

ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



На правах рукописи

Новикова Валерия Дмитриевна

**ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИИ
Г. КЕМЕРОВО НА ОСНОВЕ ИЗУЧЕНИЯ
СНЕЖНОГО ПОКРОВА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

1.6.21. Геоэкология

Томск – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель:

Таловская Анна Валерьевна

доктор геолого-минералогических наук, доцент,
отделение геологии Инженерной школы
природных ресурсов Федерального
государственного автономного образовательного
учреждения «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет» (г.
Томск), профессор

Официальные оппоненты:

Бортникова Светлана Борисовна

доктор геолого-минералогических наук,
профессор, федеральное государственное
бюджетное учреждение науки Институт
нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.
Трофимука Сибирского отделения Российской
академии наук, главный научный сотрудник
лаборатории эколого-экономического
моделирования техногенных систем

Меньшикова Елена Александровна

доктор геолого-минералогических наук, доцент,
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Пермский государственный
национальный исследовательский университет»,
заведующий кафедрой минералогии и
петрографии

Защита состоится 18 декабря 2025 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.29 Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, корпус 20, аудитория 504.



С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета и на сайте dis.tpu.ru при помощи QR-кода.

Автореферат разослан ____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета ДС.ТПУ.29
д.б.н., профессор

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'N.V. Baranovskaya'.

Н.В. Барановская

Введение

Актуальность работы. Важной геоэкологической проблемой Кемеровской области, одного из основных угледобывающих и перерабатывающих регионов в стране, является высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха (Дудкина, 2011; Журавлева, 2014; Ларин и др., 2017; Доклад ..., 2017; 2021; 2023; 2024). Угли содержат большой спектр химических элементов, включая редкоземельные и радиоактивные (Арбузов с соавторами, 2000; 2005; 2007; 2011; 2019; Юдович и Кетрис, 2005; 2009), которые в процессе сжигания и переработки угля поступают в атмосферный воздух в составе твердых выбросов, и могут оказывать негативное воздействие на здоровье человека (Ревич, 2006; Vig et al., 2023; Garcia et al., 2024; Ige et al., 2024).

В г. Кемерово, административном центре области, сосредоточены крупные предприятия угольной теплоэнергетики и химической промышленности (коксохимический завод, производящий металлургический кокс, производство азотных удобрений и гипохлорита кальция). По официальным данным в атмосферном воздухе города периодически наблюдаются превышения ПДК для взвешенных веществ (аэрозоли), бенз(а)пирена, фенола, аммиака, углерода (сажа) и других компонентов (Доклад ..., 2017; 2021; 2023; 2024).

Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды на территории г. Кемерово выполнялась в отдельных районах города и в разные периоды, например, на основе изучения почв (Просянкина, 2005; Шульгин и др., 2017) лишайников (Баумгертнер, 2011; Романова, 2012; Kotov et al., 2021; Zinicoscaia et al., 2024), листьев тополя (Юсупов и др., 2021; Юсупов, 2022) и снежного покрова (Бояркина и др., 1993; Павлов и др., 2007; Рапута и др., 2008; 2011). В этой связи, актуальным является проведение эколого-геохимического анализа атмотехногенного загрязнения на всей территории г. Кемерово для получения новых данных о пространственном распределении пылевой нагрузки и химических элементов, включая малоизученные в геохимическом плане редкие элементы, с использованием снежного покрова как депонирующей среды. Важным также является определение геохимической специфики и масштабов воздействия крупных промышленных предприятий на городскую среду на основе данных многолетнего мониторинга загрязнения снежного покрова.

Снежный покров применяется многими исследователями как эффективный инструмент для оценки уровня загрязнения окружающей среды, поскольку аккумулирует атмосферные примеси с комплексом химических элементов природного и антропогенного происхождения (Саэт и др., 1990; Бояркина и др., 1993; Касимов и др., 1995, 2012; 2016; Шевченко и др., 2006, 2015; Савичев, 2010; Язиков, 2006; Девятова, 2006; Таловская, 2008; 2022; Бортникова и др., 2009; Удачин, 2012; Филимоненко, 2015; Леженин и др., 2016; Sierra-Hernández et al., 2018; Vlasov et al., 2020; Артамонова, 2020; Московченко и др., 2021; 2023; Astray et al., 2024; Starodymova et al., 2024; Опекунов и др., 2024; Пожитков, 2024).

Объектом исследований является нерастворимая фракция снежного покрова (нерастворимый осадок), сформированная аэрозольными частицами,

осевшими в снежном покрове. **Предмет исследований** – уровень пылевой нагрузки, химический и минерально-вещественный состав нерастворимой фракции снежного покрова.

Цель работы – оценка эколого-геохимической обстановки на территории г. Кемерово на основе изучения химического и минерально-вещественного состава нерастворимой фракции снежного покрова.

Задачи исследований:

1. Установить пространственную изменчивость уровня пылевой нагрузки на территории города.

2. Выполнить эколого-геохимическое районирование территории города по уровню накопления и ассоциациям химических элементов в нерастворимой фракции снежного покрова.

3. Изучить многолетнюю динамику (2016-2023 гг.) и факторы формирования пылевой нагрузки и химического состава нерастворимой фракции снежного покрова в районах города, подвергаемых воздействию предприятий теплоэнергетики и коксохимии.

4. Провести количественный анализ содержания техногенных образований, характеризующих специфику состава нерастворимой фракции снежного покрова в зоне влияния теплоэнергетических предприятий.

Фактический материал и методы исследования. В основу диссертационной работы положены материалы исследований, собранные при личном участии автора во время обучения с 2016 г. по 2024 г. в отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета.

Научно-исследовательская работа выполнялась при финансовой поддержке стипендии компании British Petroleum (2018-2019 гг.) и Неправительственного экологического фонда имени В.И. Вернадского (2020 г.).

В основу научной работы положены результаты исследований *68 проб* снежного покрова и трех проб золы уноса предприятия теплоэнергетики.

При личном участии автора выполнялся отбор и подготовка проб снежного покрова в соответствии с нормативно-методическими документами (РД 52.04.186-89; Методические рекомендации ИМГРЭ ..., 1982) и опубликованными работами (Сае́т и др., 1990; Шатилов, 2001; Язиков, 2006; Таловская, 2008; 2022; Бортникова и др., 2009; Янченко и др., 2013; Касимов и др., 2012; 2016; Филимоненко, 2015; Рапута и др., 2017). Снеговая съемка проводилась на территории города в масштабе 1:50000 со сгущением и разряжением сети в некоторых районах. Векторная система наблюдений, на расстоянии от 0,5 до 4,5 км, применялась в северо-восточном и юго-западном направлениях от предприятий теплоэнергетики и коксохимического производства.

Химический состав *68 проб* нерастворимой фракции снежного покрова и трех проб золы уноса исследован инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) на содержание 28 химических элемента в лаборатории учебно-научного центра «Исследовательский ядерный реактор» центра коллективного пользования УНУ ИРТ-Т. В лабораториях МИНОЦ «Урановая геология» на базе

отделения геологии ТПУ при личном участии автора осуществлялось измерение ртути в 55 пробах нерастворимой фракции снежного покрова и золы уноса методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААСМ, анализатор РА-915+ с приставкой ПИРО-915), изучение минерально-вещественного состава 54 проб микроскопическим анализом (бинокулярный стереоскопический микроскоп LeicaZN 4D с видео-приставкой; патент № 2229737, 2004 г., авторы: Е.Г. Язиков, А.Ю. Шатилов, А.В. Таловская), 11 проб (147 частиц) сканирующей электронной микроскопией (микроскоп Hitachi S-3400N с ЭДС Bruker XFlash 4010) и 7-ми проб рентгенофазовым анализом (дифрактометр Bruker D2 Phaser). Пробы жидкой фазы снежного покрова (11 проб) исследованы на содержание 58 химических элементов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) в химико-аналитическом центре «Плазма» (г. Томск). Отдельные пробы жидкой фазы снега (5 проб) проанализированы на содержание некоторых органических веществ в аккредитованной лаборатории г. Томска.

