

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский государственный горный университет
Факультет геологии и геофизики
Кафедра минералогии, петрографии и геохимии

Илгашева Екатерина Олеговна
**«Комплексный геохимический и минералогический анализ
поверхностных отложений на урбанизированной территории (на
примере г. Екатеринбурга)»**

Выпускная квалификационная работа студента гр. МПГ-14
Специальность 21.05.02 – «Прикладная геология»
Специализация №4 – «Прикладная геохимия, минералогия,
петрология»

Руководитель дипломной работы:
к. ф.-м. н. И. В. Ярмошенко

г. Екатеринбург
2019

Аннотация

Илгашева Е. О. Комплексный геохимический и минералогический анализ поверхностных отложений на урбанизированной территории (на примере г. Екатеринбурга).

В дипломной работе изучены пробы поверхностных отложений, отобранные в разных районах г. Екатеринбурга в период с 2016 по 2019 гг. Приведены результаты гранулометрического, химического, минералогического, термического анализов проб, результаты исследования техногенных частиц и минералов с помощью методов сканирующей электронной микроскопии. Установлен вещественный состав проб. Описаны основные характеристики поверхностного осадка как элемента городской среды.

Объем дипломной работы составляет 115 страниц, на которых размещено 88 рисунков, 37 таблиц. Дипломная работа включает в себя 20 приложений. При написании дипломной работы было использовано 34 источника.

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

Оглавление

Введение	4
1. Современный седиментогенез.....	7
2. Характеристика района исследования (город Екатеринбург)	16
2.1. Физико-географическая характеристика	16
2.2. Геологическая характеристика.....	20
3. Методика опробования поверхностных отложений	23
4. Физико-химические характеристики твердого осадка.....	26
4.1. Гранулометрический анализ проб поверхностного осадка	26
4.2. Химический анализ проб поверхностного осадка	36
4.3. Оптические методы исследований.....	48
4.4. Минеральный анализ проб поверхностного осадка.....	58
4.5. Синхронный термический анализ проб поверхностного осадка.....	65
4.6. Сканирующая электронная микроскопия	69
Заключение	89
Список используемых источников.....	92
Графическое приложение 1.1–1.10. Дифрактограммы	
Графическое приложение 2.1 – 2.10. Дериватограммы	

Введение

В настоящее время на урбанизированных территориях активно происходят процессы современного седиментогенеза. Развитие промышленности, строительство дорог, зданий и сооружений, увеличение количества автомобильного транспорта привели к изменению гидрогеологических и геологических, преобразованию метеорологических условий и, как следствие, возникновению уникальных, не имеющих природных аналогов, седиментационных процессов.

Подсчитано, что более 50% населения живет или работает в городах [ООН, 2016] и этот процент увеличивается ежегодно. Городская среда является главным риском, влияющим на здоровье человека. Основными факторами влияния являются: качество воздуха, наземных и подземных вод, запыление, наличие и тип геохимических барьеров, биоразнообразие. Поэтому, проблемы загрязнения окружающей среды привели к множеству исследований в области изучения качества городского воздуха, подземных и поверхностных вод. Однако, исследований состава и состояния поверхностных отложений на урбанизированных территориях до сих пор остается существенно меньше.

Важным аспектом геоэкологических исследований на урбанизированных территориях является изучение транспорта и накопления загрязняющих веществ в компонентах городской среды. В городах проводятся литогеохимические исследования, изучение снежного покрова и атмосферных выпадений. Перспективным является также исследование современных антропогенных отложений и геохимических барьеров, формирующихся в результате природно-антропогенных процессов. Поверхностные отложения участвуют в миграции и накоплении загрязнения, поэтому их использование в качестве геоиндикаторов позволяет получить дополнительную информацию о путях поступления и накопления загрязнения в урбанизированной среде. Перспективным объектом при проведении опробования для изучения загрязнения урбанизированной территории является поверхностный осадок.

Актуальность дипломной работы заключается в том, что комплексное изучение поверхностных отложений на урбанизированной территории ранее не проводилось. Исследования, которые были проведены в ходе выполнения дипломной работы, позволили определить вещественный состав отложений, их генезис, потенциальную опасность для здоровья человека и экологической обстановки.

Необходимо отметить, что, в целом, исследование поверхностного осадка современного города представляет собой междисциплинарную научную задачу, которая решается на основе естественнонаучных методов с привлечением подходов геоэкологии, ландшафтоведения, минералогии, почвоведения, геохимии и др.

Цель дипломной работы: охарактеризовать поверхностные отложения урбанизированной территории как элемент современного седиментогенеза (на примере г. Екатеринбурга).

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Пробоподготовка образцов поверхностного осадка для проведения гранулометрического, химического, минералогического и термического анализа.

2. Анализ результатов:

- гранулометрического анализа образцов,
- химического анализа образцов,
- минералогического анализа образцов,
- термического анализа образцов.

3. Изучение техногенных частиц в составе поверхностного осадка.

4. Характеристика поверхностного осадка как элемента современного седиментогенеза.

Материал для дипломной работы предоставлен Институтом промышленной экологии УрО РАН. Пробы поверхностного осадка были отобраны сотрудниками ИПЭ УрО РАН в 2016-2018 годах на территории 6

экспериментальных площадок в г. Екатеринбурге и зимой 2019 года в районе озера Балтым.

Минералогический и термический анализы образцов, исследования с помощью методов СЭМ проведены в центре коллективного пользования «Геоаналитик» на базе ИГГ УрО РАН им. академика А. Н. Заварицкого. Комплексный химический анализ проведен в Химико-аналитическом центре ИПЭ УрО РАН.

1. Современный седиментогенез

Седиментогенез (от лат. *sedimentum* – осадок и греч. *γενεσις* – происхождение) - это совокупность процессов, в результате которых на поверхности Земли накапливаются осадки. Этап седиментогенеза подразделяется на три стадии, следующих друг за другом [Н. М. Страхов]:

- мобилизация вещества;
- перенос мобилизованного вещества;
- осадконакопление.

Современное осадконакопление в урбанизированной среде происходит непрерывно и обусловлено такими естественными и антропогенными процессами и факторами как: нарушение в планировке ландшафта, некачественная уборка территорий, нарушение стока атмосферных осадков, наличие понижений микрорельефа на территориях городских кварталов, эрозия почв и грунтов, выпадения из атмосферы. Сезонность и метеорологические условия также влияют на образование пыли [Саэт, 1990].

Условия седиментогенеза в городской среде являются специфическими в соответствии с естественноисторической обстановкой: особенностями рельефа, заболоченностью, наличием оврагов, карьеров и других техногенных образований; а также с характером проводимых строительных мероприятий [Котлов, 1978]. Техногенная деятельность человека способствует процессам глубокого преобразования горных пород и почв, вплоть до возникновения непосредственно урбофаций (культурного слоя урбанизированных и протоурбанизированных территорий), не имеющих природных аналогов [Каздым, 2009]. Литологический состав урбофаций обусловлен как геологическими условиями местности, так и характером антропогенной деятельности. Фации могут быть неоднородны по составу, причем неоднородность проявляется как по вертикали, так и по горизонтали. Процессы формирования урбофаций в большинстве случаев дискретны во времени.

В целом поверхностный осадок городских территорий является зоной интенсивных процессов седиментогенеза и первых стадий диагенеза, связанных исключительно с деятельностью человека. В ряде случаев процессы седиментогенеза и диагенеза могут быть ускорены по сравнению с естественными природными процессами.

Антропоцен

Накопление современного поверхностного осадка началось совместно с процессами урбанизации территорий, которые затрагивают последние десятки лет, и продолжается в настоящее время. В геологической интерпретации эти события относятся к эпохе антропоцена. Термин «антропоцен» впервые был использован в 2000 году для обозначения времени глобального влияния человечества на окружающую среду. На 35-м Международном геологическом конгрессе (27.08.2016 – 04.09.2016), проходившем в Кейптауне, объявлено о начале антропоцена – геологической эпохи с изменяющим экосистему Земли уровнем антропогенного влияния [Шешнев, 2017]. В настоящее время перед исполнительным комитетом Международного союза геологических наук стоит вопрос о введении антропоцена в состав геохронологической шкалы (рис. 1).

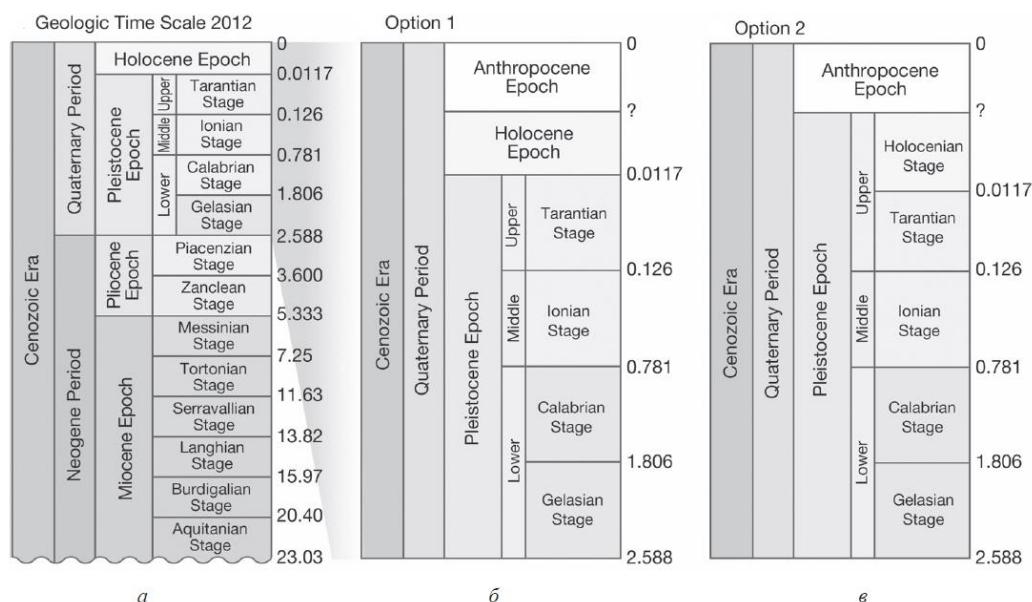


Рис. 1. Сравнение текущей геохронологической шкалы с двумя альтернативными: а – текущая геохронологическая шкала (GTS-2012); альтернативные варианты: б – антропоцен следует после голоцена; в – антропоцен наступает непосредственно после плейстоцена. Границы указаны в миллионах лет. Знак вопроса показывает текущие дискуссии о начале антропоцена (по данным Lewis S. L. et al., 2015, Gradstein F. M. et al., 2012)

Термин антропоцен ввел Юджин Стормер (Eugene Stoermer) для обозначения воздействия и доказательства влияния деятельности человека на планету Земля. Но термин не использовался вплоть до 2000 года, когда его популяризировал Пауль Крутцен (Paul Crutzen), который расценил влияние человечества на земную атмосферу за последнее столетие как начало новой геологической эпохи.

Лучшим вариантом для определения нижней границы антропоцена считается 1950 год - дата, когда после первых ядерных испытаний 40-х годов на поверхности Земли образовался слой из радиоактивных элементов. Однако, это не единственный маркер. Ученые рассматривают другие маркеры, которые отличают антропоцен от предыдущего периода голоцена, в том числе загрязнение поверхности пластиковыми отходами, сажей от электростанций, бетонными смесями. Фактически, необратимые изменения начались еще в XIX веке, после промышленной революции. К геологически значимым

процессам были отнесены: эрозия почв и грунтов, перенос отложений, связанный с различными антропогенными процессами (включая сельское хозяйство, урбанизацию и глобальное потепление), изменение химического состава атмосферы, океанов и почв со значительными антропогенными нарушениями циклов таких элементов, как углерод, азот, фосфор и различные металлы, изменение условий окружающей среды, вызванные этими нарушениями, в том числе глобальное потепление, подкисление вод океана, появление и увеличение «мертвых зон» в океане.

Урбанизированная среда как элемент антропоцена

Территории, вступившие в антропоцен, стремительно изменяются от множества мелких точечных объектов к планетарно-линзовидным объектам, расположенным преимущественно вдоль границ Мирового океана и крупных транспортных сетей. Города, городские агломерации, мегаполисы образуют различные по форме и площади урбанизированные зоны [Шешнев, 2017].

Урбанизированные территории представляют собой сочетание различных антропогенных форм рельефа. Н. А. Флоренсов рассматривает урбанизацию как «расширение сферы антропогенного рельефа за счет естественного, идущее одновременно с большой скоростью из множества центров на всех материках и создающее формы искусственного рельефа даже более однообразные и монотонные, нежели это делают природные процессы» [Флоренсов, 1978].

Крупные города и мегаполисы являются депо концентрации значительных масс техногенных веществ, поступающих в городскую среду с промышленными, транспортными и муниципальными выбросами и стоками. Такие продукты производственно-хозяйственной деятельности человека формируют локальные и региональные техногенные геохимические аномалии загрязняющих веществ в различных компонентах ландшафта. Аномалии, в свою очередь, являются источниками вторичного поступления поллютантов в региональные миграционные потоки, тем самым увеличивая радиус действия

и опасность загрязнения пригородных экосистем вокруг промышленных центров [Касимов, 2013].

Каскадные ландшафтно-геохимические системы городов

Городские ландшафты являются результатом взаимодействия природных и антропогенных факторов. К природным факторам относятся: природный рельеф, климат, гидрография, почвенно-растительный покров; к антропогенным – градостроительные и промышленные факторы. Поэтому, городские ландшафты должны дифференцироваться по ландшафтно-функциональным критериям с учетом природно-техногенных и техногенных региональных потоков веществ, поступающих в них с естественным и искусственным стоками (рис. 2).

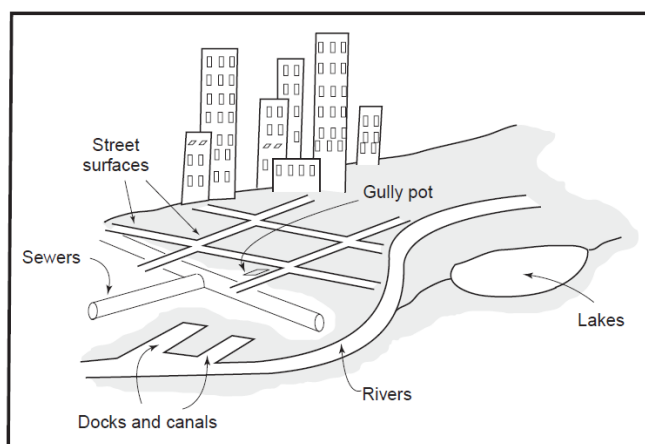


Рис. 2. Схема городских сред, в которых происходит накопление поверхностного осадка (Environmental Sedimentology, 2007).

Street surfaces - улицы, Sewers - канализация, Gully pot – отстойники ливневой канализации, Lakes - озера, Rivers - реки, Docks and canals – доки и каналы.

В пределах городов выделяются городские потоковые (каскадные) системы - особые пространственно-организованные структуры, обеспечивающие функционирование города за счет переноса, преобразования и аккумуляции вещества в результате градостроительного освоения территории [Курбатова, 2004]. Они могут быть открытыми, с поступлением

осадка в водотоки, и закрытыми, когда осадок аккумулируется в замкнутой форме рельефа.

Термин городской осадок широко используется в современной литературе. Ранее, к городским отложениям относили осадок, образованный только на улицах за счет бытового мусора и выбросов транспорта. В настоящее время этот термин охватывает любые осадки, образованные в городской среде. К ним относятся отложения, накапливающиеся на улицах, в оврагах и в канализационных системах, а также в городских водоемах (реках, каналах, озерах).

Поверхностный осадок и донные отложения

Главным объектом исследования компонентов антропоцена являются поверхностные отложения городской среды и донные отложения современных водоемов. Такие отложения являются депонирующими средами, т.е. средой, в которых накапливаются и преобразуются продукты техногенеза (рис. 3).

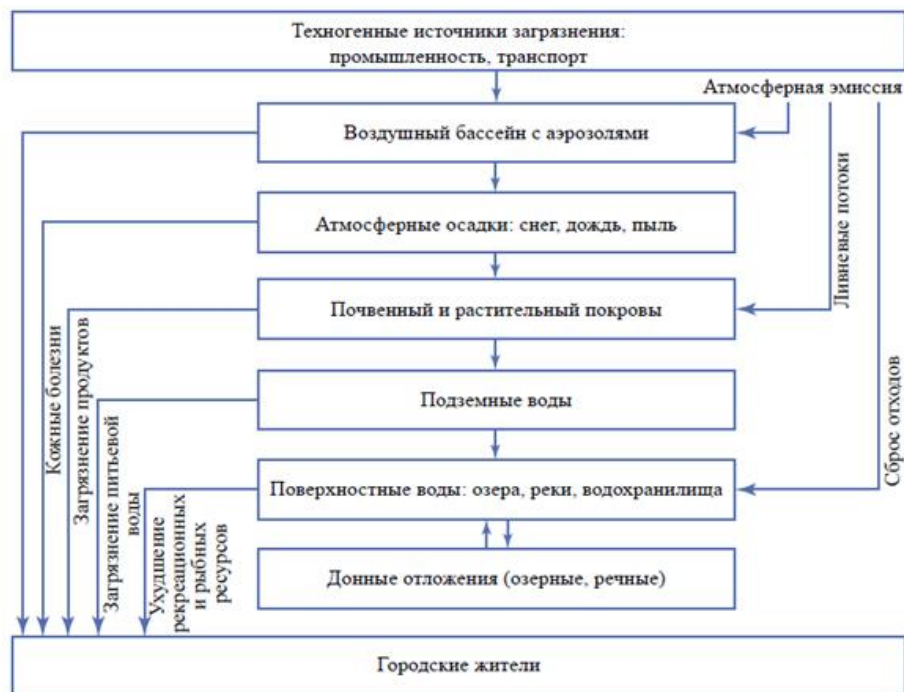


Рис. 3. Потоки загрязняющих веществ в компонентах окружающей среды в городе (по Ю.И. Пиковскому)

Основным источником поверхностных отложений в городской среде является автомобильный транспорт. Выбросы от автомобилей (выхлопные газы, износ шин и кузова автомобиля, тормозных систем) в сочетании с отходами строительного и почвенного материала, дорожного покрытия, фрагментов растений и опавших листьев, атмосферных выпадений формируют Road-deposited sediment (депонированный дорожный осадок) (рис. 4). Исследований, посвященных вещественному составу и механизму образования такого осадка, мало. Причиной является широкий диапазон источников в каждом конкретном участке урбанизированной среды. Однако, установлено, что главным компонентом Road-deposited sediment являются почвы и строительные материалы [Норке et al., 1980].

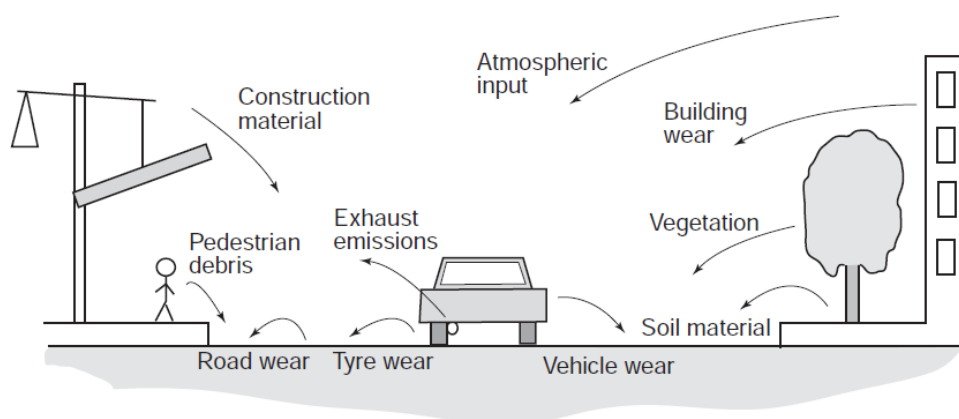


Рис. 4. Схема источников отложений, формирующих осадок на дорогах (Environmental Sedimentology, 2007).

Construction material – строительные материалы, Atmospheric input – атмосферные выпадения, Building wear – износ зданий, Pedestrian debris – бытовой мусор, Exhaust emissions – выхлопные газы, Vegetation - растения, Road wear – износ дорог, Tyre wear – износ шин, Vehicle wear – износ транспортных средств, Soil material – материал почв.

Экологическая роль поверхностного осадка в городской среде

Для оценки экологической опасности и степени загрязнения городов важно знать объем выбросов, их гранулометрический состав и содержание наиболее токсичных веществ. Основная масса микроэлементов в атмосфере входит в состав пыли и аэрозолей. Пыль - это общий термин, обозначающий

твердые частицы, размером до 100 мкм, способные находиться в воздухе в виде суспензии. Аэрозоль - суспензия твердых или жидких частиц, которая из-за своего мелкого размера (размер частиц менее 10 мкм) имеет очень низкую скорость осаждения и может длительное время находиться в атмосфере. В зависимости от размера выделяются крупные аэрозольные частицы – 10–2,5 мкм, мелкие - 2,5-1 мкм и очень мелкие - 0.1 [Aerosol..., 2000]. Элементы с относительно высокими кларками (Fe, Mn, Zn, Cr, Cu) связаны с мелкодисперсным и крупнодисперсным аэрозолем, а наиболее токсичные элементы с низкими кларками (Cd, Pb, Sb, As, Hg) находятся преимущественно в субмикронной фракции. Подвижность тяжелых металлов в городском аэрозоле зависит от их форм нахождения. Менее подвижные Co и Cr связаны в основном с силикатной частью твердых частиц и оксидами железа и марганца, Ni, Mn, Cu и Pb находятся в обменной форме, в гидроксидах железа и марганца, связаны с органическим веществом. У самых подвижных Cd и Zn обменная форма преобладает, что определяет их дальнейшую интенсивную миграцию в городских ландшафтах, биодоступность и опасность для живых организмов [Касимов, 2013].

Примеры исследований анализа осадка на урбанизированных территориях

Урбанизированная среда является основным фактором риска, воздействующим на здоровье человека. Воздействие происходит через загрязнение воздуха, водных объектов, формирования поверхностных отложений как источников поллютантов. Проблемы загрязнения окружающей среды привели ко множеству исследований в области изучения состава городского воздуха, подземных и наземных вод и, в меньшей степени, поверхностного осадка.

Широко распространены исследования атмосферных взвесей, в ходе которых проводится эколого-гигиенический анализ и изучение частиц, входящих в их состав [Голохваст и др., 2013, 2014]. Исследования атмосферы

для установления причин превышения концентраций отдельных компонентов были проведены в штате Невада (США) зимой 2009-2010 гг. [L.-W. A. Chen et al., 2012]. Kaarle Kupiainen и Heikki Tervahattu (Финляндия) в своих работах изучали вещественный состав и механизмы образования весенней пыли на территории Финляндии. Э. Ф. Емлин в своих работах использовал два класса методов оценки загрязнения окружающей среды: исследование миграционных сред (водных потоков) и исследование депонирующих сред (почвенных горизонтов, снегового покрова, растительности, иловых отложений).

В г. Екатеринбурге проводятся комплексное геохимическое и минералогическое исследования поверхностного осадка с целью определения источников и причин загрязнения городской среды [Селезнев и др., 2017, 2018 Илгашева и др., 2018, 2019]. В пределах жилой застройки были выбраны шесть экспериментальных площадок, типичных для города и равномерно распределенных по его территории. Каждая экспериментальная площадка включает внутридворовое пространство и прилегающую часть улицы. Седьмой площадкой является район озера Балтым в зимний период. Такая конфигурация позволяет исследовать полный цикл образования и отложения поверхностного осадка, связанного с локальными факторами городской среды, в том числе охарактеризовать поверхностные отложения на урбанизированных территориях как элемент современного седиментогенеза.

2. Характеристика района исследования (город Екатеринбург)

2.1. Физико-географическая характеристика

Город Екатеринбург является крупным промышленным, научным и культурным центром, а также административным центром Уральского федерального округа и Свердловской области. Площадь муниципального образования «город Екатеринбург» составляет 1142,9 км².

Екатеринбург расположен в восточных предгорьях Среднего Урала, на берегах реки Исеть. Город находится в зоне умеренно-континентального климата с ярко выраженной изменчивостью погодных условий и выраженными сезонами года. Холодный сезон длится обычно около пяти месяцев с ноября по апрель, теплое время года составляет примерно 65–70 дней. Средняя температура января $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, средняя температура июля $+19\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Мороков, 1981].

В районе Екатеринбурга преобладает западный перенос воздушных масс. Средний Урал, несмотря на незначительную высоту, является существенной преградой на пути воздуха, поступающего с акватории Северной Атлантики (рис. 5). В результате на западных предгорьях Среднего Урала выпадет больше атмосферных осадков, чем на восточных предгорьях, что не способствует очищению атмосферы осадками в районе Екатеринбурга [Капустин, 1998].

