и микропластики (Seleznev,

2020; Werbowski, 2021). Эти частицы могут содержать тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть), углеводороды и другие токсичные вещества, что делает их потенциальной угрозой для здоровья человека и окружающей среды (Wawer, 2020; Magiera et al., 2011).

Техногенные частицы образуются в результате интенсивной транспортной нагрузки, промышленной активности и строительства. Они могут перемещаться в атмосфере, осаждаться на поверхности и попадать в водоемы, создавая риски для экосистем. Процессы разрушения этих частиц включают физические факторы (осадки, ветер) и химические реакции, происходящие в результате взаимодействия этих частиц с другими веществами в окружающей среде (Werbowski et al., 2021).

Основные механизмы переноса техногенных частиц включают атмосферные процессы (конвективные потоки, выбросы от транспорта и промышленности) и водные потоки (дождевые воды, дренажные системы). Мелкие частицы, такие как РМ 2.5 (размером менее 2.5 мкм), могут оставаться в воздухе длительное время и проникать в дыхательные пути, представляя особую опасность для здоровья.

Исследования техногенных частиц помогают определить их источники, выявляя материалы, способствующие загрязнению, такие как выбросы от транспорта и промышленных предприятий. Они также позволяют оценить концентрацию частиц в природных компонентах, что помогает отслеживать изменения качества окружающей среды.

Образование техногенных частиц зависит от размеров городов и их промышленной специализации. Крупные города с развитой транспортной инфраструктурой и промышленностью имеют более высокий уровень выбросов, в то время как малые города с менее развитыми экологическими нормами также могут способствовать образованию частиц. Города с высокой концентрацией тяжелой промышленности производят более токсичные частицы, тогда как высокотехнологичные города могут иметь более низкий уровень выбросов благодаря чистым технологиям.

Цель – оценить количество техногенного материала в пробах поверхностного осадка и пробах твердого материала снеготрясовой пульпы малых и средних городов Свердловской области, классифицировать содержащиеся в них техногенные частицы по морфологическим признакам, и определить потенциальные источники поступления техногенного материала в городской среде.

Программа исследования

Районом исследования были выбраны малые и средние города Свердловской области: Алапаевск, Качканар, Серов, Верхняя Пышма. Города характеризуются разнообразием в физико-географическом районировании, геологическом строении, а также степенью инфраструктурного и промышленного развития.

В конце зимы 2023–2024 гг. в период максимального накопления снега в каждом из четырех городов по нерегулярной сетке было выбрано 10 площадок отбора проб. Из них 5 точек располагались в районах многоэтажной застройки или многоквартирных домов (МКД) и 5 – в районах малоэтажной застройки или частного сектора (ЧС). На каждой из точек была отобрана одна сборная проба снеготрясовой пульпы (СГП) объемом 5 литров. Все площадки расположены в разных частях и представляют разные периоды развития города.

В июне 2024 г. в каждом из четырех городов по нерегулярной сетке было выбрано 40 площадок отбора проб. Из них 20 точек располагались в МКД и 20 в ЧС. На каждой из площадок была отобрана сборная проба осадка массой до 1.5 кг, которая представляет собой сборную пробу отложений из понижений микрорельефа по 3–5 локализациям на территории жилого квартала многоэтажных домов и вдоль дорог (дорожная пыль и отложения из сточных канав) в кварталах малоэтажной застройки.

Такой подход позволяет учесть особенности разных типов жилой застройки при проведении исследований.

Подготовка проб к визуальному анализу

На этапе подготовки из отобранных проб осадка были удалены крупные корни, обломки горных пород и посторонние включения (крупный мусор, стекло, пластмасса и т.п.). В лаборатории проба *осадка* была высушена в сушильном шкафу при температуре 59 °С. Далее из каждой пробы методом квартования была отобрана представительная навеска 100–300 г для гранулометрического анализа. Методом сухого ситования проба была разделена на четыре гранулометрические фракции < 0.1, 0.1–1, 1–3 и > 3 мм. Масса каждой фракции взвешивалась.

Для визуального анализа были отобраны навески фракции 0.25–1 мм. Гранулометрические навески < 0.1, 1–3 и > 3 мм не участвовали в дальнейшем анализе.

Визуальный анализ

Полученная навеска фракции 0.25–1 мм была сокращена до навески массой примерно 15 г. Далее эта навеска с использованием ручного магнита «РМЧ» методом магнитной сепарации была разделена на магнитную и немагнитную фракции. Из магнитной и немагнитной фракции была извлечена методом дорожки средняя проба объемом равным 1000 зерен для «подсчета зерен полезных компонентов в стандартном числе зерен фракции» (Ильинский, 1991).

