

**Федеральное бюджетное учреждение науки  
«Федеральный научный центр медико-профилактических технологий  
управления рисками здоровью населения»  
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и  
благополучия человека**

*На правах рукописи*

**ЗАГОРОДНОВ Сергей Юрьевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОНИТОРИНГА, КОНТРОЛЯ И  
НОРМИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ НА БАЗЕ  
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ И СИТУАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

1.6.21. Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор биологических наук, профессор  
Май Ирина Владиславовна

Пермь – 2023

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ, КОНТРОЛЮ И НОРМИРОВАНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ (НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР).....	12
1.1 Пыли как объект исследования и фактор экологической опасности для здоровья населения.....	12
1.2 Особенности экологического нормирования и мониторинга пылей в России и за рубежом.....	18
1.3 Проблемы контроля и управления пылевыми выбросами.....	30
1.4 Геоэкологическое картирование и ситуационное моделирование как методы информационно-аналитической поддержки решений в области пространственного планирования .....	33
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	36
ГЛАВА 3 ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОДИРОВАНИЯ.....	44
3.1 Пыли разных производств.....	44
3.2 Разработка метода и инструментария анализа компонентного и дисперсного состава пылей.....	55
3.3 Геоэкологическая оценка ситуации с учетом данных о компонентном и дисперсном составе пылей .....	60
ГЛАВА 4 ПЫЛЕВОЙ ПРОФИЛЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛЕВЫХ ВКЛАДОВ ОТДЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА.....	70
4.1 Методические подходы к построению компонентного профиля пылевых выбросов.....	70
4.2 Выделение вклада предприятий в пылевое загрязнение на основании учета профилей выбросов .....	75

ГЛАВА 5 ОБОСНОВАНИЕ ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ .....	81
5.1 Обоснование оптимальных точек экологического мониторинга и производственного контроля с учетом компонентного и дисперсного состава пылей .....	81
5.2 Элементы совершенствования системы экологического нормирования промышленных пылевых выбросов .....	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	92
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	94
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	95
Приложение А .....	120
Приложение Б .....	123
Приложение В.....	124
Приложение Г .....	125
Приложение Д.....	127
Приложение Е.....	148
Приложение Ж.....	151

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Загрязнение атмосферного воздуха урбанизированных территорий твердыми взвешенными частицами (пылью) в течение многих лет является экологической и санитарно-гигиенической проблемой в России и за рубежом. Установлены и доказаны факты формирования под воздействием взвешенных частиц дополнительной смертности и заболеваемости населения (С.А. Pope, D.W. Dockery, J. Schwartz, L.M. Neas, WHO). Многочисленные исследования акцентируют опасность для здоровья человека мелкодисперсных пылей с диаметром частиц менее 10 и 2.5 мкм (PM10 и PM2.5) (С.А. Pope, D.W. Dockery, L. Curtis, P. Smith-Willis, L. Zhengzheng, R. Peters, Б.А. Ревич и др.).

В Российской Федерации ежегодно в атмосферный воздух стационарными источниками выбрасывается порядка 1 567 тыс. тонн пыли [1]. На постах экологического мониторинга повсеместно фиксируются нарушения допустимых уровней содержания взвешенных веществ. При декларируемом сокращении выбросов твердых веществ на 30 % за период 2012-2021 гг., в целом по стране загрязнение воздуха пылью сохраняется на стабильном уровне: снижение фиксируемых приземных концентраций за этот период составило не более 6 %. Сохраняется тренд на увеличение количества городов с установленными фактами повышенного пылевого загрязнения воздуха [2]. Взвешенные вещества, в том числе мелкодисперсные, входят в число приоритетных компонентов в 34 из 40 российских городов с наибольшими индексами загрязнения атмосферы (ИЗА > 14), среди которых Астрахань, Красноярск, Нижний Тагил, Челябинск, Новокузнецк, Норильск, Улан-Уде, Чита, Южно-Сахалинск и др.

Вместе с тем, при выполнении расчетов в целях экологического нормирования выбросов, хозяйствующие субъекты в основном демонстрируют отсутствие превышений гигиенических нормативов пыли. Данные об источниках выбросов мелкодисперсных пылей в стране практически отсутствуют. Из 118 действующих методик расчета твердых выбросов только 6 указывают на

необходимость учета частиц PM10 и PM2.5. Нередко не указывается, что в составе пылей присутствуют такие опасные вещества, как бенз(а)пирен, плохо растворимые фтористые соединения, соли и оксиды тяжелых металлов. Все это снижает информативную ценность инструментальных наблюдений и результативность системы управления выбросами. Подходы к нормированию выбросов пыли в России остаются неизменными с конца прошлого столетия, несмотря на появление новых данных о крайне негативных последствиях пылевого загрязнения.

Актуальность настоящей работы определена необходимостью разработки инструментов, позволяющих корректно учитывать химический и дисперсный состав выбросов промышленных пылей, контролировать уровни их воздействия на окружающую среду и здоровье граждан, обеспечивать эффективное управление, в том числе через систему экологического нормирования.

Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.6.21. Геоэкология, п. 15, п. 16.

Работа выполнена в Федеральном бюджетном учреждении науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

**Степень разработанности темы исследований.** По данным портала научной электронной библиотеки [elibrary.ru](http://elibrary.ru), библиографических баз данных Scopus и Web of Science основной объём отечественных и зарубежных исследований нескольких последних десятилетий ориентирован на изучение уровней загрязнения воздуха мелкодисперсными пылями в городах или в зонах влияния отдельных объектов (С.А. Роре, D.W. Dockery, J.A. Acosta, П.А. Коузов, В.Н. Азаров, А.И. Рожков, Е.П. Янин, Г.Я. Липатов, К.Л. Чертес, Н.В. Зайцева, Н.Д. Левкин, А.Р. Шагидуллин и др.). Вопросам методического обеспечения анализа дисперсного состава пылей и распространения пылевых выбросов посвящены работы П.В. Коузова, В.Н. Азарова, В.Ф. Рапуть, Р.А. Шагидуллиной, Н.В. Костылевой и др. Реже обсуждаются аспекты компонентного состава пылей,

оценки вклада отдельных объектов в пылевое загрязнение, подходы к нормированию выбросов пыли.

Остается нерешенным ряд методических проблем по корректной оценке геоэкологической ситуации в зонах влияния пылящих источников, по установлению источников пыления, управлению уровнями загрязнения воздуха с целью повышения экологической безопасности населения.

Указанные проблемы определили **цель исследования**: научное обоснование путей совершенствования систем мониторинга, контроля и нормирования твердых промышленных выбросов на базе анализа компонентного и дисперсного состава пылей, геоэкологического картирования и ситуационного моделирования.

**Гипотеза исследования** состояла в том, что уточнение компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов будет иметь следствием изменение оценок экологической ситуации и потребует новых подходов к мониторингу и экологическому нормированию твердых веществ.

Для реализации поставленной цели решали следующие **задачи**:

1. Установить дисперсный и компонентный состав пылевых выбросов источников ряда отраслей промышленности, в том числе с применением новых методов анализа твердых смесей, сформировать базы данных и библиотеки атрибутированных микрофотографий пыли.

2. Выполнить анализ получаемых оценок экологической ситуации при различных входных параметрах пылевых промышленных выбросов.

3. Предложить подход к оценке долевого вклада источников загрязнения атмосферы твердыми частицами на основе установления компонентного профиля пылевых выбросов.

4. Обосновать порядок выбора точек мониторинга атмосферного воздуха для корректной оценки уровня пылевого загрязнения атмосферного воздуха на урбанизированных территориях и рисков для здоровья населения.

5. Разработать подходы к совершенствованию экологического нормирования и контроля промышленных пылевых выбросов для повышения эффективности управления качеством атмосферного воздуха.

**Научная новизна:**

– Доказано, что декомпозиция пылевых промышленных выбросов по критериям дисперсности и химического состава является основой адекватной оценки экологической ситуации в зонах влияния источников выбросов.

– Разработан инновационный способ качественного и количественного определения пылевых частиц в атмосферном воздухе с применением элементов компьютерного зрения, библиотеки атрибутированных микрофотографий пылей и метода нейронных сетей.

– Предложена методика оценки вклада хозяйствующих субъектов в загрязнение атмосферы твердыми частицами на основе новых подходов – построения компонентных профилей пылевых выбросов.

– Обоснован алгоритм выбора точек и формирования программ мониторинга загрязнения атмосферного воздуха твердыми веществами, обеспечивающий оптимизацию системы наблюдений по критериям специфики структуры и интенсивности загрязнения и риска для здоровья населения.

**Теоретическая и практическая значимость.** Теоретическая значимость работы состоит в расширении методической базы идентификации и параметризации твердых частиц в атмосферном воздухе; в формировании новых знаний о компонентном и дисперсном составе промышленных пылей; в разработке понятия «профиль пылевого выброса» как инструмента оценки вклада источника в загрязнение; в доказательстве значимости установления химического и фракционного состава выбросов для корректной оценки опасности (безопасности) экологической ситуации; в совершенствовании подходов к организации экологического мониторинга и нормирования выбросов.

Практическая ценность работы заключается в возможности применения полученных данных при проведении инвентаризации источников выбросов различных отраслей промышленности. Предлагаемые подходы обеспечивают потребности хозяйствующих субъектов в организации производственного контроля и позволяют корректно решать задачи государственного контроля и нормирования выбросов.

Материалы проведенных комплексных исследований дисперсного и компонентного состава выбросов были использованы горнодобывающими и горноперерабатывающими предприятиями (г. Мирный, г. Красноярск), металлургического и машиностроительного комплекса (г. Пермь, г. Чусовой). Результаты определения профиля пылевых выбросов использованы крупным горнодобывающим комплексом, расположенного на территории г. Березники Пермского края при установлении причин высокого уровня концентраций взвешенных веществ на границе санзоны предприятия и оценке долевого вклада объекта в уровень загрязнения.

**Методология и методы исследования.** Методология исследования предполагала последовательную реализацию всех этапов алгоритма действий по управлению выбросами с развитием научно-методической поддержки отдельных звеньев этого алгоритма. Выполняли углубленные исследования химического и дисперсного состава пылевых выбросов, оценку геоэкологической ситуации в зонах влияния этих выбросов; организацию мониторинга качества воздуха с выделением вкладов отдельных источников в загрязнение, экологическое нормирование выбросов.

При выполнении диссертационного исследования проводились выездные инструментальные обследования источников пылевыделения промышленных предприятий, лабораторные исследования отобранных образцов пылей. Используются методы: лазерная дифракция, энергодисперсионный анализ, электронная микроскопия, рентгено-фазный анализ, по результатам которых устанавливались компонентный, дисперсный и морфологический состав пылей. Анализ образцов проводили на базе «Центра наукоемких химических технологий и физико-химических исследований» ПНИПУ и испытательного лабораторного центра ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (№ RA.RU.21HA51 от 26.12.2017 г.).

Моделирование рассеивания пылей и ситуационное моделирование выполняли в соответствии с «Методами расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе», утвержденными приказом

Минприроды России от 06.06.2017 г. № 273 [3]. Расчет уровней риска здоровью выполняли по методологии, принятой Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека [4].

В работе использованы общенаучные методы исследования (анализ, синтез, обобщение, сравнение), методы статистического анализа (корреляционный анализ, сравнение средних).

**Степень достоверности результатов.** В основу диссертационной работы включены материалы длительного исследования, выполненного в период 2014-2021 гг. Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов подтверждена большим объемом накопленных данных (более 500 отобранных проб), сходимостью результатов, получаемых при параллельных и/или повторных исследованиях, использованием современных инструментальных, лабораторных, химико-аналитических методов, выполненных аттестованными методами на метрологически поверенном оборудовании.

Статистический анализ и интерпретация полученных результатов проведены с использованием современных методов обработки информации

Диссертационная работа апробирована на расширенном заседании научных отделов ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»: системных методов санитарно-гигиенического анализа и мониторинга; математического моделирования систем и процессов; анализа риска для здоровья; химико-аналитических методов исследования (Протокол № 2 от 26.09.2023 г.).

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Установление компонентного и дисперсного состава промышленных выбросов твердых веществ повышает адекватность и корректность оценок уровня экологической опасности (безопасности) территорий и населения.

2. Применение современных методов компьютерного зрения и нейронных сетей расширяет возможности оперативного исследования химического и фракционного состава твердых частиц в атмосферном воздухе.

3. Построение профиля пылевого выброса – инструментально установленной стабильной химической структуры пылевой смеси – позволяет доказательно установить долевые вклады источников в загрязнение, определить маркерные для источника вещества.

4. Использование профилей пылевых промышленных выбросов, выбор «маркерных» веществ для инструментальных измерений, геоэкологическое картирование загрязнения и оценка рисков для населения обеспечивают оптимальный выбор точек и программ мониторинга атмосферного воздуха в части содержания взвешенных веществ.

5. Включение в систему экологического нормирования всех видов учитываемых твердых веществ, в том числе мелкодисперсных частиц, повысит эффективность управления пылевыми выбросами и обеспечит более высокий уровень экологической безопасности.

**Апробация результатов исследований.** Основные результаты исследований и выносимые на защиту положения докладывались и обсуждались на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Химия. Экология. Урбанистика» (Пермь, 2019), Международной конференции «8th International Conference on Environmental Science and Technology» (Мадрид, Испания, 2017), Международном симпозиуме «Инженерные науки и науки о земле: прикладные и фундаментальные исследования» (Грозный, 2019), Международной конференции «Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies» (AGRITECH-2019, AGRITECH-III-2020) (Красноярск, 2019, 2020), Международной научно-практической конференции «Экологическое строительство и устойчивое развитие. Экосистема городского пространства» (Пермь, 2018), Международном Форуме Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды и проблеме: «Экологические проблемы современности: выявление и предупреждение неблагоприятного воздействия антропогенного детерминированных факторов и климатических изменений на окружающую среду и здоровье населения» (Москва, 2017) и др.

**Внедрение результатов исследования.** Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, внедрены в практическую деятельность Акционерного общества «Пермский завод «Машиностроитель» (акт о внедрении от 05.07.2023 г.) и Акционерного общества «Чусовской металлургический завод» (акт о внедрении от 03.07.2023 г.) (Приложение А).

**Публикации.** Результаты исследований по теме диссертации опубликованы в 24 печатных работах, из которых 18 – в журналах, индексируемых в международных реферативных базах: Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, GeoRef, 2 – в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень, рекомендованный при Минобрнауки России, зарегистрировано 2 объекта интеллектуальной собственности (базы данных), 2 статьи в прочих изданиях.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 155 страницах машинописного текста, содержит 27 таблиц и 33 рисунка. Состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 181 наименование, семи приложений.

*Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю д.б.н., проф. И.В. Май и сотрудникам ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»: академику РАН, д.м.н., проф. Н.В. Зайцевой; д.м.н. В.Б. Алексееву; проф. РАН, д.м.н., доценту С.В. Клейн; к.т.н. Д.А. Кирьянову; к. физ.-мат. н. В.М. Чигвинцеву; М.Ю. Цинкеру, к.т.н. А.В. Кокоулину за участие в обсуждении полученных результатов и помощь при подготовке диссертации.*

# ГЛАВА 1 СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К МОНИТОРИНГУ, КОНТРОЛЮ И НОРМИРОВАНИЮ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ (НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

## 1.1 Пыли как объект исследования и фактор экологической опасности для здоровья населения

### *1.1.1 Пыли как экологическая проблема*

Понятие «пыль» (или «пыли») не имеет точного научного значения, но обычно определяется как твёрдое вещество в состоянии порошка или мелких частиц [5] или дисперсная система (аэрозоль) с газообразной дисперсионной средой и твердой дисперсной фазой [6]. Принимается, что скорость витания этих частиц не превышает 10 см/с, а сопротивление при их движении относительно среды подчиняется закону Стокса [7].

Как факторы, влияющие на экологические характеристики окружающей человека среды, пыли классифицируются на пыли природного происхождения (открытая поверхность почвы, выветривание горных пород, вулканическая активность, биогенные аэрозоли т.п.) и техногенные пыли, образующиеся в результате хозяйственной деятельности населения (выбросы промышленных предприятий, автотранспорта, сжигание различных видов топлива и т.д.).

Техногенные пыли являются предметом государственного учета со стороны хозяйствующих субъектов и регуляторов – органов власти, уполномоченных на контроль и надзор в сфере охраны окружающей среды и здоровья населения.

По данным Государственных докладов Министерства природных ресурсов «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации...» ежегодно только от стационарных источников предприятий и организаций страны в атмосферный воздух страны поступает более 1,6 млн. тонн твердых веществ, от передвижных источников – 26,7 тыс. т [8].

Хозяйствующие субъекты в последние полтора десятилетия декларируют постоянное снижение выбросов твердых веществ. Так, в период с 2012 по 2022 гг. по данным статистики масса годовых выбросов твердых веществ от предприятий и организаций сократилась на 30 % (Рисунок 1.1).

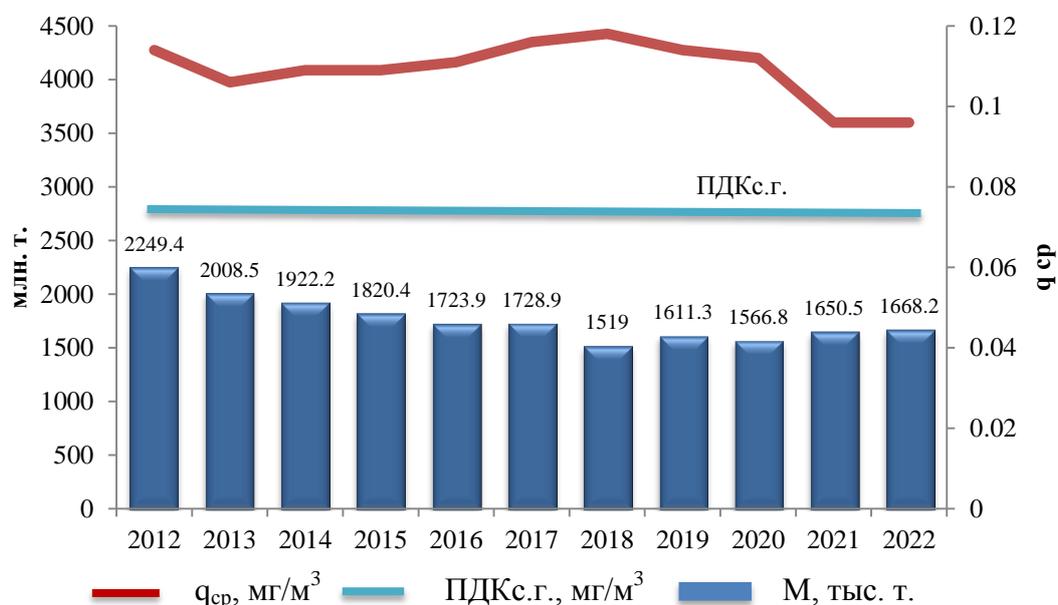


Рисунок 1.1 – Динамика выброса твердых веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в целом по России (тыс. т., М) и среднегодовые концентрации взвешенных веществ ( $q_{cp}$ , мг/м<sup>3</sup>)

Вместе с тем, по данным мониторинга среднегодовые концентрации взвешенных веществ не имеют аналогичной тенденции к уменьшению (Рисунок 1.1) [8]. В период 2010-2020 гг. среднегодовые концентрации взвешенных веществ в целом по стране фактически сохранялись на одном уровне. И только в 2021 году зафиксировано снижение на 15,7 % к 2012 г.

Загрязнение атмосферного воздуха в таких городах Российской Федерации, как Абакан, Ачинск, Братск, Новокузнецк, Норильск, Лесосибирск, Магнитогорск, Нижний Тагил, Селенгинск, Томск, Челябинск, Чита, Шелехов и пр., характеризуется высоким уровнем содержания взвешенных веществ. Так, превышение допустимых максимальных разовых концентраций взвешенных веществ (более 1 ПДКм.р.) в 2021 г. зафиксировано в 122 городах. Наибольшие концентрации взвешенных веществ отмечали в течение года в г. Южно-

Сахалинске (14,1 ПДКм.р.), г. Новоалександровске (13,4 ПДКм.р.), г. Свирске (12,5 ПДКм.р.).

Среднегодовая концентрация взвешенных веществ по городам РФ за 2021 г. составила 0,096 мг/м<sup>3</sup> (1,3 ПДКс.г.). Превышение допустимого среднегодового уровня (более 1 ПДКс.г.) было зафиксировано в 120 городах. Самый высокий среднегодовой уровень запыленности воздуха в 2021 г. отмечен в Новочеркасске – 8,6 ПДКс.г. и в Махачкале – 7,2 ПДКс.г. [9].

Техногенными источниками пыли являются многие процессы и производства [8, 10-19]. Промышленное загрязнение накладывается на природное, усугубляя экологические проблемы [20, 21]. Основной вклад в выбросы твердых веществ в окружающую среду вносят объекты энергетики, работающие на твердом топливе [22, 23], предприятия горнодобывающей [24], металлургической [25, 26], строительной промышленности [27-30]. Немалый вклад вносят предприятия нефтехимии, пищевой и легкой промышленности, хранения и переработки отходов, а также транспорт [31-34].