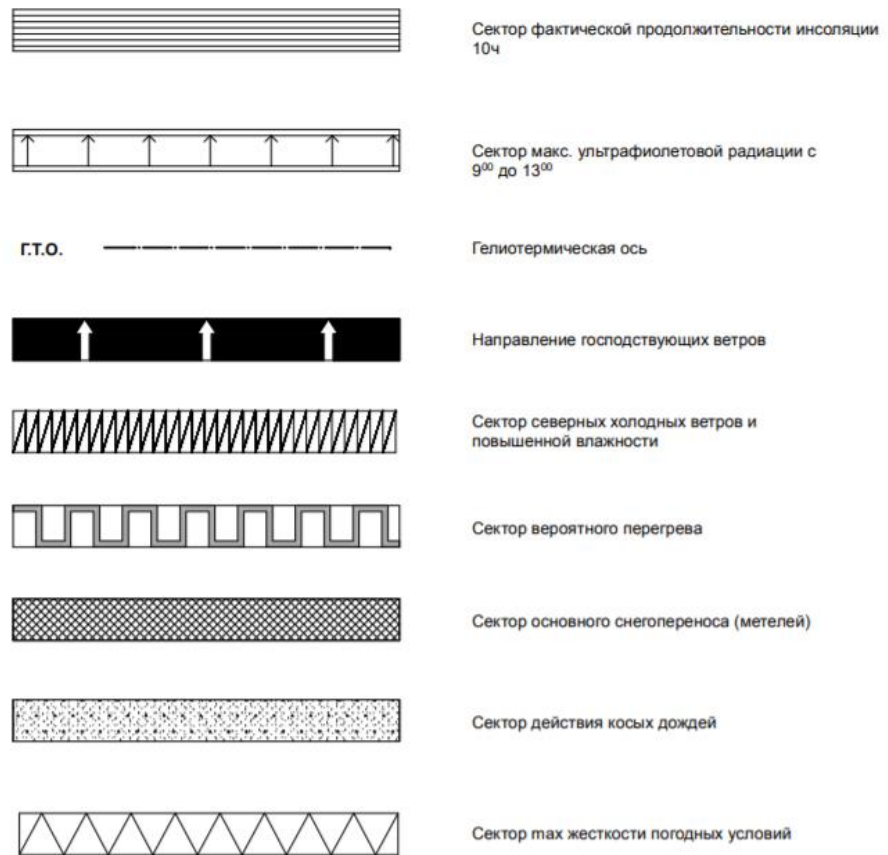
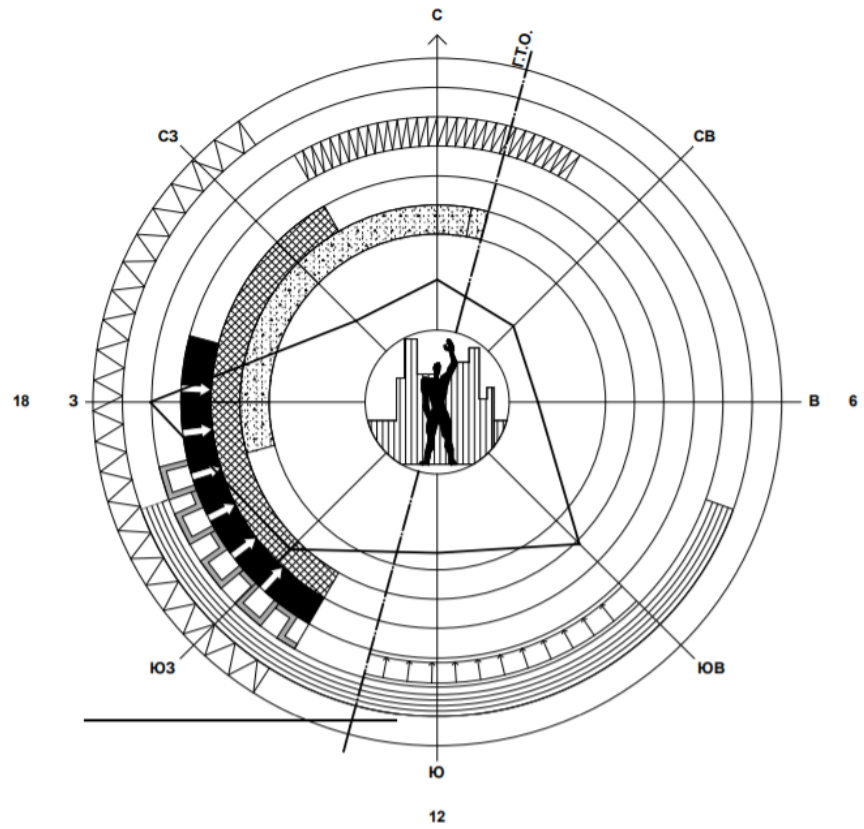


Рис. 5. Экологическая модель г. Екатеринбурга (МНГП..., 2010)

Основными источниками загрязнения атмосферы в городе являются предприятия машиностроения и металлообработки, металлургии, электроэнергетики, строительной промышленности, химии и нефтехимии, предприятия по производству стройматериалов, автомобильный и железнодорожный транспорт [Ежегодник, 2016]. За чертой города находятся предприятия черной и цветной металлургии и машиностроения, месторождения Cu, которые попадают в зону действия розы ветров и также влияют на загрязнение атмосферы (рис. 6).

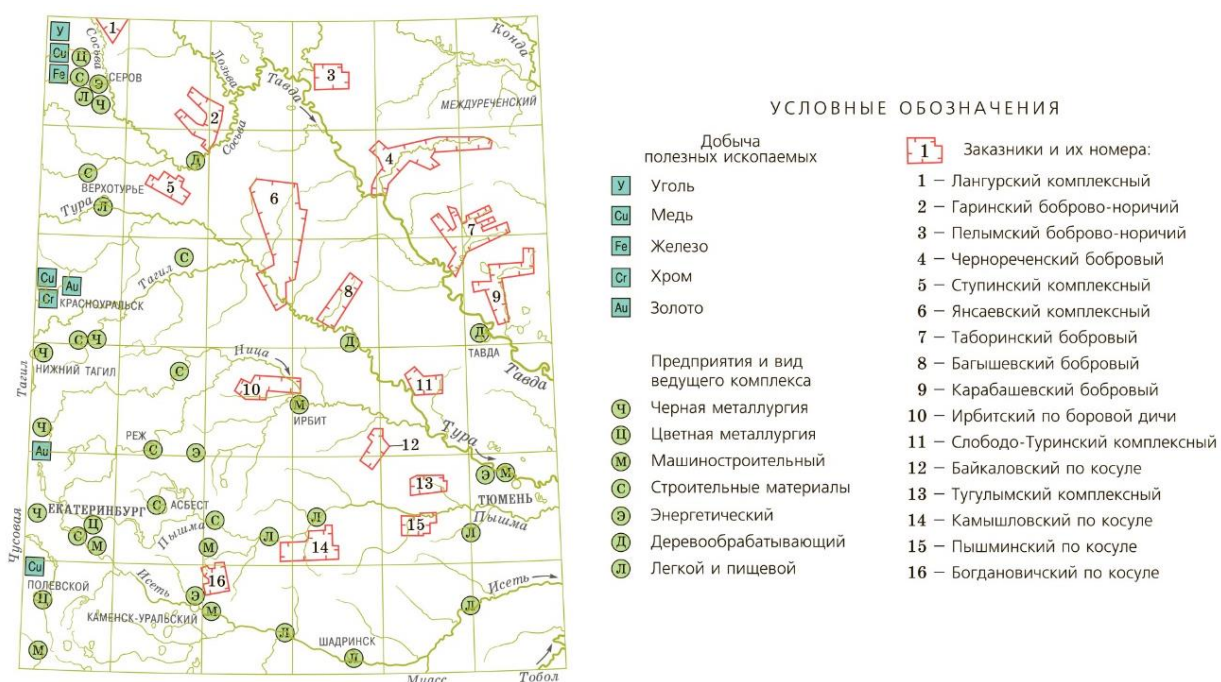


Рис. 6. Схема размещения техногенных объектов и заказников. Лист О-41.

Масштаб 1:5000000 (Государственная..., 2011)

Высокая степень загрязнения воздуха обусловлена расположением города в зоне низкой рассеивающей способности атмосферы (рис. 5). По опубликованным данным [Ежегодник, 2016] за период 2011–2015 г. возросла запыленность воздуха. При определенных метеоусловиях происходит наложение выбросов предприятий г. Екатеринбурга и расположенных в его окрестностях. В течение последних лет наблюдается тенденция к увеличению выбросов от автотранспорта вследствие увеличения числа автомобилей в городе.

По данным пояснительной записки к Государственной геологической карте Российской Федерации территория города Екатеринбурга относится к территории с кризисной эколого-геологической ситуацией. Районы, прилегающие к городу, относятся к территории с напряженной эколого-геологической ситуацией (рис. 7)

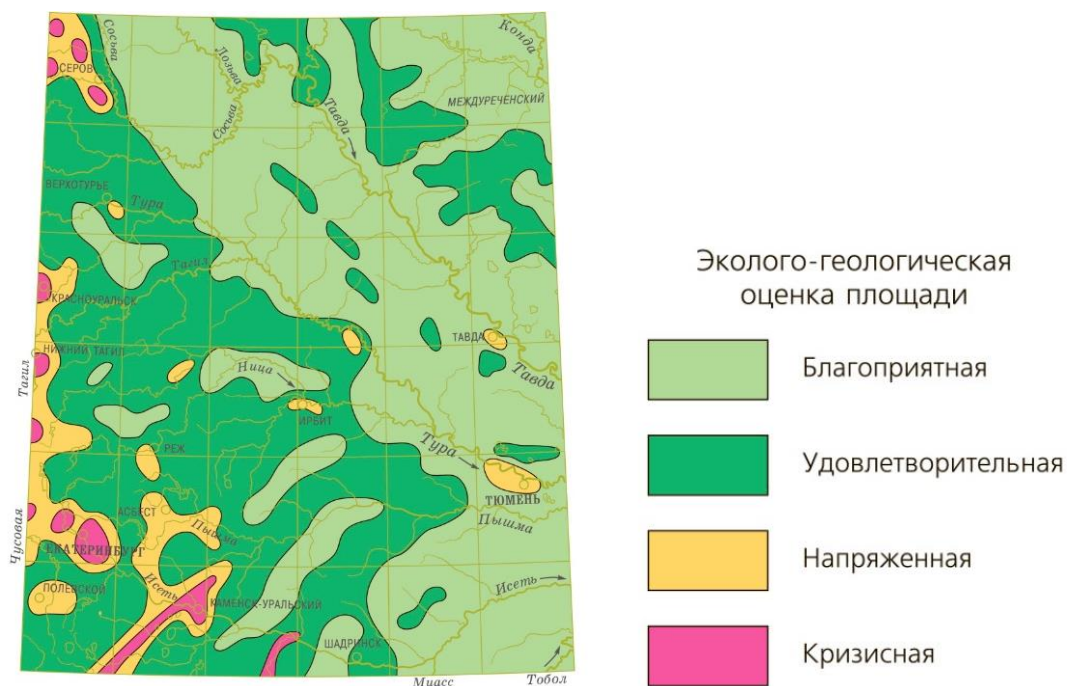


Рис. 7. Схема оценки эколого-геологической обстановки. Лист О-41. Масштаб 1:5000000 (Государственная..., 2011)

2.2. Геологическая характеристика

Город Екатеринбург расположен на восточном склоне Среднего Урала в зоне Восточно-Уральского поднятия, сформированного в результате общей инверсии Уральской эвгеосинклинали и связанных с ней мощных складчатых и разрывных дислокаций, а также внедрения больших масс гранитной магмы в позднепалеозойское время [Государственная..., 2011]. Литогенный субстрат на рассматриваемой территории представлен следующими коренными породами и палеозойскими литологическими комплексами (рис. 8):

1. Каменноугольная система. Нижний отдел. Арамилевская толща. Песчаники, гравелиты, конгломераты, алевролиты, сланцы кремнистые, углисто-кремнистые, глинистые, яшмоиды, известняки.

2. Девонская система. Нижний отдел. Медведевская толща. Базальты, андезибазальты порфиоровые, их туфы, туфопесчаники, кремнистые и углеродисто-кремнистые сланцы, кварциты.

3. Ордовикская система. Средний-верхний отделы. Новоберезовская толща. Базальты афировые, вариолиты, туфопесчаники, туфоалевролиты, туффиты, кремнистые сланцы, зеленые сланцы, кварциты, амфиболиты.

Многочисленные интрузии представлены следующими ассоциациями:

- Верх-Исетский комплекс гранодиорит-гранитовый. Граниты.
- Монетнинский комплекс габбро-диорит-плагиогранитовый. Габбро.
- Уктусский комплекс дунит-верлит-клинопироксенитовый. Верлиты, клинопироксениты.
- Ультраосновные породы нерасчлененные: серпентиниты, тальк-карбонатные породы.



Рис 8. Карта доплиоценовых образований (фрагмент). Лист О-41. Масштаб 1:1000000 (Государственная..., 2011)

Рыхлые четвертичные позднеплейстоценовые-голоценовые отложения практически сплошным чехлом перекрывают коренные породы и представлены в основном следующими генетическими типами [Государственная..., 2011] (рис. 9):

- Элювий и делювий. Глины и суглинки с выветрелым щебнем подстилающих пород и редким гравием кварца (до 5 м);
- Североуральский надгоризонт; зырянский надгоризонт. Делювий. Суглинки и супеси бурые со слабо выветрелым щебнем местных пород и редким полимиктовым гравием (до 5 м).

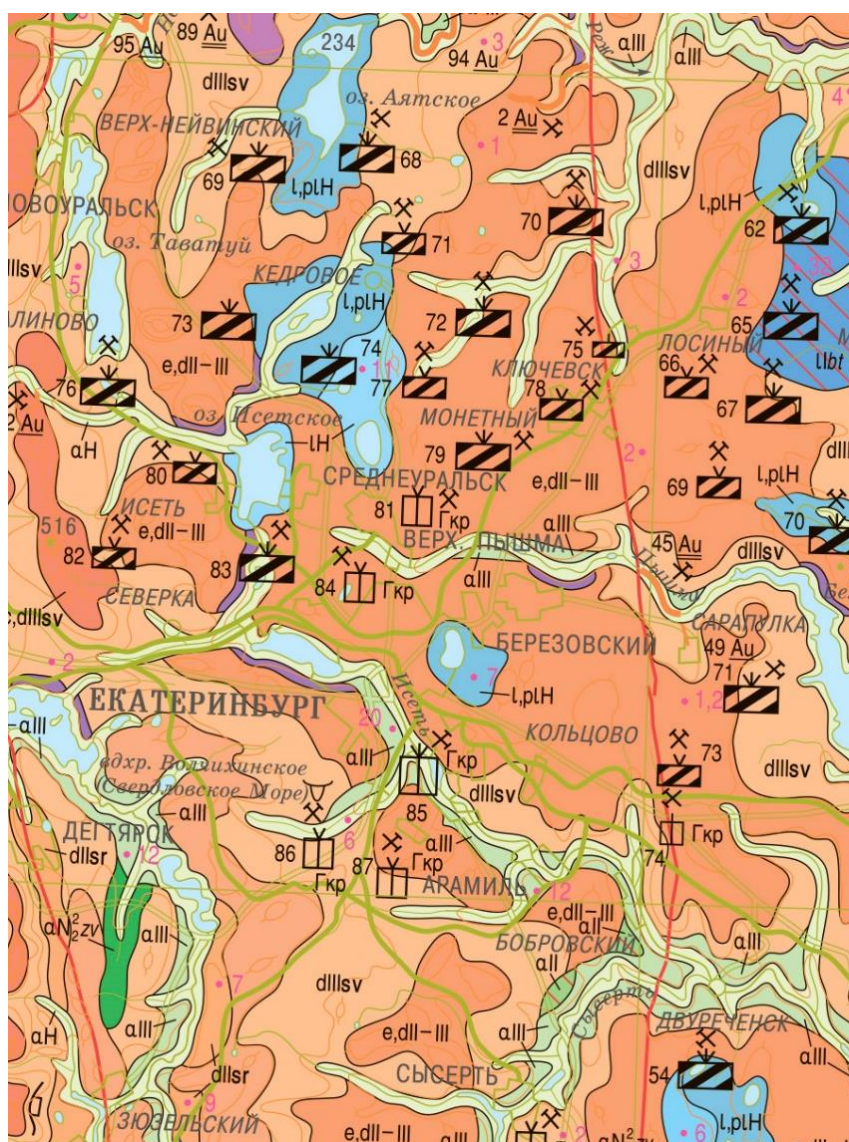


Рис. 9. Карта плиоцен-четвертичных образований (фрагмент). Лист О-41. Масштаб 1:1000000 (Государственная..., 2011)

В целом Екатеринбург расположен в пределах Березовского почвенного района, где почвообразование протекает на элювиально-делювиальных и делювиальных отложениях. Ведущее место в этом районе занимают сочетания дерново-подзолистых, болотно-подзолистых и болотных низинных торфяных почв. Однако с момента основания в городе накапливаются техногенные отложения и по оценкам Емлина современная мощность техногенных грунтов и искусственных почв в среднем составляет 3 метра [Емлин, 1998]. В настоящее время техногенные насыпные грунты преобладают на территории города и образуют ненарушенный покров в жилых районах.

3. Методика опробования поверхностных отложений

В г. Екатеринбурге выбраны следующие площадки для проведения опробования отложений: ул. Смазчиков, д. 6-8; ул. Краснолесье, д. 16/1-18/1; ул. Родонитовая, д.5; ул. Фрунзе, д. 62; ул. Маршала Жукова, д.7-9; ул. Машиностроителей, д. 67-69 - ул. Лукиных, д.8-10 и площадка в районе озера Балтым (табл. 1, рис. 10).

Таблица 1. Данные экспериментальных площадок

Адрес	№ площадки
ул. Смазчиков, д. 6-8	1
ул. Краснолесья, д. 16/1-18/1	2
ул. Родонитовая, д.5	3
ул. Фрунзе, д. 62	4
ул. Маршала Жукова, д.7-9	5
ул. Машиностроителей, д. 67-69, ул. Лукиных, д.8-10	6
оз. Балтым	7

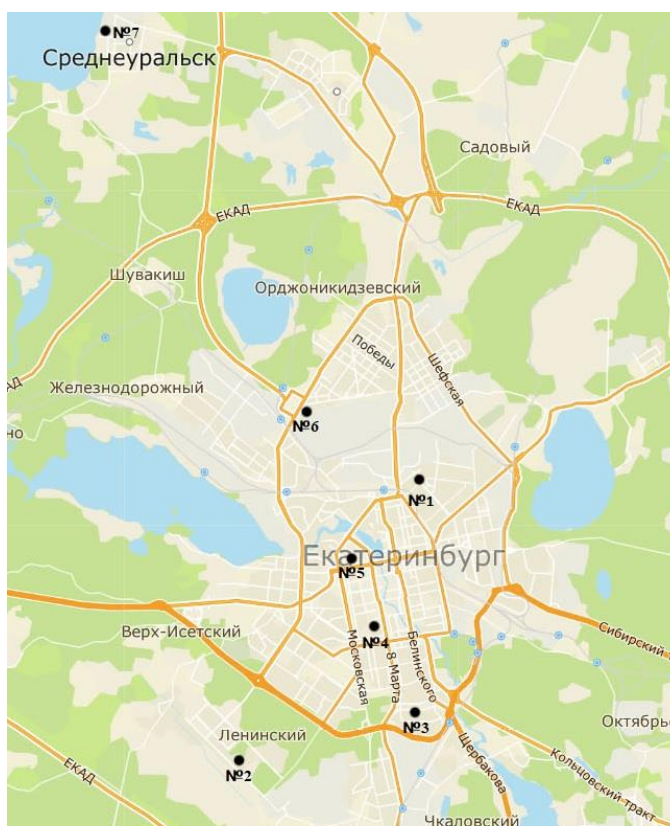


Рис. 10. Расположение экспериментальных площадок (карта API.2GIS).

Масштаб 1:2000

Каждая площадка является типичным примером застройки для г. Екатеринбурга. Отличается год застройки, геологическое и географическое расположение площадки. Общим остается наличие следующих функциональных зон: проезжая часть улицы, тротуар и газон с наружной стороны зданий, внутренняя часть двора с внутридворовыми проездами, санкционированными и несанкционированными автостоянками, детской площадкой, зеленой зоной (рис. 11-12). Площадка в районе озера Балтым выбрана для определения уровня загрязнения, вызванного автомобильным транспортом, т.к. в зимний период на льду озера проводятся автомобильные заезды.



Рис. 11. Зеленая зона (экспериментальная площадка №5)

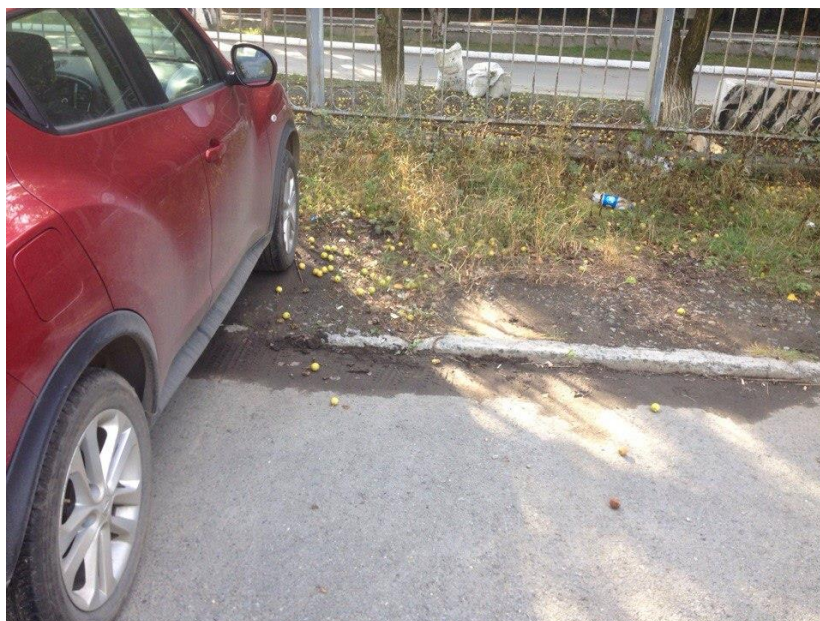


Рис. 12. Несанкционированная парковка (экспериментальная площадка №5)

Пробы для настоящего исследования отбирались в зимний период (декабрь и февраль) и летний период (июль-август). По литературным данным, исследования, проведенные ранее, включали в себя отбор только снеговых проб. Таким образом, настоящее исследование расширило область изучения состава и генезиса поверхностного осадка. На каждой площадке в каждый из сезонов было отобрано пять образцов осадочного материала, почв и грунтов в разных функциональных зонах микроландшафта. В зимнее время года на площадках было проведено опробование снежного покрова.

4. Физико-химические характеристики твердого осадка

4.1. Гранулометрический анализ проб поверхностного осадка

Первым этапом изучения поверхностного осадка является гранулометрический анализ. Гранулометрический анализ включает в себя определение размеров и количественного соотношения частиц, слагающих рыхлую горную породу. Результатом гранулометрического анализа является определение гранулометрического состава образца. Гранулометрический состав - относительное содержание в почве, горной породе или искусственной смеси частиц различных размеров независимо от их химического или минералогического состава. Для определения гранулометрического состава были использованы методы гранулометрии [Вадюнина, 1986].

Гранулометрический состав образцов определялся по весовому содержанию в них частиц различной крупности, выраженному в процентах по отношению к весу сухой пробы, взятой для анализа. Каждый образец поверхностных отложений был разделен на 6 гранулометрических фракций с размером частиц: >1 мм, 0,25-1 мм, 0,002-0,01 мм, 0,01-0,05 мм, 0,05-0,1 мм, 0,1-0,25 мм.

Отделение фракции >1 мм

Фракция с размером частиц размером >1 мм отделялась сухим просеиванием навески через сито с диаметром отверстий 1 мм ручным способом. Задержавшийся на сите отсев высыпался в фарфоровую ступку и дополнительно растирался пестиком с резиновым наконечником, после чего вновь просеивался. На сите оставались частицы >1 мм.

Отделение фракции 0,25-1 мм

Навеска с размером частиц <1 мм помещалась в фарфоровую ступку. В навеску добавлялась дистиллированная вода. Полученная масса перемешивалась и растиралась пестиком с резиновым наконечником до состояния густой однородной пасты. Паста переносилась на сито с диаметром отверстий 0,25 мм. В нее добавлялась дистиллированная вода. Полученная

масса промывалась на сите и растиралась пестиком с резиновым наконечником до тех пор, пока с сита не шла прозрачная вода. Твердый осадок, задержавшийся на сите, относился к гранулометрической фракции 0,25-1 мм, смывали в пластиковый лоток дистиллированной водой. Раствор с фракцией 0,25-1 мм высушивался в пластиковом лотке и взвешивался.

Отделение фракции 0,002-0,01 мм

Затем остаток навески после отделения фракции 0,25-1 мм равномерно распределялся по стаканам объемом 1 л. В стаканы добавлялась дистиллированная вода. Полученная в стаканах суспензия взмучивалась стеклянной палочкой. Для осаждения фракции $>0,01$ мм суспензию оставляли на 20 минут [Вадюнина, 1986]. Время осаждения частиц размером $>0,01$ мм рассчитывалось по формуле Стокса. Затем раствор сливался слоем в 10 см. Такая процедура отмучивания повторялась до тех пор, пока вода в стаканах не становилась светлой. Объем дистиллированной воды составлял не более 50 л.