Из полученных 1000 зерен деревянной палочкой были построены 5–6 дорожек примерной длиной 60 мм и шириной 3 зерна на предметном стекле под бинокулярным микроскопом МБС-10.

Из каждой дорожки методом визуальной диагностики были выделены по морфологическим особенностям с использованием деревянной палочки все возможные частицы предположительно техногенного происхождения.

Частицы были сгруппированы и в отдельные линии по морфологическим признакам: форма; структура поверхности; текстура поверхности; цвет; блеск; излом; окатанность. Частицам была присвоен генезис по визуальным признакам: природные; либо техногенные.

Каждая соответствующая линия частиц техногенной фазы была классифицирована по морфологическим признакам.

Результаты

Всего из 132 навесок фракции 0.25–1 мм получено: 26 навесок немагнитной фракции твердого материала СГП; 26 навесок магнитной фракции твердого материала СГП; 40 навесок немагнитной фракции осадка; 40 навесок магнитной фракции осадка. Из 132 навесок для анализа было выделено 132000 частицы, из которых 119724 предположительно принадлежат к природно-минеральной фазе, а 12276 частиц – к техногенно-минеральной и техногенной фазе. На рис. 1 показано число техногенных частиц, выбранных для анализа из проб, отобранных в разный сезон года в малых и средних городах Свердловской области.

Общее количество техногенных частиц в пробах СГП в среднем составляет 88 частиц на 1000 частиц твердого материала СГП. Во всех городах количество магнитной фракции преобладает над количеством частиц немагнитной фракции.

В ходе ранжирования наименьшее количество частиц техногенной фазы установлено в г. Качканар и г. Алапавск, а наибольшее – в гг. Верхняя Пышма, Серов.

В табл. 1 показаны основные типы частиц предположительно техногенного происхождения и их морфологические особенности по результатам визуальной диагностики. Всего получено 18 типов техногенных частиц. По литературным данным были взяты возможные источники техногенного материала.

Дискуссия

Всего получено 18 типов техногенных частиц. По литературным данным были взяты возможные источники техногенного материала (табл. 2).