По полученным результатам производился расчет эколого-геохимических показателей: пылевая нагрузка (P_n), коэффициент концентрации (K_c), суммарный показатель загрязнения (Z_c), фактор обогащения (ФО) в соответствии с опубликованными работам (Методические рекомендации ИМГРЭ ..., 1982; Саэт и др., 1990; Касимов и др., 2012; 2016). Производилась статистическая обработка результатов исследования в ПО «Statistica». Построение карт-схем осуществлялось в ПО «Surfer» и ПО «Corel Draw». Уровни пылевой нагрузки оценивались по общепринятой градации (Методические рекомендации ИМГРЭ ..., 1982; Саэт и др., 1990; Касимов и др., 2012; 2016) и градации относительно фона для юга Сибири (Таловская, 2022). Фоновые уровни содержания химических элементов в пробах приняты по данным сотрудников отделения геологии ТПУ (Шатилов, 2001; Язиков, 2006; Филимоненко, 2015; Таловская, 2022).

Научная новизна работы.

1. Выделены зоны атмотехногенного воздействия промышленных производств и объектов теплоэнергетики на окружающую среду на основе пространственного распределения уровней пылевой нагрузки и геохимических ассоциаций в нерастворимой фракции снежного покрова на территории г. Кемерово.

2. Выявлено формирование уровней пылевой нагрузки и геохимической специфики состава нерастворимой фракции снежного покрова в зависимости от метеорологических и технологических параметров на теплоэлектростанции (потребление топлива, состав углей Кузнецкого бассейна и золы уноса) на основе данных многолетнего эколого-геохимического мониторинга (2016-2023 гг.) в зоне влияния предприятий теплоэнергетики и коксохимии г. Кемерово.

3. Даны количественные оценки и определены особенности распределения уровней содержания индикаторных техногенных минеральных образований (муллит) и микрочастиц (микросферулы; микрофазы, содержащие барий и редкоземельные элементы; шлак и угольные), отношения муллит/кварц в нерастворимой фракции снежного покрова по направлению основного переноса вещества от предприятий теплоэнергетики.

Практическая значимость работы заключается в качественной и количественной оценке эколого-геохимического состояния атмосферного воздуха на территории г. Кемерово в зимний период, а также в определении геохимической специфики воздействия объектов угольной теплоэнергетики и коксохимического производства на окружающую среду.

Созданы карты-схемы эколого-геохимической оценки территории города на основе изучения состава атмосферных поллютантов, осевших в снежном покрове, обеспечивающие информационную поддержку принятия экологически значимых решений на уровнях территориального управления. Выделены зоны воздействия техногенных объектов на городскую среду, которые можно учитывать при планировании землепользования.

Результаты работы могут быть использованы природоохранными органами Кемеровской области, отделами охраны окружающей среды предприятий для совершенствования природоохранных мероприятий и методов экологического мониторинга, проведения зонирования территории города по уровню экологического риска для здоровья населения.

Материалы диссертационной работы использованы при проведении лекционных занятий по курсу «Экологический мониторинг» для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению «Экология и природопользование» в отделении геологии Инженерной школы природных ресурсов ТПУ.

Достоверность защищаемых положений определяется статистически значимым количеством проб, отобранных и подготовленных по единой апробированной методике, и проанализированных различными современными высокочувствительными аналитическими методами в аккредитованных лабораториях с использованием стандартных образцов сравнения; обработкой полученных данных с использованием статистическо-математических и картографических методов; тщательной проработкой литературы по теме научного исследования.

Апробация работы. Результаты работы автором представлены на 26 Международных и Всероссийских научных конференциях, симпозиумах, форумах, конгрессах, в т.ч. на Всероссийской научной конференции имени профессора М.К. Коровина (г. Томск, 2015 г.), Международном научном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» имени академика М.А. Усова (г. Томск, 2016-2024 гг.), Международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий» (г. Новосибирск, 2017 г., 2018 г.), Всероссийской научно-практической конференции «Природопользование и охрана природы» (г. Томск, 2018 г.), Международном Российско-Казахстанском Симпозиуме «Углекислотная химия и экология Кузбасса» (г. Кемерово, 2018 г.), конференции «Аэрозоли Сибири» (рабочая группа) (г. Томск, 2018 г., 2022 г.), Всероссийской конференции-конкурсе студентов и аспирантов (г. Санкт-Петербург, 2019 г., 2021 г.), Международном форуме-конкурсе студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2019 г., 2021 г.), Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых

«Перспектив Свободный – 2020» (г. Красноярск, 2020 г.), Международном молодежном научно-практическом конгрессе «Нефтегазовые горизонты» (г. Москва, 2020 г.), Байкальской международной научной конференции «Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: химия и климат» (г. Иркутск, 2021 г.), VI Международном молодежном экологическом форуме (г. Кемерово, 2022 г.), Международном Симпозиуме «Инженерная экология-2023» (г. Москва, 2023 г.), XIV Международной Биогеохимической школе-конференции «Проблемы геохимической экологии в условиях техногенеза биосферы» (г. Томск, 2025 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 23 работы, из них 3 статьи в изданиях, индексируемых международными базами данных Web of Science и Scopus, и в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения и списка литературы. Рукопись изложена на 146 страницах машинописного текста, включающего 37 рисунков и 37 таблиц. Список литературы включает 202 источника, из которых 54 на иностранном языке.

Глава 1 посвящена научным исследованиям влияния объектов теплоэнергетики и коксохимии на компоненты природной среды и здоровье населения.

В главе 2 описаны природно-климатические и геоэкологические условия г. Кемерово.

Глава 3 отражает методическую часть исследований, в которой описаны полевые и камеральные этапы работы по отбору, подготовке и анализу проб снежного покрова, включая характеристику лабораторно-аналитических методов и методику обработки полученных данных.

В главе 4 изложены результаты распределения уровня пылевой нагрузки на территории города и многолетней динамики (2016-2023 гг.) формирования пылевой нагрузки в зонах влияния предприятий теплоэнергетики и коксохимии с учетом метеопараметров.

Глава 5 содержит геохимическую характеристику состава нерастворимой фракции снежного покрова на территории города, результаты эколого-геохимического районирования города по концентрациям и ассоциациям химических элементов в пробах, данные многолетнего мониторинга формирования химического состава проб в зонах влияния предприятий теплоэнергетики и коксохимического производства в зависимости от природно-техногенных факторов (метеопараметры, топливно-энергетический баланс, состав угля и золы уноса).

В главе 6 приводятся результаты изучения минерально-вещественных характеристик состава нерастворимой фракции снежного покрова в зоне распространения выбросов предприятий теплоэнергетики.

В заключении представлены основные выводы и рекомендации.

Личный вклад автора заключается в планировании полевых работ; непосредственном отборе и подготовке проб снежного покрова (общей массой снега около 700 кг); в совместном проведении с сотрудниками отделения геологии ТПУ исследований проб нерастворимой фракции снежного покрова в

лабораториях МИНОЦ «Урановая геология»; эколого-геохимической, статистической обработке и интерпретации полученного массива данных, построении графического материала.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю, профессору отделения геологии ИШПР ТПУ, д.г.-м.н. Таловской А.В. за тесное сотрудничество, терпение, понимание, ценные советы и помощь при проведении научных исследований и подготовки диссертации.

Благодарность автор выражает профессору отделения геологии, д.г.-м.н. Языкову Е.Г., профессору, д.г.-м.н. Рихванову Л.П., сотрудникам отделения геологии за внимание и советы во время выполнения работы. Автор проявляет признательность профессору отделения геологии, д.г.-м.н. Арбузову С.И. за предоставление материалов о составе углей для выполнения сравнительного анализа данных. Автор выражает благодарность исполнителям аналитических исследований проб: инженерам ТПУ Судыко А.Ф. и Богутской Л.В., директору ХАЦ «Плазма» Федюниной Н.В. Автор благодарен за помощь в проведении лабораторно-аналитических исследований проб в МИНОЦ «Урановая геология» сотрудникам отделения геологии: к.х.н., доценту Осиповой Н.А., к.г.-м.н., старшему преподавателю Ильенку С.С., к.г.-м.н., доценту Соктоеву Б.Р., аспирантам Зайченко А.П. и Усольцеву Д.Г. Автор благодарит к.г.-м.н. Першину (Володина) Д.А. и Филимоненко Е.А. за предоставленные пробы нерастворимой фракции снежного покрова за 2016 г. для изучения. Отдельную благодарность автор выражает своей семье за моральную поддержку и помощь при отборе проб снежного покрова.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ПОЛОЖЕНИЕ 1. На территории г. Кемерово уровень пылевой нагрузки изменяется от 15 до 610 мг/(м²·сут.) и формируются ореолы преимущественно со средним и высоким уровнем загрязнения. В городе выделены четыре геохимические зоны, характеризующиеся специфичными ассоциациями элементов в нерастворимой фракции снежного покрова, сформированные в основном воздействием предприятий теплоэнергетики и химической промышленности.

