

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПОВЕРХНОСТНОМ ОСАДКЕ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Е. О. Илгашева

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

*В статье рассматривается вклад фрагментов строительных материалов в формирование рыхлого поверхностного осадка десяти городов России: Уфы, Перми, Тюмени, Челябинска, Нижнего Тагила, Магнитогорска, Нижнего Новгорода, Ростова-на-Дону, Мурманска, Екатеринбурга. В ходе настоящего исследования были получены данные об элементном составе и морфологии частиц строительных материалов, составляющих часть поверхностного осадка.*

*Изучаемые частицы были отобраны из проб поверхностного осадка, разделенных на гранулометрические фракции. Изучены фракции 100–250 и 250–1 000 мкм. Частицы, схожие с фрагментами строительных материалов, были отобраны с помощью методов визуальной диагностики и изучены с помощью методов сканирующей электронной микроскопии, в т. ч. энергодисперсионной спектроскопии.*

*В ходе исследования отобранные частицы были отнесены к трем классам: фрагменты керамического кирпича, фрагменты краски, фрагменты штукатурки и цементных смесей. Кроме петрогенных элементов, составляющих основу частиц, в составе строительных материалов присутствовали тяжелые металлы (Cr, Zn, Pb).*

*Полученные данные свидетельствуют о том, что частицы строительных материалов – часть техногенной составляющей осадка в урбанизированной среде.*

**Ключевые слова:** поверхностные отложения; седиментогенез; строительные материалы; керамический кирпич; штукатурные смеси; цементные смеси; лакокрасочные материалы.

### 1. Введение

Ускорение темпов урбанизации неизбежно приводит к усилению антропогенного воздействия на окружающую среду и ухудшению качества ее основных компонентов: воды, воздуха, почв и грунтов. На сегодняшний день актуальны исследования механизмов образования, изменения и миграции рыхлых техногенных поверхностных отложений. Такие отложения сформированы в результате сочетания различных процессов, т. е. являются осадками смешанного генезиса. В летний период поверхностный осадок подвержен процессам выветривания – механического, химического и биологического; перенос осуществляется ветром и под влиянием антропогенного фактора (автомобильный транспорт, строительство и эксплуатация зданий, сооружений, коммунальных сетей). В зимний период осадконакопление связано с абразией шин и дорожного полотна, плохой уборкой территорий от снега и снегогрязевой пульпы, использованием реагентов. В периоды оттепелей и дождей происходит перенос и миграция осадков, их накопление в пониженных частях рельефа, реках и озерах.

Весомый вклад в образование поверхностного осадка вносит строительство и эксплуатация зданий и сооружений. В России объемы строительства жилья в 2021 г. выросли почти на 13 % по сравнению с 2020 г. Количество построенных за год жилых домов стало наибольшим за всю историю страны и в настоящее время продолжает расти. В период строительства неизбежно образование отходов, количество которых зависит от объема используемых строительных материалов, периода ведения строительных работ, количества техники и человеческих ресурсов, задействованных в

данном строительстве. Около 50 % всего объема отходов приходится на строительную индустрию. В ходе строительства используются как природные, так и искусственно образованные материалы. Настоящее исследование является актуальным, т. к. разрушение материалов, их перенос и дальнейшая трансформация в поверхностных условиях – источник аномалий, возникновения новых геохимических барьеров, увеличения мощности культурного слоя, воздействующих на здоровье человека.

## 2. Материалы и методы

Фрагменты строительных материалов были отобраны из проб поверхностного осадка десяти городов России: Уфы, Перми, Тюмени, Челябинска, Нижнего Тагила, Магнитогорска, Нижнего Новгорода, Ростова-на-Дону, Мурманска, Екатеринбурга. Все перечисленные города отличаются высоким уровнем урбанизации и темпом строительства. К пробам поверхностного осадка относятся: грунты – ненарушенные пробы почвы на газонах; пробы грунта во дворах и на внешней части экспериментальных площадок; пробы поверхностного осадка городской среды, отобранные в пониженных участках рельефа; пробы осадка на проезжей части улиц, в т. ч. дорожная пыль. Процедура отбора проб подробно описана в ранее опубликованных статьях [1–3]. Для изучаемых образцов проводилось определение гранулометрического состава. Сухим просеиванием отделялась фракция размером больше 1 мм. Мокрым ситованием отделялись гранулометрические фракции 0,05–0,1 мм, 0,1–0,25 мм и 0,25–1 мм. В настоящем исследовании использованы фракции 100–250 и 250–1000 мкм (табл. 1).