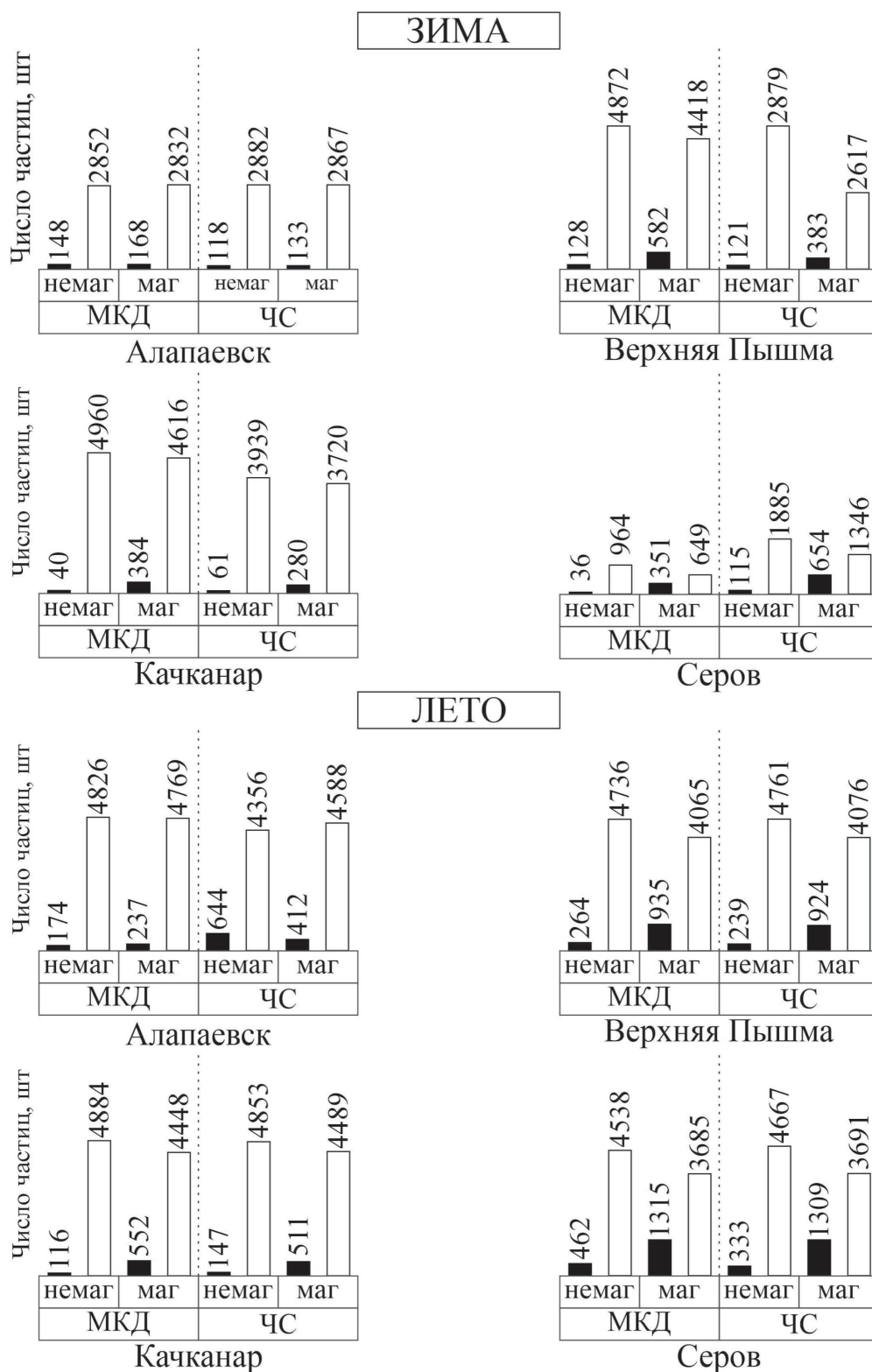


Рис. 1. Количество частиц природной и техногенной фазы, выбранное для анализа из зимних и летних проб фракции 0.25–1 мм малых и средних городов Свердловской области: черные столбцы – число частиц техногенной фазы; белые столбцы – число частиц природно-минеральной фазы; немаг – немагнитная фракция; маг – магнитная фракция; ЧС – частный сектор; МКД – многоквартирные дома

Fig. 1. Number of particles of natural and technogenic phase selected for analysis from winter and summer samples of 0.25–1 mm fraction of small and medium-sized cities of the Sverdlovsk region: black columns – number of particles of technogenic phase; white columns – number of particles of natural and mineral phase; non-magnetic fraction – non-magnetic fraction; magnetic fraction – magnetic fraction; PS – private sector; MFD – apartment buildings

Таблица 1. Типы техногенных частиц и их морфологические особенности в исследуемых городах
 Table 1. Types of anthropogenic particles and their morphological features in the studied cities