Слитый раствор, содержащий фракцию $<0,01$ мм, фильтровался через мембранные фильтры «синяя лента» с размером пор 0,002 мм на приборе вакуумного фильтрования. На фильтрах задерживалась фракция 0,002-0,01 мм. Фильтры с фракцией 0,002-0,01 мм высушивались и взвешивались.

Отделение фракции 0,01-0,05 мм

Далее в стаканы с остатком навески, содержащим частицы размером $>0,01$ мм, добавлялась дистиллированная вода. Суспензия взмучивалась стеклянной палочкой.

Для осаждения частиц размером $>0,05$ мм суспензию оставляли 2 минуты. Время осаждения частиц размером $>0,05$ мм рассчитывалось по формуле Стокса. Затем раствор сливался слоем в 10 см. Процедура отмучивания повторялась до тех пор, пока вода не становилась светлой. Объем дистиллированной воды составлял не более 50 л.

Слитый раствор, содержащий частицы размером 0,01-0,05 мм, фильтровался через мембранные фильтры «красная лента» с размером пор 0,008 мм на приборе вакуумного фильтрования. На фильтрах задерживалась

фракция 0,01-0,05 мм. Фильтры с фракцией 0,01-0,05 мм высушивались и взвешивались.

Отделение фракции 0,05-0,1 мм

Остаток навески после извлечения фракции 0,01-0,05 мм промывался на сите с диаметром отверстий 0,1 мм. Полученный раствор с фракцией 0,05-0,1 мм высушивался. На сите задерживалась фракция 0,1-0,25 мм.

Полученный материал гранулометрических фракций 0,05-0,1 мм и 0,1-0,25 мм высушивался и взвешивался.

Фракции, полученные после разделения исходной навески, переносились в заранее взвешенные конверты. Массу всех фракций отложений складывали. Потерю материала проб при просеивании разносили по всем фракциям пропорционально их весу. Содержание каждой фракции (A , в %) вычисляли по формуле:

$$A = \frac{g_{\phi}}{g} \cdot 100\% ,$$

где g_{ϕ} – масса данной фракции, г; g – масса всей пробы, г.

Результаты гранулометрического анализа

В таблицах 2-13 представлены результаты гранулометрического анализа образцов компонентов городской среды, отобранных на экспериментальных площадках №1-6. Таблицы содержат номер пробы, суммарную массу поверхностного осадка в исследованной навеске пробы и массы отдельных фракций частиц размером более 1 мм, 0,25-1 мм, 0,1-0,25 мм, 0,05-0,1 мм, 0,01-0,05 мм и 0,002-0,01 мм.

Таблица 2. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №1 в зимний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
021-3	225,0	10,1	6,9	7,4	3,0	13,9	266,3
023-3	1,3	0	0	0	0	<1	>1,3
035-3	32,5	11,5	12,2	28,0	11,5	17,4	113,1
057-3	16,7	10,5	9,6	25,2	15,6	15,5	93,2
065-3	39,9	53,4	46,0	204,3	86,0	1,3	431,0

Таблица 3. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №1 в летний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
021	26,5	75,9	0	37,3	13,8	8,6	245,6
023	73,7	20,5	13,9	61,6	29,9	20,5	274,6
035	57,0	38,7	30,8	89,2	14,3	10,5	264,2
057	40,0	73,4	81,2	39,3	16,2	11,0	215,4
065	37,1	44,0	55,7	63,5	18,8	13,0	243,7

Таблица 4. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №2 в зимний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
015-3	20,8	4,6	4,6	8,1	6,2	3,2	47,4
029-3	7,7	4,5	3,9	6,0	3,3	1,8	27,2
043-3	42,6	8,0	6,0	8,4	3,5	2,7	71,2
099-3	9,3	3,7	3,1	3,6	2,7	1,1	23,5
113-3	0,8	0	0	0	0	<1	>0,8

Таблица 5. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №2 в летний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
015	0	39,6	37,2	49,5	51,6	45,0	222,9
029	190,4	59,2	57,1	29,8	20,7	19,3	262,7
043	91,5	43,1	93,7	129,4	18,3	11,4	298,1
099	44,3	67,9	81,7	47,6	14,7	19,5	284,3
113	55,7	26,8	20,9	62,0	38,3	22,7	235,5

Таблица 6. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №3 в зимний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
001-3	6,0	2,7	4,3	7,2	3,8	<1	>23,9
003-3	6,0	4,7	4,9	24,9	10,9	3,4	54,7
059-3	1,2	1,0	1,2	2,7	0,7	<1	>6,7
071-3	0	0	0	0	0	<1	<1
085-3	0	0	0	0	1,9	<1	>1,9

Таблица 7. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №3 в летний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
001	96,0	31,2	44,3	51,6	26,5	23,4	275,7
003	42,8	27,4	36,7	37,0	25,7	12,9	176,5
059	57,7	47,9	56,2	56,4	14,3	11,9	254,0
071	79,6	35,3	41,1	61,5	31,1	16,6	265,2
085	19,5	57,8	89,5	62,1	16,6	13,6	269,4

Таблица 8. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №4 в зимний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
011-3	8,1	0,8	0,2	0,4	-0,1	<1	>9,5
031-3	11,3	11,5	16,4	48,5	8,5	3,7	99,9
037-3	27,5	22,0	21,1	66,9	32,2	53,0	222,8
045-3	0	0	0	0	0	<1	<1
051-3	260,8	14,2	8,7	23,9	9,2	6,1	322,9

Таблица 9. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №4 в летний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
011	98,3	26,0	24,9	46,9	29,0	17,3	242,4
031	77,6	35,3	38,7	46,9	13,0	38,7	230,2
037	87,4	40,3	44,0	46,3	24,2	34,0	263,9
045	115,6	41,9	31,3	17,8	17,8	14,5	255,1
051	30,7	42,6	72,5	75,2	72,5	9,7	256,1

Таблица 10. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №5 в зимний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
017-3	178,9	12,9	7,3	12,0	6,1	9,4	226,5
033-3	0	0	0	0	0	<1	<1
073-3	0	0	0	0	0	<1	<1
101-3	17,6	8,4	9,5	19,0	8,2	4,0	66,7
115-3	7,5	11,2	15,9	60,5	16,0	4,9	116,0

Таблица 11. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №5 в летний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
017	102,8	17,7	23,0	35,2	22,8	19,8	230,4
033	187,3	24,9	48,0	68,7	21,7	13,8	262,3
073	63,5	22,7	22,4	54,3	56,8	48,3	270,3
101	98,7	40,1	29,3	45,6	21,6	11,0	257,6
115	68,9	36,2	31,0	47,5	27,9	19,2	237,0

Таблица 12. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №6 в зимний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
1	0	0	0	0	0	<1	<1
2	0	0	0	0	0	<1	<1
3	0	0	0	0	0	<1	<1
4	18,2	26,6	27,4	106,1	9,4	6,8	194,6
5	119,3	6,5	6,3	10,6	3,8	2,4	148,9

Таблица 13. Результаты гранулометрического анализа образцов, отобранных на экспериментальной площадке №6 в летний период

Номер пробы	Масса фракции, г						Сумма
	>1 мм	0,25-1 мм	0,1-0,25 мм	0,05-0,1 мм	0,01-0,05 мм	0,002-0,01 мм	
026	170,6	24,0	22,2	27,6	17,3	14,4	279,1
040	99,2	36,7	67,8	43,1	21,0	35,2	287,9
054	139,7	27,6	30,9	32,7	17,8	14,5	271,4
064	49,7	45,7	64,2	53,5	19,7	11,6	281,9
079	67,1	30,4	41,7	80,2	15,8	10,0	255,0

По данным гранулометрического анализа следует вывод, что распределение вещества по гранулометрическим фракциям в зимний и летний период неравномерно и неодинаково (рис. 13-14). В зимний период преобладает крупная фракция (>1 мм). Это обусловлено использованием мелкофракционного щебня и антигололедной посыпки в сезон отрицательных температур. Увеличение количества фракции 0,05-0,1 мм может быть обусловлено абразией дорожного покрытия шипами автомобилей. В летний период нет преобладания какой-либо фракции, отмечается общее увеличение

объема фракций. Так же преобладает фракция >1 мм. Источником частиц такого размера могут быть фрагменты зданий и сооружений, строительные материалы. Увеличение объема пылевой фракции обусловлено большим количеством пылящих поверхностей на территории города Екатеринбург.

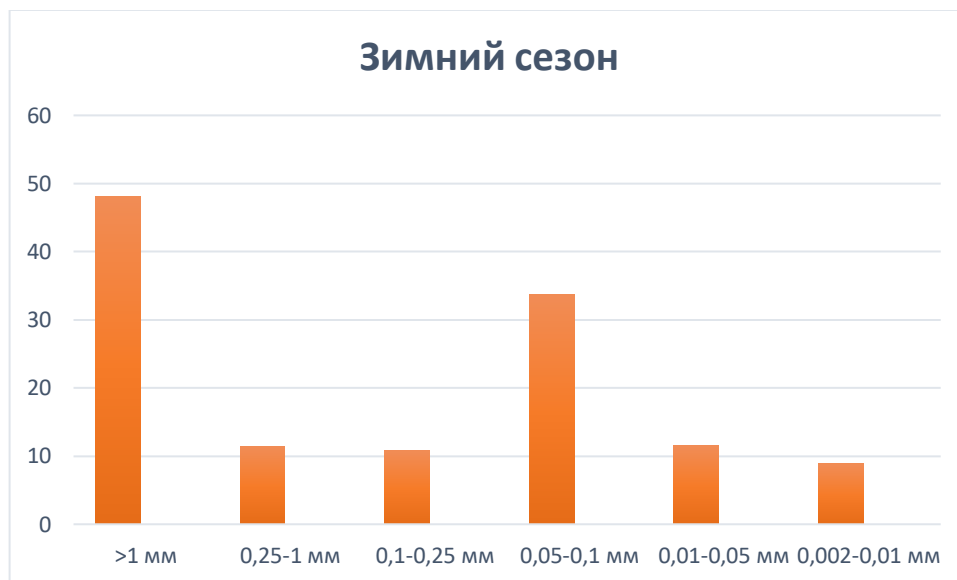


Рис. 13. Гранулометрический состав отложений, отобранных в зимний сезон



Рис. 14. Гранулометрический состав отложений, отобранных в летний сезон

4.2. Химический анализ проб поверхностного осадка

Химический анализ образцов проводился в Химико-аналитическом центре Института промышленной экологии. (ХАЦ ИПЭ УрО РАН) Общие концентрации элементов в гранулометрических образцах определяли с помощью масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ELAN 9000; Perkin Elmer Inc., США). Процедуры подготовки и анализа образцов проводились в соответствии с методикой измерения содержания металлов в твердых объектах с помощью спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, сертифицированной Государственным бюро по охране окружающей среды Российской Федерации [PND F 16.1: 2.3: 3.11-98, 1998 г.]. Твердые образцы были подготовлены для определения общего содержания элементов с использованием экстракции тремя кислотами (HNO_3 , HClO_4 и HF). Метод пробоподготовки аналогичен методу EPA-821-R-01-010 Агентства по охране окружающей среды США (US EPA) (2001). Процедура контроля качества измерений обеспечивалась использованием сертифицированных методик и аккредитации Химико-аналитического центра Института промышленной экологии Российской системой государственных аккредитационных лабораторий.

Результаты химического анализа

В таблицах 14-30 представлены результаты гранулометрического анализа проб, отобранных на экспериментальных площадках №1-6. Таблицы содержат номер пробы, гранулометрическую фракцию анализируемой навески и валовые содержания магния, алюминия, ванадия, хрома, марганца, железа, кобальта, никеля, меди, цинка, селена, олова, сурьмы и свинца с учетом погрешности.

Таблица 14. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в зимний период. Экспериментальная площадка №1.

№ пробы	057-3					
Элемент	Фракция, мм					
	>1мм	0,002-0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-1
Mg	44006±13202	99888±29966	98508±29552	89321±26796	84269±25281	72580±21774
Al	46414±12068	39772±10341	40789±10605	50202±13053	43874±11407	45515±11834
V	729±182	146±37	147±37	193±48	157±39	319±80
Cr	4407±881	473±95	544±109	729±146	1293±259	2075±415
Mn	20376±6113	868±261	889±267	1146±344	1909±573	6037±1811
Fe	117509±32903	41846±11717	44064±12338	52842±14796	45658±12784	73440±20563
Co	25±10	46±18	47±19	50±20	44±18	47±19
Ni	137±41	520±156	590±177	654±196	635±190	527±158
Cu	143±29	123±25	117±23	75±15	121±24	103±21
Zn	104±21	230±46	198±40	150±30	204±41	164±33
Se	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Sn	4±2	6±2	4±2	2±1	1±1	2±1
Sb	1±0	3±1	2±1	1±1	1±1	1±1
Pb	5±1	20±5	18±4	14±3	18±4	11±3
№ пробы	065-3					
Элемент	Фракция, мм					
	>1мм	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-1	
Mg	69705±20911	111443±33433	111233±33370	85318±25595	80807±24242	
Al	64681±16817	45896±11933	47405±12325	45959±11949	46947±12206	
V	231±58	169±42	164±41	134±34	160±40	
Cr	1016±203	577±115	614±123	917±183	1178±236	
Mn	1807±542	855±256	804±241	733±220	1201±360	
Fe	51623±14455	48670±13627	49151±13762	40790±11421	53395±14951	
Co	43±17	54±22	52±21	48±19	53±21	
Ni	455±136	669±201	664±199	690±207	614±184	
Cu	109±22	123±25	123±25	86±17	69±14	
Zn	81±16	181±36	170±34	80±16	125±25	
Se	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
Sn	1±0	5±2	4±2	1±0	1±0	
Sb	1±0	3±2	2±1	1±1	1±1	
Pb	7±2	17±4	17±4	12±3	6±2	

Таблица 15. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в летний период. Экспериментальная площадка №1

№ пробы	057			
	Фракция, мм			
	>1	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-1
Mg	35691±10707	51148±15344	37493±11248	26244±7873
Al	59288±15415	56047±14572	53075±13800	46872±12187
V	74±19	152±38	82±21	52±13
Cr	519±104	389±78	467±93	1092±218
Mn	1035±311	871±261	714±214	702±211
Fe	38760±10853	35779±10018	38391±10750	28656±8024
Co	23±9	34±14	25±10	21±8
Ni	277±83	368±129	250±75	234±70
Cu	42±8	126±25	96±19	54±11
Zn	135±27	282±56	214±43	106±21
Se	<0,10	<0,001	<0,10	<0,10
Sn	2±1	5±2	3±1	2±1
Sb	0,9±0,4	1±1	0,9±0,5	0,6±0,3
Pb	24±6	41±10	31±8	28±7

Таблица 16. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в летний период. Экспериментальная площадка №1

№ пробы	065		
	Фракция, мм		
	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-1
Mg	71193±21358	61849±18555	61297±18389
Al	52034±13529	55699±14482	49674±12915
V	134±33	83±21	81±20
Cr	511±102	492±98	998±200
Mn	691±207	600±180	665±199
Fe	35036±9810	29220±8182	32379±9066
Co	40±16	31±13	33±13
Ni	476±167	418±125	447±134
Cu	258±52	118±24	126±25
Zn	202±40	85±17	112±22
Se	<0,001	<0,10	<0,10
Sn	4±1	1±0	2±1
Sb	2±1	0,7±0,4	1±1
Pb	30±7	22±6	27±7

Таблица 17. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в зимний период. Экспериментальная площадка №2

№ пробы	029-3		
Элемент	Фракция, мм		
	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-1
Mg	54488±16346	48545±14563	53828±16148
Al	53572±13929	62465±16241	60208±15654
V	125±31	99±25	64±16
Cr	365±73	1461±292	1445±289
Mn	731±219	678±203	651±195
Fe	34876±9765	36018±10085	34044±9532
Co	34±13	28±11	30±12
Ni	404±121	369±111	430±129
Cu	92±18	73±15	86±17
Zn	199±40	130±26	96±19
Se	<0,10	<0,10	<0,10
Sn	4±2	2±1	2±1
Sb	2±1	1±0	1±0
Pb	27±7	29±7	16±4

Таблица 18. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в зимний период. Экспериментальная площадка №2

№ пробы	043-3		
Элемент	Фракция, мм		
	>1мм	0,05-0,1	0,1-0,25
Mg	50908±15272	52782±15835	65241±19572
Al	81998±21319	61810±16071	79923±20780
V	709±177	430±107	713±178
Cr	151±30	193±39	387±77
Mn	1226±368	887±266	1036±311
Fe	89871±25164	61968±17351	87572±24520
Co	59±23	46±19	61±24
Ni	46±14	193±58	102±31
Cu	350±70	295±59	263±53
Zn	72±14	147±29	118±24
Se	<0,10	<0,10	<0,10
Sn	0±0	2±1	1±0
Sb	0±0	1±1	0±0
Pb	1±0	14±4	5±1

Таблица 19. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в летний период. Экспериментальная площадка №2

№ пробы	029			
	Фракция, мм			
	>1	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-1
Mg	83525±25058	52305±15691	63354±19006	68269±20481
Al	60428±15711	73298±19057	68818±17893	64854±16862
V	185±46	265±66	215±54	164±41
Cr	876±175	453±91	1016±203	841±168
Mn	2704±811	1472±441	1250±375	1528±458
Fe	53366±14942	58002±16241	55113±15432	46563±13038
Co	41±16	43±17	41±16	39±15
Ni	451±135	297±104	328±98	382±115
Cu	67±13	350±70	78±16	81±16
Zn	91±18	203±41	94±19	76±15
Se	<0,10	<0,001	<0,10	<0,10
Sn	1±0	3±1	4±2	2±1
Sb	0,9±0,4	1±1	1±1	1±1
Pb	20±5	39±10	36±9	19±5

Таблица 20. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в летний период. Экспериментальная площадка №2

№ пробы	043		
	Фракция, мм		
	>1	0,05-0,1	0,1-0,25
Mg	60718±18215	50534±15160	53059±15918
Al	70730±18390	60953±15848	68118±17711
V	287±72	153±38	128±32
Cr	425±85	421±84	1046±209
Mn	949±285	796±239	644±193
Fe	63667±17827	38823±10870	37562±10517
Co	40±16	32±13	28±11
Ni	338±101	323±113	285±85
Cu	161±32	157±31	93±19
Zn	134±27	162±32	100±20
Se	<0,10	<0,001	<0,10
Sn	1±1	3±1	2±1
Sb	1±1	1±1	1±1
Pb	14±3	22±6	22±6

Таблица 21. Валовые содержания элементов, мг/кг, в пробах. Отбор в зимний период. Экспериментальная площадка №3

№ пробы	001-3		003-3
	Фракция, мм		Фракция, мм
	0,05-0,1	0,1-0,25	0,05-0,1
Mg	81626±24488	93908±28172	87400±26220
Al	44246±11504	44313±11522	43920±11419
V	154±39	176±44	134±33
Cr	556±111	1704±341	529±106
Mn	722±217	863±259	781±234
Fe	43348±12137	50944±14264	40815±11428
Co	44±18	52±21	50±20
Ni	610±183	657±197	692±208
Cu	180±36	213±43	163±33
Zn	286±57	217±43	181±36
Se	<0,10	<0,10	<0,10
Sn	5±2	5±2	5±2
Sb	3±1	3±1	2±1
Pb	34±8	29±7	23±6

Таблица 22. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в летний период. Экспериментальная площадка №3

№ пробы	001			
	Фракция, мм			
	>1	0,002-0,01	0,01-0,05	0,05-0,1
Mg	61021±18306	64843±19453	57077±17123	58359±17508
Al	76542±19901	68982±17935	62235±16181	57283±14894
V	184±46	164±41	152±38	147±37
Cr	395±79	364±73	350±70	449±90
Mn	805±242	854±256	820±246	769±231
Fe	43065±12058	45899±12852	40064±11218	41459±11609
Co	32±13	42±17	39±16	36±14
Ni	254±76	480±168	443±155	387±135
Cu	74±15	329±66	274±55	313±63
Zn	82±16	383±77	309±62	206±41
Se	<0,10	2±1	1±0,5	<0,001
Sn	2±1	6±2	5±2	4±2
Sb	0,6±0,3	3±2	3±1	2±1
Pb	13±3	53±13	47±12	30±8

Таблица 23. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в летний период. Экспериментальная площадка №3

№ пробы	003					
	Фракция, мм					
	>1	0,002-0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-1
Mg	170701±51210	78277±23483	91751±27525	84659±25398	108095±32428	115600±34680
Al	43713±11365	50917±13238	59750±15535	50162±13042	51142±13297	44341±11529
V	126±32	130±33	151±38	155±39	110±27	107±27
Cr	1694±339	463±93	645±129	554±111	785±157	1431±286
Mn	985±296	924±277	1042±313	769±231	749±225	827±248
Fe	49637±13898	39944±11184	43978±12314	38674±10829	45214±12660	42138±11799
Co	67±27	47±19	56±22	47±19	43±17	48±19
Ni	1020±306	636±223	754±264	611±214	562±169	666±200
Cu	137±27	357±71	330±66	179±36	145±29	153±31
Zn	121±24	466±93	383±77	214±43	158±32	161±32
Se	<0,10	<0,001	<0,001	<0,001	<0,10	<0,10
Sn	3±1	12±5	11±4	10±4	4±2	4±2
Sb	2±1	6±3	5±3	2±1	2±1	3±2
Pb	16±4	46±12	49±12	41±10	26±6	23±6

Таблица 24. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в зимний период. Экспериментальная площадка №4

№ пробы	031-3			051-3	
	Фракция, мм			Фракция, мм	
	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-1	>1мм	0,05-0,1
Mg	70660±21198	85947±25784	98319±29496	48833±14650	72757±21827
Al	43901±11414	47749±12415	40559±10545	78936±20523	52518±13655
V	138±35	121±30	115±29	587±147	303±76
Cr	478±96	1047±209	1420±284	134±27	353±71
Mn	774±232	875±262	1022±307	1171±351	833±250
Fe	41898±11732	41583±11643	47365±13262	77954±21827	57948±16225
Co	42±17	49±20	56±23	54±22	47±19
Ni	528±158	604±181	697±209	60±18	389±117
Cu	104±21	117±23	91±18	384±77	277±55
Zn	176±35	141±28	113±23	88±18	222±44
Se	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Sn	4±2	4±1	8±3	0±0	7±3
Sb	2±1	1±1	1±0	0±0	6±3
Pb	27±7	23±6	14±3	16±4	32±8

Таблица 25. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в летний период. Экспериментальная площадка №4

№ пробы	011		031			
	Фракция, мм		Фракция, мм			
	>1	0,05-0,1	>1	0,002-0,01	0,01-0,05	0,05-0,1
Mg	105513±31654	60780±18234	127416±38225	69060±20718	66040±19812	72040±21612
Al	55898±14533	56057±14575	55892±14532	59996±15599	57385±14920	54348±14131
V	142±35	164±41	111±28	145±36	145±36	146±36
Cr	636±127	355±71	1143±229	398±80	399±80	541±108
Mn	955±287	946±284	763±229	1143±343	980±294	849±255
Fe	49081±13743	42608±11930	41901±11732	44812±12547	41349±11578	43100±12068
Co	45±18	36±15	47±19	44±18	42±17	41±16
Ni	565±169	354±124	695±208	559±196	529±185	508±178
Cu	76±15	358±72	78±16	391±78	264±53	375±75
Zn	165±33	292±58	184±37	553±111	384±77	336±67
Se	<0,10	<0,001	<0,10	0,4±0,2	<0,001	<0,001
Sn	2±1	6±2	4±1	9±4	7±3	5±2
Sb	1±1	2±1	5±2	4±2	3±2	3±1
Pb	28±7	41±10	28±7	75±19	53±13	45±11

Таблица 26. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в зимний период. Экспериментальная площадка №5

№ пробы	101-3		
	Фракция, мм		
	>1мм	0,05-0,1	0,1-0,25
Mg	86176±25853	68263±20479	71097±21329
Al	47676±12396	46422±12070	45157±11741
V	267±67	149±37	120±30
Cr	1265±253	469±94	1408±282
Mn	997±299	728±218	672±202
Fe	57217±16021	41661±11665	39286±11000
Co	54±22	41±16	38±15
Ni	622±187	508±152	503±151
Cu	234±47	118±24	106±21
Zn	63±13	182±36	173±35
Se	<0,10	<0,10	<0,10
Sn	1±0	4±2	3±1
Sb	1±0	3±2	2±1
Pb	4±1	26±6	26±7

Таблица 27. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в зимний период. Экспериментальная площадка №5

№ пробы	115-3			
	Фракция, мм			
	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-1
Mg	105692±31708	81676±24503	89863±26959	88271±26481
Al	50421±13109	44494±11568	48004±12481	51786±13464
V	171±43	145±36	155±39	210±52
Cr	529±106	500±100	1119±224	1630±326
Mn	848±254	743±223	811±243	1323±397
Fe	47845±13397	42295±11843	43781±12259	63817±17869
Co	52±21	44±17	47±19	55±22
Ni	611±183	560±168	603±181	552±166
Cu	153±31	131±26	118±24	129±26
Zn	198±40	152±30	98±20	111±22
Se	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Sn	10±4	5±2	1±1	5±2
Sb	4±2	3±1	1±1	1±0
Pb	26±6	21±5	13±3	10±2

Таблица 28. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в летний период. Экспериментальная площадка №5

№ пробы	017		033	
	Фракция, мм		Фракция, мм	
	>1	0,05-0,1	>1	0,05-0,1
Mg	141062±42319	81818±24545	176138±52841	87591±26277
Al	39976±10394	48792±12686	29537±7680	47052±12233
V	158±39	160±40	80±20	131±33
Cr	1212±242	572±114	1209±242	532±106
Mn	895±269	837±251	738±221	753±226
Fe	45049±12614	44919±12577	38674±10829	41050±11494
Co	58±23	44±18	65±26	45±18
Ni	909±273	559±196	1163±349	545±191
Cu	115±23	313±63	31±6	190±38
Zn	177±35	272±54	91±18	202±40
Se	<0,10	<0,001	<0,10	<0,001
Sn	4±2	7±3	1±0	4±2
Sb	2±1	3±1	1±1	2±1
Pb	22±6	34±9	10±3	27±7

Таблица 29. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в зимний период. Экспериментальная площадка №6

№ пробы	4					5
	Фракция, мм					Фракция, мм
	0,002-0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-1	>1мм
Mg	120392±36118	129403±38821	95246±28574	125766±37730	136297±40889	13662±4099
Al	43301±11258	42591±11074	33911±8817	40582±10551	44003±11441	76409±19866
V	153±38	156±39	126±31	136±34	156±39	121±30
Cr	583±117	662±132	564±113	1123±225	1444±289	309±62
Mn	821±246	826±248	728±218	846±254	1283±385	425±127
Fe	47290±13241	49096±13747	41101±11508	45663±12786	59588±16685	25533±7149
Co	50±20	55±22	47±19	59±24	71±28	14±5
Ni	632±190	744±223	654±196	896±269	986±296	42±13
Cu	155±31	146±29	117±23	89±18	90±18	118±24
Zn	177±35	167±33	135±27	77±15	112±22	54±11
Se	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Sn	4±2	4±1	3±1	1±0	2±1	1±0
Sb	3±2	3±2	2±1	1±1	1±1	0±0
Pb	25±6	22±5	16±4	10±2	8±2	25±6

Таблица 30. Валовые содержания элементов, мг/кг. Отбор в летний период. Экспериментальная площадка №6

№ пробы	040				
	Фракция, мм				
	>1	0,002-0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,25
Mg	75411±22623	21875±6563	23870±7161	23291±6987	9262±2779
Al	54493±14168	73077±19000	81696±21241	62363±16214	26152±6800
V	170±43	175±44	191±48	151±38	52±13
Cr	508±102	210±42	234±47	227±45	1128±226
Mn	1028±308	949±285	1005±301	1113±334	384±115
Fe	40912±11455	41326±11571	44923±12578	37609±10530	22872±6404
Co	42±17	24±10	26±10	24±10	11±5
Ni	488±146	165±58	180±63	138±48	84±25
Cu	61±12	334±67	427±85	240±48	51±10
Zn	204±41	527±105	594±119	357±71	68±14
Se	<0,10	1±0,4	5±2	<0,001	<0,10
Sn	2±1	4±1	4±2	3±1	1±1
Sb	1±1	2±1	2±1	1±1	0,6±0,3
Pb	29±7	59±15	64±16	49±12	27±7

По данным химического анализа отмечена корреляция между такими парами элементов, как: Ni-Co, Fe-Cr, V-Fe (рис 15-17). Точки на графике, значительно отклоняющиеся от линии тренда, отражают антропогенное загрязнение, в том числе шлаковыми частицами. Искомой корреляции между Cu и Zn не обнаружено (рис. 18). Это связано с тем, что в поверхностном осадке отсутствуют минеральные ассоциации Cu-Zn-Pb, но присутствуют шлаковые частицы, имеющие в своем составе один из этих элементов, и латунная стружка, используемая в конструкции автомобильного транспорта.