Таблица 1. Распределение числа проб, отобранных в городах и исследуемых для определения техногенной фазы

Город	Общее число отобранных проб поверхностного осадка в городе	Число проб поверхностного осадка, в которых проведен гранулометрический анализ	Число полученных гранулометрических навесок, в которых отобраны техногенные частицы	
			Фракция 100–250 мкм	Фракция 250–1000 мкм
Екатеринбург	25	6	5	6
Магнитогорск	41	10	10	10
Нижний Тагил	69	11	11	11
Пермь	10	5	5	3
Тюмень	43	7	7	5
Уфа	43	12	12	10
Челябинск	60	10	10	9
Мурманск	39	14	14	14
Ростов-на-Дону	37	12	12	12
Нижний Новгород	35	15	15	14

Полученный материал проб анализировался с помощью визуальной диагностики, которая заключается в изучении фракций 100–250 и 250–1000 мкм под микроскопом по принципу минерального шлихового анализа.

Для визуального анализа, изучения техногенных частиц и получения фотографий использовался металлографический микроскоп ХЖР-Н100. Микроскопы

XJP-N100 серии были разработаны для четкого наблюдения за прозрачными, полупрозрачными и непрозрачными предметами. В работе использовались объективы с увеличением в 4 и 10 раз (4x и 10x). Проводилось фотографирование на оптическом микроскопе, были описаны основные морфологические характеристики: размер, цвет, окатанность, прозрачность в различных режимах работы микроскопа.

Все отобранные частицы изучались с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6390/6390LV (Япония), оборудованного приставкой для энергетической дисперсионной спектроскопии (ЭДС) INCA Energy 350 X-Max 50 с полупроводниковым детектором. Исследования были проведены в ЦКП «Геоаналитик» на базе Института геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого.

Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ), оборудованный приставкой для энергетической дисперсионной спектроскопии (ЭДС), позволяет получить изображение исследуемой частицы с учетом особенностей морфологии и химический состав частицы в точке. После получения данных о морфологии и химическом составе частиц, а также включениях, входящих в состав частиц, делается вывод о принадлежности их к определенному классу и возможном генезисе.

### 3. Результаты

Обломки строительных материалов представлены фрагментами кирпича, штукатурки и краски. В ходе исследования из проб поверхностного осадка (фракция 250–1000 мкм) было отобрано 177 частиц строительных материалов. Из них 90 частиц – фрагменты кирпича, 52 частицы – фрагменты штукатурки, 35 частиц – фрагменты краски. Распределение по городам представлено на рис. 1.