Тип	Морфологические признаки: форма / поверхность / структура / текстура / цвет / блеск / излом / окатанность / размер мм
Силикатная сферула	Шарообразная / гладкая, корродированная / прозрачный, бесцветный, полупрозрачный, белый, коричневый, черный / стеклянный / раковистый / хорошая / 0.25–1
Сфероидальный агрегат	Шарообразная / зернистая / разнотернистая / пористая, пятнистая / непрозрачный, светло-коричневый, коричневый, темно-коричневый / отсутствует / неровный, раковистый / хорошая / 0.27–0.57
Сферула металлическая	Шарообразная / гладкая, корродированная / полигональная-текстурированная / серо-стальной, темно-серо-стальной, черный (вкрапление оксидов железа окрашивает частицы в бурый) / металлический / неровный, раковистый / хорошая / 0.2–0.5
Сферулы в составе шлака	Силикатные и металлические сферулы в составе цементированного вещества / 0.2–1.3
Гранулированный шлак (стекловидный)	Вспененная, стекловидная, губчатая, слабо-округлая / гладкая / стекловидная / пористая / прозрачный бесцветный, полупрозрачный (белый, серый, желтый, светло-желтый, светло-коричневый, коричневый, темно-коричневый, черный) / стеклянный / раковистый / отсутствует / 0.2–1.7
Литоидный шлак (камневидный)	Округлая / зернистая / разнотернистая / пористая, пятнистая / светло-серый, серый, светло-коричневый, коричневый, темно-коричневый, темно-зеленый, черный / стеклянный, жирный / неровный / хорошая / 0.3–1.4
Кирпич	Округлая, плоская / зернистая, шершавая / пелитовая / пористая / непрозрачный, красно-коричневый, темно-красный с вкраплениями / матовый / неровный, раковистый / хорошая / 0.25–1.2
Штукатурка	Приплюснутая, округлая / зернистая, шероховатая / пелитовая / пятнистая / белый, светло-серый, серый, голубоватый, желтоватый, непрозрачный / матовый / неровный / хорошая / 0.2–1.2
Шлак металлоидный	Округлая, вытянутая, уплощенная / зернистая, матовая / непрозрачный, серо-стальной, темно-серо-стальной, черный, бурый / полуметаллический, металлический / неровный, раковистый / хорошая / 0.27–2.3
Руда	Уплощенная, кубическая, округлая / матовая / непрозрачный, серо-стальной, темно-серо-стальной, медный, золотой с синеватым отливом, зеленый, темно-серый, черный / полуметаллический, металлический / неровный, раковистый / хорошая / 0.32–1.4
Стружка металлическая	Плоская, листовая, уплощенная, саблеобразная, игольчатая / гладкая, шероховатая / непрозрачный, светло-серый, серый / металлический / раковистый, неровный / отсутствует / 0.42–3.5
Фольга	Плоская, скомканная, листовая, неокатанная / гладкая / непрозрачный, светло-серый, серый, серебристый, золотой, бронзовый / металлический / отсутствует / отсутствует / 0.3–1.8
Стекло	Плоская, кубическая / гладкая, корродированная / прозрачный, бесцветный, полупрозрачный, белый, коричневый, черный / стеклянный / раковистый / от резко-угловатой до хорошей / 0.4–1.9
Краска	Эластичная, уплощенная, кубическая / шероховатая, блестящая / белый, светло-серый, серый, голубоватый, желтый, зеленый, красный, непрозрачный / матовый / неровный / отсутствует / хрупкие, но эластичные / 0.3–2.2
Полимер	Плоская, чешуйчатая, нитевидная / матовая, гладкая, жирная / цвет прозрачный и полупрозрачный (мутно-белый, молочный, белый, светло-серый, серый, голубоватый, желтоватый, голубоватый / матовый, жирный / неровный, раковистый, занозистый / отсутствует / 0.2–2.7
Автомобильные шины	Эластичная, червеобразная / шероховатая, гладкая, матовая / непрозрачный, черный / жирный, матовый / отсутствует / отсутствуют / упругие частицы черного цвета / 0.27–1.6
Битум	Округлая, плоская, смолистая / шероховатая, гладкая, зернистая, липкая / непрозрачный, черный, примеси дают светло-серый, серый, коричневый, темно-коричневый / жирный, матовый / неровный / хорошая / 0.33–1.5
Уголь	Слоистая, пористая, уплощенная / матовая, гладкая / непрозрачный, темно-серый, черный / стеклянный, жирный, матовый / неровный, раковистый, игольчатый / отсутствует / 0.28–1.5

Таблица 2. Типы техногенных частиц и их предполагаемое происхождение
 Table 2. Types of anthropogenic particles and their inferred origin

Тип	Происхождение со ссылкой
Силикатная сфера	Металлургия (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Shchurenko et al., 2020; Seleznev et al., 2021). Строительные материалы (Будников, Значко-Яворский, 1953; Лесовик и др., 2011; Шаповалов и др., 2013). Сжигание высокозольного сырья (Wawer, 2020).
Сфероидальный агрегат	Металлургия (Shchurenko et al., 2020) Строительные материалы (Будников, Значко-Яворский, 1953; Лесовик, 2011; Шаповалов и др., 2013).
Сфера металлическая	Металлургия (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Shchurenko et al., 2020; Wawer, 2020; Seleznev et al., 2021). Строительные материалы (Будников, Значко-Яворский, 1953; Лесовик и др., 2011; Шаповалов и др., 2013). Сжигание высокозольного сырья (Wawer, 2020).
Сферы в составе шлака	Металлургия (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021). Строительные материалы (Будников, Значко-Яворский, 1953; Лесовик и др., 2011; Шаповалов и др., 2013).
Гранулированный шлак (стекловидный)	Металлургия (Осовецкий, Seleznev, 2021). Строительные материалы (Будников, Значко-Яворский, 1953; Лесовик, 2011; Шаповалов и др., 2013).
Литоидный шлак (камневидный)	Металлургия (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021). Строительные материалы (Будников, Значко-Яворский, 1953; Лесовик и др., 2011; Шаповалов и др., 2013).
Кирпич	Строительные материалы (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021).
Штукатурка	Строительные материалы (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021). Транспорт (Seleznev et al., 2021).
Шлак металловидный	Металлургия (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021). Сжигание высокозольного сырья (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Wawer, 2020; Seleznev et al., 2021).
Руда	Металлургия (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021). Строительные материалы (Будников, Значко-Яворский, 1953; Лесовик и др., 2011; Шаповалов и др., 2013; Seleznev, 2021).
Стружка металлическая	Металлургия (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021). Строительные материалы (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021). Транспорт (Осовецкий, Меньшикова, 2008).
Фольга	Бытовые отходы (Осовецкий, Меньшикова, 2008).
Стекло	Бытовые отходы, Строительные материалы, Транспорт (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021; Werbowski et al., 2021).
Краска	Бытовые отходы, Строительные материалы, Транспорт (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021; Werbowski et al., 2021).
Полимер	Бытовые отходы, Строительные материалы, Транспорт (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021; Werbowski et al., 2021).
Автомобильные шины	Транспорт (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021; Werbowski et al., 2021).
Битум	Строительные материалы (Осовецкий, Меньшикова, 2008).
Уголь	Бытовые отходы, Металлургия (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021). Транспорт (Осовецкий, Меньшикова, 2008; Seleznev et al., 2021; Werbowski et al., 2021).