Воздушная пыль действует аналогично парниковому эффекту: она поглощает и рассеивает солнечное излучение, уменьшая его количество, достигающее поверхности Земли, поглощает длинноволновое излучение, отражающееся от поверхности, повторно излучая его во всех направлениях. При этом способность пылевых частиц поглощать солнечное излучение зависит от их размера, формы и состава [35-37].

Л.С. Ивлев отмечает, что сильная пространственно-временная изменчивость аэрозолей затрудняет моделирование распространения пылей и оценку их воздействия на состояние объектов природной среды [35].

Нередко загрязнение атмосферного воздуха является причиной изменения геоэкологической ситуации на территории. С ростом объёмов пыли, выбрасываемой промышленными предприятиями, при разработке карьеров, открытых горных работах и интенсификации дорожного движения увеличивается осаждение и аккумуляция пылевых частиц в почвенном покрове, растительности, водных объектах [38, 39]. Эти процессы происходят как на урбанизированных

территориях, так и за их пределами [40]. Так, в зонах влияния цементных производств Турции и Нигерии загрязнение атмосферы выбросами заводов привело к увеличению содержания в почвах извести на 22,00 %, обменного катиона на 15,93 %, на 12-66 % изменился рН и на 7,86 % электропроводность почвы. Эти изменения привели к снижению содержания органических веществ в почве загрязненных территорий на 6,5 %, урожайности полей на 37,01 % [41-43].

В исследовании Воробьева А.Е. с соавторами (2021) [44] показано, что выпадение минеральной пыли в зонах полиметаллических рудников, а также вымывание пыли дождевыми осадками приводит к изменению геохимического состава почв. Авторы выявили литобиогеохимические аномалии площадью до тысячи квадратных километров.

В работах Э.А. Лазаревой, А.М. Farmer, N. Khalid, M. Pavlík и др. установлено негативное воздействие пыли на растительный покров [45-49].

Пыль также может усугублять вторичные почвенные стрессы, интенсифицировать проникновение в почвы токсичных металлов или фитотоксичных газообразных соединений [50].

Промышленные выбросы негативно влияют на качество воды водных объектов, изменяя её химический состав, питательную базу для планктона, органолептические свойства, вызывают эвтрофикацию водоёмов [51-53].

В сочетании с влагой твердые частицы воздуха снижают долговечность строительных конструкций, ухудшают эксплуатационные свойства механизмов, приводят к их преждевременному износу, коррозии, растрескиванию и разрушению. Пылевые частицы под действием аэродинамических потоков поднимаются вверх, обтекают фасады зданий, оседают на поверхности деталей и облицовки зданий, со временем могут вызывать коррозию металлических элементов конструкций [54].

Динамическая пыль, находящаяся в постоянном движении, может являться причиной изменения качества строительного материала, оказывая мельчайшие механические повреждения. Статическая пыль, находящаяся в состоянии покоя и обволакивающая элементы строительных конструкций, не позволяет влаге,

температуре и воздуху проникать и выводиться из предметов, что негативно влияет на надёжность и крепость конструкции. Кроме того, пыль имеет свойства осаждаться на стеклянных и зеркальных элементах сооружений, что может влиять на их светопропускаемость, инсоляцию зданий [55, 56].

Таким образом, для защиты окружающей среды от негативного воздействия пылевых выбросов важно:

- наличие достоверной информации о массах и интенсивности выбросов и тенденциях их изменений;
- максимально полное представление о характеристиках пылей: физических свойствах, химическом и дисперсном составе, морфологии частиц;
- объективизация сведений о территории под воздействием выбросов.

### ***1.1.2 Пылевые выбросы промышленных предприятий как фактор воздействия на человека***

Согласно информационному бюллетеню Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) «Качество атмосферного воздуха и здоровье» твёрдые частицы оказывают негативное воздействие на большее число людей, чем какой-либо другой загрязнитель воздуха [57].

Пыль в воздухе в целом является причиной ухудшения комфортности проживания и качества жизни населения. Многочисленные исследования доказывают, что пыли вызывают поражения дыхательной и сердечно-сосудистой систем [58, 59]. Наиболее чувствительными группами к воздействию высокого уровня пыли являются дети, пожилое поколение, население с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, с респираторными заболеваниями, включая курильщиков [59].

В работе J.O. Anderson, J.G. Thundiyil, A. Stolbach отмечено, что загрязнение воздуха взвешенными частицами ежегодно приводит примерно к 800 тысячам преждевременных смертей в мире [60]. Неблагоприятное воздействие взвешенных частиц формируется как при кратковременном (часы, дни), так и при длительном (месяцы, годы) загрязнении воздуха. У людей с респираторными

заболеваниями, такими как астма, хроническая обструктивная болезнь легких, хронический бронхит и т.п. даже небольшое увеличение концентрации пыли может усугубить болезненное состояние [61].

Повторные (многодневные) воздействия могут иметь более серьезные последствия для здоровья, чем последствия однократного воздействия [62, 63].

В последние десятилетия доказано, что наиболее опасными являются частицы пыли диаметром менее 10 мкм (PM10) и 2,5 мкм (PM2.5), поскольку они могут легко проникать в легкие и альвеолы. PM2.5 могут преодолевать аэрогематический барьер и попадать в кровеносную систему [64, 65].

По имеющимся оценкам, при увеличении концентрации PM10 на 0,010 мг/м<sup>3</sup> суточная смертность от всех причин возрастает на 0,2–0,6 % [66, 67]. В работе Б.А. Ревича (2018) [68] показано, что в условиях загрязнения воздуха мелкодисперсными частицами дополнительная смертность населения 219 городов России составила 67,9 тыс. случаев/год при воздействии PM10 и 88,2 тыс. случаев/год при воздействии PM2.5.

Накопленные данные свидетельствуют о том, что частицы размером менее 2,5 мкм токсичны и способны вызвать разрушение кожных покровов [69, 70]. Описано негативное влияние PM2.5 на когнитивные функции и риск возникновения ранних деменций [71-74].

Токсичность частиц, их биологические эффекты, также зависят от их химического состава [61]. В исследованиях P. Saldiva, R. Clarke, B. Coull, R. Stearns, J. Lawrence, J. Soukup, A. Ghio, S. Becker показывается важность химического состава твердой компоненты частиц для определения их воздействия на здоровье человека. Высокие уровни брома, ванадия, меди и углерода, содержащихся в PM2.5 и PM10 могут приводить к заболеваниям лёгких [75, 76].

Особую озабоченность вызывают твердые формы соединений токсичных металлов, полиароматические углеводороды (ПАУ), органические кислоты, стойкие органические токсичные вещества, такие как диоксины [64].

Авторы обзора «Airborne Particulate Matter and Human Health» C. Davidson, R. Phalen, P. Solomon предполагают, что, скорее всего, ни один химический

элемент не оказывает доминирующего воздействия на здоровье, а эффекты, вероятно, связаны с их комбинацией [65, 77].

Таким образом, весь комплекс научных исследований свидетельствует о крайне высокой степени важности полного понимания компонентного и дисперсного состава выбросов и формируемого этими выбросами качества воздуха и рисков для здоровья населения.

## **1.2 Особенности экологического нормирования и мониторинга пылей в России и за рубежом**

### ***1.2.1. Экологическое нормирование пылей в России***

Экологическое нормирование пылей представляет собой установление для каждого источника и хозяйствующего субъекта в целом допустимых масс выбросов (г/с, т/год), соблюдение которых гарантирует нормативное (безопасное) качество окружающей среды как в короткий период времени (20 минут), так и в течение суток, года и более.

В России критерии безопасного качества атмосферного воздуха закрепляются на федеральном уровне санитарными правилами и нормативами (СанПиН) и утверждаются Главным государственным санитарным врачом в форме величин предельно допустимых концентраций (ПДК<sup>1</sup>) или ОБУВ (ориентировочных безопасных уровней воздействия) химических веществ, и используются как один из юридических критериев достижения безопасной и благоприятной среды обитания человека [78].

В СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» выделено 900 химических веществ твердого агрегатного состояния [78]. В документ включены нормативы твердых веществ:

---

<sup>1</sup> ПДК<sub>м.р.</sub> – концентрация, предотвращающая раздражающее действие, рефлекторные реакции, запахи при воздействии до 20 - 30 минут. ПДК<sub>с.с.</sub> – концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при воздействии не менее 24 часов. ПДК<sub>с.г.</sub> – концентрация, обеспечивающая допустимые (приемлемые) уровни риска при хроническом (не менее 1 года) воздействии

– определяемых по источнику их образования или материалу, используемому в технологическом процессе без строгого указания химического состава пыли. Например: пыль конвертерного производства Нижнетагильского металлургического комбината, пыль древесная, пыль абразивная, пыль мучная, зерновая, хлопковая, пыль желатина, пыль крахмала, каменного угля и т.п.

– с частичным указанием на содержащиеся в пыли химические вещества. Например, пыль неорганическая с содержанием  $\text{SiO}_2$  менее 20%, пыль полиметаллическая свинцово-цинкового производства (с содержанием свинца до 1 %), пыль асбестосодержащая (с содержанием хризотиласбеста до 10 %), пыль выбросов табачных фабрик (с содержанием никотина до 2,7 %), пыль хромитовой руды с содержанием диХрома триоксида до 40 %, и т.п.;

– соединений металлов (оксиды алюминия, железа, магния, хрома и т.д.);

– мелкодисперсных частиц  $\text{PM}_{2.5}$  и  $\text{PM}_{10}$ ;

– взвешенных веществ как недифференцированной по составу пыли (аэрозоля), из состава которой исключены все твердые вещества, для которых установлены гигиенические нормативы

В Российской Федерации предельно допустимые концентрации взвешенных частиц  $\text{PM}_{10}$  и  $\text{PM}_{2.5}$  [79] введены в действие только в 2010 году Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 19.04.2010 N 26. ПДК гармонизированы с нормативами ВОЗ, однако являются менее строгими (Таблица 1.1) [58, 80]. Основания принятых нормативов опубликованы не были.

Таблица 1.1 – Нормативы России и ВОЗ содержания  $\text{PM}_{10}$  и  $\text{PM}_{2.5}$  в атмосфере

	Вещество	Период осреднения		
		20-30 минут, мг/м <sup>3</sup>	сутки, мг/м <sup>3</sup>	год, мг/м <sup>3</sup>
РФ	$\text{PM}_{10}$	0,3	0,06	0,04
	$\text{PM}_{2.5}$	0,16	0,035	0,025
	Взвешенные вещества	0,5	0,15	0,075*
ВОЗ	$\text{PM}_{10}$	–	0,05	0,020
	$\text{PM}_{2.5}$	–	0,025	0,01

Примечание: \* норматив введен в 2021 году

В соответствии с российским природоохранным законодательством хозяйствующие субъекты, у которых имеются стационарные или передвижные источники выделения и/или выброса в атмосферный воздух, обязаны проводить и документировать инвентаризацию этих источников, обосновывать и соблюдать утвержденный норматив допустимого выброса (НДВ) [81-83].

Однако на текущий момент фактически отсутствуют нормативные и методические документы, директивно обязывающие при проведении инвентаризации источников определять полный химический состав пылевой смеси и выделять отдельные фракции выбросов с размерами частиц менее 10 и 2,5 мкм. Действующее на момент выполнения данного исследования распоряжение Минприроды России № 38-Р от 26.12.2022 г., содержит перечень из 118 рекомендуемых для хозяйствующих субъектов методик расчета состава и масс выбросов. В документе 67 методик предусматривают учет отдельных видов пыли (например: пыль зерновая, цементная, древесная), взвешенных веществ и/или просто твердых частиц (без указания их химического состава). Следуя методическим рекомендациям, хозяйствующие субъекты при инвентаризации указывают в выбросах исключительно предлагаемые компоненты, не выполняя дополнительных исследований.

На конец 2022 г. только 6 методик из указанного списка предписывали расчет (учёт) в составе твердых выбросов мелкодисперсных фракций пыли. К ним относятся «Методика расчета выбросов от источников горения при разливе нефти и нефтепродуктов», «Методика определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров», «Методика расчета выделений (выбросов) загрязняющих веществ в атмосферу при механической обработке металлов» и др. Однако фактически расчетная оценка выбросов PM10 и PM2.5 в данные методики не включена, удельные выбросы мелкодисперсных фракций отсутствуют.

Предприятия не заинтересованы в разработке расчётных методов для определения концентраций мелкодисперсных частиц, так как наличие их в выбросах приведёт к дополнительной плате за выбросы. При этом государственные природоохранные структуры проблему директивным образом не

решают. Это имеет следствием отсутствие практики учета мелких фракций при нормировании выбросов [84-86].

В целом номенклатура удельных показателей компонентного состава пылевых выбросов, заложенная в методиках, крайне ограничена, и зачастую предлагает в качестве выбрасываемого компонента «взвешенные вещества» или ограниченные виды иных неспецифических пылей [87, 88].

**Таким образом,** поскольку установление нормативов базируется на ведомостях инвентаризации и расчетах, результаты регулирования выбросов полностью зависят от вводных данных, изначально система государственного управления качеством воздуха строится на ограниченных данных о составе пылевых выбросов, включая практически полное отсутствие данных о выбросах мелкодисперсных частиц.

### *1.2.2 Экологическое нормирование пылей за рубежом*

В зарубежной практике управления качеством атмосферного воздуха среды используется понятие «взвешенные частицы» (Particulate Matters, PM). К таким частицам относятся все твердые частицы в воздухе размером 0,1-10 мкм, независимо от их химического состава [89].

Директива Евросоюза 2010/75/ЕС о промышленных выбросах рассматривает пыль как совокупную массу взвешенных частиц (ст. 72, п. d), включающую мелкодисперсные фракции (Приложение II) [90], к которым как правило, относят частицы PM10 и PM2.5 [67].

Руководство ВОЗ по качеству воздуха (Air Quality Guidelines, AQG) в качестве стандартов безопасности приводит рекомендуемые значения концентраций для частиц фракций PM10 и PM2.5 в осреднении на 1 день (сутки): – 0,05 и 0,02 мг/м<sup>3</sup> или 1 календарный год 0,02 и 0,01 мг/м<sup>3</sup>, свинца – 0,0005 мг/м<sup>3</sup>, кадмия – 0,000005 мг/м<sup>3</sup>, мышьяка – 0,0000066 мг/м<sup>3</sup>, никеля – 0,000025 мг/м<sup>3</sup> [91]. В дополнение к этому, для достижения рекомендуемых концентраций PM2.5 и PM10, ВОЗ предлагает промежуточные целевые показатели (Приложение Б).

В зарубежных странах концентрация мелкодисперсных взвешенных частиц нередко используется как косвенный критерий уровня загрязнения атмосферного воздуха [92]. Взвешенные мелкодисперсные частицы отнесены к группе «классических» загрязнителей, наряду с диоксидом азота, озоном и диоксидом серы [93].

Предельные концентрации загрязняющих веществ (Limit Value) в Европейском Союзе устанавливает Директива 2008/50/ЕС Европейского Парламента и Совета по качеству атмосферного воздуха и чистого воздуха для Европы (Ambient Air Quality Directive) [94]. Директива 2008/50/ЕС устанавливает предельные концентрации PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> и соединений свинца. Допустимые концентрации мышьяка, кадмия и никеля в атмосферном воздухе регулируются Директивой 2004/107/ЕС [95].

Директивой (ЕС) 2015/1480 Европейской Комиссии от 28 августа 2015 г. признана особая опасность мелкодисперсных взвешенных частиц. Данным положением определяется, что выбросы мельчайших твёрдых частиц не должны регулироваться тем же способом, что выбросы других загрязняющих воздух веществ. Подход должен иметь целью общее снижение концентрации мелкодисперсных частиц в населённых пунктах. Для этого первой стадией достижения уровней ПДК должен являться целевой показатель [96].

Указанные Директивы устанавливают следующие типы стандартов для твёрдых частиц в воздухе:

- предельные значения (Limit Value) концентраций PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> и свинца, устанавливаемые на основе научных данных, ориентированы на предотвращение или минимизацию негативного воздействия на здоровье человека и окружающую среду;
- целевые значения (Target Value) концентраций PM<sub>2.5</sub>, мышьяка, кадмия, никеля ориентированы на предотвращение или минимизацию негативного воздействия на здоровье человека.

Для PM<sub>2.5</sub> определены дополнительные временные нормы (средний показатель экспозиции, концентрации воздействия, национальные цели по

снижению воздействия). Предельные и целевые значения концентраций твёрдых частиц в атмосфере установлены как среднегодовые значения.

Агентство по защите окружающей среды США (United States Environmental Protection Agency, EPA) установило национальные стандарты качества атмосферного воздуха (National Ambient Air Quality Standards, NAAQS) для шести основных загрязнителей, которые названы «критериями» загрязнения воздуха. Стандарты описаны в федеральном Законе о чистом воздухе (Clean Air Act, CAA) [97]. Твёрдая компонента загрязнителей представлена частицами PM10, PM2.5 и свинцом (Таблица 1.2) [98]. Нормативы не такие жесткие, как рекомендуется ВОЗ.

Таблица 1.2 – Национальные стандарты качества атмосферного воздуха США, принятые для пылевой компоненты в атмосферном воздухе

Загрязнитель	Период осреднения	Уровень (мг/м <sup>3</sup> )	Комментарии
PM10	24 часа (первичный и вторичный)	0,15	Не должна превышаться чаще одного раза в год в среднем в течение 3 лет
	1 год	–	–
PM2.5	24 часа (первичный и вторичный)	0,035	98%-ый перцентиль, в среднем за 3 года
	1 год (первичный)	0,012	Среднегодовое значение, Усредненное за 3 года
	1 год (вторичный)	0,015	Среднегодовое значение, усредненное за 3 года
Свинец	Скользящее среднее за 3 месяца (первичный и вторичный)	0,00015	Не должно быть превышено

Закон США о чистом воздухе регулирует выбросы в атмосферу от стационарных [99] и передвижных [100] источников с учетом достижимости требуемых уровней. При определении нормативов выбросов CAA требует соответствие их стандартам, разработанным на основе «максимально достижимой технологией контроля». Нормированию подлежат стационарные источники или группа стационарных источников, которые выбрасывают или могут выбрасывать в атмосферный воздух 10 или более тонн в год опасного загрязнителя или 25 или более тонн в год их комбинаций. Предприятия – источники выбросов веществ – должны ежегодно отчитываться о выбросах в соответствии с формами по

инвентаризации токсичных веществ [101]. Твёрдая составляющая выбросов для отчётности представлена соединениями тяжёлых металлов [102].

В Канаде в 2013 году были утверждены стандарты качества атмосферного воздуха (Canadian Ambient Air Quality Standards, CAAQS), определяющие значения нормативов качества только для взвешенных частиц PM<sub>2.5</sub> [103-105] (Таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Нормативы содержания PM<sub>2.5</sub> в атмосферном воздухе Канады

Загрязнитель	Период осреднения	Значение концентрации, мг/м <sup>3</sup>	
		2015 год	2020 год
Взвешенные частицы PM <sub>2.5</sub>	24 часа	0,028	0,027
	1 год	0,01	0,088

Главным принципом обеспечения высокого качества атмосферного воздуха в Канаде является требование к проектированию и эксплуатации промышленных предприятий таким образом, чтобы фактические концентрации в атмосферном воздухе оставались ниже значений стандартов качества.

Предприятия – источники выбросов должны предоставлять в уполномоченный орган отчетность об инвентаризации выбросов [106]. В составе отчетности должны быть представлены данные о взвешенных веществах и о соединениях тяжёлых металлов.

Нормативы выбросов загрязняющих веществ устанавливаются с учетом технологических нормативов. Последние определяются на основании показателей наиболее эффективных технологий по предотвращению и контролю выбросов и выражаются в виде базовых требований по промышленным выбросам – Base Level industrial Emission Requirements (BLIERs) [107, 108]. Уставлено, что все значимые промышленные источники в Канаде, независимо от того, где расположены предприятия, должны соответствовать базовому уровню требований по выбросам.

В Австралии приняты стандарты безопасности, представленные в Таблице 1.4 [109].

Таблица 1.4 – Стандарты допустимых концентраций твёрдых частиц в атмосферном воздухе в Австралии

Загрязнитель	Период осреднения	Стандарт максимальной концентрации (мг/м <sup>3</sup> )	Комментарии
PM10	1 календарный день	0,05	Превышения недопустимы
	1 календарный год	0,025	Превышения недопустимы
PM2.5	1 календарный день	0,025	Превышения недопустимы
	1 календарный год	0,008	Превышения недопустимы
Свинец	1 календарный год	0,0005	Превышения недопустимы

До 2016 года для взвешенных частиц были допустимы 5 превышений разовых установленных концентраций в год. В 2016 году это положение было заменено правилом исключительных событий. К исключительным событиям относятся пожары или пыление, которые отрицательно сказываются на качестве воздуха в определенном месте, вызывают превышение среднесуточных стандартов сверх нормальных исторических колебаний и фоновых уровней [110].