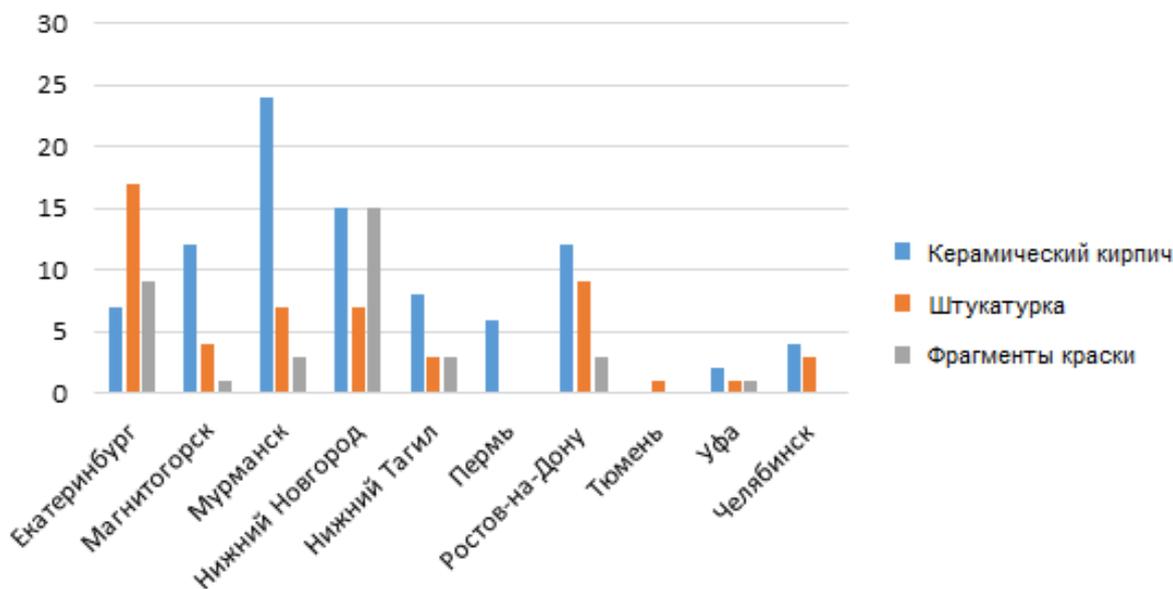


Рис. 1. Распределение частиц строительных материалов по городам

Для всех изученных частиц были описаны цвет, окатанность (по Рухину, 1961), механические (упругость, ковкость, хрупкость) и оптические (прозрачность, блеск) свойства (при возможности определения). Фрагменты керамического кирпича представлены частицами хорошей степени окатанности. Частицы состоят из нескольких компонентов (кварц, глинистый материал, редко белила). Цвет обломков желтовато-коричневый, красно-коричневый до темно-красного с вкраплениями (рис. 2, 3). Фрагменты краски представлены тонкими, уплощенными частицами (рис. 4, 5). Некоторые частицы обладают упругими свойствами. Цвет разнообразный: желтый, красный, синий, зеленый с матовой или блестящей поверхностью. Фрагменты штукатурки представлены тонкими, уплощенными частицами, отличающимися высокой хрупкостью. Степень окатанности не определяется. Цвет частиц варьируется от

светло-серого до белого, непрозрачные, матовые (рис. 6, 7).

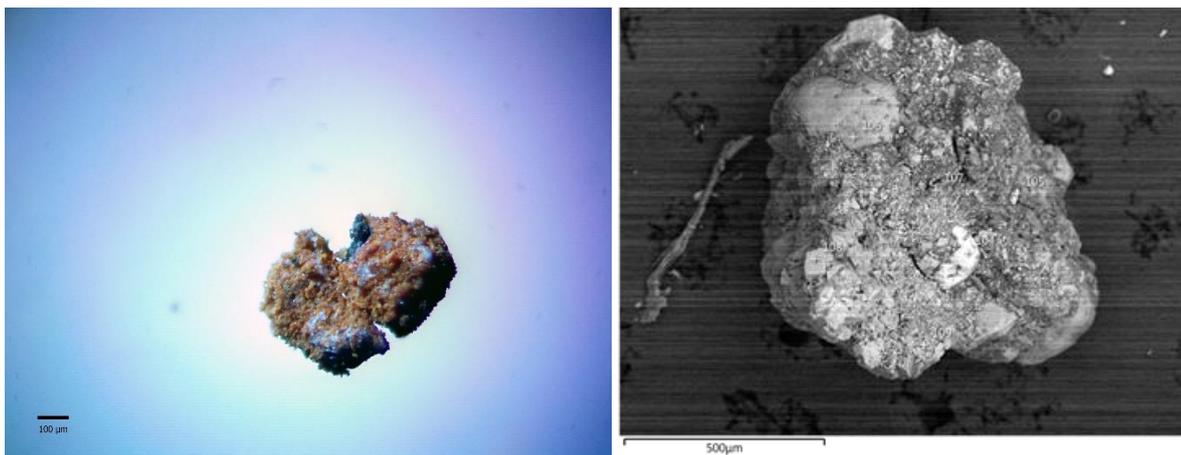


Рис. 2, 3. Фрагмент керамического кирпича (слева – фото с оптического микроскопа, справа – фото СЭМ)

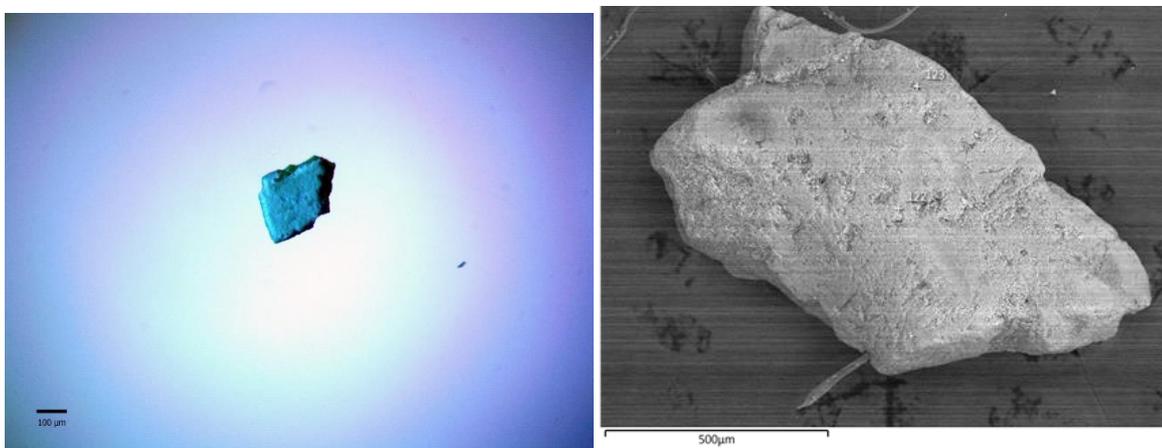


Рис. 4, 5. Фрагмент краски (слева – фото с оптического микроскопа, справа – фото СЭМ)