Уровень пылевой нагрузки на территории г. Кемерово изменяется от 15 до 610, при среднем 207 мг/(м²·сут.) (таблица 1). Распределение пылевой нагрузки на территории города характеризуется логнормальным законом согласно расчетам теста Колмогорова-Смирнова, отношений асимметрии и эксцесса к их стандартным ошибкам. Мода соответствует полимодальному распределению, по значению коэффициента вариации определено неоднородное распределение, что соответствует территориям с разными источниками загрязнения.

На территории города выделены три ореола с разным уровнем пылевой нагрузки относительно фона (рисунок 1). Первый ореол имеет площадь 19 км² и отличается высоким уровнем пылевой нагрузки относительно фона (240-600 мг/(м²·сут.)) и в сравнении с данными для других ореолов ($p \leq 0,05$, тест Краскела-

Уоллиса). Ореол охватывает преимущественно северную часть города с частной и разно-уровневой жилой застройкой. Данная часть города подвержена влиянию выбросов от предприятий теплоэнергетики и химического производства согласно главенствующему направлению ветра.

Таблица 1 – Статистические параметры уровня пылевой нагрузки на территории г. Кемерово по данным снеговой съемки

n	m	Xгеом	Xmed	Xmod	Min	Max	S
68	207	146	201	полимод.	15	610	152
δm	V	A	δA	E	δE	$A/\delta A$	$E/\delta E$
19	74	0,6	0,3	-0,5	0,6	2	-0,8

Примечание: n – объем выборки (количество проб), m – среднее, Xгеом – среднее геометрическое; Xmed – медиана, Xmod – мода, Min – минимум, Max – максимум, S – стандартное отклонение, δm – стандартная ошибка среднего, V – коэффициент вариации, A – асимметрия, δA – стандартная ошибка асимметрии, E – эксцесс, δE – стандартная ошибка эксцесса; полимод. – полимодальное распределение.

Второй ореол площадью 66 км² характеризуется средним уровнем пылевой нагрузки (60-240 мг/(м²·сут.)). Ореол занимает большую часть города с селитебными и рекреационными зонами, транспортными развязками. Третий ореол площадью 12 км² с низким уровнем пылевой нагрузки (20-60 мг/(м²·сут.)) находится преимущественно на периферии города – в западной части, в районе расположения завода по производству азотных удобрений, и южной части, где размещены частная и малоэтажная жилая застройка.

Геохимическая специфика состава нерастворимой фракции снежного покрова на территории города проявляется в превышении от 2 до 22 раз над фоном концентраций 23 изучаемых химических элементов (U > Yb > Tb > La > Sm > Ba > Ce > Sr > Ca > Ta > Na > Th > Lu > Hf > Nd > Sc > Hg > Co > Fe > Zn > Cs > Sb > Rb). Установлен средний уровень загрязнения снежного покрова данным спектром элементов ($Z_c=124$).

По результатам кластерного анализа в нерастворимой фракции снежного покрова города выделено 8 геохимических ассоциаций: полиэлементные – U–Eu–Co–Hf–La–Yb–Lu–Sc (r от 0,67 до 0,92); Ta–Th–Cs–Rb (r от 0,45 до 0,86); парные – Ba–Sr (r=0,63); Nd–Ce (r=0,53); Sb–Zn (r=0,6); Br–Cr (r=0,47); Hg–As (r=0,43); Fe–Na (r=0,47).

Обработка геохимических данных с помощью факторного, корреляционного, K-средних, кластерного методов анализа, сравнения выборок (тесты Краскела-Уоллиса и Колмогорова-Смирнова) позволила выделить четыре техногенные атмогеохимические зоны на территории города, различающихся по уровням накопления и ассоциациям изучаемых химических элементов в нерастворимой фракции снежного покрова, и пространственному расположению (рисунок 2).

В первой зоне сформирована большая полиэлементная геохимическая ассоциация (Sc–Fe–Co–Rb–Sr–Cs–Ba–La–Ce–Nd–Eu–Tb–Yb–Lu–Hf–Ta–Th–U) в нерастворимой фракции снежного покрова. Химические элементы ассоциации образуют средние, высокие и очень высокие корреляционные связи (r от 0,3 и до 0,8), и коррелируют с доминирующим «фактором 1» (40 % дисперсии).



Рисунок 1 – Карта-схема распределения пылевой нагрузки на территории г. Кемерово по данным снеговой съемки («роза» ветров за зимний период, градация на шкале – Таловская, 2022)

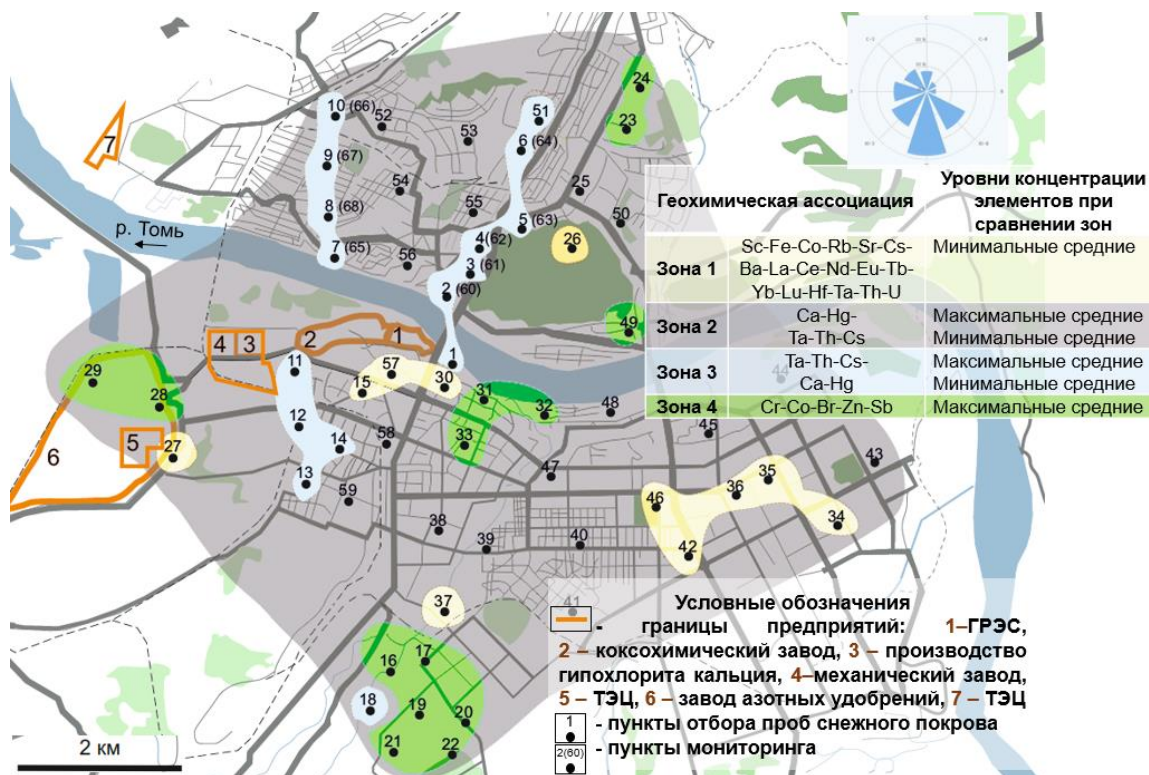


Рисунок 2 – Карта-схема зонирования территории г. Кемерово по особенностям накопления химических элементов в нерастворимой фракции снежного покрова

Пробы из первой зоны статистически значимо отличаются пониженными концентрациями выделенного спектра элементов от данных для проб других сформированных зон. Отмечается, что концентрации Co, Sc, Nd, Eu, Cs, Rb, Fe в нерастворимой фракции находятся на уровне фона; Hf, Lu, Th, Ta, Sr, Ce, Ba – 2-10 фонов; La, Tb, Yb, U – 10-15 фонов. Расположение зоны относится к юго-восточной части города, где находится разно-уровневая жилая застройка, рекреационным районам и наветренной стороне от предприятий.