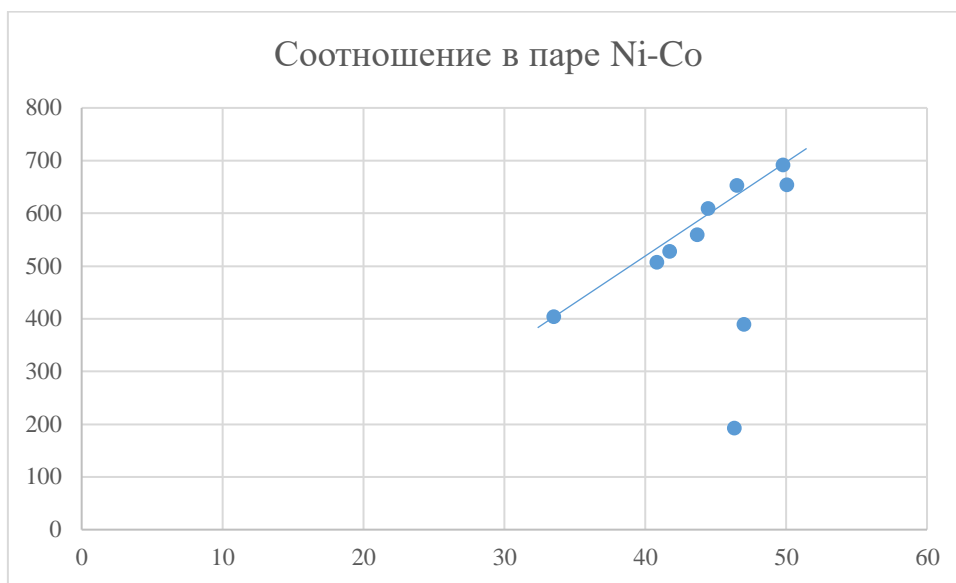


Рис. 15. Соотношение элементов в паре Ni-Co

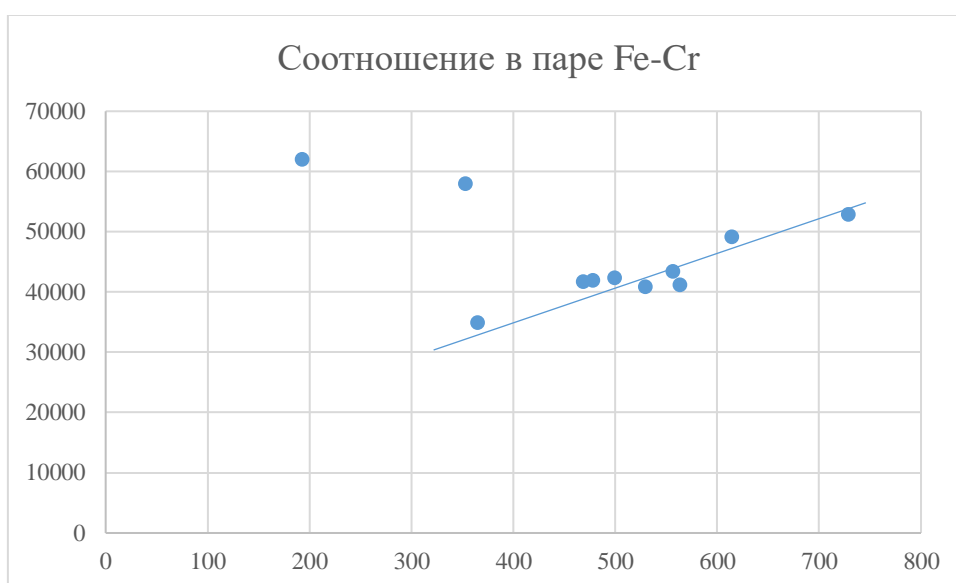


Рис. 16. Соотношение элементов в паре Fe-Cr

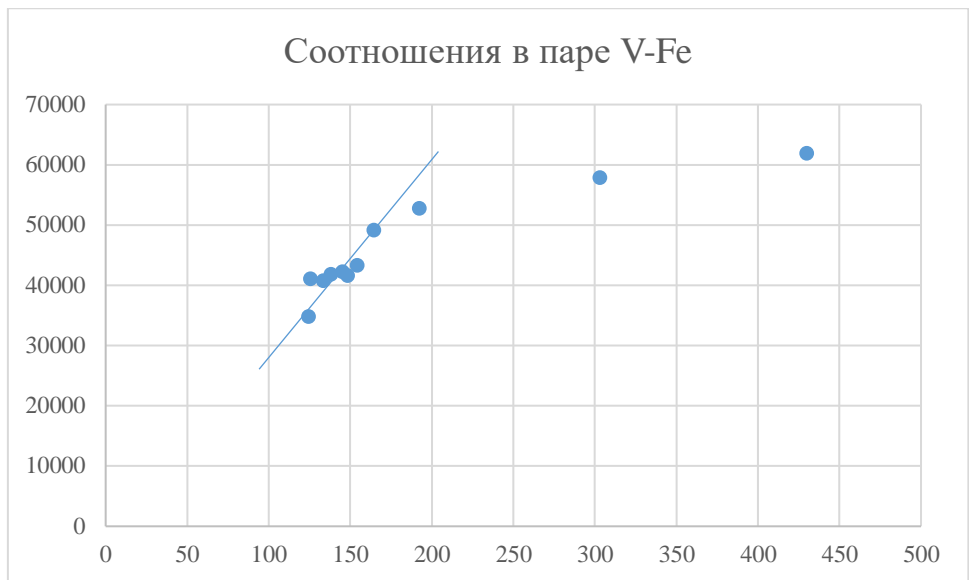


Рис. 17. Соотношение элементов в паре V-Fe

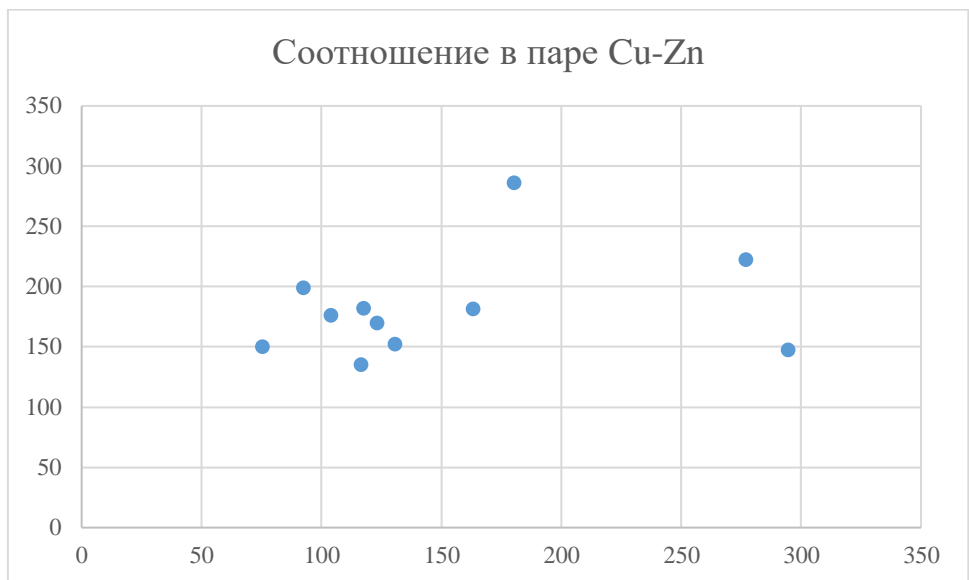


Рис. 18. Соотношение элементов в паре Cu-Zn

4.3. Оптические методы исследований

Под бинокулярным микроскопом МБС-10 проводилось определение минерального состава фракций 0,1-0,25 мм и 0,25-1 мм, выделялись техногенные образования, фрагменты органики и минеральные монофракции. Для диагностики использовались такие внешние признаки минералов как: морфология кристаллов, строение агрегатов, блеск, цвет минерала, цвет черты, твердость, спайность и/или отдельность, магнитные свойства. Частицы и монофракции минералов фотографировались с помощью оптического микроскопа AxioPlan 2 фирмы Carl Zeiss и бинокулярного микроскопа МБС-10, оснащенных фотоаппаратом Olympus C-5060.

В ходе работы были выделены следующие основные минералы:

1) Кварц. Окатанные зерна, бесцветные или белого цвета. Прозрачность варьирует от непрозрачных до почти прозрачных. Зерна характеризуются наличием залеченных трещин. Неокатанные зерна характеризуются раковистым изломом.

2) Группа полевых шпатов. Зерна плагиоклазов, калиевых полевых шпатов. Зерна имеют слегка удлиненную форму, в некоторых проявляется совершенная спайность. Цвет зерен от белого до слегка розоватого.

3) Группа амфиболов. Удлиненные зерна черного или темно-зеленого цвета. Часто наблюдаются грани кристаллов и совершенная спайность. В пробах, отобранных с проезжей части или газонов, наблюдаются волокна асбеста.

4) Группа слюд. Пластинчатые кристаллы биотита и мусковита. Цвет кристаллов от светло-коричневого до черного. Пластинки обладают высокой упругостью. При исследовании с помощью СЭМ в кристаллах биотита были обнаружены включения кристаллов циркона.

5) Магнетит. Кристаллы черного цвета, часто с острыми гранями. Магнетит выделялся отдельно в магнитную фракцию с использованием магнита Сочнева.

6) Лимонит и гидроокислы железа. Светло-желтые охристые образования, обладающие низкой твердостью и высокой хрупкостью.

7) Другие минералы. К ним относятся минералы, встречающиеся редко и/или не во всех пробах. Тальк – хорошо окатанные частицы светло зеленого цвета с низкой твердостью. Минералы группы гранатов – хорошо окатанные зерна красновато-коричневого цвета с высокой твердостью. Эпидот – светло-зеленые слегка удлиненные кристаллы.

8) Органические включения: торф, органические остатки, листва, трава и т.п. (рис. 26-27).

9) Строительные материалы: кирпич, штукатурка, частицы гранита, мрамора, габбро, битум.

10) Зола и техногенные частицы: золошлаки, сферические частицы (рис. 28-29).

На рисунках представлены монофракции светлоокрашенных минералов, монофракции темноокрашенных минералов, монофракции магнитных минералов, монофракции органического вещества, монофракции техногенных частиц (рис. 19-29).

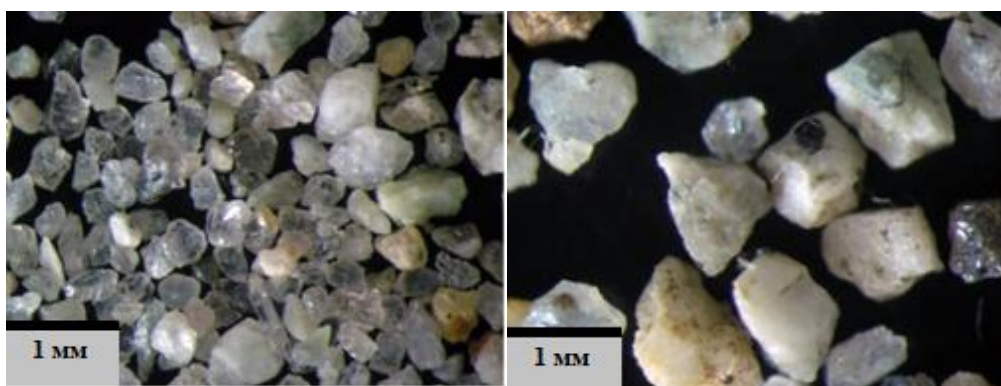


Рис 19-20. Монофракции светлоокрашенных минералов (пробы №057-3, 037-3)

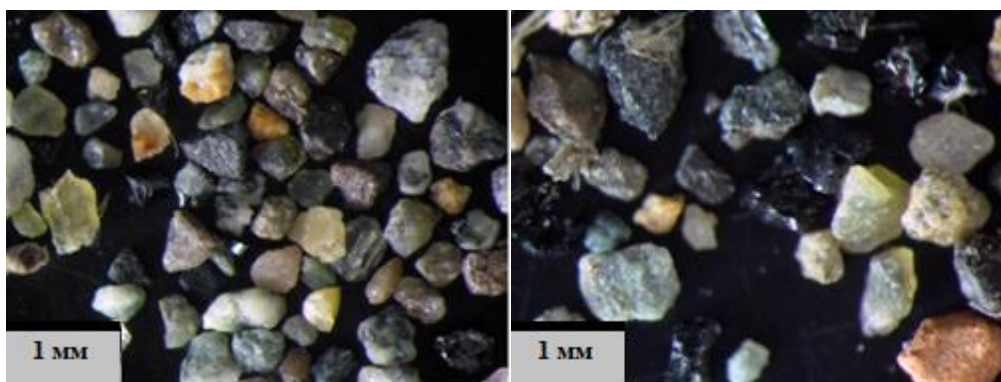


Рис. 21-22. Монофракции темноокрашенных минералов (пробы №057-3, 037-3)

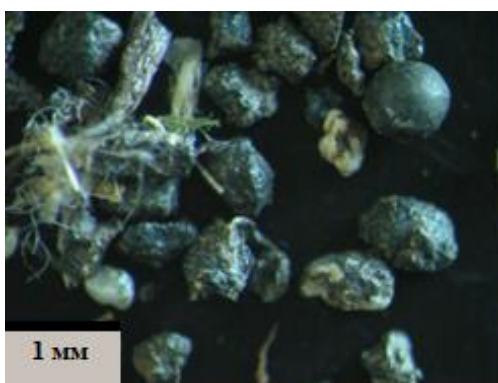
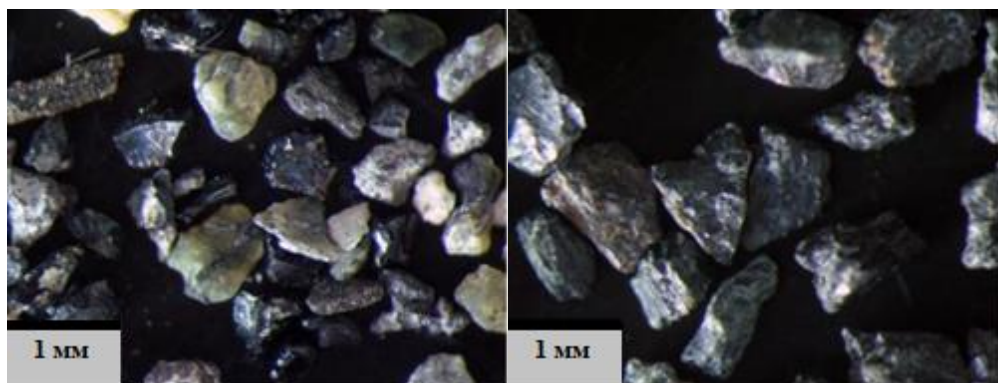


Рис. 23-25. Монофракции магнитных минералов (пробы №057-3, 043-3, 054-3)

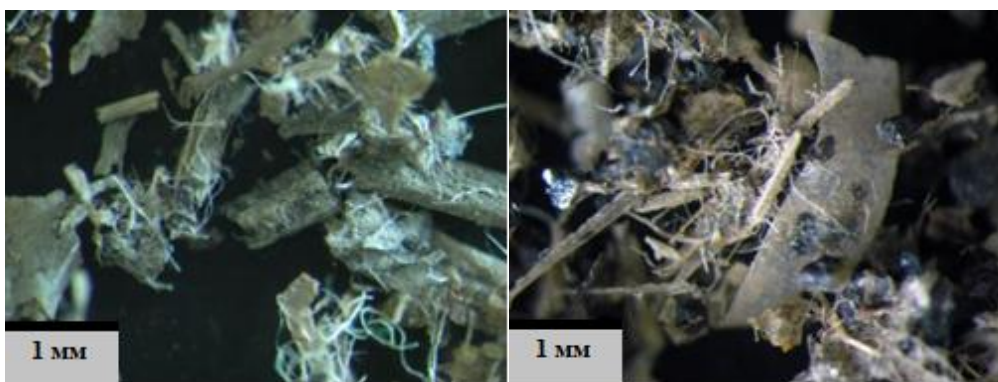


Рис. 26-27. Монофракции органического вещества (пробы № 035-3, 099)

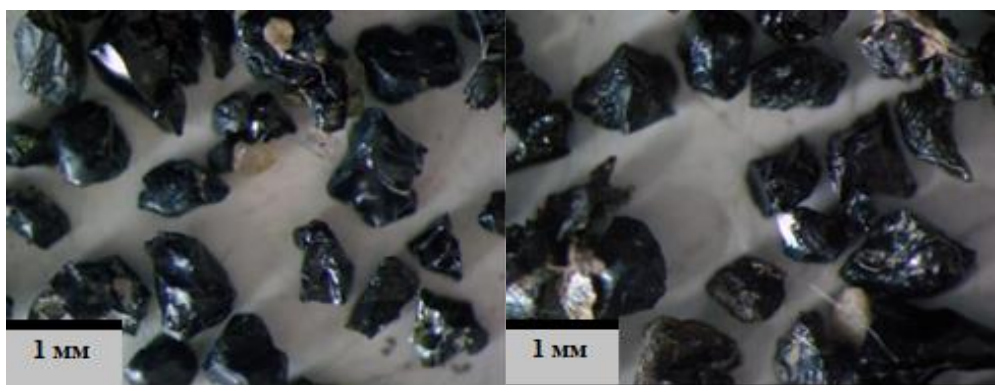


Рис. 28-29. Монофракции техногенных частиц (пробы № 051-3, 057)

Методы оптической микроскопии и визуальной диагностики были использованы для выделения техногенных частиц из навески. С помощью методов визуальной диагностики определялись следующие внешние признаки частиц: морфология частиц (в т.ч. степень окатанности), цвет и прозрачность, размер частиц. Форма частиц определяется генезисом и временем нахождения частицы в осадке. Цвет и прозрачность частиц напрямую зависят от их химического состава и преобладания тех или иных оксидов. Размер частиц указан в мкм, верхняя граница размерности составляет 1000 мкм. Это обусловлено размером отверстий сит, используемых при гранулометрическом анализе проб. Минимальный размер частиц установлен с помощью методов СЭМ. Для обобщения полученной информации мною была составлена классификация техногенных частиц [Илгашева и др., 2018], в которой кроме внешних признаков представлен химический состав, полученный с помощью ЭДС, и уточнен генезис частиц. Генезис определяет, прежде всего, такие параметры, как температура образования частицы и химический состав сырья для ее получения. К этому критерию можно отнести скорость остывания сырья, и особенности процесса кристаллизации. Исходя из этих данных, был сделан вывод по принадлежности частиц к определенному классу (табл. 31).

Таблица 31. Классификация техногенных частиц в поверхностном осадке (начало)

Класс	Морфология	Цвет, прозрачность	Размер (min-max), мкм	Генезис
Шлаковая стекловидная	Частицы со стекловидной структурой и раковистым изломом, слабо или плохо окатанные обломки	Черные, темно-коричневые, темно-зеленые, серые, светло-желтые до бесцветных, прозрачные и полупрозрачные	500-2000	Сжигание топлива высокой зольности, быстрое охлаждение водой или воздухом
Шлаковая камневидная	Камневидные частицы, часто с пористой структурой, кристаллизованные, обломки хорошо и средне окатанные.	Серые, темно-коричневые, темно-зеленые, просвечивают в тонких сколах или непрозрачные	500-800	Сжигание топлива высокой зольности, медленное остывание, которое ведет к кристаллизации
Микросферы силикатные	Форма частиц сферическая, слегка сплюснутая или деформированная. Поверхность корродирована, видны углубления и трещины.	Черные, темно-коричневые; со стекляннным блеском, непрозрачные или бесцветные полупрозрачные с сильным стекляннным блеском.	450-1000	Сгорание высокозольного сырья (1500-1700°C)
Микросферы железистые (в т.ч. магнетитовые сферулы)	Сферы, с ровной поверхностью “такырного” типа или с растресканной призматической текстурной поверхностью	Стального-серого цвета, часто с тонкими пленками оксидов железа, непрозрачные.	3-800	Металлургическое производство
Обломки строительных материалов. Кирпич	Хорошо или совершенно окатанные обломки, состоящие из нескольких компонентов (Q, глинистый материал, белила)	Красно-коричневые, темно-красные с вкрапленниками, непрозрачные.	500-700	Разрушение строительных материалов
Обломки строительных материалов. Штукатурка	Тонкие, уплощенные частицы, отличающиеся высокой хрупкостью. Степень окатанности не определяется	От светло-серого до белого цвета, непрозрачные, матовые.	500-800	Разрушение строительных материалов
Тарное стекло	Стекловидные обломки с раковистым изломом, в зависимости от времени нахождения в осадке степень окатанности от плохо до совершенно окатанных обломков	Бесцветные, желтые, голубые, зеленые, прозрачные.	500-1000	Бытовой мусор

Таблица 31. Классификация техногенных частиц в поверхностном осадке (окончание)

Фольга	Тонкие, легко поддающиеся деформации пленки. Степень окатанности не определяется	Стальной серый цвет с сильным металлическим блеском, непрозрачные	900-1000	Фрагменты алюминиевой фольги
Шины	Гладкие частицы, характеризуются высокой упругостью	Черного цвета непрозрачные с матовым блеском	200-800	Автомобильные шины
Угольная пыль	Разнообразие морфологии, полуоплавленные и полуокатанные частицы	Черные с сильным матовым, полуматовым или блестящим блеском, непрозрачные	100-1000	Сжигание древесного угля
Фрикционный материал	Тонкодисперсные частицы силиката циркония, сульфида железа и вермикулита в общей гидрослюдяистой массе	Серого или серовато-желтого цвета, неотличимы от глинистых осадков	1-10	Эксплуатация тормозных колодок
Фрагменты тормозных систем автомобилей	Металлические обломки неправильной остроугольной формы	Стального-серого цвета с металлическим блеском, непрозрачные	500-1000	Тормозные диски автомобилей

Шлаковые стекловидные частицы. Как видно на рисунках 30-31, это угловатые, полупрозрачные или непрозрачные образования черного, темно-зеленого или темно-коричневого цвета. Структура таких частиц стекловидная. Характеризуются раковистым изломом. Размер частиц колеблется от 500 до 1000 мкм. За счет высокой вязкости расплава они застывают в виде аморфного тела - стекла.