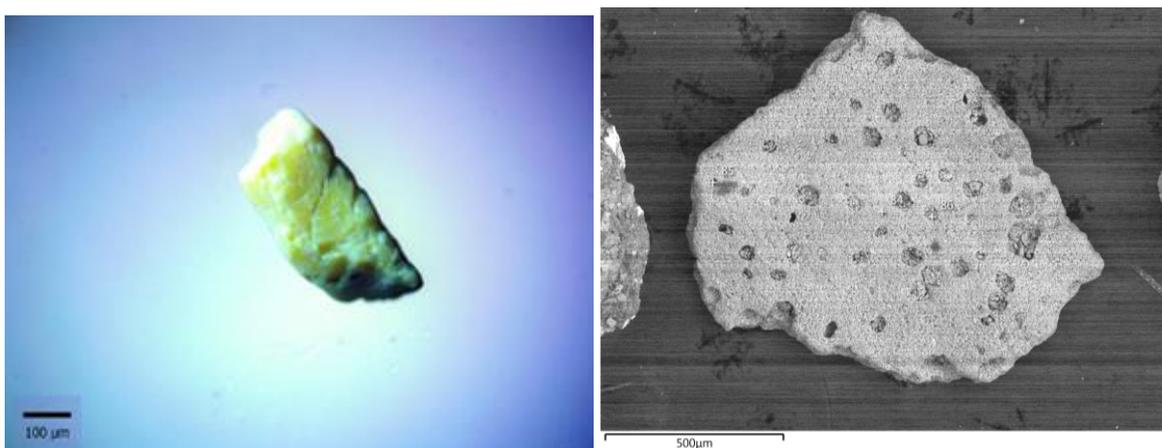


Рис. 6, 7. Фрагмент штукатурки (слева – фото с оптического микроскопа, справа – фото СЭМ)

Элементный состав частиц был определен с помощью ЭДС. По данным 57 анализов, основные компоненты в составе керамического кирпича – петрогенные элементы, поэтому химический состав колеблется в широких пределах:  $\text{SiO}_2$  – до 99 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 10–97 %;  $\text{CaO}$  – 2–63 %;  $\text{FeO}$  – 10–30 %;  $\text{MgO}$  – 2–20 %;  $\text{TiO}_2$  – до 1 %, что соответствует составу глин (рис. 8). Оксиды кремния и алюминия находятся в

глинах в связанном состоянии, т. е. в составе глинообразующих минералов (рис. 9), также источником кремнезема может служить кварцевый песок. Оксиды кальция и магния входят в состав глинистых материалов в виде известняков, доломитов, сульфатов (рис.10). Оксид титана входит в состав белил, является внешним покрытием. Сочетание натрия и хлора свидетельствует о наличии высолов на поверхности кирпича в виде галита (NaCl).

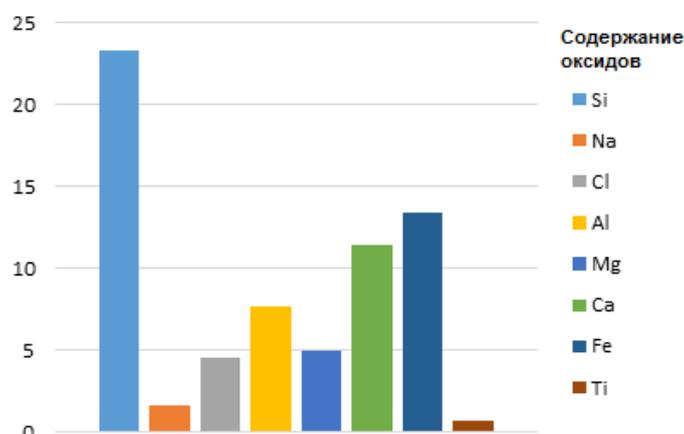


Рис. 8. Элементный состав керамического кирпича (по данным 57 ЭДС-спектров СЭМ)