Во второй и третьей геохимической зоне выделена ассоциация Ca–Cs–Ta–Th–Hg, которая коррелирует с «фактором 3» (8 % дисперсии). Отличительной особенностью фактора является проявление концентраций элементов между этими двумя зонами. Для проб нерастворимой фракции снежного покрова, находящихся во второй зоне, характерны максимальные средние концентрации Ca ($K_c = 6,6$) и Hg ($K_c = 1,9$), минимальные средние концентрации Ta ($K_c = 3,6$), Th ($K_c = 3,7$), Cs ($K_c = 1,4$). Третья зона отмечается обратной тенденцией в накоплении рассматриваемого спектра элементов в пробах – Ta ($K_c = 5,5$), Th ($K_c = 4,9$), Cs ($K_c = 2,2$), Ca ($K_c = 2,4$), Hg ($K_c = 1,7$). Дополнительно в третьей зоне проявляются повышенные концентрации Ce, Lu, Hf, Nd, Sm, La, Yb, Rb, Eu ($K_c = 2-20$) в пробах относительно фона в сравнении с остальными зонами. Вторая зона проявляется на большей части территории города, вероятно, указывая на процессы дальнего массопереноса вещества от источников выбросов. Третья зона располагается в северном, северо-восточном и юго-западном направлениях от предприятий теплоэнергетической и химической промышленности (коксохимический завод, производство гипохлорита кальция).

Для четвертой геохимической зоны характерна ассоциация Cr–Co–Zn–Br–Sb, статистически значимо коррелирующая с «фактором 2» (11 % дисперсии), под названием «автотранспорт». В ассоциации определена сильная корреляционная связь между элементами (r от 0,6 и до 0,9). Отличительной чертой четвертой зоны от других сформированных зон является статистически значимо высокие концентрации элементов выделенной ассоциации, а также U, Ba, Sr, Co и Hg в пробах. В нерастворимой фракции уровни накопления Zn, Sb и Hg на уровне 2-2,5 фонов. Локализация зоны соответствует расположению основных автомобильных развязок, центрального парка и в южной части города с частной жилой застройкой.

Выявленная редкометалльная геохимическая специфика нерастворимой фракции снежного покрова вероятно обусловлена сжиганием и использованием угля на предприятиях. В углях Кузнецкого бассейна приоритетными элементами-примесями являются группа редкоземельных, радиоактивных элементов и некоторых токсичных металлов (Арбузов С.И. с соавторами, 2000; 2005; 2007; 2012; 2015; 2019). Металлы могут сорбироваться на мелких частицах золы уноса и поступать в окружающую среду (Юдович и Кетрис, 2005, 2009; Sushil and Batra, 2006; Czech et al., 2019), и затем оседать в снежный покров.

Выявлено, что в г. Кемерово ореолы группы редкоземельных элементов с уровнями накопления 5-6 фонов в нерастворимой фракции снежного покрова формируются в зоне переноса выбросов предприятий теплоэнергетики и

коксохимии, что указывает на источники поступления данных элементов от сжигания и использования угля.

Угольные теплоэлектростанции и коксохимическая промышленность являются источниками эмиссии ртути и мышьяка (Янин, 1992, 2004; Волох, 1998; Юдович и Кетрис, 2005; Yaqin Guo et al., 2020), полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в окружающую среду (Minal Gune et al., 2019; Liu et al., 2024). В зимний период концентрации химических элементов (Zn, As, Hg) в атмосферных аэрозолях и снежном покрове, ПАУ в воздухе возрастают за счет сжигания топлива, инверсий температур и снижения рассеивающей способности атмосферы (Yang et al., 2020; Маринайте и др., 2020; Московченко, 2021; Gogoï et al., 2021; Темиржанова, 2025). Наши исследования в г. Кемерово показали наличие в снежном покрове положительной корреляционной зависимости между содержаниями мышьяка и ртути ($r=0,5$), мышьяком и летучими органическими соединениями ($r=0,89$), ртутью и фенолами ($r=0,6$), что может свидетельствовать поступлении данных микроэлементов от общих техногенных источников.

Повышенное содержание Са и Na в нерастворимой фракции снежного покрова на территории города, вероятно, связано с использованием противогололедных реагентов таких как техническая соль (хлорид натрия или кальция), песок, мелкий щебень с добавлением антикоррозийных веществ (Систер, Корецкий, 2004; новостной сайт г. Кемерово (VSE42.RU), 2025). Возможным источником макроэлементов может выступать производство гипохлорита кальция и натрия, функционирующее на территории города. Геохимические ореолы кальция, в которых его концентрации выше фона от 4 до 7 раз в нерастворимой фракции снежного покрова, расположены в северном-северо-восточном направлениях от промышленных предприятий, в районах с разноуровневой застройкой и развитой автодорожной сетью.

Поступление в окружающую среду города Zn, Sb, Cr, Co связано с выхлопными газами автомобилей, износом шин и тормозных колодок (Von Uexküll et al., 2005; Касимов и др., 2016; Nazarpour et al., 2019; Klöckner et al., 2019; Пожитков, 2024). Автомобильные выбросы также являлись источником Вг (Block and Dams, 1978; Begak et al., 2001). В мелких частицах дорожной пыли дворовых территорий наблюдается повышенное содержание тяжелых металлов и металлоидов (Cr, As, Zn и др.) за счет влияния автотранспорта (Сычева, 2025).

Следует отметить, что в других компонентах природной среды, например, в лишайниках различных функциональных зон г. Кемерово выявлена ассоциация элементов (Al, Ba, Cr, Fe, Co, S, V, Cu, Cd), связанная с влиянием выбросов тепловых электростанций и производства азотных удобрений, выхлопами автомобилей (Kotov et al., 2021; Zinicovscaia et al., 2024).

Таким образом, на территории г. Кемерово сформированы три ореола с разными уровнями пылевой нагрузки, определена геохимическая специфика состава нерастворимой фракции снежного покрова и локализация геохимических ассоциаций, обусловленных влиянием промышленности и автотранспорта.

ПОЛОЖЕНИЕ 2. В зоне влияния предприятий теплоэнергетики и коксохимии г. Кемерово в период проведения мониторинга (2016-2023 гг.) уровень пылевой нагрузки в среднем изменяется от 245 до 380 мг/(м²·сут.) и связан с влиянием метеопараметров. В нерастворимой фракции снежного покрова концентрации Ca, Sc, Sr, Cs, Ba, Hf, Ta, Hg, Th, U и лантаноидов являются повышенными в 2-25 раз относительно фона, что обусловлено объемами потребления топлива на предприятиях теплоэнергетики, составом угля и золы уноса.

В период наблюдений (с 2016 г. по 2023 г.) в зоне влияния предприятий угольной теплоэнергетики и коксохимии пылевая нагрузка в среднем варьируется от 245 до 380 мг/(м²·сут.), что соответствует высокому уровню загрязнения относительно фона (рисунок 3).