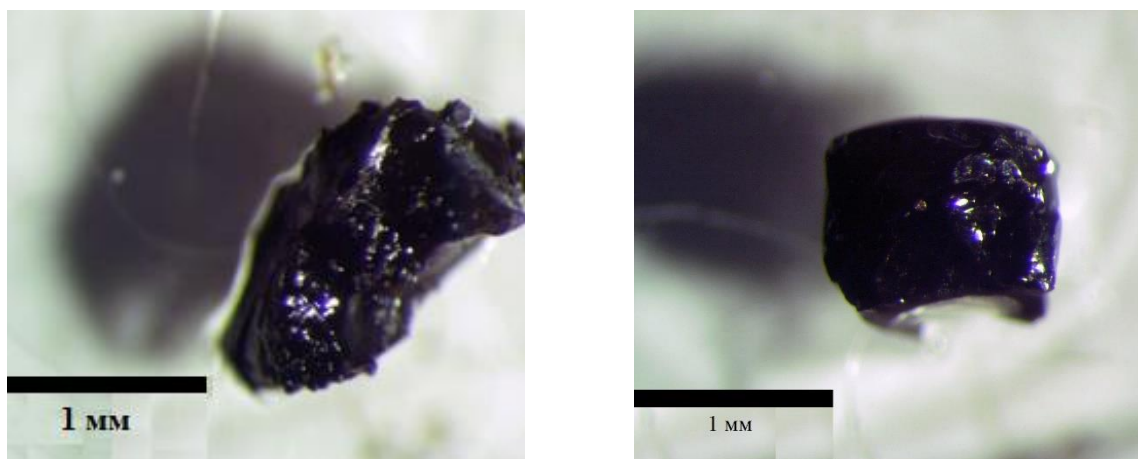


Рис. 30-31. Шлаковые стекловидные частицы
(фото с бинокулярного микроскопа)

Камневидные шлаковые частицы. Такие частицы представлены на рисунках 32-33. Это полупрозрачные до непрозрачных, хорошо или слабо окатанные образования, серого, темно-коричневого, темно-зеленого цвета. Часто с пористой или вкрапленной структурой. Размер частиц составляет 500-800 мкм.

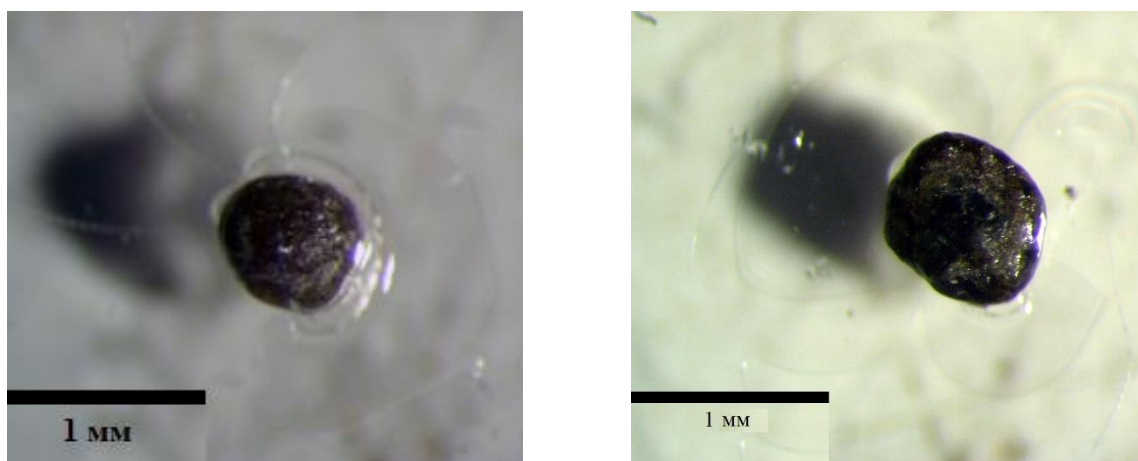


Рис. 32-33. Шлаковые камневидные частицы
(фото с бинокулярного микроскопа)

Микросферы. В зависимости от химического состава, микросферы могут быть разделены на две группы: силикатные (рис. 34-37) и железистые. Силикатные микросферы или алюмосиликатные полые микросферы (АСПМ) - это стекловидные алюмосиликатные шарики, которые образуются при высокотемпературном факельном сжигании угля или другого топлива высокой зольности. Являются самыми ценными компонентами зольных отходов тепловых электростанций [Л. Кизильштейн, 2008].

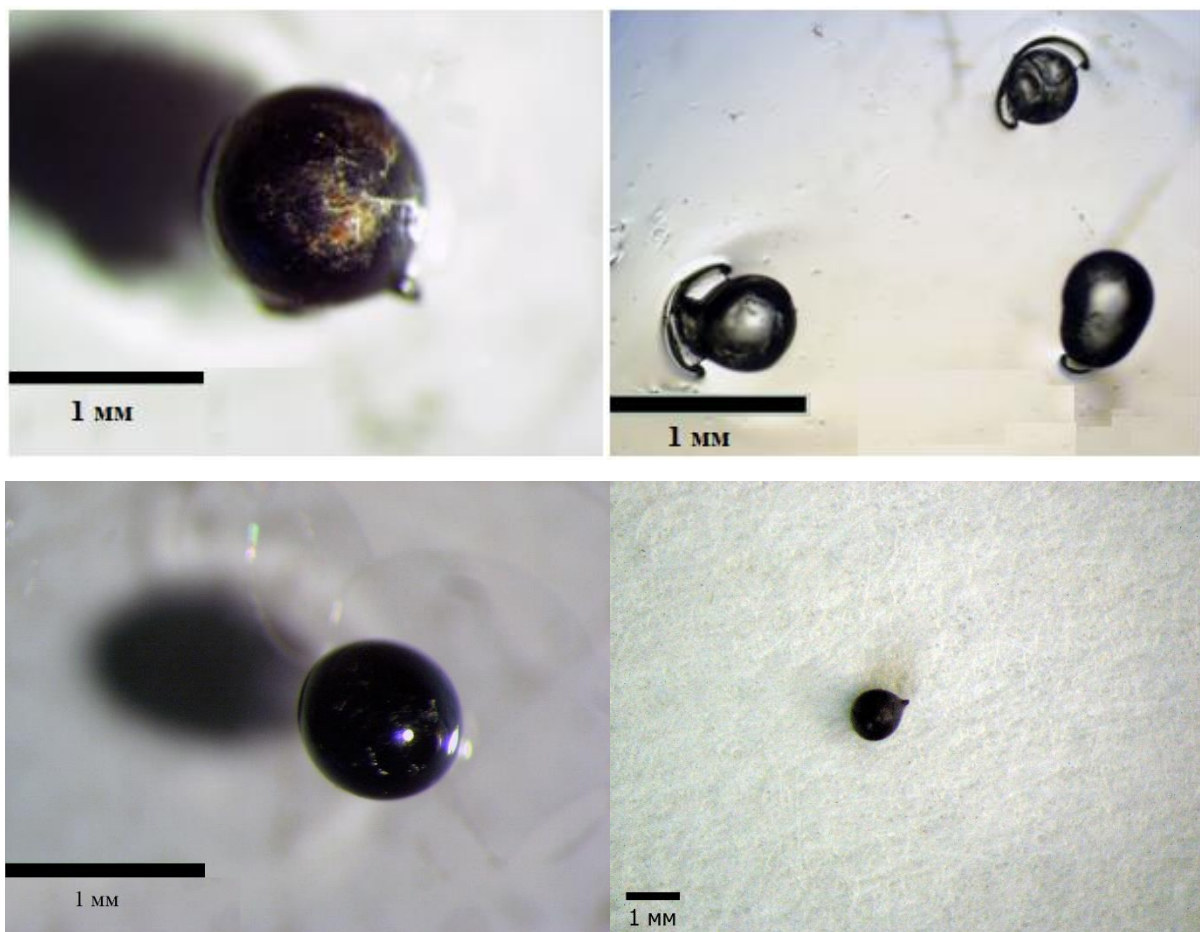


Рис. 34-37. Силикатные микросферы
(слева фото с бинокулярного микроскопа)

Строительные материалы. К строительным материалам относятся фрагменты керамического кирпича, штукатурки и бетона. На рисунках 38-39 приведен пример керамического кирпича, который имеет характерный красновато-коричневый цвет. Такие частицы характеризуются хорошей степенью окатанности. Размер обломков в пробах составляет 500-700 мкм.

Частицы штукатурки тонкие, уплощенные. Характеризуются высокой хрупкостью. Цвет частиц светло-серый до белого. Размер частиц в пробах редко превышает 800 мкм. Из-за повышенной хрупкости, при подготовке проб, более крупные частицы могли быть раздроблены.



Рис. 38-39. Обломок строительных материалов: кирпич
(фото с бинокулярного микроскопа)

Тарное стекло. Осколки и фрагменты тарного стекла представлены на рисунках 40-41. Это бесцветные, желтые, голубые или зеленые прозрачные частицы. Размер обломков составляет 500-1000 мкм.

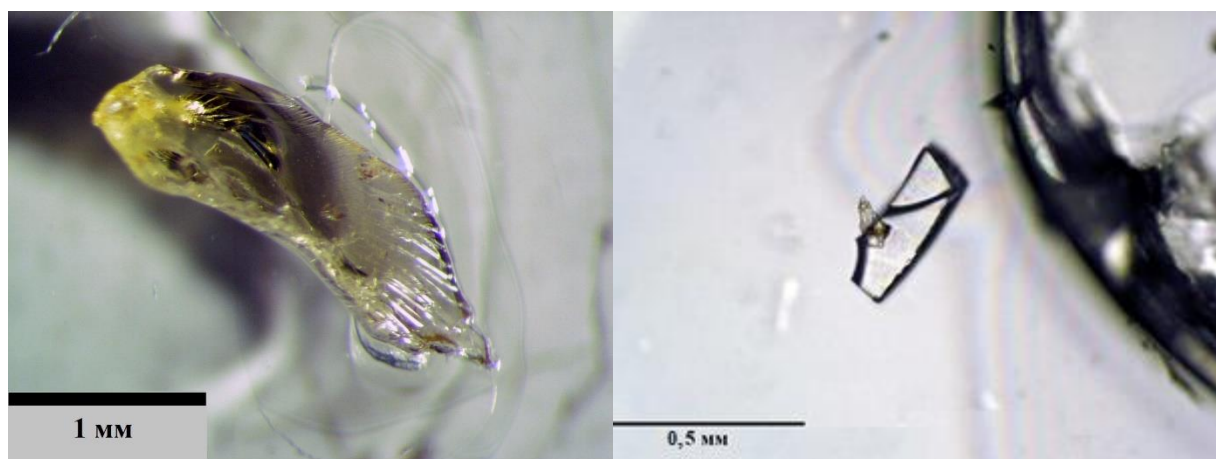


Рис. 40-41. Тарное стекло
(фото с бинокулярного микроскопа)

Алюминиевая фольга. Фрагменты фольги представлены тонкими пленками стального серого цвета с сильным металлическим блеском. Размер частиц составляет 800-1000 мкм. Легко царапаются иглой и деформируются.

Автомобильные шины. Фрагменты автомобильных шин удлиненные, черного или темно-серого цвета, с гладкой матовой поверхностью. Размер составляет от 200 до 2000 мкм (рис. 42). Обладают хорошей упругостью.



Рис. 42. Частицы автомобильных шин
(фото с бинокулярного микроскопа)

Угольные частицы. В пробах, отобранных в зимний период, наблюдаются угольные частицы (рис. 43). Их исследование с помощью СЭМ затруднено, т.к. точное содержание углерода установить невозможно. Однако, химический состав, характеризующийся высокими содержаниями углерода, примесями оксидов кальция, фосфора и наличием серы, указывает на происхождение частиц.



Рис. 43. Частицы древесного угля
(фото с бинокулярного микроскопа)

4.4. Минеральный анализ проб поверхностного осадка

Изучение минерального состава поверхностных отложений разделяется на два основных направления:

- изучение унаследованных минералов, т.е. сохранившихся в горной породе после формирования на ее поверхности культурного слоя, или вследствие изменения горной породы техногенными процессами;
- изучение новообразованных, т.е. аутигенных минералов, генезис которых связан с воздействием человека на окружающую среду (горную породу и почву), с привнесом, изменением и разложением (разрушением, окислением) различных антропогенных включений.

Унаследованные минералы могут дать определенную информацию о степени изменения субстрата, антропогенном воздействии на него, их изучение позволяет более точно установить «остаточный минеральный состав». Сохранность минералов в урбофациях связано с их устойчивостью к выветриванию, гидролизу, гидратации и растворению. Диагенетические минералы, характерные для ряда четвертичных горных пород, например, кальцит или гипс, обладают лишь определенной устойчивостью, и их присутствие в культурном слое зависит от климатических и/или гидрологических факторов. В большинстве случаев унаследованные минералы представлены кварцем, халцедоном, полевыми шпатами, небольшим количеством пироксенов, мусковитом, глауконитом, а также минералами тяжелых фракций (магнетитом, ильменитом, оксидами и гидроксидами железа). В ряде случаев в культурном слое присутствуют обломки различных горных пород, в основном аллювиального генезиса [Каздым, 2009].

Методы минерального анализа

Для определения минерального состава образцов поверхностного осадка был проведен качественный и полуколичественный минеральный анализ гранулометрических фракций. Порошковые образцы гранулометрических фракций 0,002-0,01 мм и 0,05-0,1 мм исследовались методами порошковой дифрактометрии и термического анализа (ДТА). Определялся фазово-минеральный состав образца, содержание органического вещества (ОВ). Минеральный состав гранулометрических фракций 0,25-1 мм был определен методом минерального анализа шлихов [Бакулина, 2014; Сустанов, 2007] с использованием методов оптической микроскопии и методом порошковой дифрактометрии. Состав гранулометрической фракции >1 мм представлен обломками горных пород, техногенными частицами и бытовым мусором. Минеральный анализ этой фракции не проводился.

Результаты рентгенодифракционного анализа образцов

Порошковые пробы исследовались на рентгеновском дифрактометре XRD-7000 (Shimadzu) в фильтрованном медном излучении в области брэгговских углов 2Θ 3-70⁰, скорость съемки - 1⁰/мин. По полученной дифракционной картине определен фазово-минеральный состав образцов. Полуколичественный расчет проведен методом Ритвельда (метод полнопрофильного рентгенодифракционного количественного анализа пород и минералов) с использованием программы SIROQUANT V4 (Австралия).

Термоаналитические исследования образцов проводились на дериватографе Diamond TG/DTA (Perkin Elmer). Содержание органического вещества (ОВ) определялось методом ДТА.

Результаты исследований гранулометрических фракций проб, отобранных в зимний и летний сезоны, методами РФА и ДТА представлены в таблицах 32-34 (показано массовое процентное содержание минералов). Дифрактограммы проб 001, 012, 018 (фракции 2-10, 10-50, 50-100 и 100-250 мкм) представлены в приложении 1.1-1.10.

Таблица 32. Минеральный состав образцов поверхностного осадка, % (фракция 0,25-1 мм)*

Минерал, %	№ пробы											
	065-3	057-3	4-3	054-3	101-3	115-3	001-3	003-3	029-3	043-3	031-3	051-3
Кварц	9	20	29	19	30	21	20	18	23	3	18	15
Плагиоклаз	17	21	20	22	15	12	17	16	25	10	20	19
КПШ	5	10	5	8	10	9	11	5	15	9	15	15
Серпентин	10	11	9	9	15	11	8	15	10	0	16	12
Хлорит	9	6	11	8	8	8	11	14	8	0	8	13
Слюда	10	4	6	9	5	6	9	5	5	25	5	8
Амфибол	20	15	5	17	10	19	12	15	8	50	7	9
Кальцит	12	7	1	4	3	6	8	3	2	0	3	4
Доломит	3	5	5	2	3	7	2	5	2	0	6	4
Пирит	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
Магнетит	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Магнезит	4	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Эпидот	0	0	0	1	0	0	0	2	1	2	0	0

*методом рентгенодифракционного анализа

Таблица 33. Минеральный состав образцов поверхностного осадка, % (фракция 0,05-0,1 мм)*

Минерал, %	№ пробы											
	057	065	043	029	003	001	031	051	115	101	054	4
Кварц	20	17	20	15	16	17	17	15	18	30	14	27
Плагиоклаз	27	30	25	25	25	25	17	28	19	12	17	18
КПШ	13	10	18	10	8	8	14	6	15	6	8	7
Серпентин	7	10	5	7	15	10	10	12	10	6	8	4
Хлорит	5	8	4	6	12	8	7	9	5	5	6	3
Слюда	10	8	10	5	5	10	7	8	10	9	10	10
Амфибол	11	8	10	15	7	12	8	10	10	12	7	10
Эпидот	0	0	0	5	0	0	4	0	0	0	0	0
Кальцит	1	2	3	2	2	1	2	4	1	0	2	0
Доломит	1	1	2	2	2	2	3	2	2	1	2	1
Тальк	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0
Пирит	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Монтмориллонит	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	8
Магнетит	0	0	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
ОВ	4	4	2	6	6	6	10	5	9	17	16	11
Торф	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1

*методами рентгенодифракционного анализа и синхронного термического анализа

Таблица 34. Минеральный состав образцов поверхностного осадка, % (фракция 0,002-0,01 мм)*

Минерал, %	№ пробы				
	003	001	031	051	4
Кварц	10	14	12	9	22
Плагиоклаз	17	18	20	17	16
КПШ	7	3	10	6	10
Серпентин	12	10	10	12	5
Хлорит	10	9	9	10	5
Слюда	10	10	8	8	10
Амфибол	10	10	8	10	5
Эпидот	0	0	0	0	0
Кальцит	2	0	0	2	0
Доломит	2	1	1	2	1
Тальк	0	0	0	0	0
Пирит	0	1	1	1	1
Монтмориллонит	5	10	5	5	10
Магнетит	1	1	1	1	1
ОВ	13	13	15	17	13
Торф	2	1	1	1	24

* методами рентгенодифракционного анализа и синхронного термического анализа

Результаты минералогического анализа фракций 2-10, 50-100 и 250-1000 мкм из поверхностного осадка представлены на рис. 44-46. Как показали исследования, пробы являются многофазными и близкими по минеральному составу. Во всех образцах минеральный состав представлен следующими минералами: плагиоклаз (альбит), КПШ (ортоклаз, микроклин), кварц, слюда (биотит), амфибол, серпентин, кальцит, доломит, хлорит, в некоторых образцах отмечается пирит. В целом, несмотря на то, что пробы отобраны на участках, удаленных друг от друга на значительное расстояние, минеральный состав достаточно однородный.

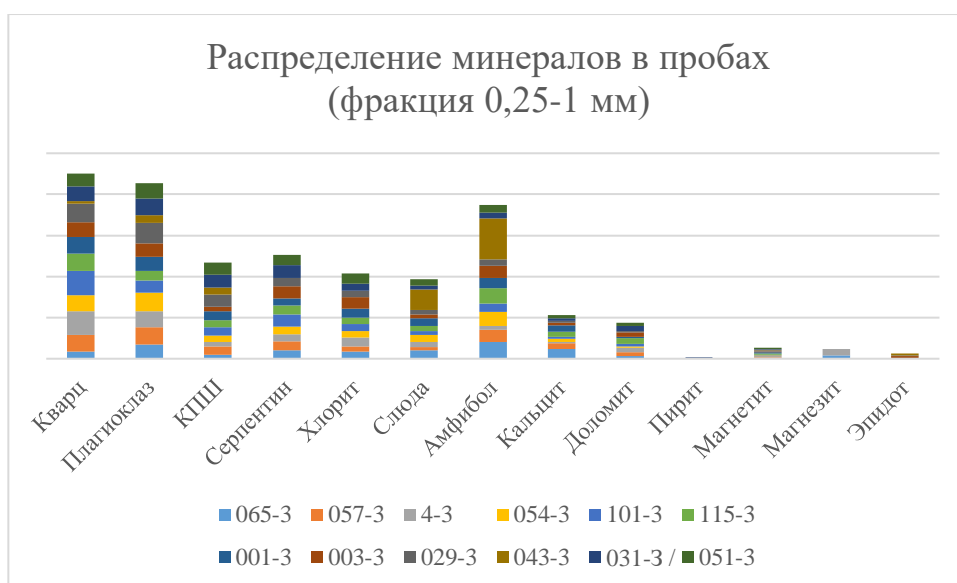


Рис. 44. Распределение минералов в пробах (фракция 0,25-1 мм)

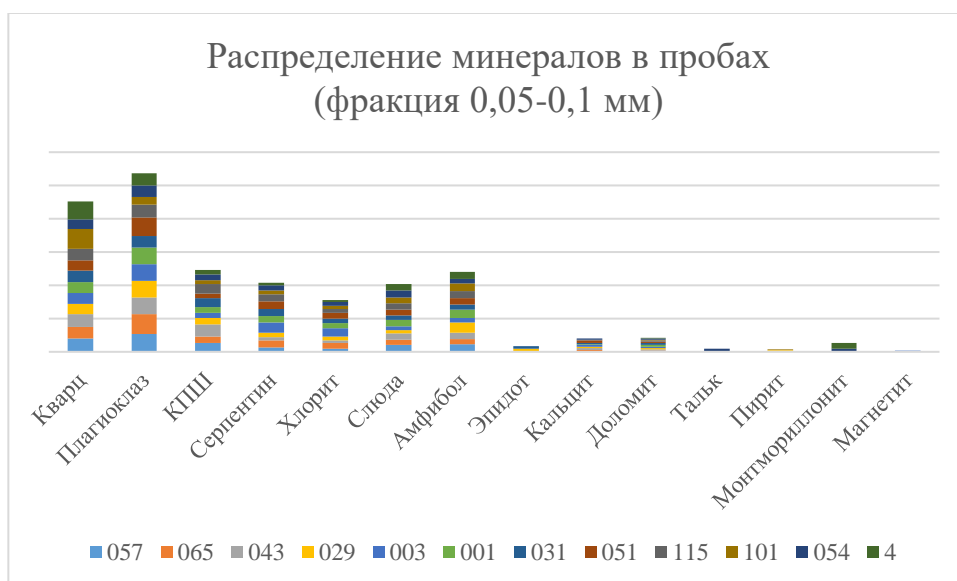


Рис. 45. Распределение минералов в пробах (фракция 0,05-0,1 мм)

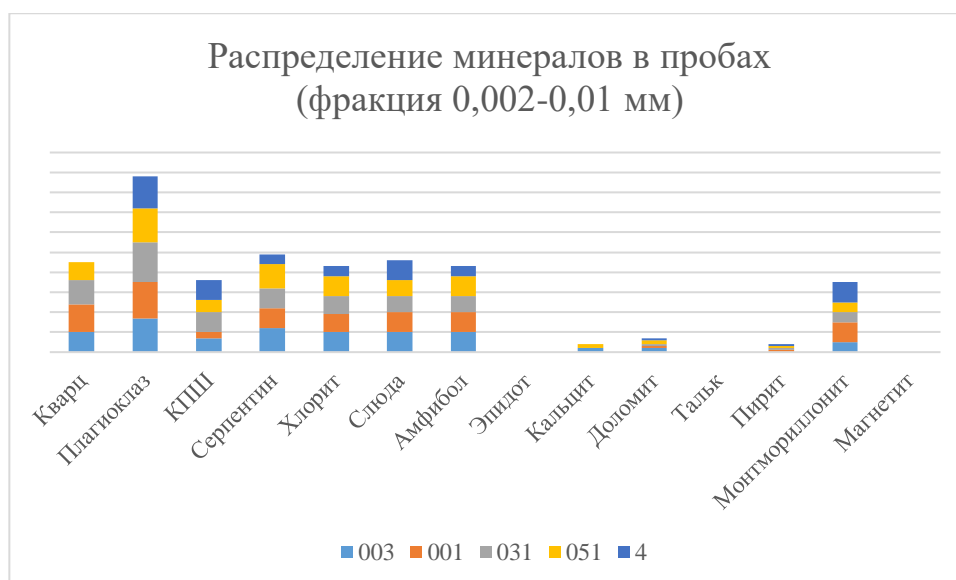


Рис. 46. Распределение минералов в пробах (фракция 0,002-0,01 мм)

Отдельно проведен рентгенодифракционный анализ пробы мелкофракционного щебня, используемого для антигололедной посыпки, по результатам которого в составе материала обнаружены амфибол, хлорит и незначительная примесь магнетита.

Практически во всех пробах присутствуют небольшие примеси, которые трудно определить однозначно из-за низкой их концентрации в материале образцов и наложения пиков от других минеральных фаз.