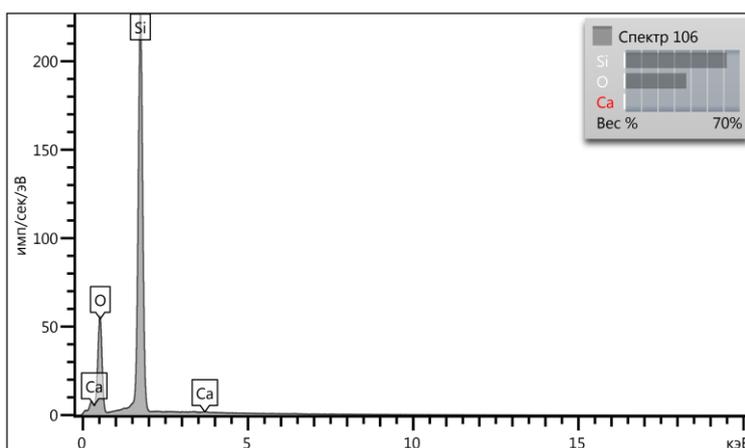


Рис. 9. Элементный состав керамического кирпича в точке. Спектр № 106 (данные ЭДС)

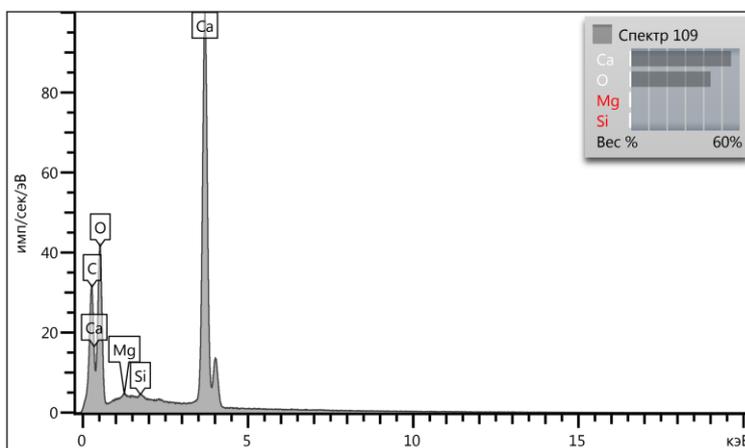


Рис. 10. Элементный состав керамического кирпича в точке. Спектр № 109 (данные ЭДС)

По данным 35 ЭДС-анализов, химический состав частиц краски представлен оксидами кальция, магния, реже кремния, составляющими основу частицы (штукатурка, кирпич), оксидами титана и свинца (пигменты) и оксидами хрома, цинка, железа и бария (внешние поллютанты) (рис. 11–13).

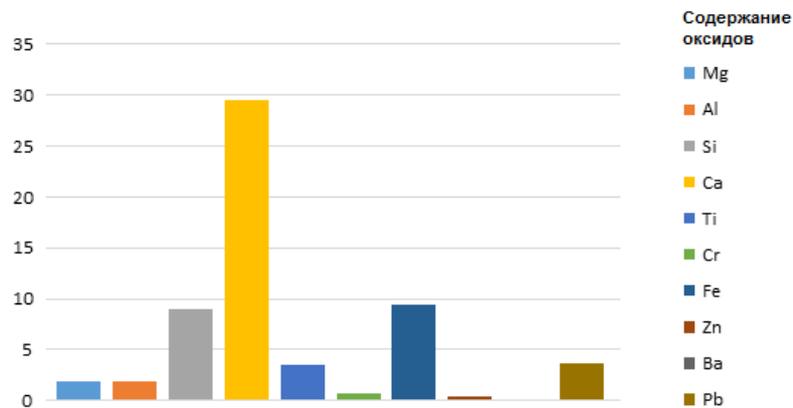


Рис. 11. Элементный состав краски (по данным 35 ЭДС-спектров СЭМ)

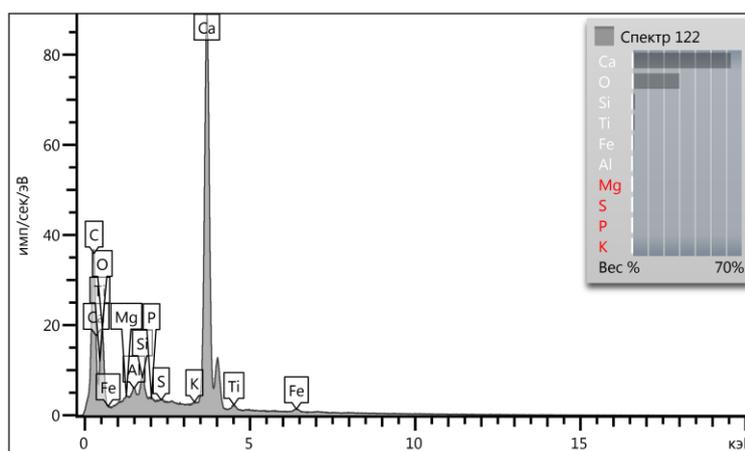


Рис. 12. Элементный состав краски в точке. Спектр № 122 (данные ЭДС)