В целом достижение требуемого качества воздуха в зарубежных странах по законодательным требованиям обеспечивается через применение наилучших доступных технологий (НДТ или Best Available Techniques), под которыми понимаются *«наиболее эффективные новейшие разработки для различных видов деятельности, процессов и способов функционирования, которые свидетельствуют о практической целесообразности использования конкретных технологий в качестве базы для установления разрешений на эмиссии загрязняющих веществ в окружающую среду с целью предотвращения загрязнения, или, когда предотвращение практически невозможно, минимизацию эмиссий в окружающую среду в целом»*. Технологии включают в себя не только технические средства, но также процессы и подходы, обеспечивающие снижение негативного воздействия на окружающую среду [90].

Справочники НДТ (Best Available Techniques Reference Document, BREF) содержат информацию о различных НДТ и о предельных уровнях эмиссий,

которые могут быть достигнуты через применение технологий. Каждая страна вправе устанавливать как более, так и менее строгие значения уровней эмиссий, в зависимости от географических условий, технического оснащения объектов и экономической целесообразности внедрения НДТ.

Предельные уровни эмиссий, указанные в справочниках BREF, принимаются в качестве нормативов эмиссий (предельные значения эмиссий, Emission Limit Values) и устанавливаются на источнике выброса загрязняющих веществ [90]. При отсутствии справочника BREF для технологического процесса страны устанавливают нормативы эмиссий согласно своим предписаниям и техническим руководствам с учетом применения НДТ. В список веществ, для регулирования их выбросов, включены пылевые составляющие промышленных выбросов: металлы и их соединения; пыль, включая мелкодисперсные частицы (PM10; PM2.5); асбест (взвешенные частицы, волокна). Страны имеют право изменять список загрязняющих веществ в зависимости от их значимости в структуре промышленного производства, а также самостоятельно разрабатывать предельные значения эмиссий с учётом особенностей расположения производственного объекта (климат, особенности рельефа местности и др.) и требований НДТ [90].

При установленном загрязнении атмосферного воздуха для улучшения ситуации в зависимости от масштаба загрязнения, как правило, устанавливаются промежуточные показатели по выбросам конкретных веществ для промышленных предприятий. Это позволяет природопользователям постепенно перестроить свою деятельность, не опасаясь мер административного принуждения или экономических санкций со стороны государственных регуляторов.

**Таким образом,** анализ отечественных и зарубежных подходов к нормированию пылевых выбросов в атмосфере показал основные различия:

– за рубежом отсутствует классификация пылей по «технологическому» принципу или принципу «происхождения» (пыль зерновая, пыль мучная). Основное внимание уделяется содержанию в атмосфере соединений металлов

(свинца, никеля, кадмия, мышьяка и пр.) и мелкодисперсных частиц PM10 и PM2.5;

– действующая в России система нормирования выбросов основывается на расчетной оценке рассеивания дефрагментированного перечня химических веществ в твердом состоянии и установлении нормативов, обеспечивающих по результатам расчетов приземные концентрации каждого отдельного вида пылей. Эффекты суммации пылей разных видов не закреплены и не учитываются.

- страны Европы, Америки, Азии ориентируются на соблюдение критериев качества содержания оксидов металлов, взвешенных частиц PM10 и PM2.5 и т.д. через внедрения наилучших доступных технологий в производственные процессы.

### ***1.2.3 Мониторинг пылей в России и за рубежом***

В Российской Федерации систематические измерения концентраций взвешенных веществ в атмосферном воздухе ведутся в рамках [81]:

1. государственного мониторинга атмосферного воздуха – на постах сети Росгидромета, других органов исполнительной власти в пределах своей компетенции, органов местного самоуправления; в городах и промышленных центрах для оценки фонового загрязнения;

2. социально-гигиенического мониторинга (СГМ) – на постах наблюдения Роспотребнадзора (территориальных центров гигиены и эпидемиологии);

3. производственного контроля – на территории или в зоне влияния выбросов хозяйствующего субъекта, в том числе на границах санитарно-защитных зон и/или в ближайшей жилой застройке, или других объектов (зон) с нормируемым качеством воздуха [111];

4. по инициативе заинтересованных научных, общественных или коммерческих организаций (например, общественный проект «Дыши.Москва»<sup>2</sup>).

---

<sup>2</sup> <https://breathe.moscow>

Общие принципы формирования системы мониторинга атмосферного воздуха (определение количества и мест размещения постов наблюдений, перечня веществ для контроля, периодичности контроля и др.) и методы наблюдений за содержанием загрязняющих веществ, в том числе пылей (взвешенных частиц), закреплены нормативным документом РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» [112]. Учёт дисперсного (фракционного) состава пылевых частиц в атмосферном воздухе в РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» изначально предусмотрен не был.

Количественное определение концентраций твердых частиц в воздухе проводится с применением:

- гравиметрического метода (эталонный, эквивалентный);
- физическо-химических методов (оптический, радиоизотопный, нефелометрический, с применением счетчика частиц и пр.).

Физические методы предполагают использование автоматических анализаторов, которые в режиме реального времени напрямую дают возможность определять массовые концентрации в воздухе как взвешенных веществ (общей пыли, TSP – Total Suspended Particles), так и частиц с заданными диаметрами (чаще всего это менее PM10, PM4, PM2.5, PM1).

Анализ нормативно-методической документации и результатов практического опыта экологических служб и природопользователей показал, что на постах государственной сети наблюдения за качеством и загрязнением атмосферного воздуха в основном контролируется содержание взвешенных веществ (пыли, не идентифицированной по составу) и/или концентрации тяжёлых металлов (железо, кадмий, марганец, медь, никель, хром, цинк, свинец), твёрдых фторидов, реже – иных твердых веществ. При этом система экологического мониторинга под «взвешенными веществами» фактически понимает сумму всех твердых частиц, уловленных из воздуха.

На станциях комплексного фоновый мониторинга (СКФМ) и Глобальной службы атмосферы (ГСА ВМО) оцениваются концентрации тяжёлых металлов (Pb, Cd, Hg) и взвешенных частиц [113-115].

Несмотря на то, что для PM10 и PM 2.5 установлены гигиенические нормативы, систематический мониторинг содержания этих частиц в атмосферном воздухе на территории Российской Федерации развит слабо, хотя методические подходы к такому мониторингу разработаны [116-120].

Содержание мелкодисперсных частиц (PM10, PM2.5) в атмосферном воздухе контролируется в некоторых крупных городах: Москва, Санкт-Петербург, Казань, Красноярск, также в населённых пунктах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения (в том числе в городах-участниках Федерального проекта «Чистый воздух) – городах Норильск, Селенгинск, Улан-Удэ, Шелехов, Ангарск, Гусиноозерск и пр. [114, 121-128].

На территории Евросоюза среднесуточные и среднегодовые концентрации мелкодисперсных частиц определяются почти на 3000 станций мониторинга, о чем свидетельствуют данные Европейского агентства по окружающей среде (European Environmental Agency, ЕЕА) [129]. Установлено, что эталонным методом является гравиметрический метод измерений, остальные методы измерения рассматриваются как эквивалентные.

Согласно Директиве 2008/50/ЕС, страны обязаны представлять в Еврокомиссию данные мониторинга, полученные эталонным или эквивалентным методом [130]. Этому требованию придерживаются Великобритания и США [131], которые накапливают данные на общегосударственном уровне.

**Таким образом,** мониторинг пылевого загрязнения атмосферного воздуха в России в основном ведется гравиметрическим методом, путем оценки суммы взвешенных веществ, не идентифицированных по составу. Полученные концентрации соотносятся с ПДК взвешенных веществ.

Ситуация имеет следствием крайне сложную идентификацию источников загрязнения, поскольку предприятия декларируют выброс конкретных видов пылей и не несут юридической ответственности за загрязнение воздуха взвешенными веществами, состав которых не определен.

Мониторинг мелкодисперсных частиц PM10 и PM2.5 развит слабо и не «привязан» к вероятным источникам выбросов.

### 1.3 Проблемы контроля и управления пылевыми выбросами

Проблемы контроля и управления пылевыми выбросами в России обусловлены как несовершенством экологического законодательства, так и практикой учета компонентного и дисперсного состава пылей.

Статьей 22 Федерального закона от 10.01.2002 №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» *предусмотрена разработка нормативов допустимых выбросов... в отношении загрязняющих веществ, включенных в перечень загрязняющих веществ, установленный Правительством Российской Федерации, расчетным путем на основе нормативов качества окружающей среды...». Указанный перечень был определен распоряжением Правительства РФ от 8 июля 2015 г. N 1316-р [132].*

Отмечено, что государственное регулирование твердых компонентов ограничено следующим перечнем: взвешенные вещества, взвешенные частицы PM10 и PM2.5, пыль неорганическая (с содержанием кремния менее 20 %, 20-70 %, а также более 70 %), пыль каменного угля, зола твердого топлива и соединения металлов. Все прочие виды пыли выведены из системы государственного регулирования.

При том, что результаты экологического и социально-гигиенического мониторинга и ряда научных исследований [133-136] убедительно доказывают наличие опасных уровней взвешенных веществ, в том числе PM10 и PM2.5, принять управляющие решения по улучшению ситуации крайне сложно. Источник (источники) – как объект управления качеством воздуха – остается не идентифицированным. Соответственно, теряется вектор, адресность воздухоохраных мероприятий.

В работе [137] показано, что данные расчетов рассеивания пылей и данные инструментальных измерений пыли на постах мониторинга коррелированы очень слабо. При этом квотирование и регулирование выбросов ведется исключительно по данным расчетов рассеивания. Как следствие, меры по пылеподавлению либо

не планируются, либо планирование ведет к неэффективным затратам на воздухоохраные мероприятия и отсутствию ощутимого улучшения ситуации.

Не меньшей проблемой является и то, что нормативы допустимых выбросов, за исключением радиоактивных, высокотоксичных веществ, веществ, обладающих канцерогенными, мутагенными свойствами (веществ чрезвычайно высоких и высоких), не рассчитываются для объектов III и IV категории по классификации Минприроды. Таким образом, выбросы пылей умеренно опасных и мало опасных (а это значительная доля пылей и по перечню, и по массе выброса), а также пылей, для которых не установлен класс опасности, вообще не подлежат регулированию государством. При этом следует отметить, что объекты III и IV категории – это, как правило, небольшие предприятия, расположены наиболее близко к жилой застройке, и оказывающие прямое негативное воздействие на качество воздуха и здоровье граждан.

Сложности возникают при нормировании выбросов взвешенных веществ в части учёта фонового загрязнения атмосферы, в том числе при разработке проектов санитарно-защитных зон [138, 139]. Взвешенные вещества с кодом 2902 рассматриваются как сумма твердых веществ, из которых исключены компоненты, для которых установлены индивидуальные ПДК. Фоновые концентрации для отдельных видов пылей органы Росгидромета не предоставляют. НИИ «Атмосфера» поясняет, что проводить нормирование выбросов по сумме твердых веществ некорректно, т.к. документально такая группа суммации не закреплена<sup>3</sup>. Делается вывод о том, что требование контролирующих организаций об учёте фонового загрязнения при нормировании взвешенных веществ является не правомерным. При этом необходимость учёта фонового загрязнения закреплена в СанПиН 2.1.3684-21 [140].

В большинстве случаев практика нормирования пылевых выбросов предприятий, осуществляется по «взвешенным веществам» или «пыль неорганическая с содержанием  $\text{SiO}_2$ ...». При этом гигиенические нормативы содержания «взвешенных веществ» в атмосфере значительно мягче, чем для

---

<sup>3</sup> Письмо АО «НИИ Атмосфера» N 312/н 33-07 «О взвешенных веществах» от 28.04.2005 г.

целого ряда иных пылей. Например, ПДКм.р. взвешенных веществ и пыли неорганической с содержанием менее 20 %  $\text{SiO}_2$  – 0,5 мг/м<sup>3</sup>, пыли неорганической с содержанием двуоксида кремния 70-20 % – 0,3 мг/м<sup>3</sup>, тогда как ОБУВ пыли абразивной – 0,04 мг/м<sup>3</sup>, ОБУВ пыли меховой – 0,03 мг/м<sup>3</sup>, ПДКм.р. пыли табачных фабрик – 0,0008 мг/м<sup>3</sup> и т.п. Применение менее жестких нормативов приводит, соответственно, и к менее жестким требованиям к выбрасываемым массам твердых веществ. При этом возникает угроза искажения реальной экологической ситуации и недооценка показателей риска для здоровья населения.

Более того, государственный и производственный контроль качества атмосферы и по показателю «взвешенные вещества» (в понимании Росгидромета взвешенных веществ как суммы пылей) не позволяет корректно оценить степень опасности многокомпонентной смеси взвешенных частиц, поскольку для каждого объекта пылевой выброс специфичен [141-145]. Представляется, что определение компонентного состава и фракционной структуры выбросов является крайне важным элементом природоохранной деятельности, информационной основой всей системы дальнейших действий по управлению качеством воздуха [146-149].

Целесообразным является развитие системы выявления и контроля «маркерных» для предприятия веществ [150-154], концентрации которых позволяют с определенной степенью достоверности оценивать вклад источника в загрязнение окружающей среды.

**Таким образом,** система государственного регулирования пылевых выбросов ограничена узким перечнем твердых веществ и выводит из процедуры нормирования выбросы объектов, отнесенных к III, IV категориям риска по классификации Минприроды. Отсутствие связи инструментальных измерений и расчетных данных имеет следствием недостаточный учет фонового загрязнения и невозможность получать адекватную картину загрязнения, и соответственно, принимать корректные и эффективные решения по управлению выбросами.

#### **1.4 Геоэкологическое картирование и ситуационное моделирование как методы информационно-аналитической поддержки решений в области пространственного планирования**

Обеспечение безопасной окружающей среды требует решения целого комплекса пространственных задач. К таким задачам относятся: выбор корректного расположения контрольных точек для нормирования; зонирование жилой территории по уровню распределения концентраций с выделением участков наибольшего риска; оценка соответствия функционального назначения территорий их экологическому состоянию; оценка результативности мероприятий; выбор планировочных решений с учетом существующей фоновой антропогенной нагрузки и т.п. [155-157].

На сегодня инструменты и методы решения задач пространственного анализа, экологического картографирования (картирования), прежде всего геоинформационные системы (ГИС), применяются в разных сферах [158-160]. Карты, построенные с применением ГИС, иллюстрируют географические связи между пространственными переменными и визуально передают информацию лицу, принимающему решение. Встроенные аналитические инструменты позволяют преобразовывать существующие пространственные модели в измеримые цели, дают понимание исследуемых отношений или зависимостей в пространственном явлении.

Сопряжение моделей загрязнения воздуха с ГИС позволяет связать фактические концентрации загрязняющих веществ с параметрами изучаемой территории: плотностью застройки, уровнями заболеваемости населения, размещением социально значимых объектов, зонами рекреации и т.п. [161-165].

Изучение взаимосвязей между высокими концентрациями загрязняющих веществ в атмосфере и различными демографическими тематическими слоями помогает выявить «горячие точки», требующие специального исследования, мониторинга или реализации целенаправленных мероприятий. Визуализация

такой информации на карте дает более полное и легко воспринимаемое представление о ситуации, которое помогает при планировании управленческих стратегий [166].

Геоэкологическое картирование результатов моделирования загрязнения атмосферы населённых пунктов получило повсеместное широкое применение в качестве инструмента информационно-аналитической поддержки решений в области пространственного планирования и строительства, управления автотранспортными потоками, решения экологических задач территорий, решения временных задач, изучения эволюции техногенного загрязнения атмосферы [165, 167-169].

Адекватная оценка реальной экологической ситуации может и должна рассматриваться как информационная основа для принятия решений по улучшению качества окружающей среды, обеспечивать результативное и эффективное планирование воздухоохраных мероприятий, которые нередко являются весьма дорогостоящими и высоко затратными для предприятий.

**Таким образом,** решение задач по обеспечению качества окружающей среды и здоровья населения требует применения инструментов, реализующих ситуационное моделирование распределения загрязнения по контрольной территории, и, в дальнейшем, выполнения геоэкологического картирования результатов.

Применение методов ситуационного моделирования и геоэкологического картирования является информационно-аналитической основой для принятия решений в области пространственного планирования.

#### **Выводы к главе 1:**

– опасность пылей в атмосферном воздухе для объектов окружающей среды и здоровья населения, доказана научным сообществом, и признана в большинстве стран мира. Наибольшую угрозу представляют пыли, содержащие соединения токсичных металлов и частицы мелких фракций PM10 и PM2.5. Все это определяет актуальность максимально полной и адекватной оценки

химического и дисперсного состава выбросов как базы для всех последующих действий по управлению качеством воздуха;

– отсутствуют нормативно закреплённые на государственном уровне требования по полному и корректному учёту химического и фракционного состава пылевых выбросов, их корректного химического и дисперсного состава. В результате на большинстве хозяйствующих субъектов происходит грубый, ориентировочный учёт пылевых выбросов, не отражающий их реальную опасность для окружающей среды и здоровья населения;

– внедрение учёта в выбросах мелкодисперсных частиц фракций пыли, для которых установлены гигиенические нормативы, ограничено отсутствием нормативно-методической базы. Из большого спектра методик по расчетам выбросов только 6 на текущий момент содержат требования по выделению PM10 и PM2.5 в составе выбросов;

– система государственного регулирования пылевых выбросов ограничена узким перечнем твердых веществ и выводит из процедуры нормирования выбросы объектов, отнесенных к III, IV категориям риска по классификации Минприроды;

– результаты мониторинга демонстрируют несоответствия между используемыми подходами к нормированию качества атмосферного воздуха и методами наблюдений, поскольку выбросы хозяйствующих субъектов дефрагментированы на отдельные виды пылей, в то время как на постах мониторинга ведутся наблюдения за общим пылевым загрязнением;

– управление твердыми промышленными выбросами требует развития подходов к экологическому нормированию и контролю, основанных на детальном и достоверном анализе структуры состава пылевой смеси.

## ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленных задач был использован комплекс современных инструментальных, лабораторных и аналитических методов исследования. Концептуальная схема дизайна исследования представлена на Рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Концептуальная схема дизайна исследования химического и фракционного состава пылевых выбросов в задачах совершенствование мониторинга, контроля и нормирования промышленных пылевых выбросов

Для установления фактического состава пылевых выбросов были выполнены углубленные исследования на предприятиях горнодобывающей, металлургической и машиностроительной отраслей. В ходе реализации исследования был изучен состав и определены характеристики пылевой компоненты более 75 технологических процессов и операций. Подробно изучен химический и дисперсный состав более 500 проб промышленных выбросов. В

Приложении В представлен перечень исследованных технологических процессов. Результаты зарегистрированы в виде базы данных (Приложение Г).

Выделение приоритетных источников пылеобразования и пылевыведения проводили на основании:

- инвентаризационных данных и иной технологической документации;
- результатов производственного контроля на источниках;
- анализа имеющихся литературных данных о специфике производственных процессов с точки зрения пылеобразования;
- экспертной оценки специалистов-технологов и экологов промышленных предприятий.

Пробоотбор осуществлялся с использованием аспираторов ПУ-4Э на фильтры АФА ДП-3. Время процедуры отбора проб составляло от 2 до 10 мин – в зависимости от массы выделения пыли в единицу времени. Коэффициент проскока частиц размером менее 0,1 мкм определялся на уровне 0,1 %. В точках с низкими концентрациями пыли длительность отбора увеличивалась до 60 минут. Скорость протягивания воздуха – 20 дм<sup>3</sup>/мин. Для получения корректного результата осуществлялось 3 повторности отбора для каждого источника.

Отбор проб проводили в устье источников выделения/выбросов или на максимальном приближении к месту пылеобразования/пылевыведения, в зависимости от специфики технологических процессов. При отборе проб учитывалась максимальная и/или наиболее частая загрузка технологического оборудования и используемого сырья.

Определение массовой концентрации пыли, выбрасываемой в единицу времени, оценивали по результатам гравиметрического метода измерений с взвешиванием аналитических фильтров до и после пробоотбора. В результате определялась навеска и значения концентраций, выраженные в мг/м<sup>3</sup>. Для взвешивания использовались аналитические весы Vibra AF225DRCE высокой точности (класс точности по ГОСТ OIML R 76-1-2011–1).