Все минералы, обнаруженные в составе твердого осадка, относятся к материалам, используемым в строительной отрасли, в том числе в виде щебня (гранитный, габбро, горнблендитовый, серпентинитовый). Присутствие крупной фракции в поверхностном осадке, отобранном на тротуарах снаружи дворов (до 60% объема), связано с посыпкой тротуаров мелкофракционным щебнем в зимний период. В сумме минералы, которые входят в состав строительных материалов, определяют примерно три четверти материала твердого осадка в пробах. В целом, минеральный состав крупной и мелкой фракций не различается.

4.5. Синхронный термический анализ проб поверхностного осадка

В ходе работы было проведено исследование навесок с размером частиц 2-10, 10-50 и 50-100 мкм. Масса каждой навески составляет 120 мг. Скорость нагревания составляет 10°C в минуту. Нагревание происходило от показателей комнатной температуры (22°C - 25°C) до 1000°C. Термоаналитические исследования образцов проводились на дериватографе Diamond TG/DTA (Perkin Elmer). Содержание органического вещества (ОВ) определялось методом ДТА.

Результаты, полученные в ходе работы, представлены в виде дериватограмм (приложения 2.1-2.10). Дериватограмма записывается в процессе нагрева образца автоматически при помощи самописца на миллиметровую бумагу, а также на компьютере в виде диаграммы при помощи специальной программы. В зависимости от времени нагрева записываются одновременно четыре кривые:

- изменение энтальпии (кривая ДТА);
- изменение массы (кривая ТГ);
- скорость изменения массы (кривая ДТГ);
- изменение температуры (кривая Т).

После интерпретации данных делаются выводы об изменении массы вещества навески и проводится количественный анализ содержания фаз в образце, фиксируются фазовые переходы, что помогает качественно определить, какие фазы присутствуют.

Расшифровка дериватограмм производится с использованием таблиц, в которых приведены данные о типе фазового перехода и температуре (°C), соответствующей этим переходам (табл. 35). В таблице представлены данные по минералам, входящим в состав строительных материалов, органике и топливным материалам. В настоящем исследовании синхронный термический анализ необходим для определения типа органического вещества и в пробах и его количества, т.к. другие методы исследования не позволяют этого сделать. Данные по минеральному составу, полученные с помощью термических

методов, являются подтверждением данных порошковой рентгеновской дифрактометрии и, частично, анализов, проведенных с помощью методов СЭМ. Мною производился анализ кривых ДТА для проведения качественного анализа, т.е. установления фаз в образце. Анализ включал в себя установление температуры фазовых переходов в изучаемом образце, сопоставление температур с табличными данными и установлении типа компонента. Например, в пробах 001, 043, 051, 057, 065 и 115 присутствует кварц. Его наличие определяется по температурному пику, соответствующему 573°C , что свидетельствует о переходе из α в β модификацию. Сложнее интерпретируются данные о наличие органического вещества, т.к. температуры их фазовых переходов накладываются друг на друга. В пробах 115, 065, 057 и 051 зафиксированы фазовые переходы при температурах от 420°C до 435°C . Такие переходы характерны для бурого, каменного и древесного угля. В пробах 031, 029, 003 и 001 фиксируются фазовый переход при температуре 600°C , соответствующий сгоранию древесного угля. В диапазоне температур 652°C - 660°C происходит дегидратация каолинита и хлорита в пробах 001, 003, 029 и 031. Во всех пробах фиксируется переход, соответствующий диапазону температур 966°C - 980°C , что свидетельствует о диссоциации кальцита. Аналогично производилось уточнение других фаз в изучаемых пробах.

Таблица 35. Фазовые переходы некоторых веществ

Минерал/соединение	Температура эффекта, °С	Природа эффекта
Кальцит	860 – 1010	Диссоциация (44% CO ₂)
Доломит	600 – 780	Распад на CaCO ₃ и MgCO ₃
	830 - 940	Диссоциация CaCO ₃
Монтмориллонит	150 – 175	Удаление адсорбционной воды
	500 - 900	Дегидратация
Каолинит	550 - 700	Дегидратация
Хлорит	570 – 640	Дегидратация
Кварц	573	Переход из α в β модификацию
Древесина	250 - 350	Сгорание
Торф	225 - 280	Сгорание
Бумага	230	Сгорание
Хвоя	228 - 264	Сгорание
ПВХ	391	Сгорание
Древесный уголь	350 - 600	Сгорание
Каменный уголь	400 – 500	Сгорание
Бурый уголь	250 - 450	Сгорание
Битум	368	Самовоспламенение
Алит	835	Полиморфное превращение

Мною были интерпретированы данные синхронного термического анализа, и сделаны выводы о качественном составе образцов. Данные по количественному составу были получены в ЦКП «Геоаналитик». Во всех исследуемых образцах содержится органическое вещество от 4 до 18%, представленное торфом, углистым веществом, древесиной, битумом и хвоей. Кроме того, обнаружены частицы бумаги, кварц, доломит, кальцит, хлорит, монтмориллонит, каолинит, тальк и галит. В пробах органическое вещество по данным ДТА представлено битумом и углистым веществом. Для более точной идентификации ОВ была приготовлена искусственная смесь, состоящая из 1% свежего асфальта (битума) и 99% кварца. Термические эффекты

соответствуют битуму. По характеру линий ТГ и подсчету убыли массы, можно сделать вывод, что содержание кварца в пробах колеблется от 45 до 60% (что в дальнейшем подтверждено данными рентгенофазового анализа), органическое вещество составляет от 4 до 18% (из них – 2% углистое вещество), минералы ряда доломит-кальцит составляют до 13%, меньше 1% составляют хлорит, монтмориллонит, каолинит, тальк, галит, гидрослюда.

4.6. Сканирующая электронная микроскопия

Сканирующие или растровые электронные микроскопы (далее СЭМ) позволяют изучать образцы во вторичных или рассеянных объектах электронах. Принцип метода СЭМ заключается в последовательном сканировании участка исследуемого образца узкосфокусированным электронным зондом (пучком) и детектировании сигналов, возникающих при сканировании. Изображение строится одновременно с разверткой зонда на образце. При взаимодействии пучка электронов с образцом происходит ряд явлений: эмиссия вторичных электронов, эмиссия отраженных электронов, эмиссия Оже-электронов, рентгеновское излучение и т.д.

Основные преимущества СЭМ: метод неразрушающий (не происходит нарушение структуры поверхности твердого тела, образец в дальнейшем можно анализировать другими методами), относительная простота пробоподготовки (можно изучать образцы без предварительной полировки, разного размера, вплоть до нескольких сантиметров), экспрессность (малое время, необходимое от момента загрузки образца в колонну микроскопа до получения изображения), а также широкий спектр анализируемых твердых тел.

Изучение техногенных частиц с помощью СЭМ

Техногенные частицы были выделены вручную из гранулометрических фракций размером 100-250 и 250-1000 мкм и изучены с помощью методов сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Исследования проводились на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390/6390LV (аналитики Л. В. Леонова, И. А. Готтман, Е. С. Шагалов, Н. С. Чебыкин, Е. О. Илгашева). Сканирующий электронный микроскоп оборудован приставкой для энергетической дисперсионной спектроскопии (ЭДС) INCA Energy 350 X-Max 50 с полупроводниковым детектором.

В ходе изучения особенностей морфологии и установлении химического состава из исследуемых 103 частиц для 61 частицы подтверждено техногенное происхождение (силикатная промышленность, строительство зданий,

сооружений, дорог, обустройство городских территорий и т.д.). Такие частицы были отнесены к 12 классам. Химический состав частиц, полученный с помощью ЭДС, усредненный по количеству полученных спектров для каждого типа частиц, представлен в таблице 37. Спектры всех частиц представлены в приложении.

Частицы распределены неравномерно в объеме поверхностного осадка (табл. 36) Как видно по данным таблицы, преобладают шлаковые стекловидные частицы (36%), распространены силикатные микросферы (15%) и камневидные шлаки (13%).

Таблица 36. Распределение техногенных частиц в поверхностном осадке (г. Екатеринбург)

Тип частицы	Количество частиц	% от общего числа изученных частиц
Стекловидная шлаковая	22	36
Камневидная шлаковая	8	13
Микросфера силикатная	9	15
Микросфера железистая	4	7
Кирпич	3	5
Штукатурка	5	8
Тарное стекло	2	3
Фольга	2	3
Фрагменты шин	3	5
Угольная пыль	2	3
Фрагменты тормозных систем автомобилей	1	2
ВСЕГО:	61	100

Таблица 37. Химический состав техногенных частиц (вес. %)

Тип частицы	Содержание оксида, вес. %															
	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	FeO	K2O	Na2O	MnO	NiO	Ag	P2O5	C	V2O3	TiO2	S	ZnO
Шлаковая, стекловидная	42,83 - 61,26	2,25 - 10,43	1,33 - 27,43	0,36 - 10,00	14,64 - 39,44	0,49 - 3,40	0,16 - 5,21	0,63 - 4,84	0,00 - 1,07	-	-	-	0,01 - 5,03	0,74 - 2,58	0,00 - 1,86	-
Шлаковая, камневидная	32,29 - 40,68	0,40 - 19,91	0,10 - 87,83	0,12 - 32,19	0,11 - 84,63	0,09 - 15,56	0,30 - 10,16	0,09 - 3,00	-	-	-	-	0,17 - 1,24	0,07 - 10,13	0,14 - 3,05	-
Силикатные микросферы	35,43 - 99,09	3,71 - 12,88	18,27 - 25,58	2,40 - 11,46	3,71 - 16,67	-	8,22 - 9,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Железистые микросферы	0,96- 1,16	0,01 - 0,85	-	0,01 - 1,37	93,55 - 97,98	-	-	0,01 - 0,62	-	-	-	-	-	-	-	-
Частицы кирпича	47,46 - 49,82	11,05 - 17,19	12,05 - 16,00	9,02 - 11,97	5,46 - 11,71	1,44 - 2,93	0,29 - 0,60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Фрагменты штукатурки	1,64 - 7,74	-	86,97 - 87,58	1,72 - 4,02	0,28 - 1,72	-	0,12 - 0,88	-	-	-	0,67 - 3,47	-	-	-	-	-
Тарное стекло	72,71 - 73,81	1,80- 1,87	14,00 - 14,82	4,00- 4,05	-	-	6,00 - 6,08	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Фольга	0,58 - 3,44	97,00 - 97,34	-	-	0,01 - 0,23	-	-	-	-	0,31 - 0,65	-	-	-	-	-	-
Шины	21,08 - 38,54	0,21 - 4,73	-	6,31 - 7,85	-	-	0,01 - 1,00	-	-	-	4,35 - 5,03	13,48 - 15,06	-	-	3,50 - 4,79	-
Угольные частицы	0,05 - 2,06	0,16 - 1,01	0,03 - 8,89	-	-	-	-	-	-	-	0,25 - 0,49	83,66 - 98,87	-	-	0,63 - 1,01	-
Тормозные колодки	1,23	-	-	-	90,81	-	-	3,99	-	-	-	-	-	-	-	3,97

Шлаковые стекловидные частицы (рис. 47-48). В составе шлаковых частиц такого типа преобладает оксид кремния (до 49%), в меньшем количестве содержатся оксиды кальция, магния и железа. В качестве примесных выделяются оксиды алюминия и, реже, ванадия.

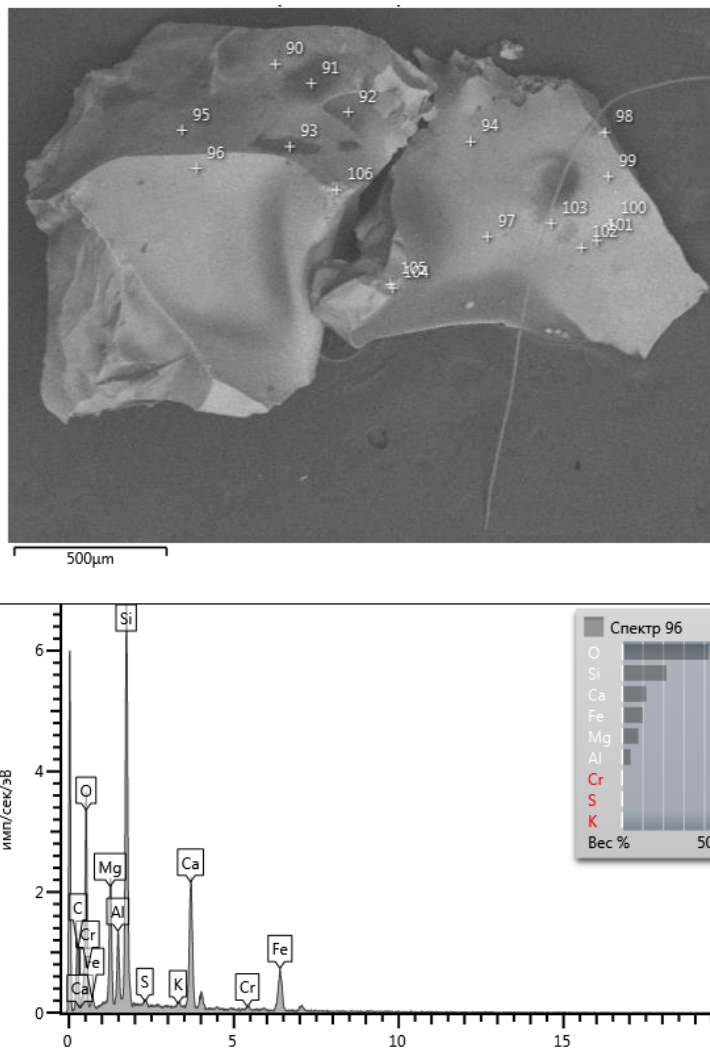


Рис. 47-48. Шлаковые стекловидные частицы (фото и спектр СЭМ)

Часто на поверхности таких частиц наблюдается результат ликвации серы. Ликвация – неоднородность химического состава, возникшая при его кристаллизации. В процессе кристаллизации образуются дендриты, поэтому такой тип ликвации называется «дендритная». Схема образования представлена на рисунке 49.

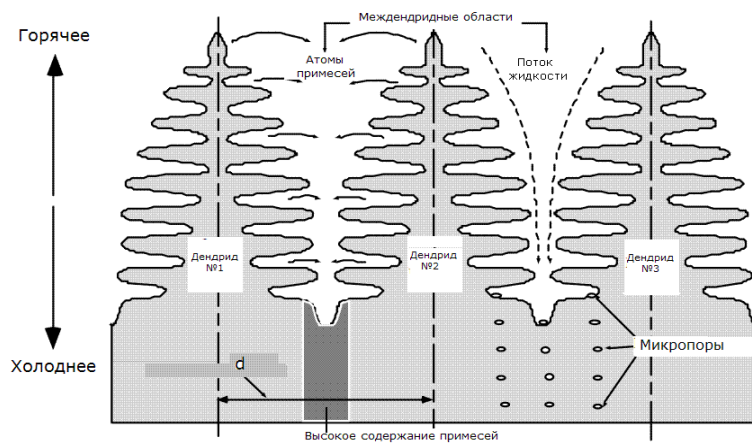


Рис. 49. Схема образования дендритов

Дендриты практически не содержат атомов серы, эти атомы «выталкиваются» в жидкие области между двумя дендритами. Это показано на рисунке выше и подтверждается спектрами ЭДС. Шлаки, на поверхности которых наблюдается результат ликвации серы, относятся к сталеплавильным.

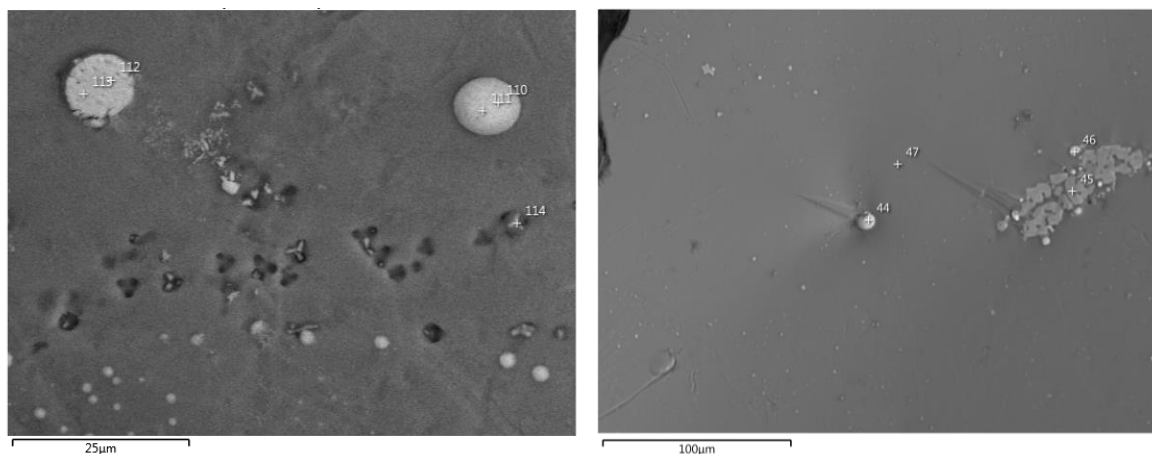


Рис. 50-51. Результат ликвации на поверхности шлаковой частицы (фото СЭМ)

Для всех шлаковых частиц был рассчитан коэффициент основности. Основность (индекс основности, коэффициент основности) - характеристика металлургического сырья, железной руды или металлургического шлака, показывающая соотношение масс основных оксидов к кислотным [Ю. С. Юсфин и др., 1973]. Коэффициент основности рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{осн}} = \frac{CaO}{SiO_2};$$

Шлаки сталеплавильного производства делят на три группы: $K_{\text{осн}} < 1.5$ — низкоосновные; $K_{\text{осн}} = 1.6—2.5$ — средний основности; $K_{\text{осн}} > 2.5$ — высокоосновные. Для доменного шлака нормальной считается основность равная 1.0; шлаки с $K_{\text{осн}} > 1.0$ относят к основным; с $K_{\text{осн}} < 1.0$ — к кислым [Е. Ф. Вегман и др., 2004].

Шлаковые стекловидные частицы имеют коэффициент основности меньше 1.5, следовательно, такие шлаковые частицы можно отнести к кислым шлакам.

Камневидные шлаковые частицы. Такие шлаковые частицы раскристаллизованы, исходя из этого, имеют неоднородный химический состав. Химический состав камневидных шлаковых частиц близок к составу шлаков первого класса. Преобладают оксиды кремния (до 42%) и железа (до 20%). Оксиды кальция, ванадия и магния находятся в подчиненном количестве. Такие частицы так же относятся к кислым шлакам. Отмечаются незначительные примеси оксидов калия, натрия, алюминия и титана.

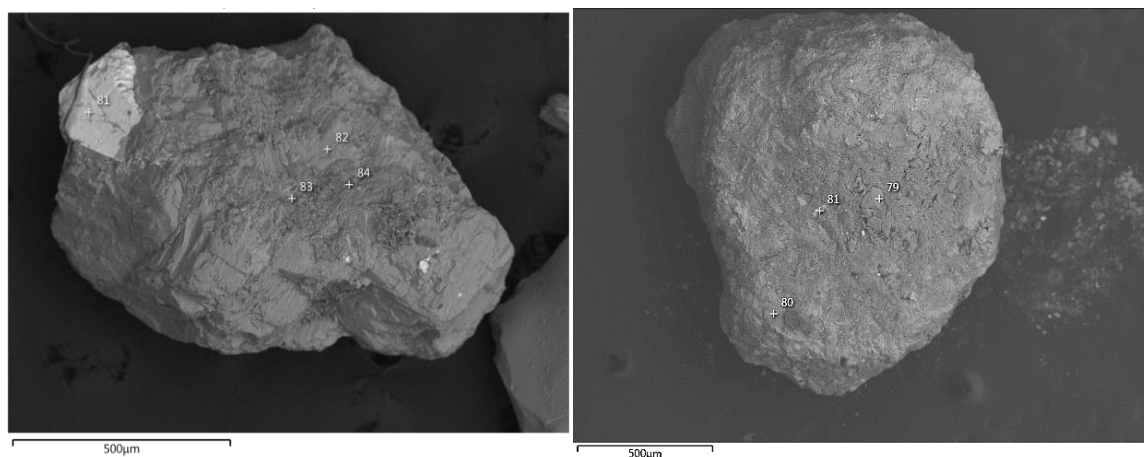


Рис. 52-53. Шлаковые камневидные частицы (фото СЭМ)

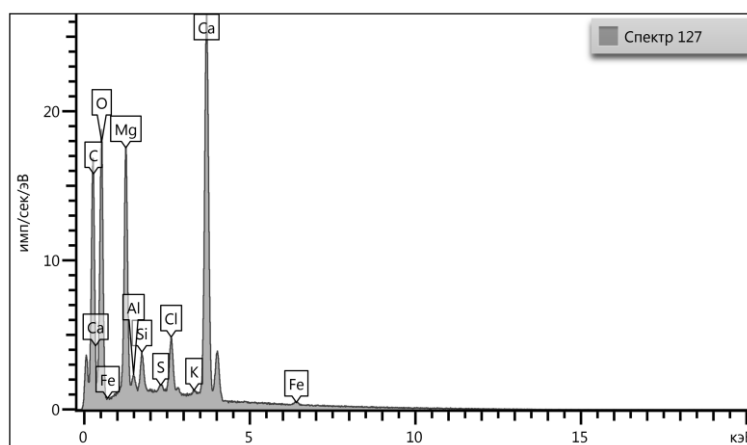


Рис. 54. Химический состав шлаковой камневидной частицы (спектр СЭМ)

Микросферы. Размер силикатных микросфер коррелирует с содержанием в них оксида железа. Силикатные микросферы без примеси оксида железа самые крупные, имеют размеры от 490-1000 мкм. Размер силикатно-железистых микросфер колеблется от 450 до 750 мкм. Структура силикатных микросфер корродирована, на их поверхности видны каверны, углубления и трещины. Так же присутствуют гладкие микросферы. Для силикатных микросфер характерно преобладание оксида кремния (>70%). Железистые микросферы отличаются правильной шарообразной формой и небольшими размерами (3-80 мкм), имеют полигональную структуру или поверхность «такырного» типа. В составе железистых микросфер преобладает оксид железа (до 97%), отмечаются примеси оксидов кремния, алюминия, магния и марганца.