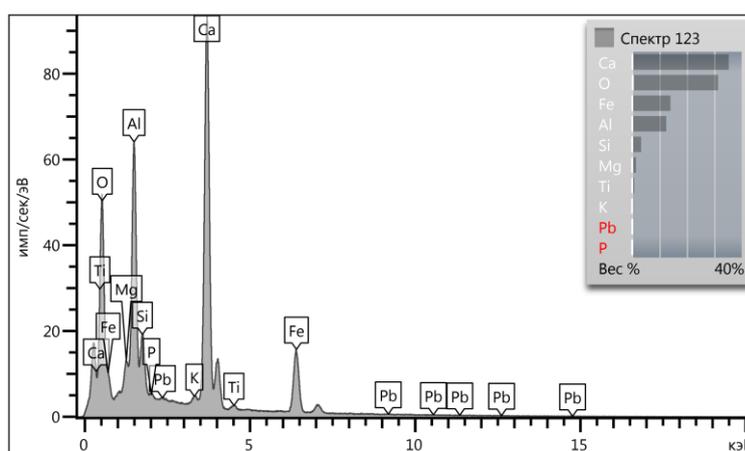


Рис. 13. Элементный состав краски в точке. Спектр № 123 (данные ЭДС)

Химический состав штукатурки, по данным 49 ЭДС-спектров, характеризуется высоким содержанием кальция, небольшими примесями оксидов кремния и магния, что характерно для состава строительных растворов и бетона (рис. 14, 15). Согласно химическому составу, можно сделать вывод, что частицы строительной смеси

представлены алитом. Алит – трехкальциевый силикат, состав которого характеризуется вхождением в структуру Mg, Al, P, S и Fe. Он является наиболее важной составляющей всех обычных цементных клинкеров [5].

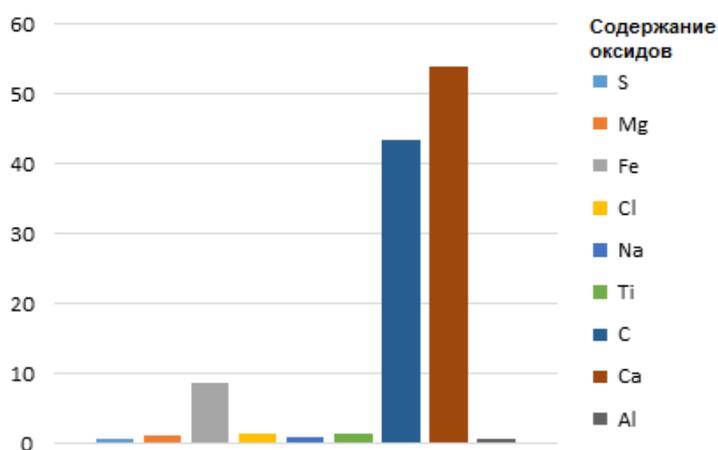


Рис. 14. Элементный состав штукатурки (по данным 49 ЭДС-спектров СЭМ)

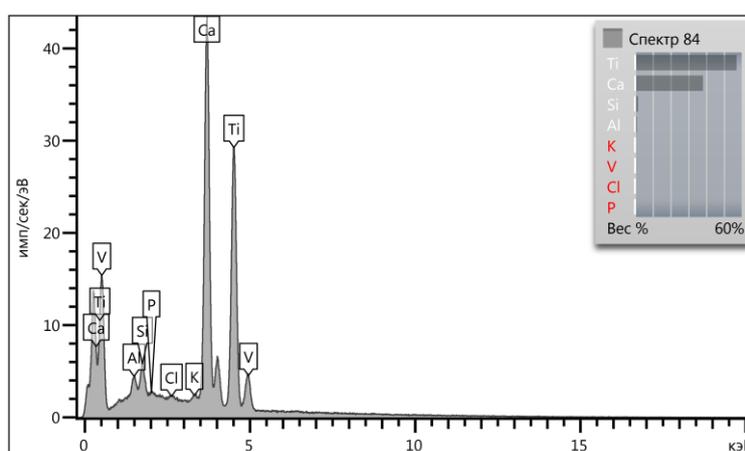


Рис. 15. Элементный состав штукатурки в точке. Спектр № 84 (данные ЭДС)

#### 4. Обсуждение

Согласно полученным данным, города России значительно различаются по общему количеству частиц строительных материалов и их распределению по типам. Так, больше всего частиц строительных материалов было обнаружено в поверхностном осадке Екатеринбурга, Мурманска, Нижнего Новгорода и Магнитогорска. Меньше всего – в Тюмени, Перми, Уфе и Челябинске. Эти данные не коррелируют с объемами строительства новых зданий и сооружений, поэтому можно сделать вывод, что любое строительство является источником техногенного материала.