Дисперсные характеристики пылевых выбросов с выделением фракций PM10 и PM2.5 устанавливались на лазерном анализаторе Microtrac S3500. Система Tri-Laser (три лазера) обеспечивает анализ размера частиц, используя

проверенную теорию компенсации Ми для сферических частиц и собственный принцип модифицированных расчетов Ми для не сферических частиц. Характеристики прибора представлены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристики лазерного анализатора частиц Microtrac S3500

Параметр	Значение/описание
Диапазон измерения	0.02 мкм – 2.8 мм
Принцип измерения	Лазерная дифракция
Лазеры	3 красных лазера 780 нм
Система обнаружения	Два неподвижных фотоэлектрических детектора с логарифмически разнесенными сегментами расположены под правильными углами для оптимального обнаружения рассеянного света от 0,02 до 165 градусов с использованием 151 детекторного сегмента
Данные	Объем, число и распределение площадей, а также процентиля и другие сводные данные
Формат данных	Хранится в формате ODBC в зашифрованных базах данных Microsoft Access
Время измерения	~ 10 до 30 секунд

Результаты анализа дисперсного состава представляли в виде гистограмм или таблиц.

Химический состав твердых выбросов и определение массовой доли каждого химического соединения проводили посредством микроскопирования на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения с термоэмиссией с рентгено-флуоресцентной приставкой S-3400N «НИТАСНИ». Характеристики прибора представлены в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Характеристики сканирующего электронного микроскопа S-3400N «НИТАСНИ»

Параметр	Значение/описание
Размер исследуемых образцов	до 200 мм, высота – до 80 мм
Разрешение	3 нм (глубокий вакуум), 4 нм (при 270 Па)
Предел обнаружения	На уровне 10-5 мас. %
Степень увеличения	Кратность 5 - 300 000

Выполняли рентгенофазовый анализ образцов на дифрактометре XRD-700 «Shimadzu» с применением компьютерной программы «XRD 6000/7000 Ver.

5.21». При определении фазового состава исследуемых проб пользовались базой данных «ICDD PDF-4+ 2012».

Определение морфологии частиц выполняли на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения с термоэмиссией с рентгено-флуоресцентной приставкой S-3400N «HITACHI».

Первичный анализ дисперсного состава пылей и определение концентрации PM<sub>2.5</sub> и PM<sub>10</sub> в атмосферном воздухе проводили с использованием анализатора DustTrak 8533. Диапазон размеров регистрируемых частиц: 0,1-15 мкм.

Все использованные приборы и оборудование зарегистрированы в Государственном реестре средств измерений и в установленном порядке прошли метрологическую поверку.

Пробоотбор и анализ пылевых выбросов проводили с привлечением сил и средств испытательного лабораторного центра «Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (аттестат аккредитации № RA.RU.21HA51 от 26.12.2017 г.).

Высокоточный анализ отобранных образцов, установление компонентного и дисперсного состава пылевой компоненты, выбрасываемой источниками предприятий в атмосферный воздух на границе контрольной территории, и микроскопирование выполнены на базе ЦКП «Центр наукоемких химических технологий и физико-химических исследований» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Исследование выбросов от пылящих отвалов лежалых песков и почв в г. Закаменске проводили по запросу Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Республике Бурятия от 07.04.2014 № 001/1772-09.05. Исследования выполнялись в рамках работ «Об оказании научно-методической помощи по разработке программы по оценке медицинских и социальных последствий прошлого экологического ущерба от негативного воздействия токсичных отходов Джидинского вольфрамово-молибденового комбината». На момент начала исследования 44,5 млн. тонн отходов в виде техногенных песков были сконцентрированы в организованном

хвостохранилище и разнесены по площади города Закаменск в результате воздействия экзогенных факторов (воздушного и водного). Имелись данные о высоком загрязнении окружающей среды. Позднее отходы были перевезены на более удаленную площадку, при этом транспортировка сопровождалась длительным интенсивным пылением [170-172].

Инструментальные исследования суточного содержания тяжелых металлов в атмосферном воздухе и почвах в период с мая 2015 года по май 2016 года были выполнены в полном объёме в каждый период года в четырех точках наблюдений на территории города. Порядок отбора проб был скоординирован, равномерно охватывал все сезоны года, отражал все метеорологические условия, в том числе неблагоприятные. Всего за исследуемый период было отобрано 440 проб атмосферного воздуха и почв на содержание взвешенных веществ, свинца, кадмия, меди, цинка, никеля, фенола, марганца, РМ10, ртути, бенз(а)пирена, хрома, лития, магния оксида, алюминия, титана, ванадия пентоксида, железа, кобальта, стронция, серебра, вольфрама.

Метод исследования – атомно-абсорбционная спектрофотометрия. Эколого-гигиеническую оценку качества среды обитания и оценку риска здоровью выполняли в отношении соединений металлов.

Для моделирования распространения пылевых выбросов в атмосферном воздухе формировали электронные базы источников выбросов. Технические параметры источников выбросов принимали в соответствии с инвентаризационными данными предприятий. Характеристики пылевых выбросов (максимальные разовые (грамм в секунду) и валовые (тонны в год) выбросы) устанавливались с учётом полученных в результате исследований новых данных химического и дисперсного состава.

Оценка приземных концентраций проводилась на лицензионной унифицированной программе расчётов загрязнения атмосферы (УПРЗА) «Эколог-Город» версия 4.60.7 разработанной ООО «Фирма «Интеграл», программный продукт реализует «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (МРР-2017), утверждённые

приказом Минприроды России от 06.06.2017 N 273 (лицензионный договор № 073/2021 от 19.08.2021 г.). Определение долгопериодных (средних) концентраций в атмосфере проводили с использованием дополнительного расчётного блока «Средние».

При проведении расчетов рассеивания концентраций загрязняющих веществ в приземном слое воздушного бассейна использовали параметры климатических показателей включенных в МРР-2017.

Результаты расчетов рассеивания приземных концентраций интегрировали в геоинформационную систему (ГИС) в привязке к векторной карте территории исследования (гг. Чусовой, Березники, Красноярск). В качестве ГИС платформы использовали программные продукты фирмы ESRI – ArcView 3.2 и ArcGIS 9.3.1.

Для пространственной визуализации ситуационного моделирования и картографирования изолиний рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, использовались электронные карты территорий, которые содержат векторные электронные слои:

- здания и сооружения с адресным реестром и численностью населения;
- места размещения стационарных постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха;
- дороги и автомагистрали;
- водоемы, реки.

Расчётная оценка приземных концентраций проводилась:

- в расчётных точках на границах санитарно-защитных зон промышленных объектов, на территориях расположения жилой застройки или других объектов с нормируемыми показателями качества атмосферного воздуха [140];
- в узлах расчётной сетки для построения изолиний концентраций. Шаг расчётной сетки по осям X и Y выбирался в зависимости от размеров предприятий, взаимного расположения промышленных объектов и жилых территорий. При определении размеров расчётной сетки учитывали высоты источников выбросов, чтобы зафиксировать возможные перебросы максимальных приземных концентраций обусловленных выбросами высоких источников.

Расчёты рассеивания выполняли с учётом физико-географических, климатических и орографических условий местности, включая среднегодовую повторяемость ветра по направлениям.

При расчётах рассеивания осуществляли перебор по скоростям (через 0,1 м/с) и направлениям ветра (через 1 град) для получения наибольшей точности нахождения максимума концентрации (перебор скорости через 0,1 м/с, направлений ветра через 1 градус).

Высоту расчётных точек, в том числе в узлах расчётного прямоугольника, принимали равной 2 метрам.

Кроме того, в расчетах рассеивания приземных концентраций учитывали коэффициент седиментации  $F$ . Для частиц менее 10 мкм принимали коэффициент седиментации  $F = 1$ . Для частиц более 10 мкм в зависимости от наличия и степени газоочистки значение коэффициента принимали в диапазоне от 2 до 3 [3].

Гигиеническую оценку концентраций, полученных в результате расчетов рассеивания, выполняли на соответствие действующим критериям (ПДК) в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и референтным концентрациям (ARFC, RFC) в соответствии с руководством Р. 2.1.10.1920-04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» [4].

Для определения оптимальных мест расположения точек экологического мониторинга и производственного контроля, с учетом компонентного и дисперсного состава пылей, использована многомерная статистическая процедура – кластерный анализ по методу  $k$ -средних [173-176].

Геоэкологическая оценка антропогенного воздействия пылей на атмосферный воздух выполнена на базе сводного банка данных стационарных и передвижных источников выбросов г. Красноярск. Сводная база данных содержала параметризованные выбросы загрязняющих веществ по 807 промышленным предприятиям г. Красноярска. Общее количество источников

выбросов – 5977, включая: промышленные объекты – 5543 единицы, автотранспортные потоки – 263 единицы (стилизирующих участки автомобильных дорог), автономные источники теплоснабжения – 171 единицу (характеризующие жилые кварталы частного сектора).

По данным сводной базы данных в атмосферу города выбрасывается 111 пылевых загрязняющих веществ формируемых источниками автотранспорта, промышленными предприятиями и автономными источниками теплоснабжения отопления частных домохозяйств.

Расчеты приземных концентраций проводили в 13889 точках проживания населения. В качестве точки рассматривали геометрический центр каждого жилого строения, внесенного в адресный реестр города.

Полученные в точках расположения жилья результаты расчетов среднегодовых концентраций являлись базовой основой кластеризации территории г. Красноярск по распределению пылевого воздействия. Результаты зарегистрированы в виде базы данных (Приложение Г).

**Нейросетевое моделирование распознавания пылевых частиц** выполнялось с применением программного обеспечения COCO Annotator. Для разметки изображений в работе использовался веб-инструмент COCO Annotator. Разметка объектов выполняется с помощью кривых произвольных форм, многоугольников и ключевых точек в зависимости от сложности фигуры – формы твердых частиц. COCO Annotator поддерживает аннотирование изображений и позволяет указать необходимую информацию.

Для решения задач сегментации на изображениях пылевых частиц была выбрана сеть MASK R-CNN. MASK-RCNN характеризуется высокой информативностью в отношении размерности частиц и высокими показателями распознавания образов.

Полученные результаты качественных и количественных значений отобранных образцов пыли, установленных стандартным измерением и методом нейросетевого распознавания, подвергались статистической обработке.

## ГЛАВА 3 ХАРАКТЕРИСТИКА ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОДИРОВАНИЯ

### 3.1 Пыли разных производств

Принимая во внимание, что инвентаризация выбросов вредных веществ и их источников является основой последующих экологических оценок, нормирования выбросов и воздухоохранной деятельности, исследование начинали именно с определения компонентного и химического состава пылегазовых смесей источников выделения. Необходимо было установить, насколько реальный компонентный и дисперсный состав пылевых выбросов соответствует параметрам, декларируемым предприятиями, и каким образом несоответствия отражаются на оценке экологической ситуации и характеристиках риска для здоровья населения под воздействием объекта.

На каждом источнике определялись основные параметры твердых выбросов: химический состав, дисперсный размер частиц с выделением фракций PM10 и PM2.5, морфологические свойства, медианный размер.

Специфичность и многокомпонентность пылевых выбросов различных технологических процессов исследованных в ходе работы подтверждалась результатами микроскопирования.

Некоторые обобщенные результаты изучения реального состава пылевых выбросов в приведены ниже, примеры более полных данных – в Приложении Г.

#### Машиностроительное предприятие. Плоскошлифовальные станки.

Место отбора – локальный отсос у шлифовального круга. Предприятием пыль рассматривается и кодируется как «взвешенные вещества».

Компонентный состав выбросов пыли от работы плоскошлифовального станка представлен в Таблице 3.1 и на Рисунке 3.1.

Таблица 3.1 – Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от плоскошлифовального станка при обработке стальной детали

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	CaSO <sub>4</sub>	88,69
2	CaO	7,88
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,09
4	MgO	0,35
Итого:		100,00

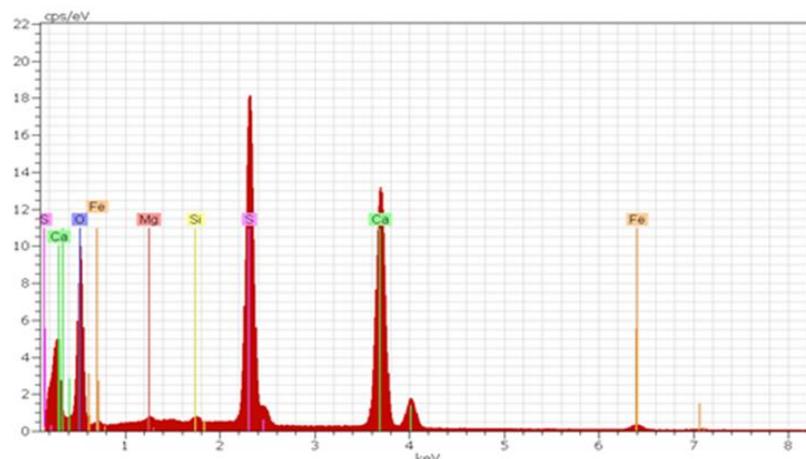


Рисунок 3.1 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли плоскошлифовального станка при обработке стальной детали

Частицы имеют неправильную, раздробленную, округлую форму (Рисунок 3.2).

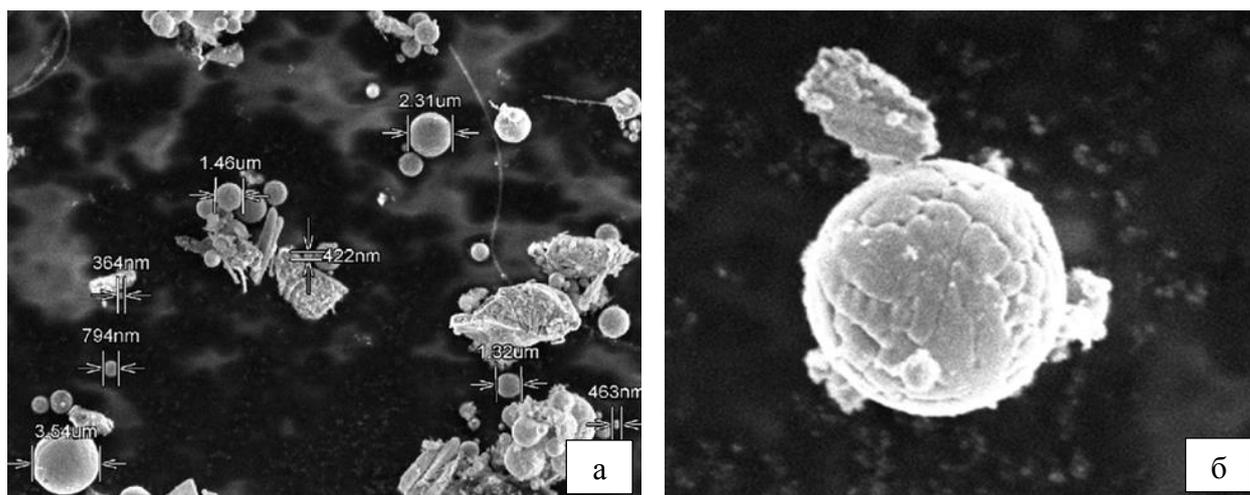


Рисунок 3.2 – Фотографии форм частиц пыли от работы плоскошлифовального станка, увеличение а) x 1000; б) x 3000

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице 3.2, гистограмма – на Рисунке 3.3.

Таблица 3.2 – Дисперсный состав пыли от работы плоскошлифовального станка

Размер частиц, мкм		Объёмный % фракций от общего объема частиц	
		по определяемым диапазонам	по нормируемым размерам
Размер частиц >10 МКМ	100,01-1000	62,32	95,07
	10,01-100,00	33,75	
PM 10 (≤ 10 мкм)	8,51-10,00	0,92	4,93, в том числе PM 2.5 отсутствуют
	7,01-8,50	0,9	
	5,51-7,00	0,735	
	4,01-5,50	1,1	
	2,51-4,00	1,31	
	0,01-2,50	—	

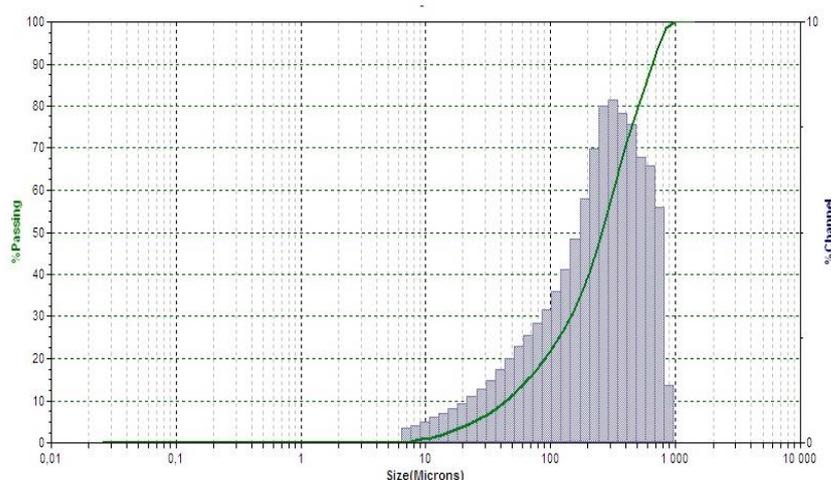


Рисунок 3.3 – Гистограмма дисперсного состава пыли от работы плоскошлифовального станка

Объёмная доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10) невелика – 4,93 %, частицы PM2.5 не выявлены. Медианный размер частиц составил 300 мкм. Компонентный состав мелкой фракции не исследовали.

Металлургическое производство. Операция: загрузка колошниковой шихты грейфером.

Место отбора: на расстоянии 2 метра от места загрузки колошниковой шихты грейфером в бункер. Выбросы содержат частицы загружаемого материала.

Компонентный состав выбросов пыли представлен в Таблице 3.3. и на Рисунке 3.4.

Выявлено, что твердый выброс имеет довольно сложный состав, включающий соединения железа, цинка, кремния, магния и алюминия.

Таблица 3.3. Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от загрузки колошниковой шихты грейфером

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	77,52
2	ZnO	13,98
3	FeS <sub>2</sub>	2,50
4	SiO <sub>2</sub>	2,45
5	MgO	1,49
6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,33
7	CaO	0,74
Итого:		100,0

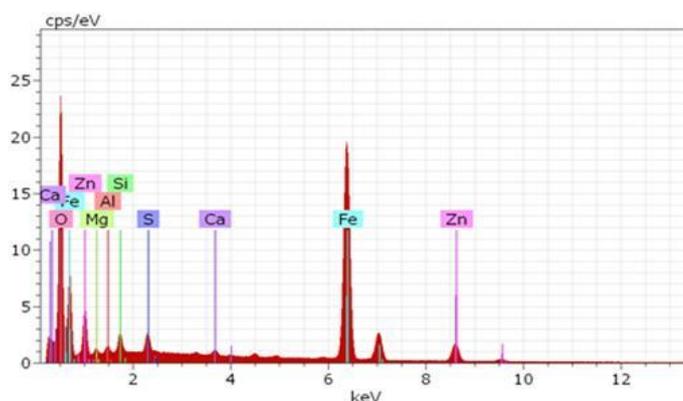


Рисунок 3.4 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли от загрузки колошниковой шихты грейфером

Фотографии пыли и ее элементов представлены на Рисунке 3.5. Частицы имеют раздробленную, неправильную, угловатую форму.

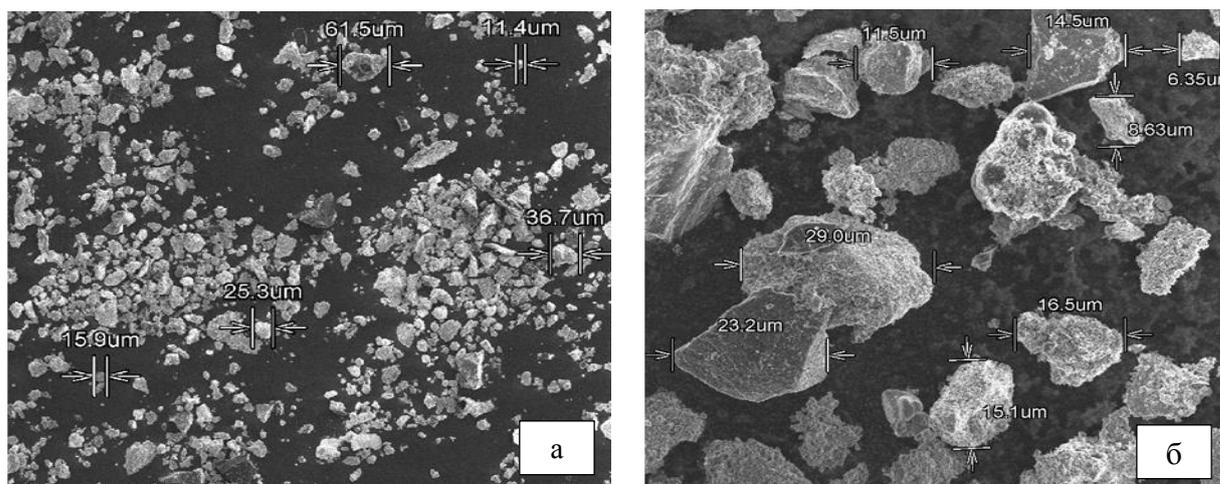


Рисунок 3.5 – Фотографии форм частиц пыли от загрузки колошниковой шихты грейфером, увеличение: а) x 100; б) x 1000

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице 3.4 и на Рисунке 3.6. Доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10) составила для данного источника 24,77 %, в том числе доля PM2.5 – 5,40 %. Медианный размер: 40 мкм.