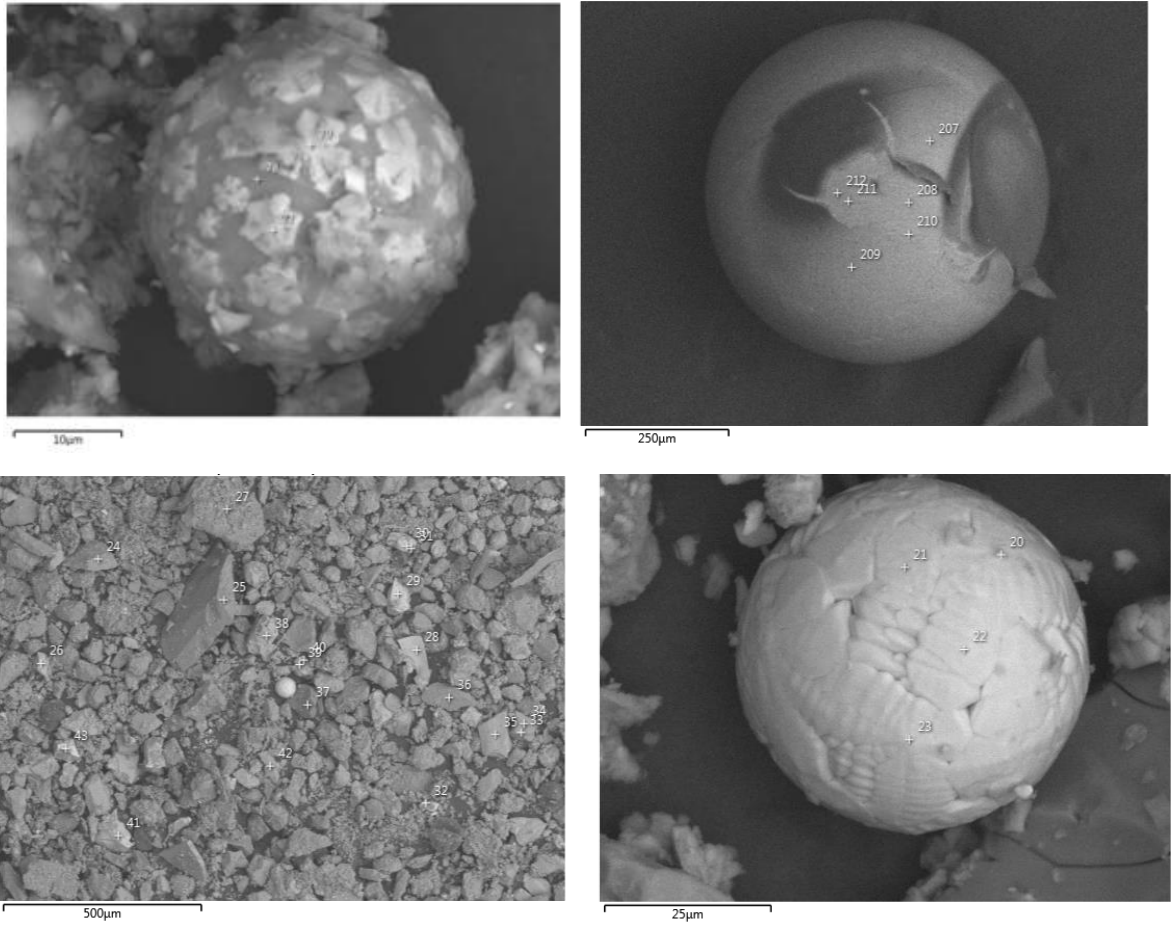


Рис. 55-58. Микросферы (фото СЭМ)

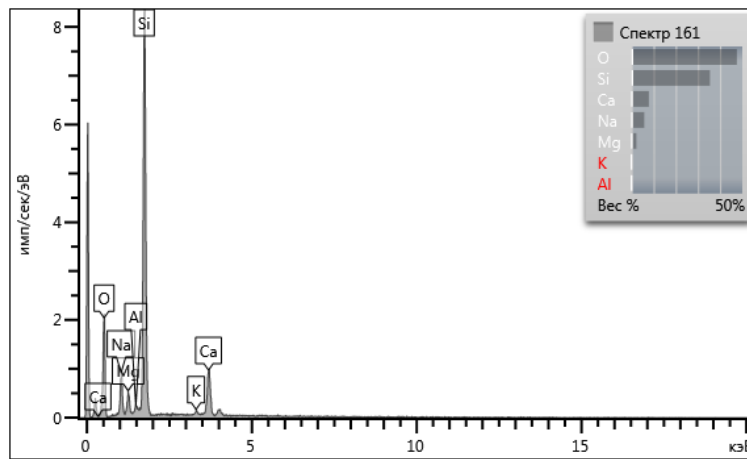


Рис. 59. Химический состав силикатной микросферы (спектр СЭМ)

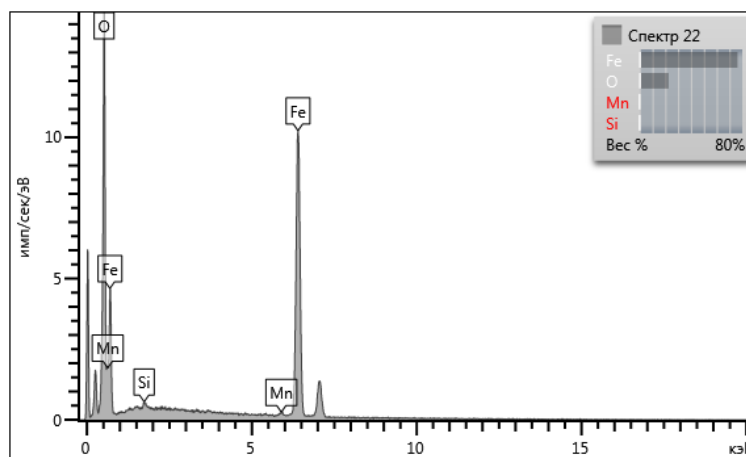


Рис. 60. Химический состав железистой микросферы (спектр СЭМ)

Строительные материалы. К строительным материалам относятся фрагменты керамического кирпича, штукатурки и бетона. Состав керамического кирпича неоднородный: в нем встречаются зерна кварца, пленки белил, с высоким содержанием оксида титана. Основная масса сложена тонкозернистым агрегатом, состоящим из смеси гидрослюд и кварца. Химический состав штукатурки характеризуется высоким содержанием кальция, небольшими примесями оксидов кремния и магния, что характерно для состава строительных растворов и бетона. Согласно химическому составу можно сделать вывод, что частицы строительной смеси представлены алитом. Алит – трехкальциевый силикат, состав которого характеризуется вхождением в структуру Mg, Al, P и/или Fe. Он является наиболее важной составляющей всех обычных цементных клинкеров [А. В. Волженский и др., 1979].



Рис. 61. Керамический кирпич (фото СЭМ)

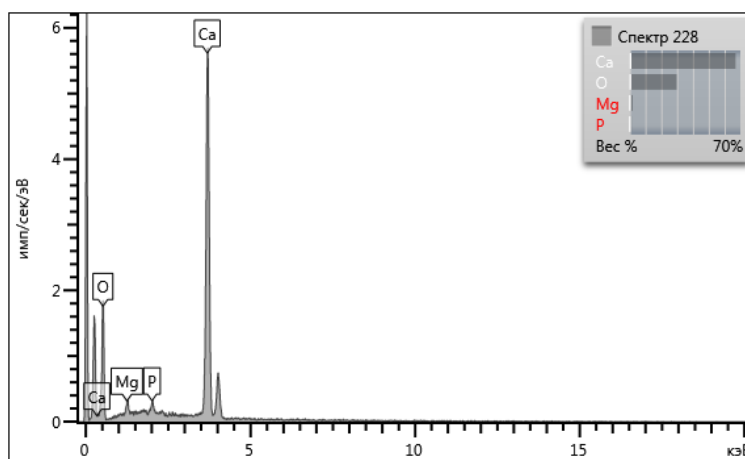
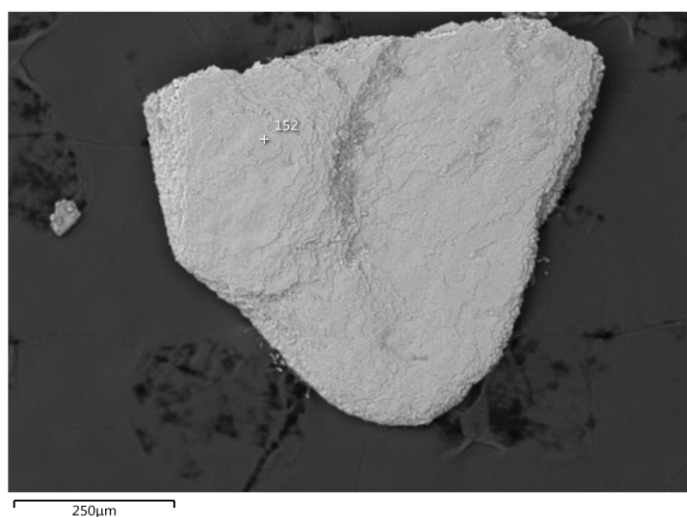


Рис. 62-63. Штукатурка (фото и спектр СЭМ)

Тарное стекло. Основными компонентами тарного стекла являются оксиды кремния, кальция и натрия. В небольших количествах в составе этих

стекло должны быть оксиды алюминия и магния, благоприятно влияющие на основные свойства стекла. Содержание MgO в стекле может быть доведено до 3,0-4 %, а Al₂O₃ до 3-5 %. В некоторых видах тарного стекла может присутствовать в сравнительно небольшом количестве оксид железа [ГОСТ 1103 – 55].

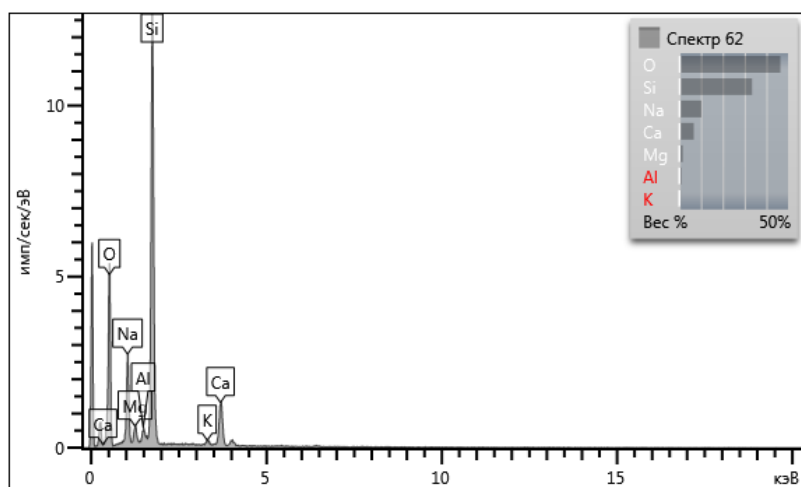
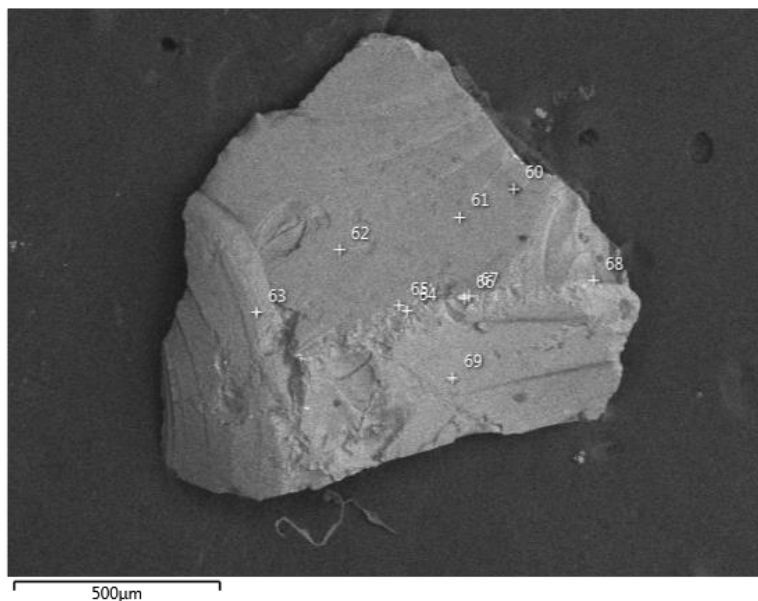


Рис. 64-65. Тарное стекло (фото и спектр СЭМ)

Алюминиевая фольга. Химический состав полностью соответствует составу алюминиевой фольги: до 99,5% Al₂O₃ и незначительные (менее 1%) примеси оксидов кремния и железа.

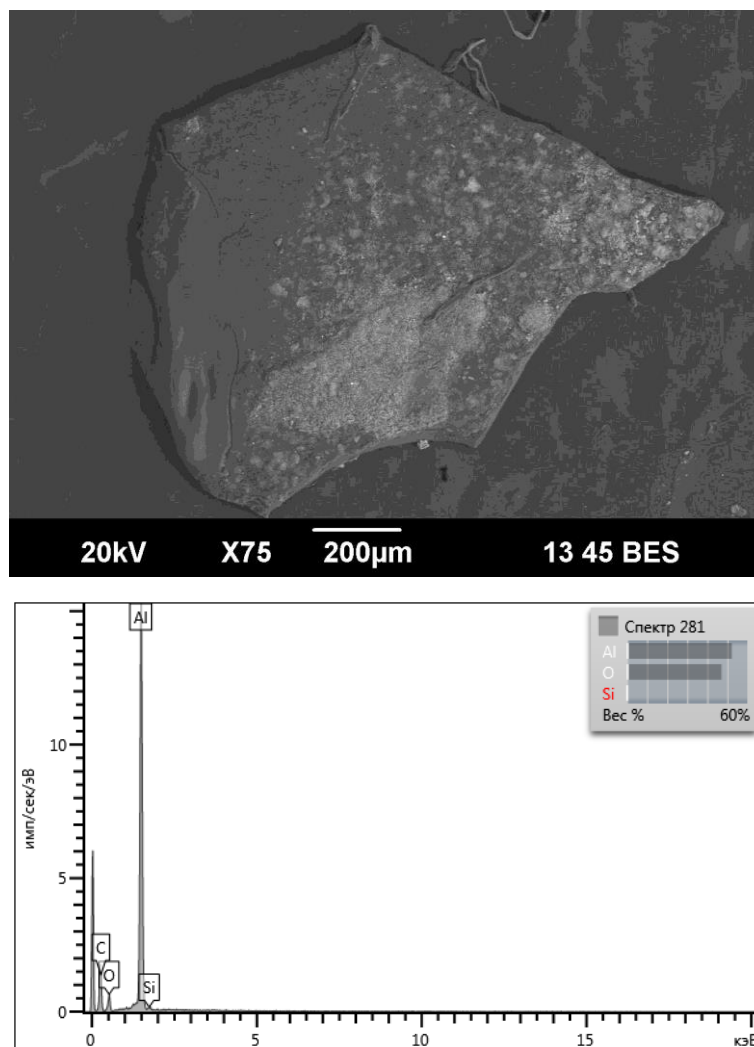


Рис. 66-67. Частицы алюминиевой фольги (фото и спектр СЭМ)

Автомобильные шины. При исследовании с помощью методов СЭМ был получен химический состав частицы. Он соответствует составу автомобильной резины и характеризуется наличием кремния (в составе кремниевой кислоты), технического углерода (сажи) и малого (до 2%) содержания серы. Сумма компонентов составляет менее 100%, что свидетельствует о вхождении в состав частицы водорода (в составе кремниевой кислоты). На поверхности автомобильных шин зафиксированы загрязнения в виде фрагментов, химический состав которых соответствует железу и хрому.

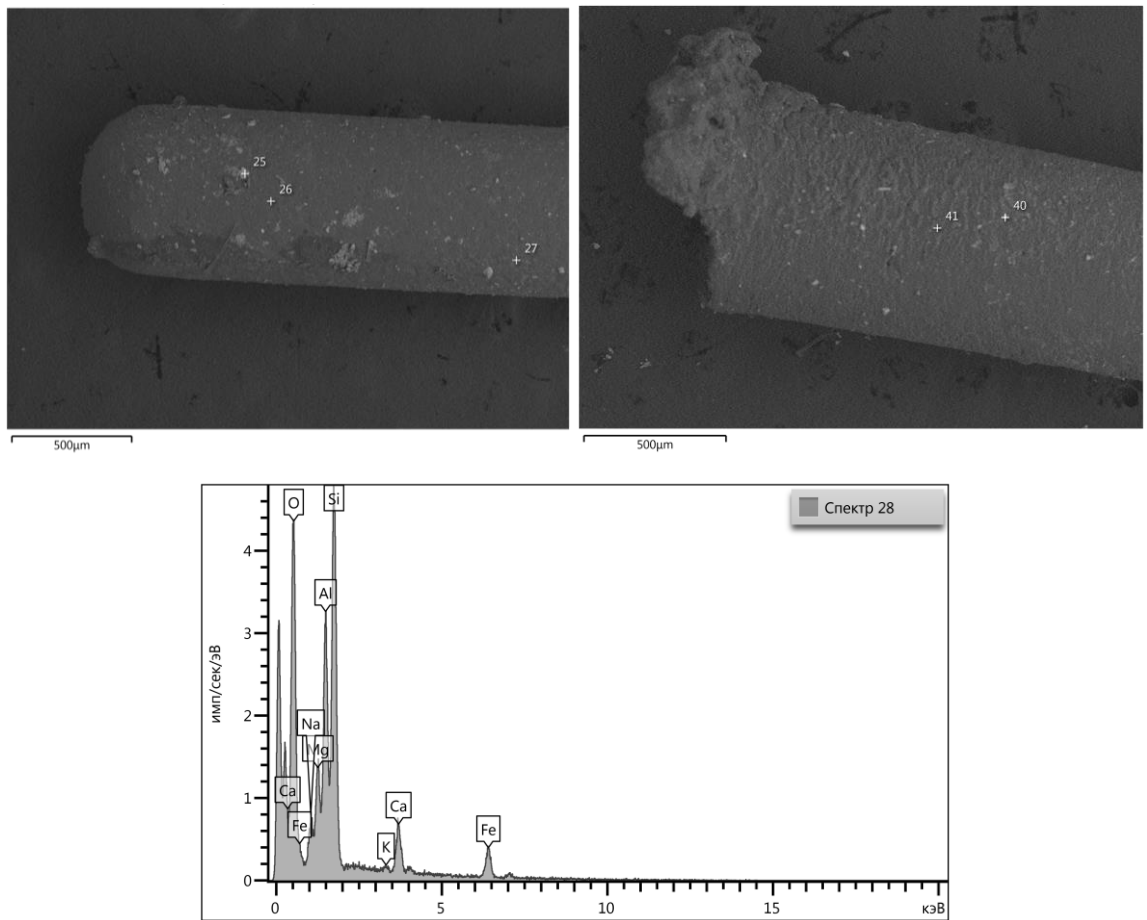


Рис. 68-70. Частицы автомобильных шин (фото и спектр СЭМ)

Фрагменты тормозных систем (тормозные диски и тормозные колодки). В пробе 7 обнаружена частица неправильной формы темно-серого цвета с сильным металлическим блеском и высокой твердостью. В составе частицы преобладает железо, примесями являются цинк и марганец.

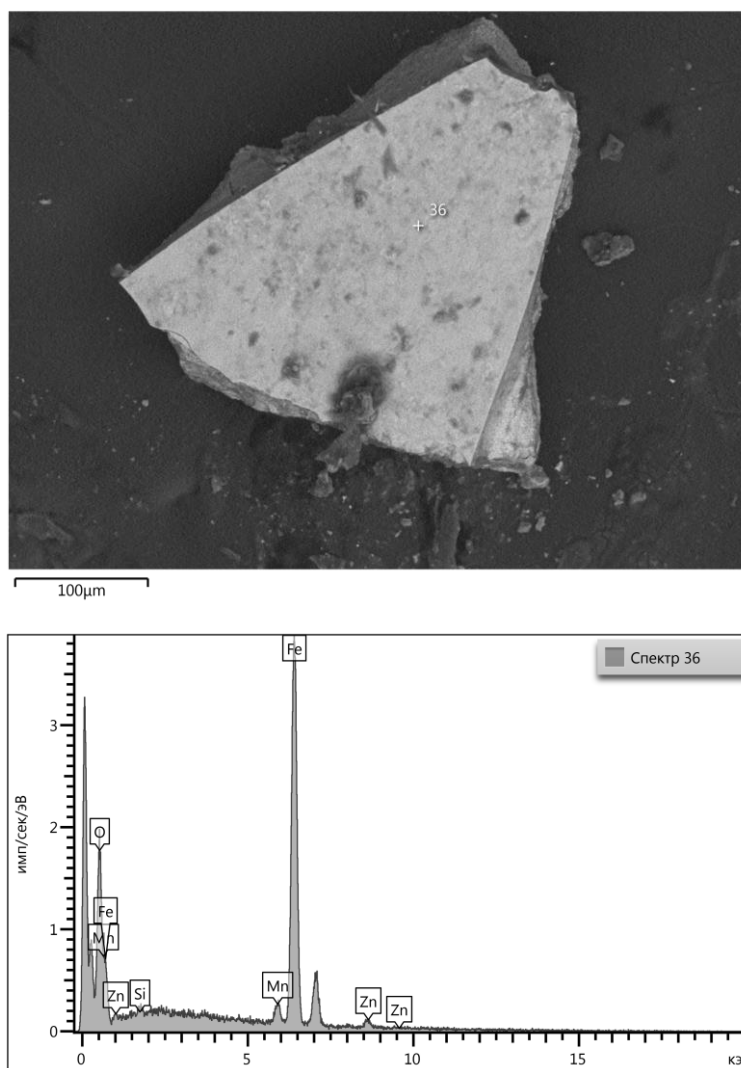


Рис. 71-72. Частицы тормозных колодок (фото СЭМ)

Фрикционный материал. В тонкой минеральной фракции, состоящей из глинистых минералов, обнаружены частицы фрикционной смеси, размером до 15 мкм. Порошковый фрикционный материал для тормозной колодки содержит порошки графита, железа, легированную медь, оксида алюминия, сульфида железа, карбида бора, карбида кремния и асбеста прокаленного. В настоящее время используют Low-metal (низкометаллическая) НАО (безасбестовая) фрикционные смеси, где содержание металла находится между отметками 20-40%, асбест не применяется, вместо него используют вермикулит. В пробе №1 (оз. Балтым) компонентом фрикционной смеси являются частицы силиката циркония, сульфида железа, гидрослюда. Так же в пробе наблюдаются фрагменты сплава железа с титаном и ванадием.

Ванадий и его сплавы имеют довольно высокую температуру плавления (свыше 800°C) и могут применяться для изготовления тормозных дисков.

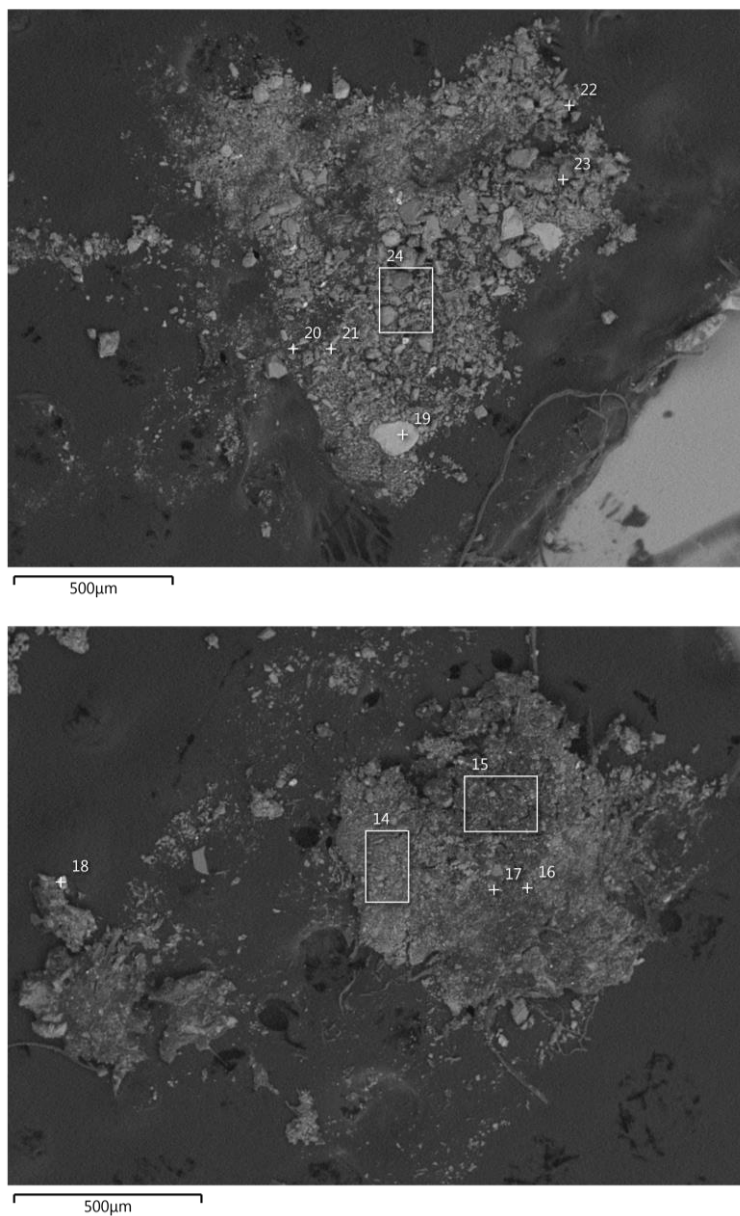


Рис. 73-74. Фрикционный материал (тормозные колодки и диски) (фото СЭМ)

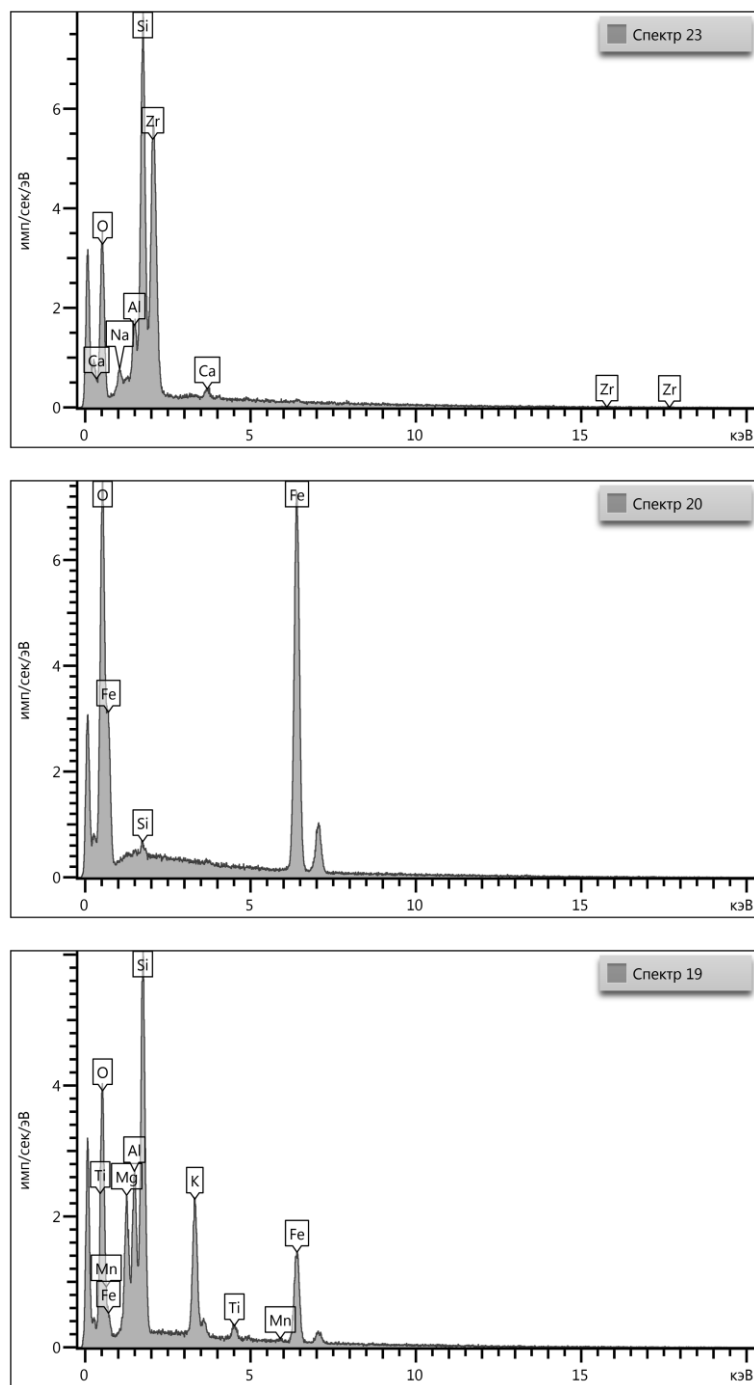


Рис. 75-77. Химический состав фрикционных материалов (тормозные колодки и диски) (спектры СЭМ)

Угольные частицы и частицы золы. В пробах, отобранных в зимний период, наблюдаются частицы золы (рис. 78-79). Их исследование с помощью СЭМ затруднено, т.к. точное содержание углерода установить невозможно. Однако, химический состав, характеризующийся высокими содержаниями

углерода, примесями оксидов кальция, фосфора и наличием серы, указывает на происхождение частиц.