Строительные материалы, как и все техногенные и природные частицы, подвергаются различным типам выветривания: физическому, химическому, биологическому. К факторам физического выветривания относятся колебания температуры, давление воды, расширяющейся при замерзании, и растворяющее действие воды. Факторы химического выветривания – это в основном гидролитическое действие воды, химическое растворение и воздействие природных и промышленных газов. Биологическое выветривание обусловлено жизнедеятельностью организмов. Считается, что относительная стойкость (устойчивость ко внешним воздействиям) строительных материалов изменяется в следующем порядке: стекло > глазурированный кирпич > неглазурированный кирпич > бетон > цементный раствор > штукатурка и гипсокартон > краска [6]. В результате выветривания происходит как механическое

разрушение строительных материалов – растрескивание, размывание и растворение, так и химическое изменение – появление высолов, поэтому разница в отношении количества частиц по типам в каждом городе может быть обусловлена как факторами выветривания, так и использованием разных типов исходного сырья для получения строительных материалов [7].

Согласно данным ЭДС-анализов, частицы строительных материалов являются в первую очередь источником петрогенных элементов: Si, Al, Mg, Ca, Fe, Na. В качестве включений могут наблюдаться тяжелые металлы и токсичные элементы: Cr, Zn, Pb. Поступление обломков строительных материалов и строительной пыли приводит к увеличению концентрации Si, Ca и Mg в окружающей среде.

Соединения свинца чаще всего добавляют в краски в качестве пигментов. В соответствии с ГОСТ Р 52491-2005 в России допускаемое количество пигментов, содержащих свинец, равно  $\leq 1$  % для эмалей и масляных красок. Для внутренних работ содержание свинца не допускается. В других странах содержание свинца в лакокрасочных материалах не допускается. По данным ЭДС-анализов, в точке, попадающей на пигмент, содержание свинца повышается до 6–8 %. Однако по массе содержание свинца не превышает допустимое значение.

Содержание оксида цинка в красках (цинковых белилах) регламентируется ГОСТ 202-84, также в цинковых белилах допускается содержание оксида свинца до 0,01 %. По полученным данным превышений не обнаружено.

Шестивалентный хром является пигментом и широко используется в пигментной части жидкой и порошковой краски.

## 5. Выводы

Техногенные частицы активно поступают в городскую среду и накапливаются в поверхностном осадке. Одна из составляющих современных поверхностных отложений – строительные материалы и продукты их изменения и разрушения. Фрагменты кирпича, краски, штукатурки и строительных смесей могут быть источниками как петрогенных (Si, Al, Mg, Ca, Na), так и токсичных элементов, а также тяжелых металлов (Cr, Zn, Pb), поэтому следует отслеживать объемы поступления вещества и пути миграции в городской среде. Для изучения техногенной составляющей поверхностного осадка, в частности строительных материалов, был применен комбинированный подход, включающий методы минералогического и экологического анализа. Данный подход может быть рекомендован для применения в экологических исследованиях других регионов.

## 6. Список литературы

1. Seleznev, A. A. Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko, G. P. Malinovsky // *Sci Rep.* – 2020. – 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58434-4> (Дата обращения: 12.06.2023).
2. Seleznev, A. A. Method for reconstructing the initial baseline relationship between potentially harmful element and conservative element concentrations in urban puddle sediment / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko, A. P. Sergeev // *Geoderma.* – 2018. – 326. – 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.003> (Дата обращения: 12.06.2023).
3. Seleznev, A. Some geochemical characteristics of puddle sediments from cities located in various geological, geographic, climatic and industrial zones / A. Seleznev, M. Rudakov // *Carpath. J. Earth Environ. Sci Rep.* – 14 (1). – 95–106. <https://doi.org/10.26471/cjees/2019/014/062> (Дата обращения: 18.06.2023).
4. Рухин, Л. Б. Основы литологии. Учение об осадочных породах. / Л. Б. Рухин. – Ленинград : Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1961. – 778 с.
5. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества (технология и свойства) : учеб. для вузов / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, В. С. Колокольников. – 3-е изд. перераб. и доп. - М. : Стройиздат, 1979. – 476 с.