Таблица 3.4 – Дисперсный состав пыли от загрузки колошниковой шихты грейфером

Размер частиц, мкм		% фракций пыли по нормируемым размерам
Размер частиц >10 мкм	10,01-1000	74,59
PM 10 (размер ≤ 10 мкм)	2,51-10,00	24,77
PM2,5	0,01-2,50	5,4

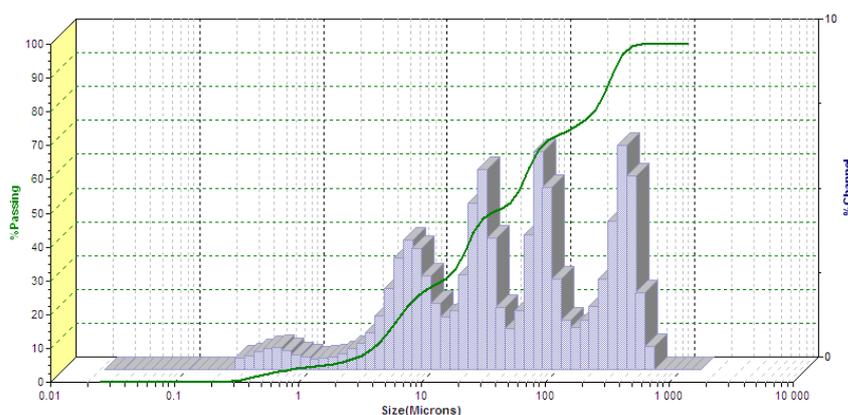


Рисунок 3.6 – Гистограмма дисперсного состава пыли от загрузки колошниковой шихты

### Металлургическое производство. Спекание агломерата.

Обрабатываемый материал: смесь из колошниковой шихты, моношихты и металлургического шлака. Место отбора: местный отсос спекания агломерата.

Компонентный состав выбросов пыли от спекания агломерата представлен в Таблице 3.5 и на Рисунке 3.7. Определено, что выбросы состоят из соединений железа, кальция, магния, кремния, цинка, хрома и алюминия.

Морфология частиц: частицы имеют неправильную, раздробленную, угловатую форму (Рисунок 3.8).

Объёмная доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10) – 8,43; доля PM2.5– 2,93. Медианный размер: 200 мкм.

Таблица 3.5 – Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от спекания агломерата

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	96,48
2	MgO	0,81
3	CaO	0,76
4	SiO <sub>2</sub>	0,72
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,47
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,38
7	ZnO	0,37
Итого:		100,0

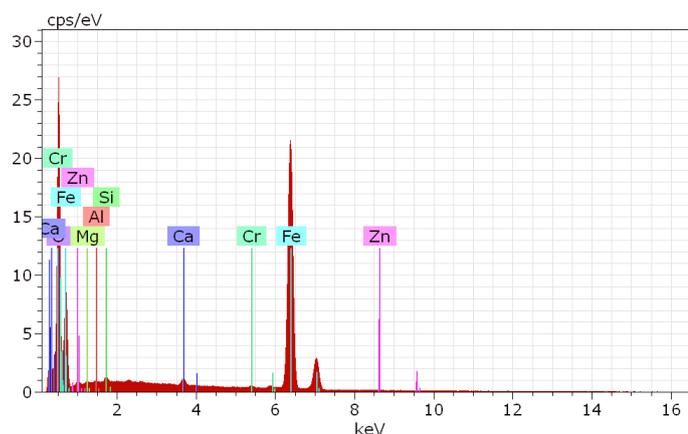


Рисунок 3.7 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли спекания агломерата

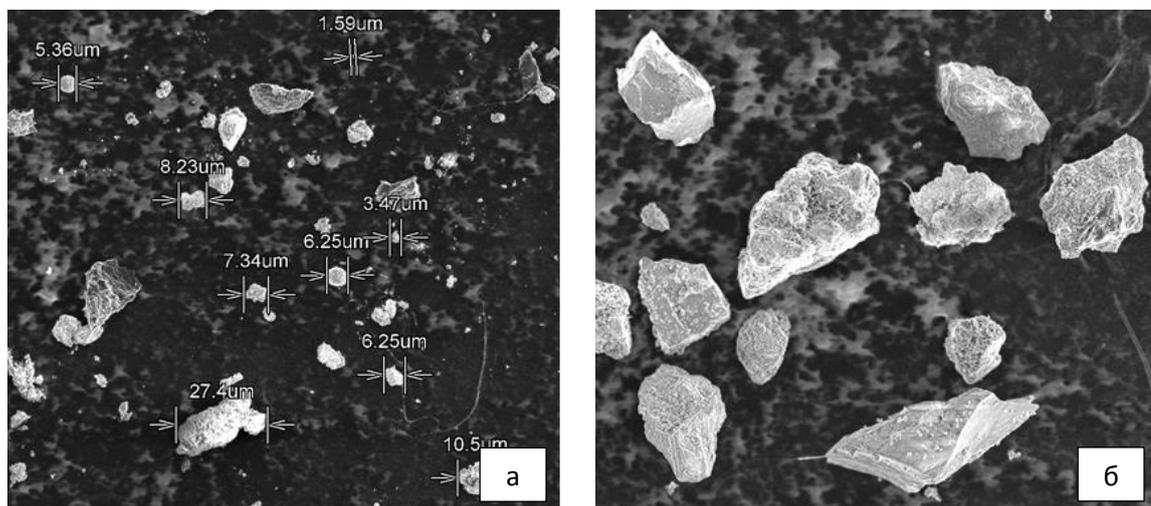


Рисунок 3.8 – Фотографии форм частиц пыли от спекания агломерата, увеличение: а) x 500; б) x 1000

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице 3.6 и на Рисунке 3.9.

Таблица 3.6– Дисперсный состав пыли от спекания агломерата

Размер частиц, мкм		% фракций от общего объема по нормируемым диапазонам
Размер частиц >10 мкм	10,01-1000	91,57
Частицы ≤ 10 мкм	2,51-10,00	8,43
	0,01-2,50	2,93

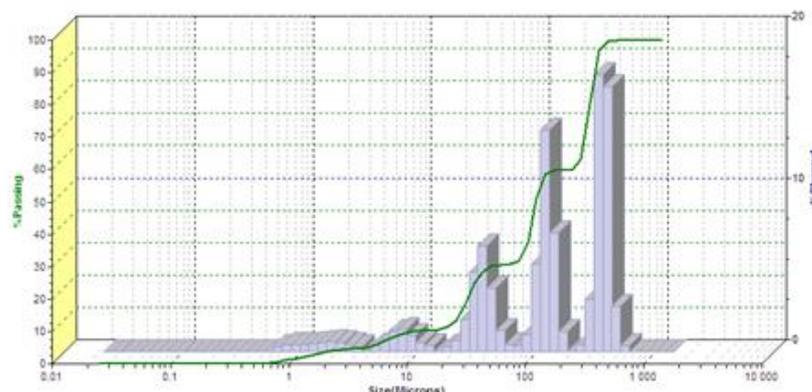


Рисунок 3.9 – Гистограмма дисперсного состава пыли от спекания агломерата

Аналогичные по дизайну исследования были проведены для всех исследованных пылевых выбросов.

Полученные результаты пылевого состава исследованных образцов характеризовались достаточно разнообразным перечнем химических компонентов. Примеры спектрограмм – на Рисунках 3.10 и 3.11.

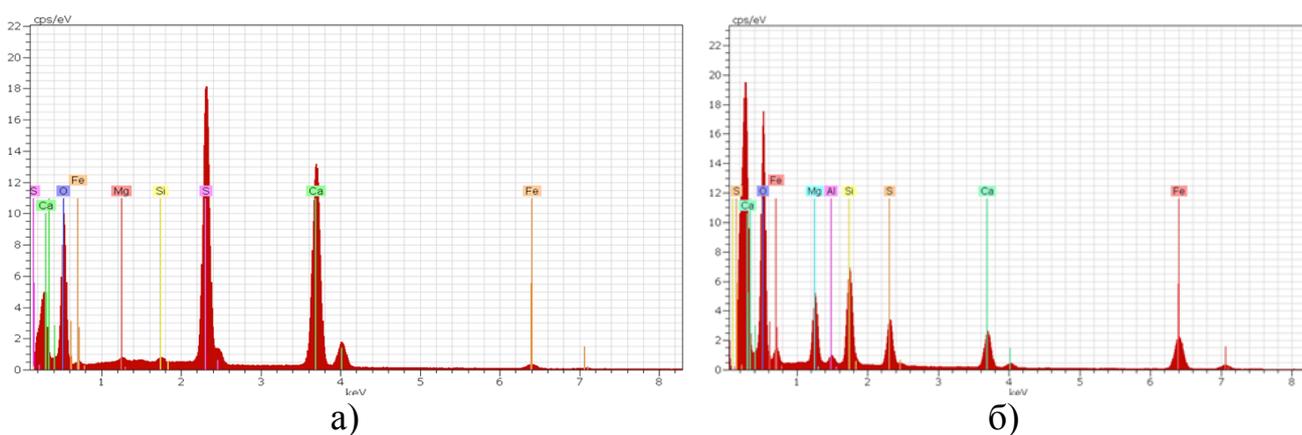


Рисунок 3.10 – Компонентный состав выбросов пылей машиностроительного производства: а) работа плоскошлифовального станка, б) работа отрезного станка

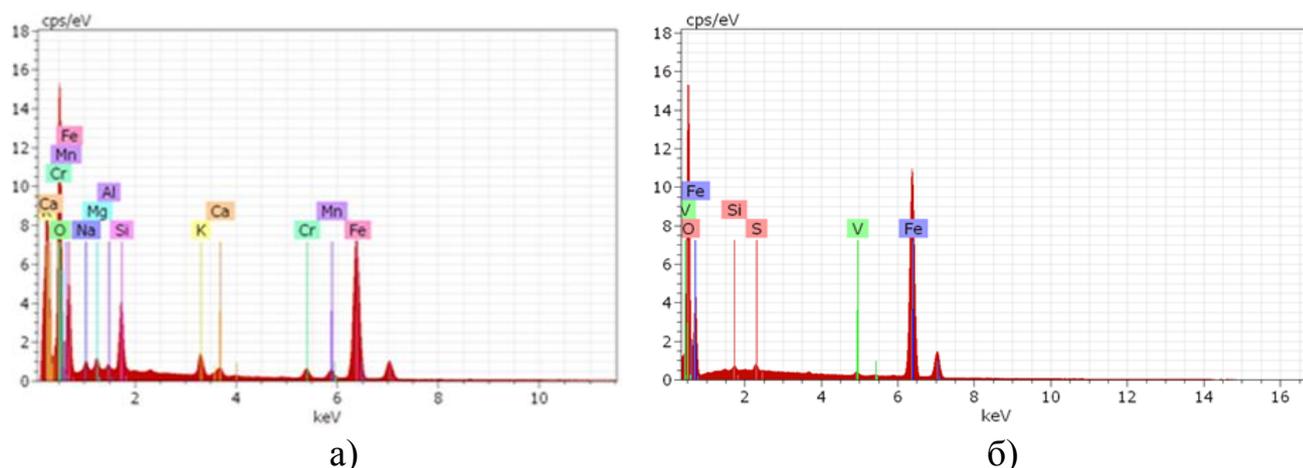


Рисунок 3.11 – Компонентный состав выбросов пылей металлургического производства: а) электросталеплавильная печь (выплавка стали для ремонтных нужд), б) выплавка феррованадия

Исследования дисперсного состава выделяемых пылевых смесей показали, что практически все пылегазовые выбросы изученных образцов содержат твердые частицы с диаметрами менее 10 мкм. Фракционный состав выбросов определялся особенностями технологического процесса, применяемого сырья, обрабатываемого материала и т.п. Содержание наиболее мелких фракций в выбросах находилось в широком диапазоне: РМ 2.5 – от 0,00 до 78,5 %, РМ10 – от 0,00 % до 84,3 %. Примеры содержания взвешенных частиц РМ10 и РМ2.5 в составе выбросов источников машиностроительного комплекса представлены в Таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Дисперсный состав пылевых выбросов источников предприятия машиностроительного комплекса

Технологическая операция/оборудование	Доля пылей <10 мкм (РМ10), %	Доля пылей <2.5 мкм (РМ 2.5), %	Медианный размер, мкм
1	2	3	4
Плоскошлифовальные станки	4,93±0,74	–	148
Отрезные станки	32,97±4,95	7,07±1,06	16
Заточные станки с алмазным кругом	15,29±2,29	0,37±0,05	100
Заточные станки	2,67±0,40	–	140
Горизонтально-расточные станки	19,77±2,97	0,35±0,05	90
Сверлильные станки	13,45±2,02	6,7±1,00	72
Токарные станки	12,24±1,84	0,35±0,05	88
Фрезерные станки	38,78±5,82	5,22±0,78	15
Наждаки	30,01±4,50	5,18±0,77	21
Галтовочные барабаны	16,84±2,53	0,55±0,08	74

## Окончание Таблицы 3.7

1	2	3	4
Камеры очистные дробебетные	–	–	200
Токарные станки (обработка неметаллических материалов)	8,78±1,32	0,32±0,05	85
Полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа	39,88±5,98	13,46±2,02	16
Полуавтоматическая сварка в среде аргона	2,16±0,32	–	290

Составление полученных данных о компонентном и дисперсном составе выбросов с тем, как эти выбросы оцениваются и включаются в ведомости инвентаризации хозяйствующими субъектами, показало наличие существенных несоответствий. Несколько примеров приведено в Таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Кодирование и номенклатура учета химических веществ по данным расчетных методик и результатов исследований технологических операций

Источник выделения	Учет химических веществ по данным расчетных методик			Выделяемые химические вещества, установленные по результатам исследований			
	Код <sup>4</sup>	Наименование	ПДКсс/сг	Код	Наименование	ПДКсс/сг	%
1	2	3	4	5	6	7	8
Машиностроительное предприятие Отрезной станок	2902	Взвешенные вещества	0,15/ 0,075	121	Сульфат железа	0,007/–	20,64
				323	Диоксид кремния	0,02*	16,10
				138	Магний оксид	0,05/–	13,50
				123	Железа оксид	0,04/–	6,70
				128	Оксид кальция	0,3*	7,46
				101	Оксид алюминия	0,01/0,005	2,60
				008	PM10	0,06/0,04	33,0
				010	PM2.5	0,035/0,025	7,1
Машиностроительное предприятие Сверлильный станок	2902	Взвешенные вещества	0,15/ 0,075	123	Железа оксид	0,04/–	84,80
				143	Mn и его соединения	0,001/ 0,00005	1,24
				203	Хром (на Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,0015/ 0,000008	0,86
				101	Оксид алюминия	0,01/0,005	0,10
				008	PM10	0,06/0,04	13,0
				010	PM2.5	0,035/0,025	7,0
Машиностроительное предприятие Токарный станок	2902	Взвешенные вещества	0,15/ 0,075	123	Железа оксид	0,04/–	86,40
				143	Марганец и его соед.	0,001/0,00005	0,94
				2902	Взвешенные вещества	0,15/–	0,36
				203	Хром (на Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,0015/ 0,000008	0,29
				008	PM10	0,06/0,04	12,00
				010	PM2.5	0,035/0,025	0,40

<sup>4</sup> Код вещества – здесь и далее: условные номер, принимаемый в настоящее время в системе экологического нормирования выбросов («Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух (10 издание), 2015»)

## Окончание Таблицы 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8
Горнодобывающее производство Пересып песка	2907	Пыль неорганическая, более 70% SiO <sub>2</sub>	0,05/-	323	Диоксид кремния	0,02*	26,16
				101	Оксид алюминия	0,01/0,005	8,94
				152	Натрий хлорид	0,15/-	3,01
				128	Кальций оксид*	0,3	1,22
				138	Магний оксид	0,05/-	0,96
				123	Железа оксид	0,04/-	0,61
				008	PM10	0,06/0,04	42,29
				010	PM2.5	0,035/0,025	16,78
Горнодобывающее производство Перегрузка руды	126	Калий хлорид	0,1/-	126	Калий хлорид	0,1/-	37,14
	152	Натрий хлорид	0,15/-	152	Натрий хлорид	0,15/-	21,38
				323	Диоксид кремния	0,02*	3,37
				101	Оксид алюминия	0,01/0,005	1,56
				128	Кальций оксид*	0,3	1,48
				3174	диКалий сульфат	0,1	1,11
				138	Магний оксид	0,05/-	0,83
				121	Сульфат железа	0,007/-	0,81
				008	PM10	0,06/0,04	32,33
010	PM2.5	0,035/0,025	14,61				
Примечание: * - ОБУВ							

В приведенных данных видно, что на практике выбросы исследованных источников машиностроительного предприятия рассматриваются хозяйствующим субъектом, кодируются в ведомостях инвентаризации и учитываются в системе нормирования как взвешенные вещества с ПДКс.с. = 0,15 мг/м<sup>3</sup>. Вместе с тем, в составе твердой компоненты твердого выброса установлено содержание оксидов железа (ПДКс.с. = 0,04 мг/м<sup>3</sup>), магния (ПДКс.с. = 0,05 мг/м<sup>3</sup>), алюминия (ПДКс.с. = 0,01 мг/м<sup>3</sup>), хрома (ПДКс.с. = 0,0015 мг/м<sup>3</sup>), сульфата железа (ПДКс.с. = 0,007 мг/м<sup>3</sup>), соединений марганца (ПДКс.с. = 0,001 мг/м<sup>3</sup>) и т.д. Другой пример, в составе выбросов горнодобывающего производства, кроме хлоридов калия (ПДКс.с. = 0,1 мг/м<sup>3</sup>) и натрия (ПДКс.с. = 0,15 мг/м<sup>3</sup>), установлено содержание диоксида кремния (ОБУВ = 0,02 мг/м<sup>3</sup>), оксидов алюминия (ПДКс.с. = 0,01 мг/м<sup>3</sup>), кальция (ПДКс.с. = 0,3 мг/м<sup>3</sup>), магния (ПДКс.с. = 0,05 мг/м<sup>3</sup>) и т.д. Аналогичная ситуация зафиксирована для иных источников.

Установленные в результате исследования фактические параметры качественного состава выбросов, в сравнении с действующими методиками, характеризуются более широким набором химических веществ.

Крайне настораживающей является ситуация, когда выбросы, представляющие экологическую опасность, кодируются как неопасные и в дальнейшем рассматриваются как неопасные. Это касается сразу двух параметров твердых выбросов:

- химического состава пылей;
- дисперсного состава твердой компоненты.

Кроме того, в составе выбросов не учтены мелкодисперсные частицы нормируемых фракций PM10 и PM2.5. При этом, полученные данные о фактической дисперсии твердой компоненты в составе выброса, подтверждают присутствие частиц размером менее 10 мкм, включая частицы менее 2,5 мкм.

**Таким образом,** установлено, что существующие подходы к кодированию и установления химического состава пылевых выбросов, формируемые различными технологическими операциями и процессами, в настоящее время зачастую не соответствуют данным инвентаризации предприятий и не характеризуют текущую ситуацию.

Регистрируются ситуации, когда в составе выбросов присутствуют высоко опасные химические вещества, однако эти вещества не учитываются и не указываются предприятиями. Так, в составе выбросов, кодируемых как «взвешенные вещества» или «пыль неорганическая...» были идентифицированы вещества чрезвычайно и/или высоко опасные (соединения хрома, марганца, меди, свинца и т.п.).

Анализ дисперсного состава выбросов исследованных источников установил присутствие мелкодисперсных частиц PM10 и PM2.5 практически во всех изученных образцах. Содержание фракции PM10 в отдельных случаях достигало 86 %, а PM 2.5 – более 78 %. Из 75 исследованных процессов ни в одном случае мелкодисперсные частицы не были выделены в составе выбросов предприятий. Как следствие – данные компоненты не были включены в систему экологического нормирования.

### **3.2 Разработка метода и инструментария анализа компонентного и дисперсного состава пылей**

Выполненные исследования комплексного изучения состава антропогенных пылей легли в основу идеи унификации и оптимизации установления фактических характеристик твердой компоненты выбросов.

Действующие методы определения качественных и количественных характеристик пылевой компоненты достаточно надежны, и позволяют с высокой точностью выполнить измерения. Однако процесс, начиная с пробоподготовки до получения конечного результата, характеризуется высокой трудоемкостью и в зависимости от удаленности лаборатории занимает продолжительный временной промежуток – от 2 до 4 дней, в отдельных случаях до 7 дней, если объект территориально удален.

На сегодняшний день существует аппаратное оборудование, позволяющее без привязки к лаборатории, в мобильном режиме, определять только концентрации мелкодисперсных частиц PM10 и PM2.5. К таким приборам относятся анализаторы DustTrak (модели 8530, 8533).