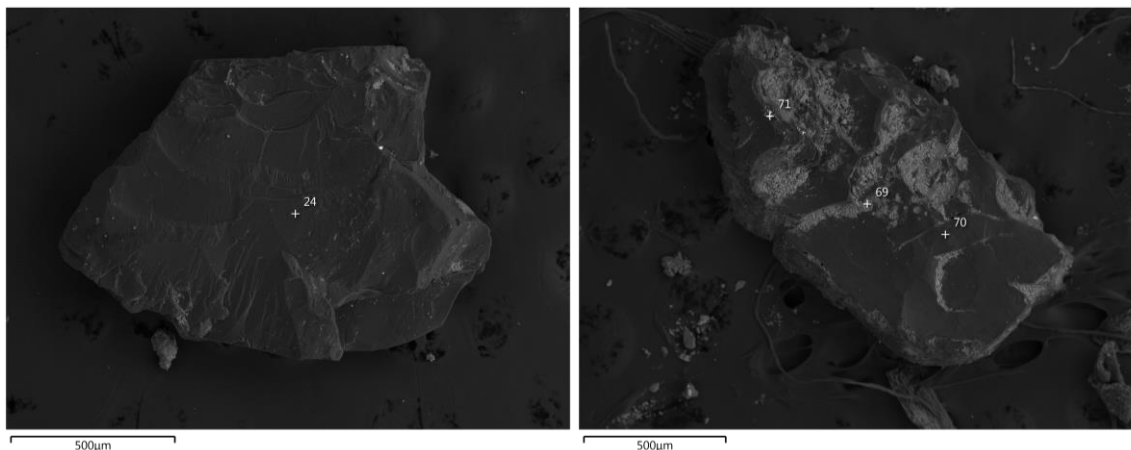


Рис. 78-79. Частицы золы (фото СЭМ)

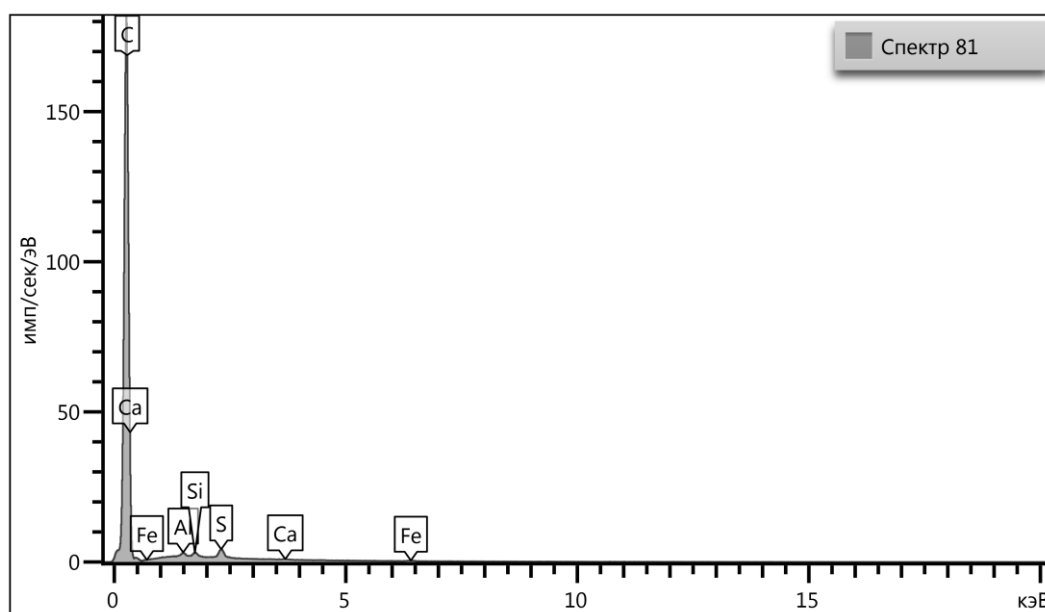


Рис. 80. Химический состав частиц золы (спектр СЭМ)

Изучение минералов с помощью СЭМ

Визуальные методы диагностики характеризуются субъективной погрешностью. Этот тип погрешности возникает из-за низкой степени квалификации оператора средства измерений, а также из-за погрешности зрительных органов человека, т.е. причиной возникновения субъективной погрешности является человеческий фактор. Поэтому, в ходе работы на сканирующем электронном микроскопе кроме техногенных частиц были

изучены некоторые минералы, входящие в состав поверхностного осадка. К таким минералам относятся: слюды, циркон, хризотил-асбест.

Проанализированные с помощью методов СЭМ слюды имеют близкий химический состав: оксид калия K_2O 8,5-11,2 %, оксид магния MgO 4,3- 5,7%, оксид железа (суммарное) FeO 2,8%, оксид алюминия Al_2O_3 6,5-9,8%, диоксид кремния SiO_2 18-22%. Сумма компонентов меньше 100%, что свидетельствует о вхождении в состав частицы воды. Исходя из данных химического анализа, можно сделать вывод, что слюды представлены биотитом.

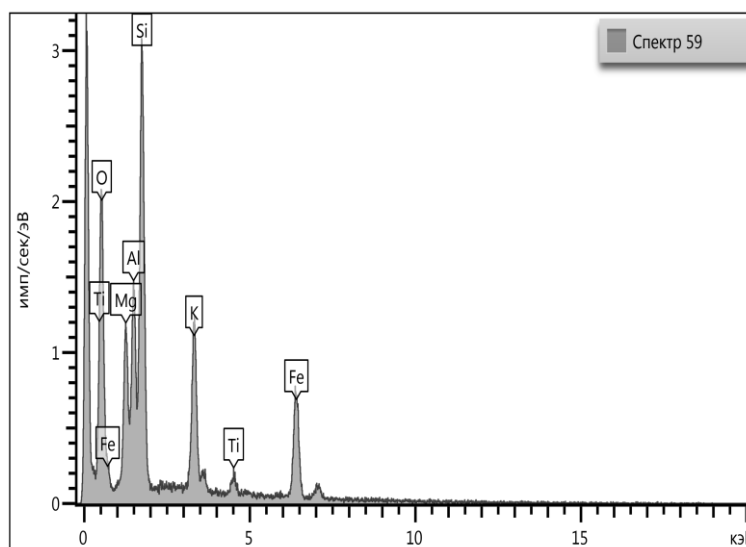
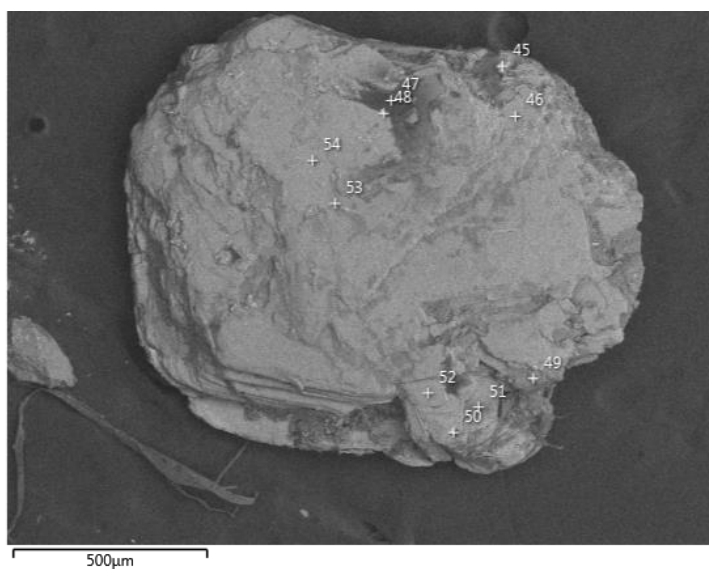


Рис. 80-81. Биотит (снимок и спектр СЭМ)

Во всех изученные кристаллах биотита были обнаружены вкрапления тонких (1-2 мкм) зерен циркона. Химический состав получен с помощью ЭДС.

В составе циркона преобладает оксид циркония ZrO_2 - до 67%; (Zr - 49%), диоксида кремния SiO_2 до 33%. Отмечается примесь гафния, но его показатели ниже предела обнаружения прибора.

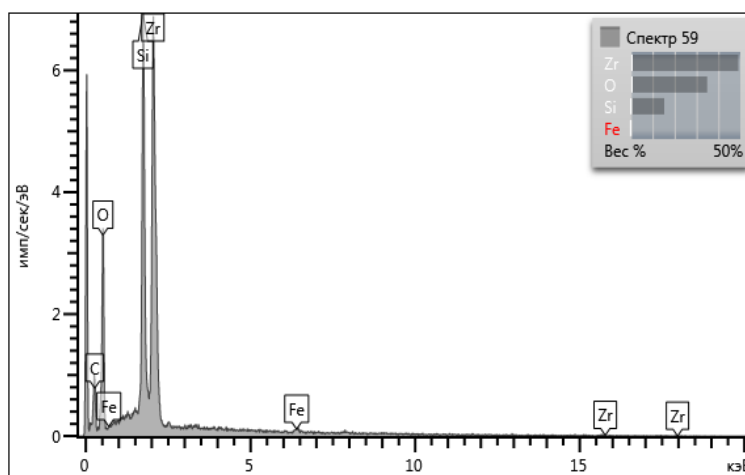
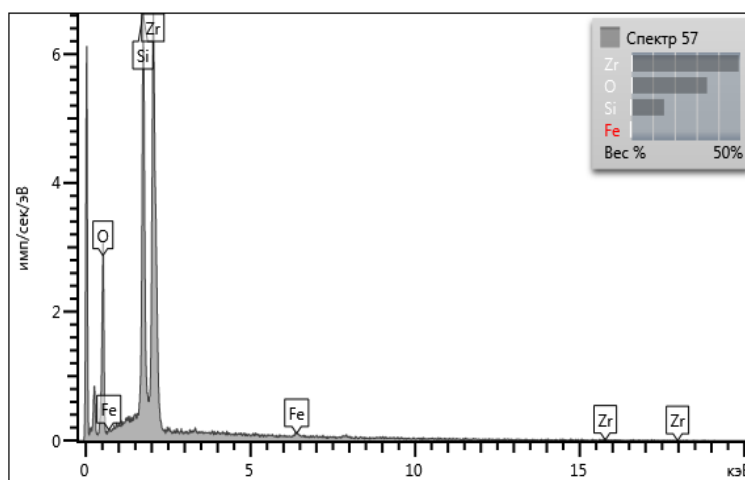
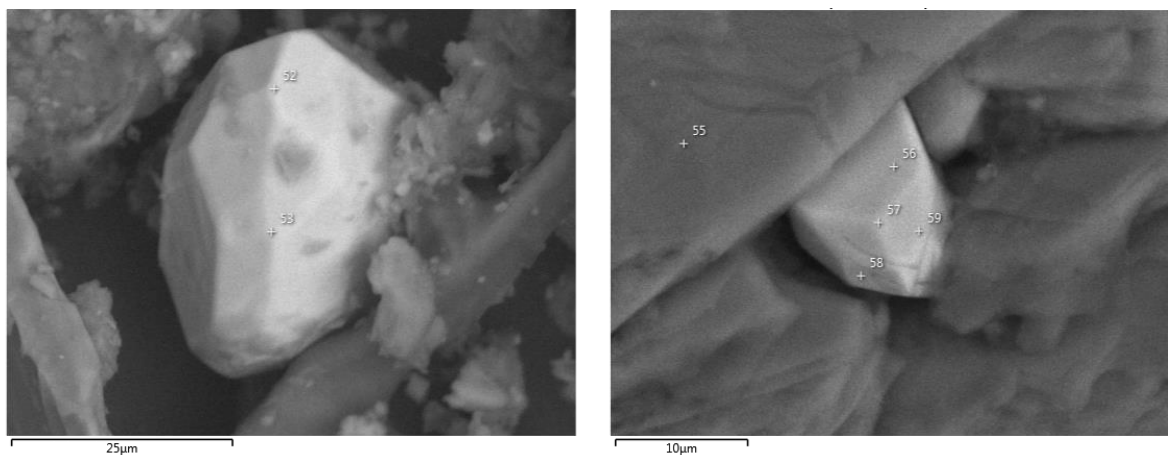


Рис. 82-85. Кристаллы циркона в биотите (фото и спектры СЭМ)

Распространенным минералом является асбест. Он представлен удлиненными тонковолокнистыми разностями. Химический состав

соответствует хризотил-асбесту: оксид магния MgO до 28-30%, диоксид кремния SiO_2 41-44%, оксид алюминия Al_2O_3 1-1,5%, оксид железа (суммарное) FeO 0,3-2%.

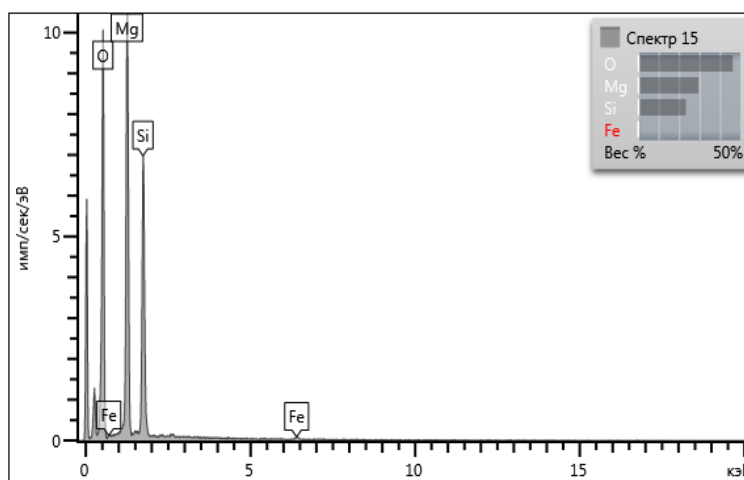
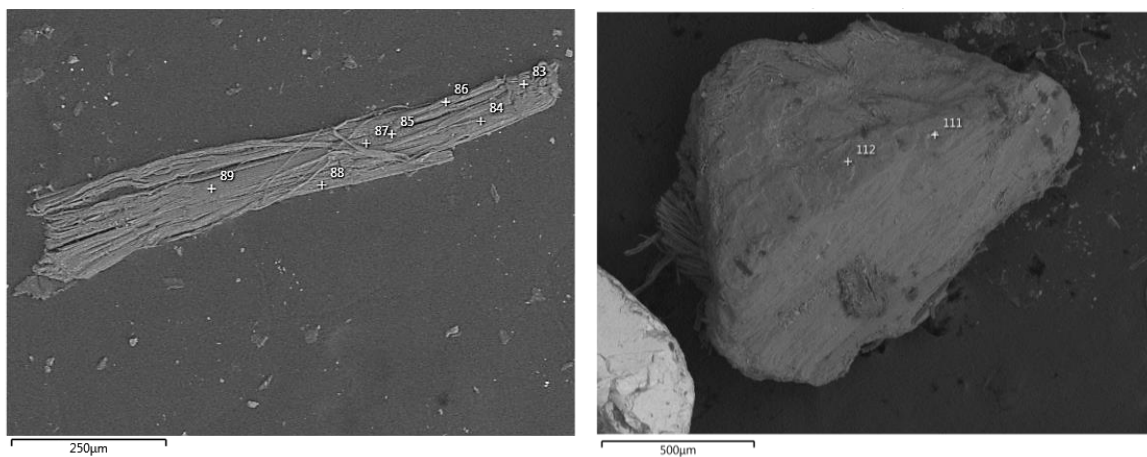


Рис. 86-88. Волокна хризотил-асбеста (фото и спектр СЭМ)

Заключение

По результатам, полученным в ходе исследований, сделаны следующие выводы о характеристике поверхностных отложений урбанизированной среды в г. Екатеринбурге:

1) Екатеринбург – город с интенсивной антропогенной нагрузкой. Сложные климатические и гидрогеологические условия являются дополнительным фактором, усиливающим воздействие на объекты городской среды. Результатом действия антропогенных и природных факторов является интенсивное разрушение поверхностей городского ландшафта и образование поверхностного осадка.

2) По Н.М. Страхову седиментогенез на территории г. Екатеринбурга находится на стадиях мобилизации и переноса вещества;

3) По данным Й. Вальтера [1984 г.] литогенез на территории г. Екатеринбурга находится на стадиях выветривания, денудации, транспортировки и отложения вещества. Процессов, связанных с диагенезом, не происходит.

4) В Екатеринбурге выражен сезонный характер поступления и перераспределения поверхностного осадка. В летний период года происходит образование и накопление пылевой фракции за счет большой площади пылящих поверхностей. В зимний период происходит усиленная абразия дорожных покрытий шипованными колесами автомобилей и, как следствие, увеличение объема крупной фракции.

5) В сухую погоду перенос компонентов поверхностного осадка осуществляется за счет ветра. В дождливую погоду перенос производится поверхностным стоком. Главным транспортирующим агентом является автомобильный транспорт. За счет сочетания этих факторов поверхностный осадок равномерно распределяется по всей территории города.

6) Поверхностный осадок в Екатеринбурге в значительной степени состоит из пылевой фракции (частицы размером менее 100 мкм). Это связано

с тем, что частицы пылевой фракции легко переносятся ветром в пределах города и за короткий период равномерно распределяются по поверхности.

7) Минеральный состав поверхностного осадка связан с гранитами, габбро, серпентинитами, горнблендитами, зелеными сланцами и другими магматическими, метаморфическими и осадочными породами. Указанные породы распространены на Среднем Урале и составляют как основу литогенного субстрата, так и ресурсную базу промышленности строительных материалов. Однако с учетом того, что в пределах жилых кварталов Екатеринбурга фактически отсутствуют неизменные природные ландшафты, образование минеральной составляющей осадка необходимо связывать с материалами, используемыми в строительстве, в том числе дорожном. В целом до 75% поверхностного осадка в городе составляют мелкофракционные продукты разрушения щебня и других строительных материалов на основе минерального сырья.

8) Однородный минеральный состав на территории с разнообразным литогенным субстратом свидетельствует о долговременном существовании отложений.

9) Использование в строительстве минеральных материалов с высоким содержанием отдельных металлов влияет на изменение геохимического фона городской среды. Наблюдается увеличение концентрации следующих металлов в поверхностном осадке: железо, магний, хром, никель, кальций, в меньшей степени марганец. Текущие концентрации металлов в поверхностных отложениях не представляют опасности для здоровья жителей города. С точки зрения охраны окружающей среды представляет потенциальную опасность концентрирование в пылевой фракции цинка, меди, свинца.

10) Особую роль в формировании поверхностного осадка играют техногенные частицы. Их количество от общего объема отложений составляет до 25% в летний период и до 35% в зимний период. Наличие в поверхностном осадке техногенных частиц значительно влияет на геохимический фон

урбанизированной территории. Влияние выражено, в первую очередь, в увеличении содержания в пробах кальция (использование строительных смесей), никеля, кобальта, ванадия, хрома и железа (шлаковые частицы), хрома и железа (использование нержавеющей сталей).

Таким образом, поверхностный осадок на урбанизированной территории является сложной многокомпонентной системой. Отмечается природное и антропогенное влияние на генезис, вещественный и химический состав отложений. Исследования, в области изучения особенностей поверхностного осадка на урбанизированной территории позволяет контролировать геохимический фон регионов, отслеживать скорость накопления культурного слоя, оценивать влияние окружающей среды на здоровье человека и экологию.

Список используемых источников

1. Бакулина Л. П. Шлиховое опробование и анализ шлиховых проб: учеб. пособие // Л. П. Бакулина. – 2-е изд., перераб. – Ухта, 2014. – 126 с.
2. Вадюнина А. Ф. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. // А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
3. Вегман Е. Ф., Жеребин Б. Н., Похвиснев А. Н. и др. Металлургия чугуна. — Москва: Академкнига, 2004. — 774 с.
4. Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества: технология и свойства. Учебник для вузов. 3-е издание, переработанное и дополненное. Москва: Стройиздат, 1979
5. ГОСТ 1103 – 55. Бутылки для пищевых жидкостей. Технические требования
6. ГОСТ 27593-88 (2005). Почвы. Термины и определения.
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист О-41. – Екатеринбург. Объяснительная записка. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 492 с.
8. Ежегодник состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2015 г. [Электронный ресурс] // ФГБУ "ГГО им. А. И. Воейкова", 2016. - 255 с
9. Емлин Э. Ф. Геохимические аспекты урбанизации на Урале // Э. Ф. Емлин, Н. П. Конюхова, В. Ю. Ипанов. – Свердловск: Свердлов. обл. правл. Союза НИО СССР, 1988. – 55 с.
10. Илгашева Е. О., Яρμοшенко И. В. // Техногенные частицы в составе грязевого осадка в городе Екатеринбург. Сборник докладов Международной научно-практической конференции. 2018 г. Стр: 474-475
11. Илгашева Е. О., Яρμοшенко И. В., Селезнев А. А., Малиновский Г. П., Киселева Д. В., Чебыкин Н. С. Техногенные образования в поверхностном пылегрязевом осадке Нижнего Новгорода // Проблемы

минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2019. № 22. С. 381-384.

12. Каздым А. А. Техногенное аутигенное минералообразование в культурном слое // Онтогенез минералов и ее значение для решения геологических прикладных и научных задач (к 100-летию со дня рождения профессора Д. П. Григорьева) Стр.: 63-65. 2009г

13. Капустин В. Г., Корнев И. Н. Свердловская область: природа, население, хозяйство, экология. – Екатеринбург. Издательство Уральского университета, Издательство Дома учителя, 1998. – 300 с.

14. Касимов Н. С. Экогеохимия ландшафтов // Н. С. Касимов. М.: ИП Филимонов М.В., 2013. – 208 с.

15. Кизильштейн Л. Следы угольной энергетики // Наука и жизнь. — 2008. — № 5.

16. Климат Свердловска // Под ред. В.В. Морокова, Ц.А. Швер., Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 190 с.

17. Курбатова А.С. Ландшафтно-экологический анализ формирования градостроительных структур. Москва-Смоленск: Маджента, 2004, 398 с.

18. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводов в окружающей среде. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993, 208 с.

19. Саэт Ю. Е. Геохимия окружающей среды // Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

20. Селезнев А. А., Ярмошенко И. В., Киселева Д. В., Рянская А. Д., Илгашева Е. О., Баглаева Е. М., Малиновский Г. П. Минеральный состав современных антропогенных отложений на территории г. Екатеринбурга. // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2018. № 21. С. 436-442.

21. Селезнев А. А. Эколого-геохимическая оценка состояния урбанизированной среды на основе исследования отложений пониженных

участков микрорельефа (на примере г. Екатеринбурга). Автореферат... // Ур. гос. гор. ун-т. Екатеринбург, 2015

22. Суставов С. Г. Морфология, физические свойства и определитель минералов по внешним признакам: Учебно-методическое пособие – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. – 119 с.

23. Флоренсов Н. А. Очерки структурной геоморфологии. М. : Наука, 1978. 238 с.

24. Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеоиздат, 1974. 568 с.

25. Шешнев А. С. Что такое «антропоцен»? Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2017. Т. 17, вып. 3

26. Юсфин Ю. С., Базилевич Т. Н. Обжиг железорудных окатышей. — Москва: Металлургия, 1973. — 272 с.

27. Aerosol chemical processes in the environment. Ed. by K.P. Spurng. – Boca Raton: CRC Press, 2000. – 600 p.

28. Environmental sedimentology // edited by Chris Perry and Kevin Taylor.

29. Gradstein F. M., Ogg J. G., Schmitz M. D., Ogg G. The Geologic Time Scale 2012. Oxford: Elsevier, 2012. 1144 p.

30. L.-W. A. Chen, J. G. Watson, J. C. Chow, M. C. Green, D. Inouye, and K. Dick Wintertime particulate pollution episodes in an urban valley of the Western US: a case study

31. Lewis S. L., Maslin M. A. Defining the Anthropocene // Nature. 2015. Vol. 519. P. 171–180. p. cm. 2007

32. PND F 16.1:2.3:3.11-98, 1998. The Method of Measurement of Metal Content in Solid Objects by Spectrometry with Inductively Coupled Plasma. The State Bureau for Environmental Protection of Russian Federation, Moscow (in Russian).

33. Taylor J.C. Canberra. Australia: Sietronics Pty Limited. 2004.

34. The effect of traction sanding on urban suspended particles in finland
kaarle kupiainen and heikki tervahattu, 2003