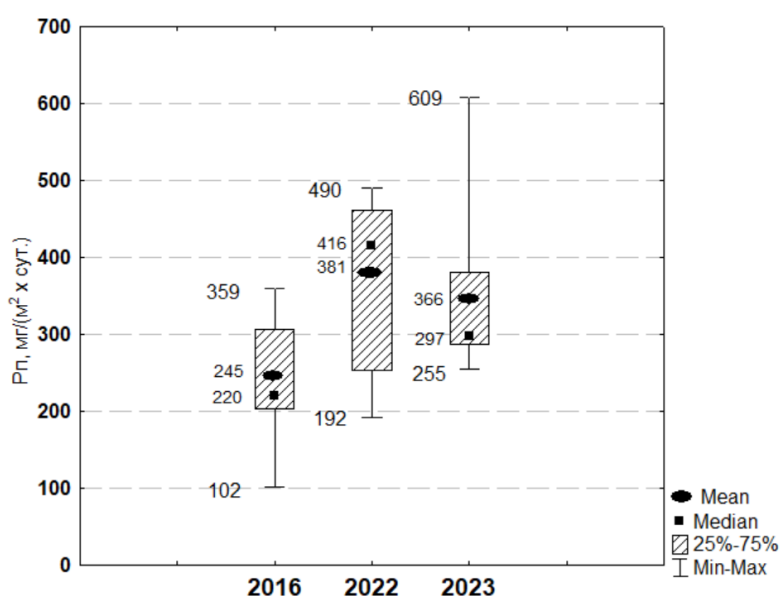


Рисунок 3 – Диаграмма размаха уровней пылевой нагрузки в 2016, 2022 и 2023 гг. по данным исследования снежного покрова в зоне влияния предприятий теплоэнергетики и коксохимии г. Кемерово

статистически достоверно низким из-за небольшого количества осадков и высокой скорости ветра в сравнении с другими годами. В 2022 г. уровень нагрузки значительно превысил показатели других периодов наблюдений, поскольку количество осадков за этот зимний сезон оказалось более высоким.

Установлены статистически значимые высокие уровни пылевой нагрузки в северном и северо-восточном (подветренных) направлениях от изучаемых предприятий по сравнению с нагрузкой в юго-западной (наветренной) стороне. В северо-восточном направлении на расстоянии от 1,5 до 4,5 км от предприятий уровень пылевой нагрузки выше (247–530 мг/(м²·сут.)), чем на территории, находящейся до 1 км (264–426 мг/(м²·сут.)). Характер распределения пылевой нагрузки с увеличением расстояния от предприятий вероятно связан с

По результатам корреляционного анализа выявлено, что метеопараметры оказали влияние на формирование пылевой нагрузки в течение мониторинга (таблица 2). При увеличении относительной влажности воздуха и количества осадков наблюдается рост пылевой нагрузки, при снижении скорости ветра уровень пылевой нагрузки также возрастает. Между пылевой нагрузкой и температурой воздуха корреляционная связь не выявлена. В 2016 г. в исследуемом районе уровень пылевой нагрузки был

природными (ветровые потоки вблизи реки, лесопарковая зона) и антропогенными факторами (высота застройки зданий, высота дымовых труб источников загрязнения).

Таблица 2 – Корреляционная связь пылевой нагрузки и метеопараметров

Параметр	2016 г.	2022 г.	2023 г.	Тип корреляционной связи метеопараметра с пылевой нагрузкой*
Температура воздуха, °С	-11,4	-10,9	-13,4	Слабая ($r = -0,2$)
Скорость ветра, м/с	3,9	3,8	3,6	Высокая ($r = -0,69$)
Относительная влажность воздуха (г/м ³)	78,5	79,8	81,8	Высокая ($r = 0,75$)
Сумма осадков, мм	130	155	140	Очень высокая ($r = 0,87$)
Пылевая нагрузка, мг/(м ² ·сут.)	245	381	366	-

Примечание: * – вербально-числовая шкалы Харрингтона (Адлер и др., 1976); r – коэффициент корреляции

В нерастворимой фракции снежного покрова из 27 изучаемых элементов уровни концентраций 17 элементов (Ca, Sc, Sr, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Hg, Th, U) статистически достоверно не различаются на протяжении периода наблюдений ($p \geq 0,1$ по тесту Краскела-Уоллиса). Близко к фоновым концентрациям ($K_c < 1,5$) в нерастворимой фракции снежного покрова выделяются Cr, Fe, Co, Zn, As, Rb, Sb, Cs, Eu. Менее интенсивно ($K_c = 2-10$) накапливаются в пробах Ca, Sc, Sr, Cs, Ce, Nd, Hf, Ta, Hg, Th. Наиболее интенсивно относительно фона ($K_c > 10$) концентрируются в пробах Ba, La, Sm, Tb, Yb, U. Выделенный геохимический спектр формирует высокий уровень загрязнения в 2016 и 2022 гг.; средний уровень – в 2023 году. По значениям фактора обогащения (ФО= 1,5-9 ед.) данная группа элементов характеризуется антропогенным происхождением.

Во время наблюдений в нерастворимой фракции снежного покрова сохраняется геохимическая ассоциация Sc–La–Ce–Yb–Lu–Hf, в которой определены высокие корреляционные взаимосвязи между элементами ($r \approx 0,84-0,99$). Выявлено, что в снеготалой воде концентрации La, Ce, Nd, Tb, Yb, Hf, Ta также выше фона от 2 до 5 раз, Ca, Sr, Cs, Ba, Th, U, Sm – от 6 до 17 раз.

Установленная группа элементов (Ca, Sc, Sr, Cs, Ba, Hf, Ta, Hg, Th, U и лантаноиды), устойчиво повторяющаяся в нерастворимой фракции снежного покрова в течение трехлетнего мониторинга, может быть использована в качестве индикаторов геохимического воздействия предприятий теплоэнергетики и коксохимии на окружающую среду в городе.

Статистически достоверно определено, что концентрации выделенной индикаторной группы элементов в пробах имеют высокую корреляционную связь с составом угля, золы уноса и объемами потребления топлива на ГРЭС (таблица 3), что свидетельствует о влиянии данных факторов на формирование геохимической специфики нерастворимой фракции снежного покрова. Дополнительно, результаты корреляционного и факторного анализа показывают влияние метеопараметров (температура воздуха, скорость ветра, относительная

влажность и др.) на накопление индикаторной группы элементов в нерастворимой фракции снежного покрова (таблица 4).

Таблица 3 – Корреляционная зависимость содержаний химических элементов в системе «нерастворимая фракция снежного покрова – уголь – зола уноса – потребление топлива на ГРЭС»

Значения r*	от 0,2 до 0,37	от 0,37 до 0,63	от 0,63 до 0,8	от 0,8 до 1
Тип связи*	слабая	средняя	высокая	очень высокая
Нерастворимая фракция – уголь**				
Элементы	Sr, La, As, Co, Sm	Yb, Tb, Hf, U, Eu, Lu, Sc, Sb, Zn	–	–
Нерастворимая фракция – зола уноса				
Элементы	–	As, Rb, Sm, Na	Fe, Cs, Sc, Ca, Th, Ta	U, Yb, Hf, Ba, Sr, Cr, Sb, Co, Nd, Ce, Lu, Tb, Zn, Eu, La
Нерастворимая фракция – потребление топлива на ГРЭС***				
Элементы	Zn	Ce, Th, Cs, Eu, La	Tb	U, Yb, Hf, Ba, Sr, Cr, Sb, Co, Fe, Sc, Rb, Sm, Ca, As, Ta, Na

Примечание: * – вербально-числовая шкалы Харрингтона (Адлер и др., 1976); ** – данные по составу углей предоставлены С.И. Арбузовым, д.г.-м.н., профессором ОГ ИШПР ТПУ; *** – данные с официального источника о схеме теплоснабжения г. Кемерово

Таблица 4 – Корреляционная зависимость содержаний химических элементов в системе «нерастворимая фракция снежного покрова – метеопараметры»

Значения r*	от 0,2 до 0,37	от 0,37 до 0,63	от 0,63 до 0,8	от 0,8 до 1
Тип связи*	слабая	средняя	высокая	очень высокая
Нерастворимая фракция – температура воздуха**				
Элементы	Rb, Fe, Co	Ce, Th, Yb, Hf, Cs, Sc, La, Zn	Cr, Eu	–
Нерастворимая фракция – скорость ветра**				
Элементы	–	Sr	–	–
Нерастворимая фракция – относительная влажность**				
Элементы	Tb	Hg, Lu, Th, Nd, Cs, Rb, Fe, Na, Sb	Yb, Ba, Sr, Sc, Ta, Co, La	Ce, Hf, Eu
Нерастворимая фракция – осадки**				
Элементы	Ce, Co	Yb, Hf, Nd, Tb, Fe, Eu, Sb	Hg, Ta	–

Примечание: * – вербально-числовая шкалы Харрингтона (Адлер и др., 1976); ** – данные по метеопараметрам из сайта world-weather.ru

Таким образом, результаты многолетнего мониторинга на территории, подвергаемой влиянию предприятий угольной теплоэнергетики и коксохимического производства, определили взаимосвязь уровней пылевой нагрузки и концентраций элементов-индикаторов, характеризующих геохимическую специфику состава нерастворимой фракции снежного покрова, с природными (метеорологические параметры) и антропогенными (состав и потребление топлива, состав золы уноса) факторами.