Оперативная комплексная оценка, основанная на одновременном и взаимосвязанном измерении дисперсного и компонентного состава пыли, в настоящее время остается актуальной задачей, требующей разработки методических и аппаратных подходов.

Накопленные данные о качественном и дисперсном составе пылей позволили предложить и апробировать инновационный метод определения твердых частиц в атмосферном воздухе по принципу «от грубого к точному» (coarse-to-fine).

Были определены требования к разрабатываемому инструментарию:

- метод должен реализовываться с применением автономного оборудования небольшого по размерам и пригодного для «полевого» исследования;
- метод должен обеспечивать составление карт концентраций пылевых загрязнений и четко выделять пики концентраций;
- метод должен обеспечивать распознавание и классификацию пылевых частиц, используя библиотеки (атласы) атрибутированных картотек пылей.

Принципиальной идеей метода и обеспечивающего его реализацию программно-аппаратного комплекса является измерение дисперсности пылевых частиц специальным датчиком, микроскопирование частиц и последующее установление их компонентного состава через распознавание нейросетью, обученной на обширной библиотеке атрибутированных микрофотографий пылей. Общий вид и принципиальная схема программно-аппаратного комплекса, реализующего предложенный метод, представлена на Рисунках 3.12-3.13.



Рисунок 3.12 – Общий вид аппаратного комплекса распознавания пылевых частиц

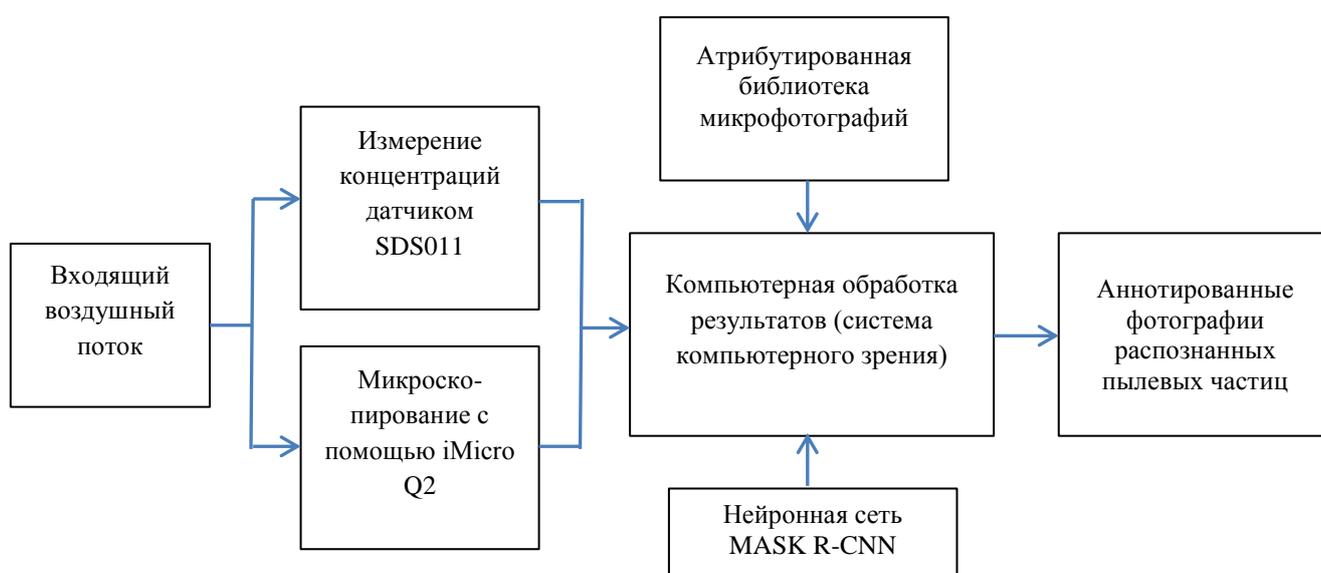


Рисунок 3.13 – Схема программно-аппаратного комплекса распознавания пылевых частиц

Входящий воздушный поток принудительно подается в прибор с помощью встроенного вентилятора. Датчиком SDS011 методом лазерной дифракции выполняется оценка общей концентрации взвешенных частиц в том числе с мелкодисперсных в диапазоне концентраций от 0.0-999.9мкг/м<sup>3</sup>. Выбранный датчик обеспечивает определение в воздушном потоке частиц и имеет цифровой выход (Рисунок 3.14а). При анализе с помощью датчика выполняется оценка последовательно фиксируемых значений. Это позволяет выбрать локальный максимум и установить наилучшую локацию, что повышает точность измерений на следующих этапах процесса.

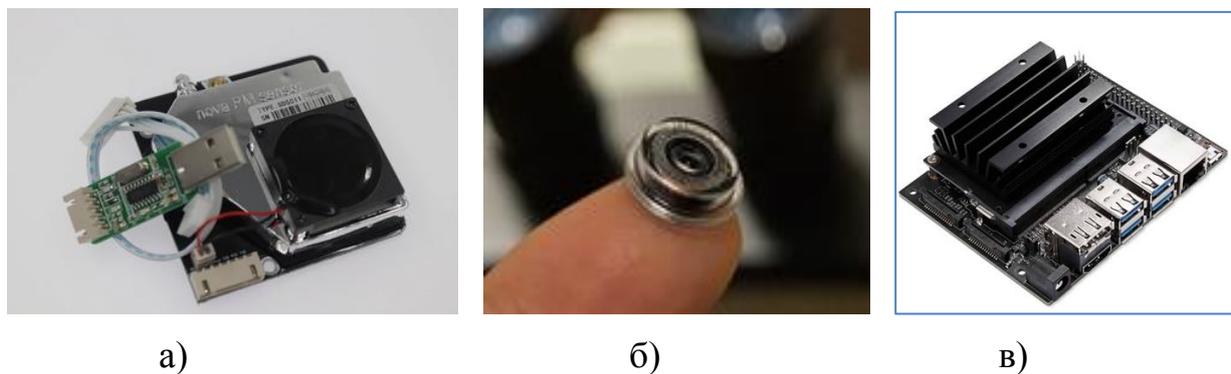


Рисунок 3.14 – Элементы системы распознавания пылей: а) датчик SDS011; б) микроскоп iMicro Q2; в) микрокомпьютер nVidia Jetson Nano

В определенный момент времени пылевые частицы при прохождении по каналу частично осаждаются на предметном стекле и фотографируются. Процедура получения изображений и микрофотографий реализуется с помощью миниатюрного оптического прополяризационного микроскопа iMicro Q2 (Рисунок 3.14б), который обеспечивает изображения с увеличением до 800 раз.

Линза микроскопа присоединена к камере, подключенной к микрокомпьютеру nVidia Jetson Nano (Рисунок 3.14в). Изображение частиц содержит все необходимые признаки анализируемой сцены в численном виде и транслируется с микроскопа в систему анализа и принятия решений.

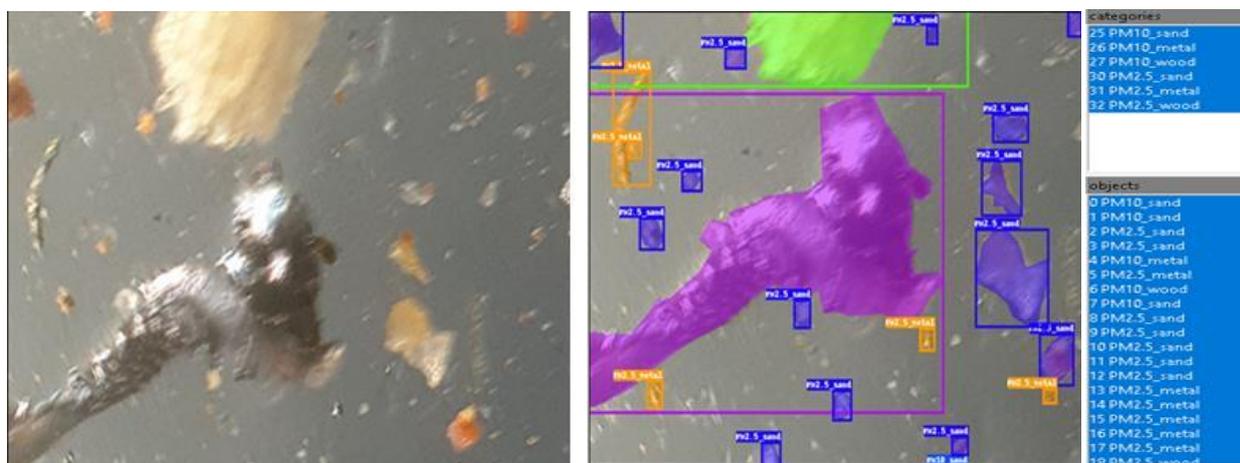
На следующем шаге алгоритма реализуется рутинная операция распознавания образов объектов с применением принципа «компьютерного зрения», анализируя полученные микрофотографии. В качестве обработчика информации задействуется имитация биологической нейронной сети, выполняющая заданный набор вычислений согласно математической логике (модели).

Микрокомпьютер выполняет классификацию и определение контуров частиц с использованием нейронной сети, то есть решает задачу сегментации изображения. В результате обработки вычисляется маска каждой частицы в кадре и из исходного кадра вырезаются соответствующие фрагменты ROI (region of interest, область интереса), содержащие изображения всех обнаруженных и классифицированных по виду вещества частиц.

Для классификации и вычисления размеров частиц предварительно выполнялось обучение нейронной сети на сотнях примеров (микрофотографий, размеченных (атрибутированных) экспертами. Изображения на каждой микрофотографии характеризовались параметрами химического, фракционного и морфологического состава пыли. Изображения были размечены с указанием расположения и контуров объектов, которые должна распознавать нейросеть. Структура сети – однонаправленная (без обратных связей), многослойная. Для обучения используются стандартные методы обратного распространения ошибки.

В информационную основу реализации метода заложены накопленные данные микрофотографий, идентифицированные на источниках пылевыделения, с атрибутированной информацией о дисперсном и компонентном составе, что позволило сформировать базу данных.

Объем библиотеки микрофотографий составил более двухсот образов. Примеры атрибутированных микрофотографий, использованных для обучения нейросети, приведены в Приложении Е. Пример результатов распознавания частиц нейронной сетью представлены на Рисунке 3.15.



а) б) в)  
Рисунок 3.15 – Исходное изображение пылевых частиц (а) и результат распознавания пылевых частиц (б, в)

В рамках предлагаемой технологии для разметки и качественной маркировки (атрибуции) компьютерных изображений применяли COCO-Annotator–веб, позволяющий сохранять результаты разметки в формате COCO (Рисунок 3.16). Использование микрофотографий в портативном приборе осложняется необходимостью фокусировки камеры. Для повышения качества изображений применялся метод совмещения фокуса (Focus stacking) и объединения нескольких изображений, снятых с разных фокусных расстояний. Это позволило повысить резкость и четкость изображения и повысить точность идентификации частиц.

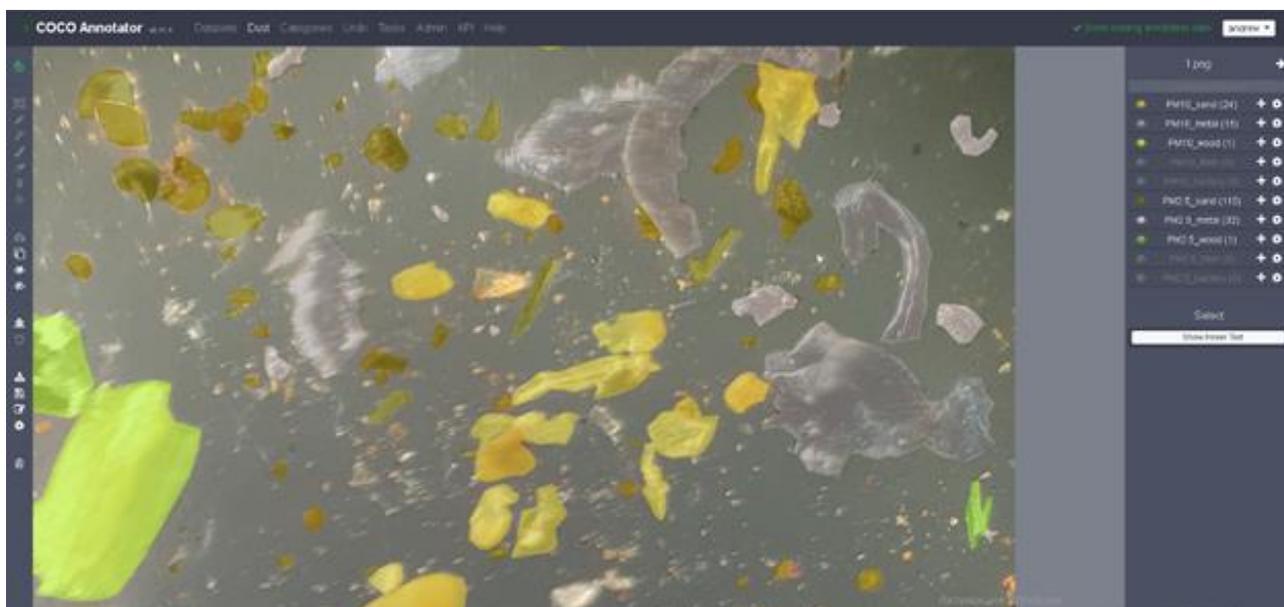


Рисунок 3.16 – Пример аннотирования микрофотографий в программе COCO Annotator

Программное обеспечение для предложенного инструментария написано специалистами кафедры автоматки и телемеханики Пермского национального исследовательского политехнического университета на языке Python и реализуется в вычислительном модуле SoM Raspberry PI 4.

Для верификации получаемых результатов с применением новых подходов параллельно проводили исследования пылевого загрязнения стандартными методами. Оценку пылевых выбросов определялся оптическим методом и лазерной дифракцией.

Сходимость измерений, полученных стандартными методами и с применением предложенного подхода, оценивается как удовлетворительная (Таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Результаты идентификации качественных и количественных показателей пылевой компоненты

Химическое вещество	Концентрация в измеренной пробе, мг/м <sup>3</sup>		Достоверность различий	
	Стандартные измерения	Метод распознавания изображения	t-критерий	P (уровень значимости)
SiO <sub>2</sub>	31,04±12,98	27,16±13,68	0,21	0,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,22±2,75	21,03±4,58	0,22	0,82
NaCl	1,3±3,85	1,9±1,53	0,14	0,88
CaO	20,12±2,67	18,86±3,74	0,27	0,78
MgO	4,21±0,75	4,01±1,26	0,14	0,89
KCl	1,62±0,19	0,85±0,97	0,78	0,44
MnSO <sub>4</sub>	0,05±3,62	0,00±0,00	0,01	0,99
AlCl <sub>3</sub>	0,85±1,58	0,1±0,04	0,47	0,64
PM10	74,28±15,3	72,75±12,92	0,08	0,94
PM2.5	21,3±1,16	19,49±4,54	0,39	0,70

Предложенный метод обеспечивает возможность оперативного выполнения измерений пылевого загрязнения атмосферы и определения дисперсного и компонентного состава пылевой структуры. Стандартное количественное определение химического состава и дисперсности атмосферного воздуха предполагает период от нескольких дней до нескольких недель.

Ограничением метода является обязательность наличия библиотеки микрофотографий и предварительного обучения нейросети.

### **3.3 Геоэкологическая оценка ситуации с учетом данных о компонентном и дисперсном составе пылей**

Данные о дисперсном и компонентном составе пылевых выбросов, полученные в результате углубленных исследований, позволили провести геоэкологическую оценку ситуаций в зонах воздействия пылевых промышленных выбросов и выполнить сопоставительный анализ с данными, заложенными в

разрешительную документацию (ведомости инвентаризации и/или проекты нормативов выбросов, проекты санитарно-защитных зон предприятий).

В качестве примера были выбраны действующие промышленные предприятия, относящиеся к разным видам деятельности, но расположенные на территориях крупных городов в непосредственной близости к жилой застройке.

В качестве исходных данных использовали актуальные ведомости инвентаризации хозяйствующих субъектов и результаты собственных исследований. Углубленные исследования показали, что фактический состав выбросов отличается от декларируемого предприятием (Таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Сопоставительные данные о составе пылевого выброса по данным предприятия и результатам углубленных исследований источников выброса электролизного производства

Код	Наименование	По данным инвентаризации		По данным исследования	
		Выброс г/с	Выброс т/год	Выброс г/с	Выброс т/год*
101	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Отсутствует		2,181	68,761
123	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Отсутствует		0,04	1,256
158	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Отсутствует		0,072	2,259
241	Fe <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Отсутствует		0,057	1,783
343	Фториды хорошо растворимые	Отсутствует		0,144	4,54
344	Фториды плохо растворимые	0,576	18,163	0,061	1,929
2909	Пыль неорганическая: до 20% SiO <sub>2</sub>	0,926	29,205	0,049	1,546
3748	Возгоны пека	1,101	34,712	–	–

Примечание: \*выброс для отдельных веществ т/год рассчитан, исходя из общей массы выброса

Оксидов кремния идентифицировано в выбросах не было. Было определено, что основная масса твердых частиц представлена оксидом алюминия, доля которого в составе выбросов источников составляла 84-87 %.

Ситуационное моделирование рассеивания пылевых выбросов, выполненное с использованием разных исходных данных (действующей и уточненной инвентаризации источников предприятия) показало кардинально разные уровни загрязнения атмосферы (Таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Расчетная характеристика пылевого загрязнения на границе контрольной территории, формируемая источниками предприятия (доли ПДК<sub>м.р.</sub>, ПДК<sub>с.с.</sub>)

Код	Наименование вещества	Приземная концентрация, доли ПДК			
		По данным действующей инвентаризации		По данным уточненного химического состава	
		доли ПДК <sub>м.р.</sub>	доли ПДК <sub>с.с.</sub>	доли ПДК <sub>м.р.</sub>	доли ПДК <sub>с.с.</sub>
101	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	0,07	–	<b>1,313</b>
123	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	0,001	–	0,006
143	Марганец и его соединения (в пересчете на марганец (IV) оксид)	0,002	0,002	0,002	0,001
155	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,002	0,001	0,002	0,0004
158	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	<b>не учитывается</b>		0,014	0,004
203	Хром (в пересчете на хрома (VI) оксид)	–	0,001	–	0,001
241	FeSO <sub>3</sub> (по железу)	<b>не учитывается</b>		0,070	–
328	Углерод (Пигмент черный)	0,022	0,008	0,022	0,005
343	Фториды хорошо растворимые	<b>не учитывается</b>		0,297	0,082
344	Фториды плохо растворимые	0,267	0,377	0,169	0,049
2902	Взвешенные вещества	0,073	0,036	0,074	0,015
2904	Мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий)	–	0,009	–	0,006
2908	Пыль неорганическая: 70-20 % SiO <sub>2</sub>	0,000015	0,000006	0,000	0,000
2909	Пыль неорганическая: до 20 % SiO <sub>2</sub>	0,635	0,364	0,587	0,076
3748	Смолистые вещества (возгоны пека) в составе электролизной пыли выбросов производства алюминия	0,815	0,473	0,109	0,014

По задекларированным предприятием данным, заложенным в эколого-техническую документацию, масса выброса обеспечивает нормативное качество атмосферного воздуха на границе установленной санитарно-защитной зоны и на ближайшей территории проживания населения. Ни по одному химическому веществу превышений гигиенических нормативов не установлено. Снижение уровней загрязнения атмосферы и внедрение дополнительных воздухоохраных

мероприятий по пылеподавлению не требуется. Гарантируется экологическая безопасность населения.

Результаты, основанные на использовании фактического компонентного состава пылевых выбросов, свидетельствуют о том, что представленные предприятием расчетные данные недостаточно корректно описывают геоэкологическую ситуацию. Фактическая ситуация характеризуется повышенным уровнем воздействия хозяйствующего субъекта на атмосферный воздух. Максимальная антропогенная нагрузка на атмосферный воздух формируется специфичным, маркерным, для данного производства веществом – диАлюминий триоксид. В результате, на границе утвержденной санитарно-защитной зоны предприятия зафиксированы концентрации  $Al_2O_3$  на уровне до 1,3 ПДКс.с. Геоэкологическое картирование представлено на Рисунке 3.17.