На основе полученных типов техногенных частиц предполагается, что в исследуемых городах преобладающими источниками поступления техногенных частиц являются строительные материалы и металлургическая промышленность (табл. 2).

Заключение

Исследования количества и состава техногенного материала в современных осадках городских территорий показывают, что в них содержится значительное количество техногенного материала, часть из которого потенциально опасна и токсична. Техногенные частицы, присутствующие в исследуемых городах отличаются по содержанию, типам и источникам. Основным источником можно считать строительные материалы, т. к. они наиболее подвержены переносу и разрушению.

Полученные результаты дополняют ранее полученные паттерны распределения техногенного материала в современных пыле-грязевых осадках крупных городов России.

Наименьшее содержание частиц техногенной фазы наблюдается в г. Качканар, а наибольшее в г. Серов.

Содержание частиц битума в городском осадке предположительно является индикатором уровня урбанизации и качества городской среды

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 24-17-200036) и Правительства Свердловской области (проект № 24-17-200036).

Литература

1. Будников П. П. Гранулированные доменные шлаки и шлаковые цементы / Отв. П. П. Будников, И. Л. Значко-Яворский. М. Изд-во: Промстройиздат. 1953. 223 с.
2. Ильинский Г. А. Диагностика шлиховых минералов. Методические указания к курсу шлихового анализа. Ленинград. 1991. 102 с.
3. Осовецкий Б. М., Природно-техногенные осадки / Отв. Б. М. Осовецкий, Е. А. Меньшикова; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Пермский гос. ун-т», ФГНУ «Естественнонаучный ин-т». Пермь. Изд-во: Пермский ун-т, 2006. 208 с.
4. Лесовик В. С. Техногенные продукты в производстве сухих строительных смесей: монография / Отв. В. С. Лесовик, Л. Х. Загороднюк, Л. Д. Шахова. Белгород. Изд-во: Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2010. 168 с.
5. Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89 / сайт: <https://docs.cntd.ru/>
6. Шаповалов Н. А., Загороднюк Л. Х., Тикунова И. В., Шекина А. Ю. Рациональные пути использования сталеплавильных шлаков // Фундаментальные исследования. 2013. № 1–2. Белгород: ООО Издательский дом «Академия естествознания» С. 439–443.
7. Magiera T. et al. Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dusts // Atmospheric Environment. 2011. V. 45, No. 25. P. 4281–4290.
8. Seleznev A., Ilgasheva E., Yarmoshenko I., Malinovsky G. Coarse Technogenic Material in Urban Surface Deposited Sediments (USDS). Atmosphere 2021. V. 12. P. 754. <https://doi.org/10.3390/atmos12060754>.
9. Seleznev A., Pankrushina E., Ilgasheva E. Do the contemporary urban surface sediments contain particles of microplastic? // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing. 2020. V. 2313. No. 1.
10. Shchurenko N. M. Forest litters and diagnostics of the modern direction of technogenic processes in soils of Perm / N. M. Shchurenko, S. M. Gorokhova, A. A. Vasilev // Reflection of bio-, geo-, antropospheric interactions in soils and soil cover : Сборник материалов VII Междунар. научной конф., посвященной 90-летию кафедры почвоведения и экологии почв ТГУ. Томск, 14–19 сентября 2020 г. Томск: Издат. Дом Томского государственного университета. 2020. С. 345–347.
11. Wawer M. Identification of Technogenic Magnetic Particles and Forms of Occurrence of Potentially Toxic Elements Present in Fly Ashes and Soil // Minerals. 2020. V. 10. P. 1066. <https://doi.org/10.3390/min10121066>.
12. Werbowski L., Gilbreath A., Munno K., Zhu X., Grbic J., Wu T., Sutton R., Sedlak M., Deshpande A., Rochman Ch. Urban Stormwater Runoff: A Major Pathway for Anthropogenic Particles, Black Rubbery Fragments, and Other Types of Microplastics to Urban Receiving Waters. ACS EST Water. 2021. No. 1. P. 1420–1428.