ПОЛОЖЕНИЕ 3. По мере удаления от предприятий теплоэнергетики г. Кемерово в нерастворимой фракции снежного покрова увеличивается доля муллита (13-30 %), уровень отношения муллита к кварцу (0,4-1,8 ед.) и процент встречаемости алюмосиликатных микросферул, уменьшается доля шлака и угольных частиц, неоднородно распределяется частота встречаемости специфичных техногенных металлосодержащих микрочастиц – ферросферул и микрофаз, содержащих барий и редкоземельные элементы.

Для индикации влияния антропогенных источников изучают минерально-вещественный состав нерастворимой фракции снежного покрова (Шатилов, 2001; Язиков, 2006; Шевченко и др., 2006, 2020; Федорова, 2008; Девятова, 2009; Артамонова, 2014; Давыдова, 2014; Филимоненко, 2015; Холодова, 2016; Филимонова, 2017; Таловская, 2008; 2022; Топчая, 2023). В контексте изучения компонентов природной среды в районах размещения предприятий теплоэнергетики индикаторными техногенными образованиями выступают муллит, ассоциированный с алюмосиликатными микросферулами, железосодержащие микросферулы (ферросферулы) (Язиков, 2006; Таловская, 2008, 2022; Федорова, 2008; Девятова, 2009; Жорняк, 2009; Филимоненко, 2015; Филимонова, 2017), формирующиеся при высокотемпературном сгорании угольного топлива и концентрирующиеся в золе уноса (Сокол и др., 2001; Кизильштейн, 2002; Zuyuanov et al., 2011). В углях содержатся микрофазы различных металлов, включая редкоземельные, радиоактивные и самородные (Арбузов, 2007; Ильенок и др., 2013; 2018; Арбузов и др., 2020).

Ранее проведенные исследования в зоне влияния предприятий теплоэнергетики г. Кемерово показали наличие в нерастворимой фракции снежного покрова индикаторных техногенных образований – муллит, микросферулы и микрочастицы, содержащие барий и редкоземельные элементы (Кирина и Таловская, 2019; 2021; Таловская, 2022). В связи с этим, актуальным является количественная оценка содержания и распределения индикаторных техногенных образований в нерастворимой фракции снежного покрова по мере удаления от источников выбросов теплоэнергетического комплекса.

Результаты изучения минерально-вещественного состава показали, что нерастворимая фракция снежного покрова на всей территории г. Кемерово представлена в среднем на 38 % из природных (минеральных) и 62 % техногенных частиц. Среди техногенных частиц преимущественно встречаются продукты выбросов от сжигания угля – алюмосиликатные микросферулы (19 %), металлические микросферулы (3 %), шлак и угольные частицы (34 %).

В зоне влияния предприятий теплоэнергетики минеральный состав проб представлен кварцем (от 14 и до 32 %), альбитом (от 16 и до 40 %), ортоклазом (от 25 и до 37 %), кальцитом (15 %), и техногенным минералом муллитом. Аморфная (41-51 %) и кристаллическая (49-59 %) фазы находятся преимущественно в равных долях и не зависят от расстояния до источника загрязнения. Анализ состава золы уноса подтверждает техногенное происхождение муллита в нерастворимой фракции снежного покрова (рисунок 4).

В нерастворимой фракции снежного покрова по мере удаления от источников эмиссии на расстоянии от 0,5 до 4,5 км доля муллита возрастает с 13 до 30 %, отношение муллит/кварц увеличивается от 0,4 до 1,8 ед. (рисунок 4). Поскольку муллит входит в состав алюмосиликатных микросферул, с полый структурой, он имеет способность к дальнему атмосферному переносу от источника.

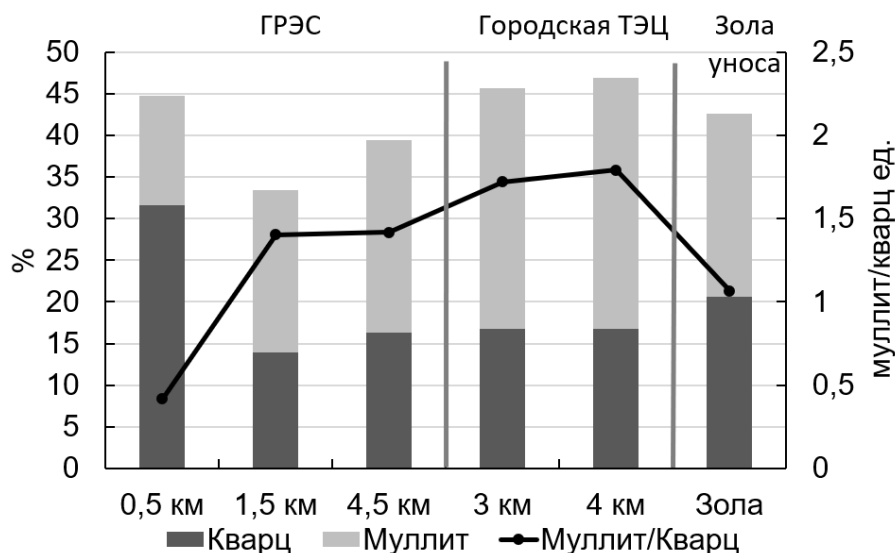


Рисунок 4 – Уровни содержания минералов и отношение муллит/кварц в нерастворимой фракции снежного покрова в зонах влияния предприятий теплоэнергетики г. Кемерово и золе уноса

В нерастворимой фракции снежного покрова преобладает содержание алюмосиликатных микросферул (элементный состав в среднем масс. %: Al – 13, Si – 19, O – 24) над остальными идентифицированными частицами. Установлено, что встречаемость данных микросферул в пробах закономерно возрастает от 60 до 85 % с расстоянием от предприятий теплоэнергетики (рисунок 5).

Доля встречаемости шлака и угольных частиц снижается от 16 до 2 % в нерастворимой фракции по мере удаления от предприятий. Их высокий процент в пробах вблизи источника вероятно связан с эффектом «ледяной крупы» в дымовых трубах ТЭЦ (Беляев и др., 1997), а также переносом частиц с открытых угольных складов изучаемых теплоэнергетических предприятий.

Частота встречаемости ферросферул (10–20 %; элементный состав в среднем масс. %: Fe – 53, O – 31) в нерастворимой фракции снежного покрова не демонстрирует пространственной зависимости на изучаемой территории.

В нерастворимой фракции снежного покрова микрочастицы, содержащие барий и редкоземельные элементы, преимущественно идентифицируются на расстоянии до 1,5 км от предприятий (рисунок 5 и 6). Микрочастицы с барием в основном представлены сульфатами бария (в среднем масс. %: Ba – 43, S – 11, O – 29). Встречаются также алюмосиликатные микросферулы с высоким процентом бария (в среднем масс. %: Al – 18, Si – 17, Ba – 24, O – 18). Общая частота встречаемости всех барий-содержащих частиц находится в пределах 0,2–1,3 %.