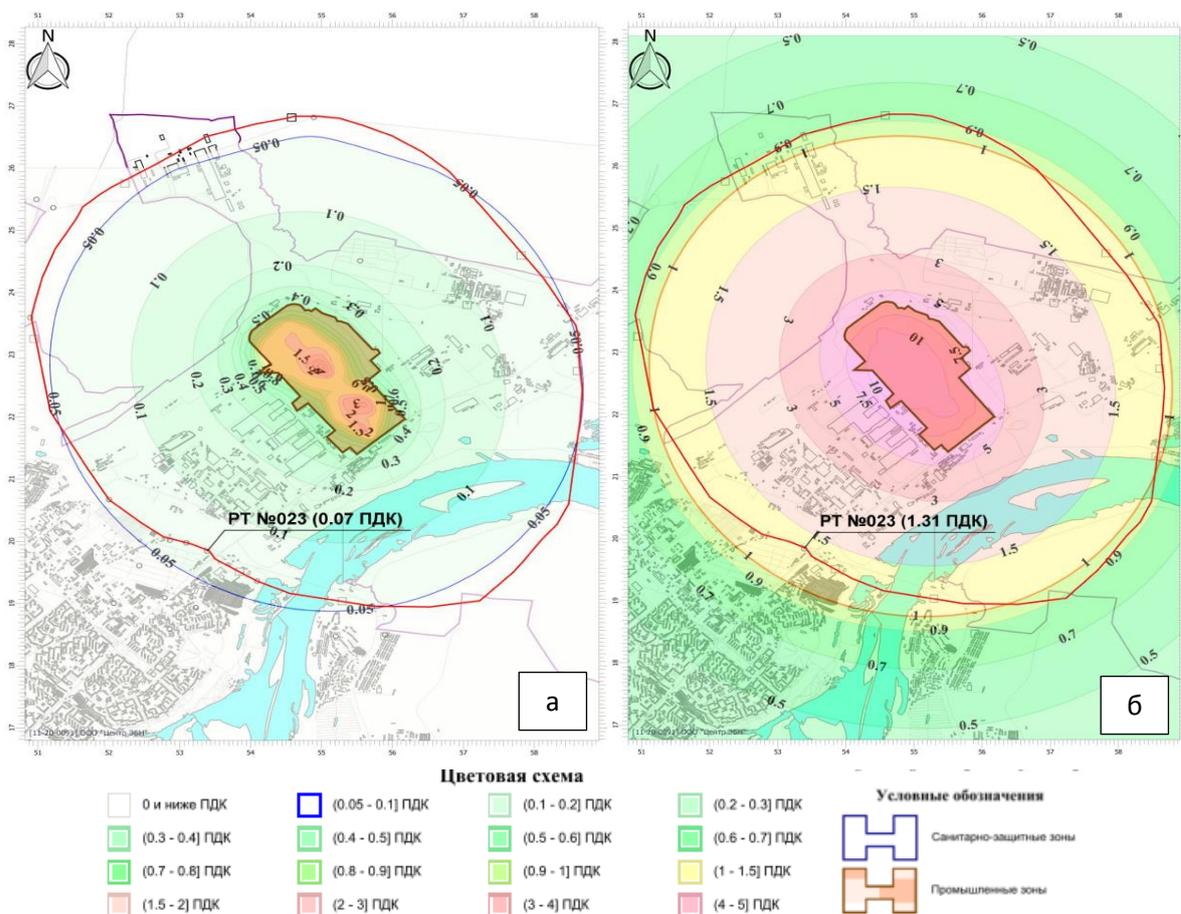


Рисунок 3.17 – Геоэкологическое картирование загрязнения территории твердыми веществами, доли ПДКс.с:

а) по данным ведомости инвентаризации; б) с учетом исследований компонентного состава выбросов

В зону негативного воздействия попадает более 60 участков садового товарищества, 10 жилых строений, несколько детских садов. Геоэкологическая оценка характеризует ситуацию как неблагоприятную, требует внедрения природоохранных мероприятий по снижению пылевого воздействия.

Расчеты, выполненные с учетом данных о компонентном составе выбросов, были верифицированы инструментальными измерениями. Анализ загрязнения атмосферного воздуха на прилегающих к предприятию территориях, подтвердил повышенное содержание оксида алюминия – более 1,1 ПДК<sub>с.с.</sub>. Кроме того, имеются данные о наличии повышенного (по сравнению с фоном) содержания оксида алюминия в биологических средах взрослых и детей, постоянно проживающих вблизи предприятия. Доказано негативное влияние присутствия этого вещества в крови на здоровье населения [177].

Данные о дисперсном составе пылей предприятия металлургического профиля позволили дополнительно учесть в составе выбросов взвешенные частицы PM10 и PM2.5 и выполнить геоэкологическое картирование распределения данных фракций по территории (Рисунок 3.18).

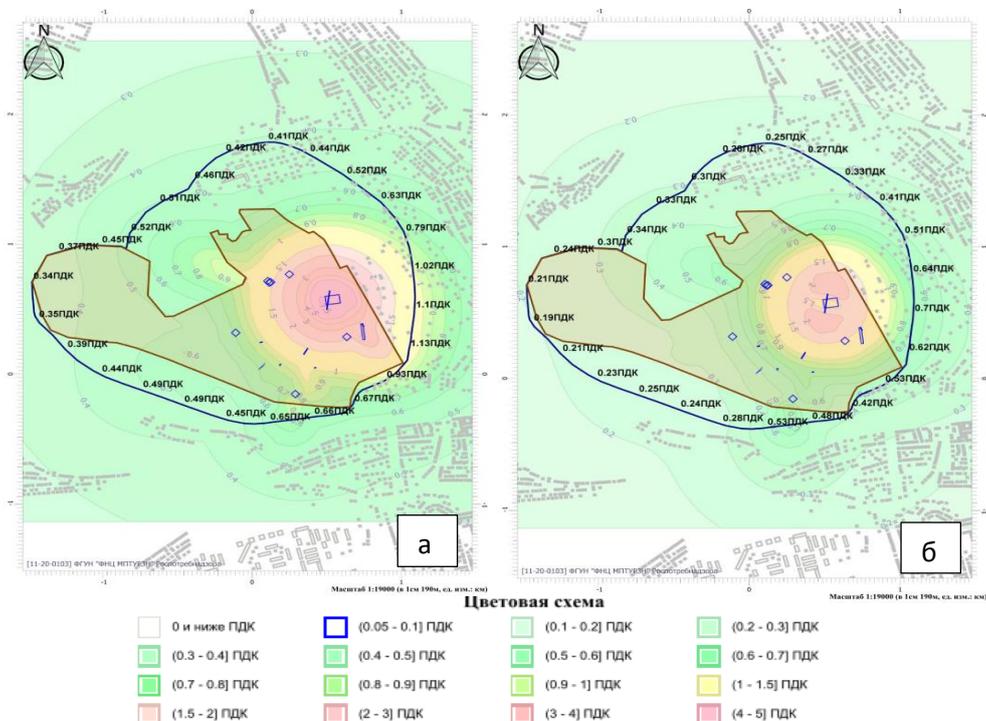


Рисунок 3.18 – Территориальное распределение мелкодисперсных частиц, доли ПДК<sub>м.р.</sub> в зоне влияния предприятия а) PM10; б) PM2.5

Установлено, что максимальные концентрации мелкодисперсных частиц PM10 на границе СЗЗ предприятия формируют превышения установленных нормативов – 1,13 ПДКм.р. По результатам картирования установлено, что зона влияния мелкодисперсных частиц (PM10) выходит за установленные границы санитарно-защитной зоны предприятия.

Установленный, по результатам расчетов рассеивания, уровень эмиссий мелкодисперсных частиц PM10 и PM2.5 формирует превышения допустимого уровня ( $HQ > 1$ ) острого ингаляционного риска в 2,3 и 1,7 раза, хронического ингаляционного риска – в 1,2 и 1,1 раза соответственно. При однонаправленном действии, оба вида частиц формируют негативное влияние ( $HI > 1$ ) на органы дыхания на уровне до 4,0  $HI_{ac}$  острого и до 2,3  $HI_{ch}$  хронического воздействий. Зоны фактического повышенного (недопустимого) риска для здоровья населения представлены на Рисунке 3.19.

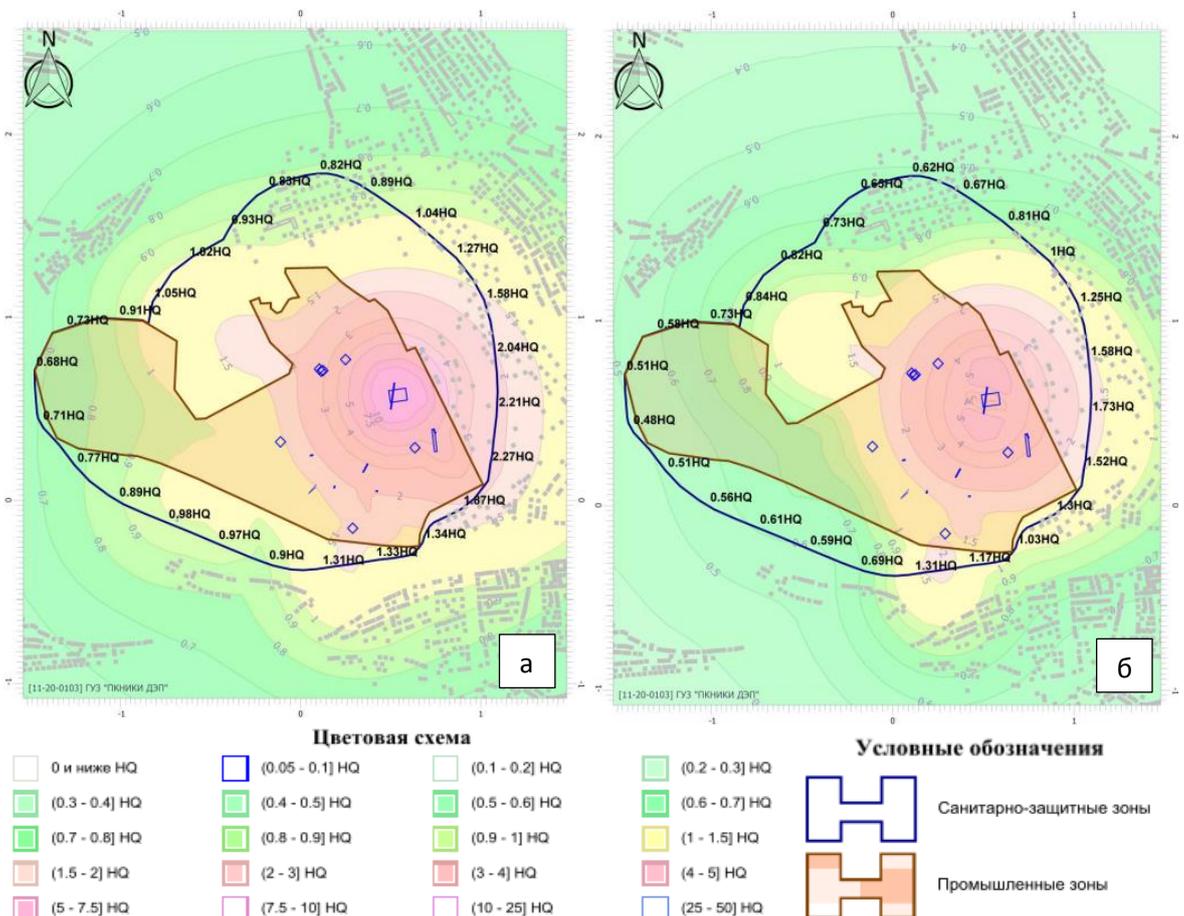


Рисунок 3.19 – Территориальное распределение уровней острого ингаляционного неканцерогенного риска, доли  $HQ_{ac}$ :  
а) с учетом выброса PM10; б) с учетом выброса PM2.5

Полученные результаты показали, что зона недопустимого риска здоровью ( $HQ > 1$ ) распространяется от границы промышленной площадки предприятия на расстоянии более 900 м. В сложившейся градостроительной ситуации под воздействием мелкодисперсных частиц проживает более 5 тыс. человек.

Полученные результаты подтверждают значимость установления дисперсного состава пылегазовых выбросов, с выделением фракций  $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$ , как для повышения точности оценки влияния хозяйствующих субъектов на атмосферный воздух, так и для задач нормирования и управления пылевыми выбросами.

Перенос многокомпонентного состава твердых выбросов на большие расстояния от источника и существенное влияние этого переноса на геоэкологическую ситуацию установлены на примере предприятия по добыче вольфрама и молибдена. Более 44 млн. тонн отходов комбината (так называемые «лежалые пески») длительное время располагались в непосредственной близости от жилой застройки. Установление компонентного состава пылей в зоне влияния объекта показал наличие в атмосфере высокотоксичных примесей:  $Pb - 0,12 \%$ ;  $Mn - 0,11 \%$ ;  $Zn - 0,08 \%$ ,  $W - 0,14 \%$ ;  $Cr - 0,01 \%$ ;  $V - 0,005 \%$ ;  $Cd - 0,001 \%$ ;  $As - 0,005 \%$ ;  $Ni - 0,002 \%$ ;  $Co - 0,001 \%$ .

Все указанные элементы регистрировались в воздухе жилой застройки в значимых, но допустимых концентрациях, а соединения свинца – на уровнях до 2,0 ПДКс.с, железа – до 1,5 ПДКс.с (Таблица 3.12).

На момент проведения исследования порядка 40 млн. тонн было вывезено на другую площадку, удаленную от жилой застройки. Вывоз песков сопровождался интенсивным пылением, что вкупе с ранее накопленным загрязнением явилось значимым источником вторичного загрязнения окружающей среды.

Геоэкологическое состояние почв в зоне жилой застройки, сформированное в основном переносом пылей воздушными потоками, свидетельствовало о крайне неблагоприятной ситуации именно по токсичным компонентам (Таблица 3.13).

Таблица 3.12 – Показатели содержания металлов в воздухе жилой застройки в зоне отходов бывшего вольфрамово-молибденового комбината

Показатели	Свинец	Кадмий	Медь	Цинк	Никель	Марганец	Хром	Магний оксид	Алюминий	Ванадий пентоксид	Железо	Кобальт
Количество проб	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Максимальная из суточных концентраций, доли ПДКс.с.	<b>2,00</b>	0,10	0,17	0,00	0,27	0,40	0,21	0,07	0,47	0,02	<b>1,10</b>	0,01
Средняя из суточных концентраций, доли ПДКс.с.	0,17	0,01	0,03	0,00	0,07	0,13	0,02	0,02	0,17	0,01	0,29	0,00
95%-персентиль из суточных концентраций, доли ПДКс.с.	0,35	0,01	0,08	0,00	0,17	0,34	0,04	0,06	0,45	0,02	0,91	0,01

Таблица 3.13 – Содержание ряда токсичных элементов в почвах жилой застройки в зоне пыления отвалов бывшего горнообогатительного комбината

Показатели	Zn	Pb	Cd	Cu	Ni	Mn	Cr
	Детские площадки в зоне влияния пыления отвалов						
ПДК (подвижная форма), мг/кг	23	6	–	3	4	100	6
% проб с превышением ПДК	36,0	50,1	0,00	43,2	11,1	13,3	0,00
Максимальная из концентр., мг/кг	<b>30,43</b>	<b>15,17</b>	0,03	<b>8,00</b>	<b>5,79</b>	<b>121</b>	0,08
Садово-огородные участки в зоне влияния пыления отвалов							
% проб с превышением ПДК	46,2	43,1	0,00	37	0,36	0,10	0,00
Максимальная из концентр., мг/кг	<b>32,13</b>	<b>85,67</b>	0,07	<b>56,67</b>	<b>7,92</b>	<b>126</b>	0,08

Канцерогенными свойствами из измеренных и выявленных в значимых концентрациях веществ обладают: свинец, кадмий, никель и хром. Суммарный канцерогенный риск для жителей поселения, связанный с загрязнением среды обитания отходами бывшего производства, составлял на момент исследования  $8,36 \cdot 10^{-4}$  для детского и  $7,80 \cdot 10^{-4}$  для взрослого населения при допустимом уровне  $1,0 \cdot 10^{-4}$ .

Результаты анализа компонентного состава лежалых песков (отходов) легли в основу комплекса мер природоохранного назначения и санитарно-гигиенического характера.

Таким образом, доказано, что корректная оценка компонентного и пылевого состава выбросов существенно изменяет представления об геоэкологической ситуации на территории, опасности и рисках для здоровья населения в зоне воздействия пылящих источников. В результате выполненных исследований результаты, полученные с учетом углубленного анализа пылей, свидетельствовали о более высоком (по сравнению с данными предприятий) загрязнении состоянии окружающей среды, и о необходимости выполнения дополнительных мероприятий и мер по снижению рисков здоровью, которые не планировались хозяйствующими субъектами.

### **Выводы к главе 3:**

Для 75 технологических операций черной и цветной металлургии, машиностроительной, горнодобывающей и горно-перерабатывающей отраслей установлены параметры дисперсного и компонентного составе пылевых выбросов. Определено, что в большинстве случаев состав твердых выбросов является многокомпонентным и по химической структуре не соответствует данным, декларируемым предприятиями. Нередко выбросы содержат от 10 до 80 % оксидов и солей тяжелых металлов (Pb, Mn, Cu, V, Cr, Ni и др.) и твердые смеси являются более опасными (токсичными), чем указываемая пыль. Долевое содержание мелкодисперсных фракций в выбросах предприятий составляет до 56 % по PM10 и до 44 % по PM2.5, что практически не учитывается при инвентаризации источников и нормировании выбросов.

Предложенный метод идентификации и количественного определения химического состава и фракционной структуры твердых частиц в атмосферном воздухе, основанный на анализе дисперсного состава методом лазерной дифракции с применением специального датчика, микроскопировании частиц и их идентификации с применением принципа «компьютерного зрения», обеспечивает оперативное определение дисперсного и компонентного состава

пылей. Классификация и вычисление размеров частиц выполняется с помощью модели нейронной сети, обученной на сотнях примеров, размеченных (атрибутированных) экспертами.

Показано, что недостаточно глубокий анализ состава пылей и связанное с этим неверное кодирование компонентов выбросов имеет следствием некорректную оценку экологической ситуации, уровней загрязнения атмосферного воздуха и опасности для здоровья населения в зонах влияния источников. В ходе проведенных исследований во всех случаях неполная информация о составе пылевых выбросов приводила к недооценке уровня загрязнения и рисков для здоровья, а также – к снижению экологических требований к источникам загрязнения.

Для обеспечения надежной и точной оценки экологической ситуации и оценки рисков для здоровья населения при воздействии пылей представляется целесообразным:

- выполнение в ходе инвентаризации источников выбросов химического анализа пылевой компоненты и/или использование стандартизованных методик или атласов, справочников и пр., обеспечивающих полную расшифровку пылей и учет всех нормируемых твердых соединений (имеющих ПДК или ОБУВ) в соответствии с результатами химического анализа;

- определение массовой доли частиц PM10 и PM2.5 в составе выбросов и их учет как самостоятельных нормируемых примесей.

## ГЛАВА 4 ПЫЛЕВОЙ ПРОФИЛЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛЕВЫХ ВКЛАДОВ ОТДЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ В ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

### 4.1 Методические подходы к построению компонентного профиля пылевых выбросов

Исследование пылевых выбросов различных технологических процессов позволило установить, что качественные и количественные параметры твердого состава отражают специфику технологического процесса, используемые материалы, сырьё и их аппаратное оформление и характеризуются определенной стабильностью.

Анализ устойчивости компонентного состава выбросов выполняли на примере двух пилотных предприятий: по добыче и переработке калийных руд и по производству первичного алюминия.

В Таблицах 4.1–4.3 приведены данные по различным источникам предприятия по добыче и переработке калийных руд, подтверждающие такие положения.

Таблица 4.1 – Массовая доля химических веществ в выбросах от склада руды

Химическое вещество	Массовая доля в составе выброса, %			
	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Среднее из трех проб
NaCl	67,23	76,06	89,46	77,58±5,98
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	14,61	0,00	0,00	4,87±4,87
KCl	8,29	2,86	0,31	3,82±2,24
SiO <sub>2</sub>	1,97	3,36	0,73	2,02±0,67
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,00	3,44	0,00	1,15±1,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,94	2,02	0,43	1,13±0,45
MgO	0,58	1,56	0,35	0,83±0,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,04	1,37	0,00	0,80±0,40
MgSO <sub>4</sub>	1,73	0,00	0,00	0,58±0,58
AlCl <sub>3</sub>	0,00	0,00	1,36	0,45±0,45
CaO	0,00	0,81	0,13	0,31±0,25
Прочие	3,60	8,52	7,24	6,45±1,42

Дисперсный состав пылевого выброса не имел существенного разброса. Доля частиц с размером более 10 мкм составляла  $34,9 \pm 6,3$  %, PM10 –  $65,1 \pm 11,7$  %, PM2.5 –  $20,45$  %. Медианный размер частиц пыли составил порядка  $6,8 \pm 1,1$  мкм.

Таблица 4.2 – Массовая доля химических веществ в выбросах от установки гранулирования

Химическое вещество	Массовая доля в составе выброса, %			
	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Среднее из трех проб
KCl	65,93	84,00	92,68	$80,87 \pm 7,47$
NaCl	24,54	8,13	0,00	$10,89 \pm 6,83$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,89	0,57	0,00	$0,78 \pm 0,24$
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00	0,00	2,03	$0,68 \pm 0,68$
Прочие	8,64	7,30	5,29	$7,08 \pm 0,89$

Медианный размер частиц пылевого выброса от установки гранулирования составил  $7,7 \pm 1,4$  мкм, доля частиц PM10 –  $59,7 \pm 11,8$  %, в том числе PM2.5 –  $12,4 \pm 1,9$  %.