6. *Howard, J.* Anthropogenic Soils, Progress in Soil Science / J. Howard // Springer International Publishing AG 2017. – DOI 10.1007/978-3-319-54331-4\_5.
7. *Барабанщиков, Ю. Г.* Строительные материалы и изделия : учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования / Ю. Г. Барабанщиков. – 5-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2014. – 416 с. ISBN 978-5-4468-1030-7.
8. ГОСТ Р 52491-2005. Материалы лакокрасочные, применяемые в строительстве. Общие технические условия. – М. : Стандартиформ, 2006
9. ГОСТ 202-84. Белила цинковые. Технические условия. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1985.

**Сведения об авторах:**

**Илгашева Екатерина Олеговна**, м. н. с. Института промышленной экологии УрО РАН. Старший преподаватель кафедры ГМП, ФГиГ Уральского государственного горного университета, г. Екатеринбург, Россия. Эл. адрес: [katerina.ilgasheva@gmail.com](mailto:katerina.ilgasheva@gmail.com).

## CONSTRUCTION MATERIALS IN SURFACE DEPOSITS IN URBAN AREAS

E. O. Ilgasheva

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

*The article examines the contribution of fragments of building materials to the formation of loose surface deposits in ten Russian cities: Ufa, Perm, Tyumen, Chelyabinsk, Nizhny Tagil, Magnitogorsk, Nizhny Novgorod, Rostov-on-Don, Murmansk, Yekaterinburg. During the study, data were obtained on the elemental composition and morphology of particles of building materials included in the composition of surface deposits.*

*The particles under study were taken from samples of surface sediment, divided into granulometric fractions. Fractions 100–250 and 250–1000  $\mu\text{m}$  were studied. Particles similar to fragments of building materials were isolated using visual diagnostic methods and studied using scanning electron microscopy, including energy-dispersive spectroscopy.*

*During the study, the isolated particles were classified into three classes: fragments of ceramic bricks, fragments of paint, fragments of plaster and cement mixtures. In addition to the petrogenic elements that form the basis of the particles, heavy metals (Cr, Zn, Pb) were present in the building materials.*

*The data obtained indicate that particles of building materials are part of the technogenic component of sediments in the urban environment.*

**Key words:** surface deposits; sedimentogenesis; construction materials; ceramic brick; plaster; cement; paint materials.

### References

1. Seleznev, A. A. Urban geochemical changes and pollution with potentially harmful elements in seven Russian cities / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko, G. P. Malinovsky // Sci Rep. – 2020. – 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58434-4> (Date: 12.06.2023).
2. Seleznev, A. A. Method for reconstructing the initial baseline relationship between potentially harmful element and conservative element concentrations in urban puddle sediment / A. A. Seleznev, I. V. Yarmoshenko, A. P. Sergeev // Geoderma. – 2018. – 326. – 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.003>. (Date: 12.06.2023).
3. Seleznev, A. Some geochemical characteristics of puddle sediments from cities located in various geological, geographic, climatic and industrial zones. / A. Seleznev, M. Rudakov // Carpath. J. Earth Environ. Sci Rep. – 14 (1). – 95–106. <https://doi.org/10.26471/cjees/2019/014/062>. (Date: 18.06.2023).
4. Rukhin, L. B. Fundamentals of lithology. The doctrine of sedimentary rocks. State scientific and technical publishing house of oil and mining-fuel literature / L. B. Rukhin. – Leningrad, 1961, – 778 p.
5. Volzhensky, A. V. Mineral binders: (technology and properties): Textbook for universities / A. V. Volzhensky, Yu. S. Burov, V. S. Kolokolnikov. – 3rd ed. reworked and additional – M. : Stroyizdat, 1979. – 476 p.
6. Howard, J. Anthropogenic Soils, Progress in Soil Science / J. Howard // Springer International Publishing AG 2017. – DOI 10.1007/978-3-319-54331-4\_5.
7. Barabanshchikov, Yu. G. Construction materials and products: textbook. for students institutions prof. education / Yu. G. Barabanshchikov. – 5th ed., erased. – M.: Publishing center “Academy”, 2014. – 416 p. ISBN 978-5-4468-1030-7.
8. GOST R 52491-2005. Paint and varnish materials used in construction. General technical conditions. Moscow. Standardinform, 2006.
9. GOST 202-84. Zinc whitewash. Technical conditions. Moscow: IPC Standards Publishing House, 1985.