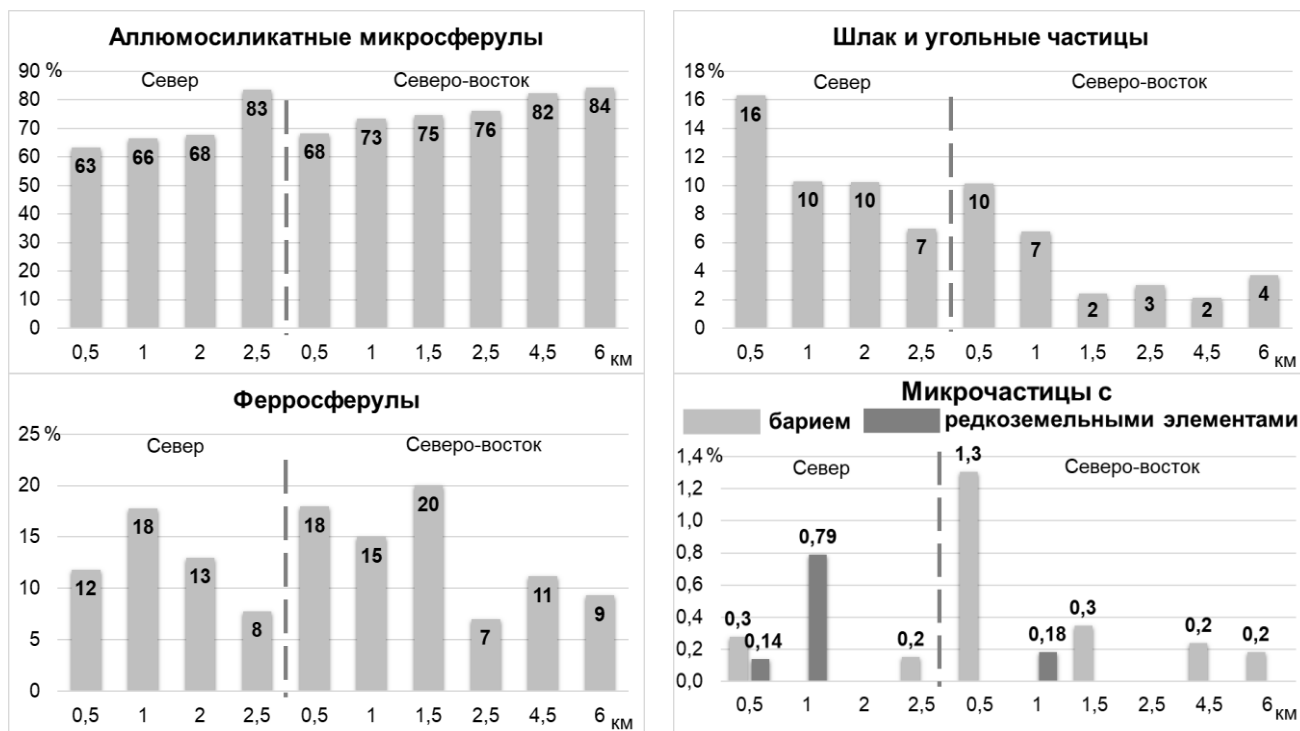


Рисунок 5 – Распределение техногенных образований-индикаторов в нерастворимой фракции снежного покрова в зонах влияния предприятий теплоэнергетики г. Кемерово

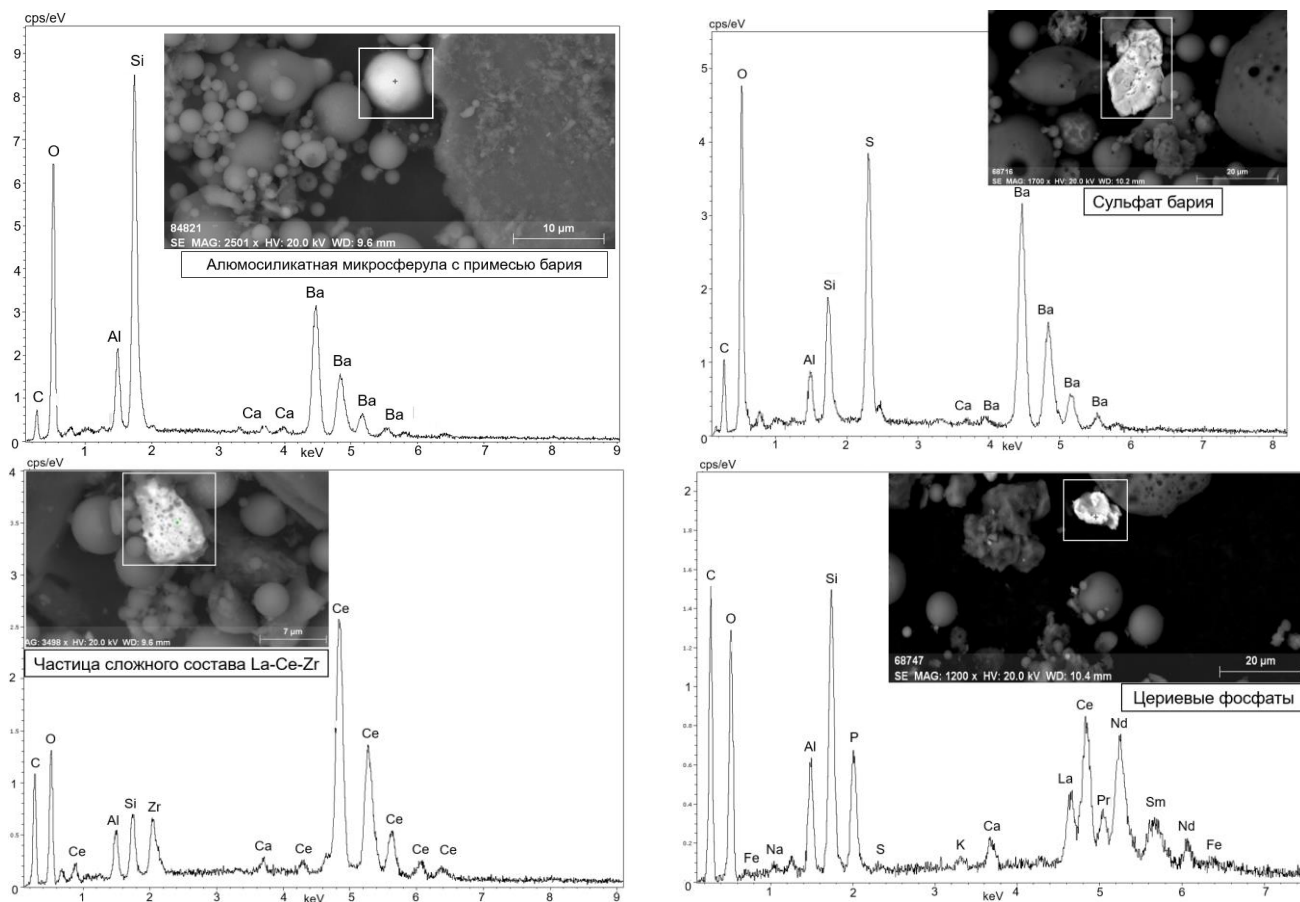


Рисунок 6 – Снимки и энергодисперсионные спектры микрочастиц в нерастворимой фракции снежного покрова в зонах влияния предприятий теплоэнергетики г. Кемерово

Микрочастицы, содержащие редкоземельные элементы, в пробах представлены цериевыми фосфатами (в среднем масс. %: О – 36, La – 10, Ce – 23, P – 11, Al – 4, Si – 9, Nd – 9,) и микрофазами сложного состава (в среднем масс. %: О – 12, La – 8, Ce – 39, Sc – 12, Al – 5, Si – 9, Zr – 8, Pr – 4, S – 4). Общая частота их встречаемости в пробах составляет менее 1 %.

Таким образом, определены количественные показатели содержания индикаторных техногенных минералов и микрочастиц в нерастворимой фракции снежного покрова по мере удаления от объектов теплоэнергетики, что позволило установить дальность переноса продуктов сжигания угля.

Заключение

Данная работа позволила выполнить эколого-геохимическую оценку современного состояния территории г. Кемерово на основе изучения состава нерастворимой фракции снежного покрова.

1. Определено, что уровень пылевой нагрузки на территории города изменяется от 15 до 610 мг/(м²·сут.). Выделены ореолы преимущественно со средним и высоким уровнем пылевой нагрузки относительно фона. Эколого-геохимическое районирование территории выявило четыре зоны с уникальными геохимическими ассоциациями, отражающими влияние промышленности и автотранспорта. Для первой зоны характерна большая ассоциация химических элементов (Sc–Fe–Co–Rb–Sr–Cs–Ba–La–Ce–Nd–Eu–Tb–Yb–Lu–Hf–Ta–Th–U) в нерастворимой фракции снежного покрова, в которой статистически низкие концентрации элементов относительно остальных зон. Территория зоны занимает незначительную часть города. Вторая зона, занимающая большую часть города, отличается в сравнении с третьей зоной максимальными средними концентрациями Ca, Tb, Sc, Fe, Na и минимальными концентрациями Cs, Ta, Th, Hg в пробах, вероятно, формируется за счет дальнего массопереноса вещества от промышленных предприятий. Третья зона, приуроченная к районам влияния теплоэнергетической и химической промышленности, выделяется максимальными средними концентрациями Cs, Ta, Th и низкими Ca и Hg в пробах относительно данных для второй зоны, и максимальными средними уровнями накопления большинства редкоземельных элементов (Sm, Ce, Lu, Yb, Hf, Nd, Eu, La), а также Cs и Th в пробах относительно остальных зон. Четвертая геохимическая зона преимущественно сформирована влиянием автотранспорта за счет ассоциации Cr–Co–Zn–Br–Sb в нерастворимой фракции снежного покрова.

2. В период мониторинга (2016-2023 гг.) в зоне влияния предприятий теплоэнергетики и коксохимического производства сохранялся высокий уровень пылевой нагрузки (245–380 мг/(м²·сут.)) относительно фона. Концентрации элементов-индикаторов (Ca, Sc, Sr, Cs, Ba, Hf, Ta, Hg, Th, U, лантаноиды), отражающие геохимическую специфику состава нерастворимой фракции снежного покрова, превышали фоновые значения в 2-25 раз. Уровни накопления элементов-индикаторов в пробах статистически значимо коррелируют с объемами сжигаемого угля, составом угля и золы уноса. Установлена также зависимость пылевой нагрузки и содержания индикаторной группы элементов от

метеопараметров в зимний сезон (относительная влажность, скорость ветра, сумма осадков).

3. В нерастворимой фракции снежного покрова на территории города над природными минеральными (в среднем 38 %) преобладают техногенные частицы (в среднем 62 %), представленные алюмосиликатными микросферулами (19 %), ферросферулами (3 %), шлаком и угольными частицами (34 %). С удалением от предприятий теплоэнергетики на расстояние до 6 км в нерастворимой фракции доля муллита и алюмосиликатных микросферул, индикаторов высокотемпературного сжигания угля, возрастает в 1,5-2 раза (с 13 до 30 %; с 63 до 84 %, соответственно) и отношение муллит/кварц также увеличивается в 4,5 раза (от 0,4 до 1,8 ед.). Процент встречаемости других продуктов сжигания угля, таких как шлак и угольные частицы уменьшается в пробах с расстоянием от источников выбросов от 2,5 до 5 раз (с 16 до 2 %). Частота встречаемости специфичных техногенных металлосодержащих микрочастиц в пробах не зависит от расстояния до предприятий. Микрочастицы, содержащие барий и редкоземельные элементы, преимущественно встречаются в пробах на расстоянии до 1,5 км от промышленных объектов.

В качестве рекомендаций, по результатам исследований, можно предложить на предприятиях теплоэнергетики и коксохимии обеспечить укрытие открытых угольных складов и мест хранения промышленных отходов для минимизации вторичного пылеобразования. Увеличить площадь зеленых насаждений (особенно в виде многорядных древесно-кустарниковых полос) в качестве естественных барьеров на пути распространения аэрозольных выбросов от промышленных зон к жилым территориям. Разработать и внедрить комплекс мероприятий по снижению выбросов от автотранспорта (развитие общественного транспорта, оптимизация дорожного движения, переход на экологически чистое топливо).

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в список ВАК, Web of Science, Scopus

1. **Новикова (Кирина), В. Д.** Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Кемерово на основе изучения снегового покрова (Кемеровская обл.) / В. Д. Новикова (Кирина), А. В. Таловская, Е. Г. Язиков // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 7. – С. 210-223.

2. **Новикова (Кирина), В. Д.** Динамика пылевой нагрузки и химического состава снегового покрова в районе расположения предприятий теплоэнергетики и коксохимии (на примере г. Кемерово) / В. Д. Новикова (Кирина), А. В. Таловская, Е. Г. Язиков // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 3. – С. 193-207.

3. Talovskaya, A. V. Chemical composition of atmospheric particulate matter in the winter season as indicator of environment quality within urban areas / A. V.

Talovskaya, **V. D. Kirina**, V. V. Litay, T. S. Shakhova, D. A. Volodina, E. G. Yazikov // Pure and Applied Chemistry. – 2022. – V. 94 (3). – Pp. 249–256.

Статьи в сборниках конференций

4. **Кирина**, В. Д. Анализ пылевых частиц атмосферного воздуха в функциональных зонах г. Кемерово / В. Д. Кирина, К. Д. Киринов // VI Международный молодежный экологический форум: материалы форума, Кемерово, 16–17 ноября 2022 г. / Под редакцией Т.В. Галаниной, М.И. Баумгартэна. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 314.1–314.4.

5. **Новикова (Кирина)**, В. Д. Динамика пылевой нагрузки на снеговой покров на территории г. Кемерово / В. Д. Новикова (Кирина), А. В. Таловская, Е. Г. Язиков // Научный Международный симпозиум Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Инженерная экология: сборник докладов. – Москва, 2023. – Выпуск: XII. – С. 218–221.

6. **Кирина**, В. Д. Оценка аэротехногенной трансформации урбанизированной территории г. Кемерово на основе изучения снежного покрова // Всероссийской конференции с международным участием «Геохимия окружающей среды»: тезисы в сборнике, 23–26 августа 2022 г., г. Москва. – 2022.

7. **Кирина**, В. Д. Статистическая обработка геохимических измерений состава твердой фазы снегового покрова на территории г. Кемерово / В. Д. Кирина, А. В. Таловская // Проблемы экоинформатики: Материалы XV Международного симпозиума, Москва, 06–08 декабря 2022 г. / Под редакцией Ф.А. Мкртчяна. – Москва: Московское НТО радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2022. – С. 170–173.

8. **Кирина**, В. Д. Элементный состав твердой фазы снега в районах г. Кемерово // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXIV Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых учёных, Томск, 6–10 апреля 2020 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – Т. 1. – С. 595–596.

9. **Kirina**, V. D., Talovskaya A. V. Assessment of heat power plants emissions impact on air based on the snow cover study to environmental protection development (Kemerovo city) / V. D. Kirina, A. V. Talovskaya // Topical issues of rational use of natural resources: Scientific conference abstracts XV International forum-contest of students and young researchers, St. Petersburg, May 13–17, 2019. – 2019. – P. 290.

10. **Кирина**, В. Д. Оценка влияния выбросов объектов теплоэнергетики на состояние атмосферного воздуха по данным изучения снегового покрова для разработки природоохранных рекомендаций (г. Кемерово) // XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов горно-геологического, нефтегазового, энергетического, машиностроительного и металлургического профиля: материалы конференции, Санкт-Петербург, 27–29 марта 2019 г. – СПб: изд-во Санкт-Петербургского горного университета. – 2019. – С. 290 с.

11. **Кирина, В. Д.** Эколого-минералогическая оценка снеговой пыли в окрестностях коксохимического завода и ГРЭС в г. Кемерово // Экология России и сопредельных территорий (МЭСК-2018): материалы XXIII Международной экологической студенческой конференции, Новосибирск, 26-28 октября 2018 г. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2018. – С. 63.

12. **Кирина, В. Д.** Анализ пылевого загрязнения атмосферного воздуха в окрестностях коксохимического завода и ГРЭС в г. Кемерово // Природопользование и охрана природы: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 11 апреля 2018 г. – Томск: Изд-во Парус, 2018 – С. 9-11.

13. **Кирина, В. Д.** Анализ пылевого загрязнения атмосферного воздуха в окрестностях коксохимического завода (на примере г. Кемерово) // Экология России и сопредельных территорий (МЭСК-2017): материалы XXII Международной экологической студенческой конференции, Новосибирск, 27-29 октября 2017 г. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2017. – С. 9.