Таблица 4.3 – Массовая доля химических веществ в выбросах от установки додраблевания

Химическое вещество	Массовая доля в составе выброса, %			
	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Среднее из трех проб
KCl	86,58	42,71	75,66	$68,32 \pm 12,8$
NaCl	2,59	32,67	10,42	$15,23 \pm 8,72$
CaSO <sub>4</sub>	0,00	10,12	0,00	$3,37 \pm 3,37$
SiO <sub>2</sub>	6,76	1,35	1,13	$3,08 \pm 1,84$
CaO	0,00	4,17	0,00	$1,39 \pm 1,39$
AlCl <sub>3</sub>	0,00	2,71	1,03	$1,25 \pm 0,73$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,77	0,57	0,38	$0,57 \pm 0,10$
MgSO <sub>4</sub>	1,39	0,00	0,00	$0,46 \pm 0,46$
MgO	0,46	0,00	0,00	$0,15 \pm 0,15$
Прочие	1,44	5,7	11,38	$6,17 \pm 2,60$

Доля частиц с размером более 10 мкм составляла  $50,65 \pm 8,1$  %, PM10 –  $49,4 \pm 7,9$  %, в том числе PM2.5 –  $11,0 \pm 2,0$  % Медианный размер пылевых частиц составил  $10,5 \pm 1,2$  мкм.

Однородность состава подтверждалась и однородностью морфологического состава частиц из разных проб выброса. Большинство сфотографированных

частиц на исследованном предприятии по добыче и переработке калийных руд имели кристаллическую форму, характерную для солей (Рисунки 4.1-4.2).

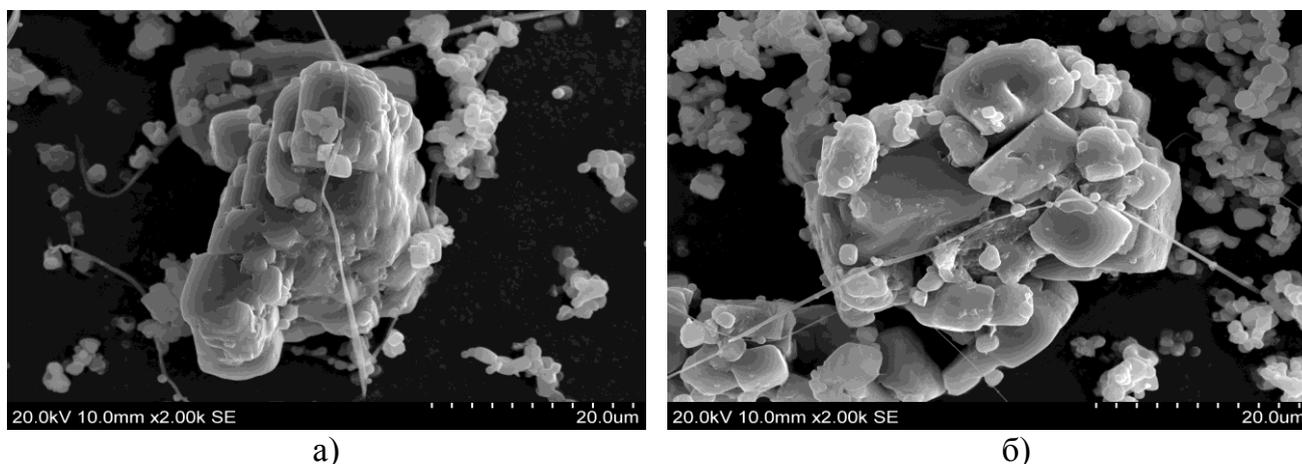


Рисунок 4.1 – Морфология пылевых частиц выбросов установки додраблывания (увеличение а) и б) 2000 крат)

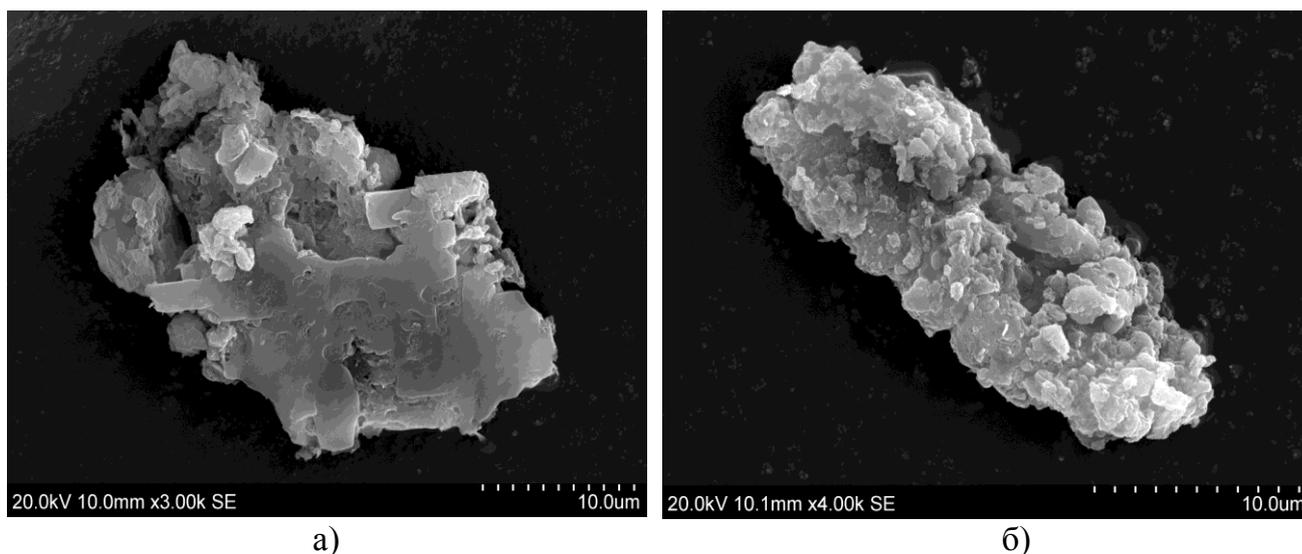


Рисунок 4.2 – Морфология пылевых частиц выбросов установки гранулирования (увеличение а) 3000 крат; б) 4000 крат)

Исследования, выполненные для иных источников предприятия: сушильных печей, мест перегрузки и пр. показали близкие результаты.

Аналогичные данные, свидетельствующие об определенной стабильности состава выбросов, получены при изучении производства первичного алюминия. Сопоставительная оценка выбросов разных источников выделения, обеспечивающих однотипные технологические операции, показала высокую

степень близости химической структуры выбросов как на одном источнике в разное время, так и на разных источниках (Таблица 4.4).

Таблица 4.4 Массовая доля химических веществ в пылевых выбросах установок электролиза

Химическое вещество	Массовая доля в составе выброса, %			
	Источник № 36 <sup>5</sup>	Источник № 39	Источник № 40	Среднее значение
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	86,10±3,2	84,83±3,8	87,36±3,7	86,10±3,56
NaF	5,68±0,28	7,04±0,43	4,33±0,41	5,68±0,64
CaF	2,42±0,15	3,01±0,18	1,82±0,15	2,42±0,28
FeS <sub>2</sub>	2,23±0,11	2,69±0,12	1,77±0,16	2,23±0,22
SiO <sub>2</sub>	2,38±0,12	0,00	1,49±0,11	1,94±0,26
FeO	0,93±0,06	2,22±0,35	0,00	1,57±0,37

Повышенное, приоритетное содержание оксида алюминия было подтверждено результатами рентгенофазового анализа (Рисунок 4.3).

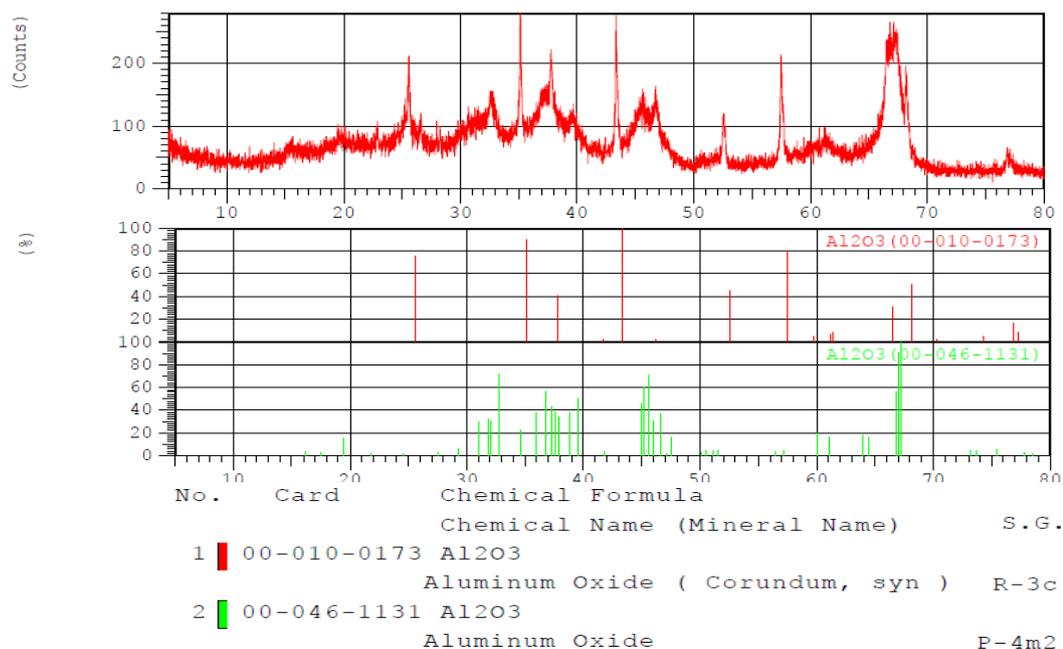


Рисунок 4.3 – Результаты расшифровки фазового состава пылевой компоненты источника электролизного производства

Ни в одной пробе не были обнаружены мелкодисперсные частицы (нижний размер диаметра фиксировали на уровне 15 мкм).

Полученные результаты позволили сформулировать понятие «**профиль пылевого выброса**» как относительно стабильную химическую структуру

<sup>5</sup> Нумерация источников принята в соответствии с инвентаризацией предприятия

пылевой смеси, характеризующую выбросы определенного этапа технологического процесса или процесс в целом.

Профиль пылевого выброса может быть установлен на основании отбора и химического анализа не менее трех проб на источнике при максимальной загрузке оборудования в период наибольшего выделения пылевой компоненты.

Для удобства предложено отображать профиль выброса не только в виде таблицы, но и в виде графического объекта (Рисунки 4.4–4.5).

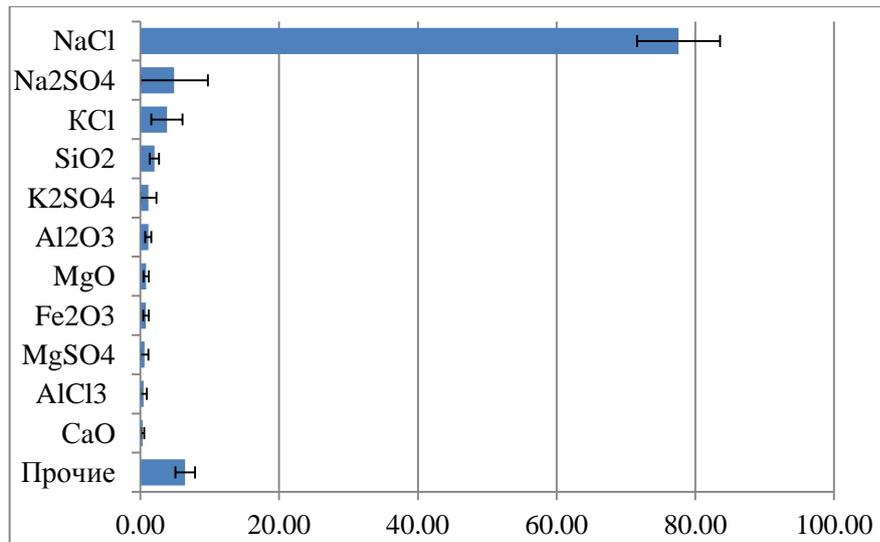


Рисунок 4.4 – Пример графического отображения профиля пылевого выброса от склада руды предприятия по добыче и переработке калийных руд, %

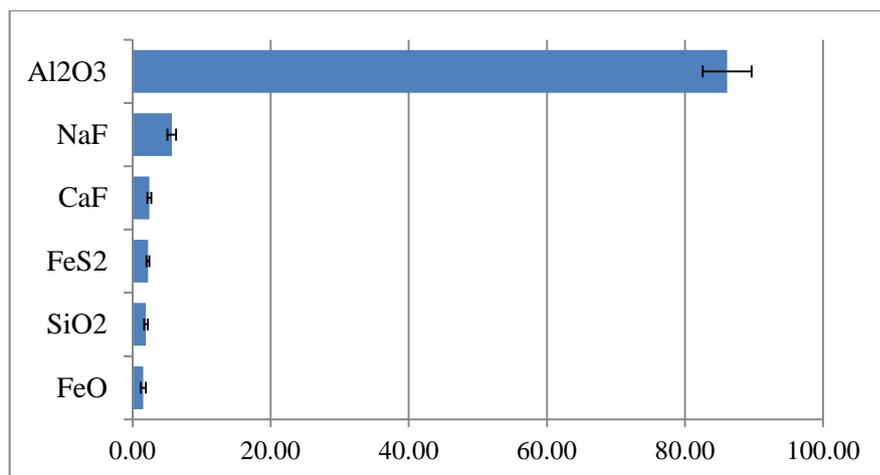


Рисунок 4.5 – Пример графического отображения профиля пылевого выброса от цеха электролиза производства первичного алюминия, %

Таким образом, предполагалось, что пылевой профиль позволяет:

- установить фактическое воздействие конкретного объекта на атмосферный воздух контрольной территории с учетом полного представления о составе выброса;
- обеспечить оценку долевого вклада источника в общее пылевое загрязнение атмосферного воздуха.
- выполнить обоснование воздухоохраных мероприятий с адресной привязкой к источнику выбросов;

#### **4.2 Выделение вклада предприятий в пылевое загрязнение на основании учета профилей выбросов**

Определение долевого вклада пылевых выбросов предприятия в фактическое загрязнение атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны выполняли путем сравнительного анализа структуры («профиля») пылевого загрязнения формируемого выбросами предприятия и фактического содержания пылевых загрязняющих веществ, установленных в атмосфере в результате инструментальных измерений на границе санзоны. Профиль выбросов рассматривали как инструмент адекватной оценки и доказательной базы вклада предприятия в фактическое загрязнение в конкретной точке территории:

$$\Delta_k^{Пред} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (C_{ik}^{Атм} - C_{ik}^{Пред})}{\sum_{i=1}^N C_{ik}^{Атм}} \quad (4.1)$$

где:  $C_{ik}^{Атм}$  – концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества в атмосферном воздухе, установленная в  $k$ -ой точке, мг/м<sup>3</sup>;

$C_{ik}^{Пред}$  – концентрация  $i$ -го загрязняющего вещества в атмосферном воздухе, формируемая выбросами предприятия в  $k$ -ой точке, мг/м<sup>3</sup>.

Задача была инициирована возникшей проблемой: на границе санзоны регистрировали существенные превышения гигиенических нормативов по содержанию пыли (до 5,2 ПДКм.р.), тогда как предприятие горнодобывающего

производства – основной известный источник выбросов пыли – работало в штатном режиме, соблюдая все экологические требования. Инструментальные измерения, при которых были зафиксированы нарушения, выполняли с полной расшифровкой компонентного состава. Результаты представлены в Таблице 4.5 и визуализированы на Рисунке 4.6.

Было установлено, что пыли на границе санзоны почти на 80 % сформированы оксидами железа, кремния и алюминия.

Таблица 4.5 – Массовая доля химических веществ в атмосферном воздухе на границе санзоны предприятия

Химическое вещество	Массовая доля в составе выброса, %				
	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Среднее из трех проб	Ошибка определения
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,31	3,87	82,02	36,73	21,21
SiO <sub>2</sub>	31,04	52,2	5,95	29,73	17,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,17	22,52	2,79	15,83	9,14
CaO	14,05	4,96	3,85	7,62	4,40
MgO	2,81	1,18	2,14	2,04	1,18
KCl	1,85	1,43	1,12	1,47	0,85
NaCl	2,08	0,09	1,21	1,13	0,65
MnSO <sub>4</sub>	0,00	0,00	1,56	0,52	0,30
MgSO <sub>4</sub>	0,00	0,00	1,35	0,45	0,26
AlCl <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,69	0,23	0,13
Прочие	0,00	2,18	6,31	4,25	2,45

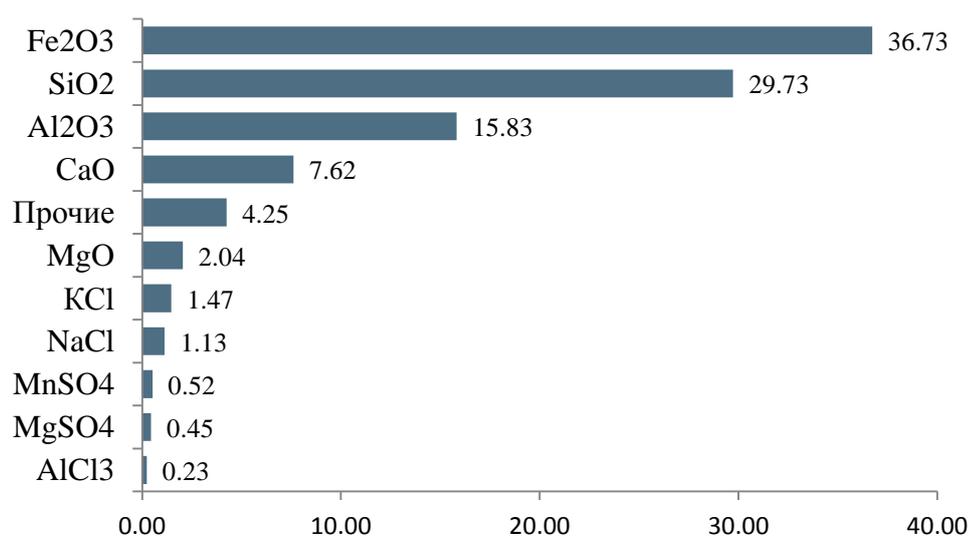


Рисунок 4.6 – Массовая доля химических веществ в пылевых частицах, отобранных на границе санзоны предприятия, %

Параллельно с применением результатов установленных компонентных профилей пылевых выбросов источников предприятия (описаны в Таблицах 4.1-4.3) была откорректирована инвентаризация предприятия. На базе скорректированных параметров источников были выполнены расчеты рассеивания выбросов и оценены приземные концентрации, формируемые источниками предприятия в конкретных метеорологических условиях, при которых выполняли инструментальные исследования в контрольной точке на границе санзоны. Рассчитанные уровни представлены в Таблице 4.6.

Содержание маркерных для предприятия примесей – хлоридов калия и натрия составили в общем загрязнении менее 2 % (Таблица 4.6, Рисунок 4.6). Структура загрязнения не совпадала с загрязнением, формируемым профилем пылевого выброса предприятия. Присутствие в атмосферном воздухе хлористого калия и хлористого натрия почти на 100 % определялось источниками предприятия, однако вклады в пылевое загрязнение иными примесями являлись очень незначительными.

Расчет показал, что совокупный вклад предприятия в общее пылевое загрязнение атмосферы на границе СЗЗ составил не более 5,9 % (Таблица 4.6, Рисунок 4.7).

Таблица 4.6 – Вклад источников предприятия горно-перерабатывающего профиля в уровень загрязнения атмосферного воздуха на границе СЗЗ по выбрасываемым твердым химическим веществам

Химическое вещество	Структура пылевого загрязнения от источников предприятия* (мг/м <sup>3</sup> )	«Профиль» фактического пылевого загрязнения в точке измерения** (мг/м <sup>3</sup> )	Вклад предприятия на границе СЗЗ в общее пылевое загрязнение, %	Фоновое загрязнение, %
1	2	3	4	5
KCl	0,0371	0,0383	1,42	0,05
NaCl	0,0281	0,0296	1,08	0,06
AlCl <sub>3</sub>	0,0023	0,006	0,09	0,14
MgSO <sub>4</sub>	0,0029	0,0118	0,11	0,34
SiO <sub>2</sub>	0,0299	0,7762	1,15	28,58
MgO	0,002	0,0535	0,08	1,97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,009	0,4133	0,34	15,48
CaO	0,0014	0,1989	0,05	7,56

## Окончание Таблицы 4.6

1	2	3	4	5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0033	0,9589	0,13	36,60
MnSO <sub>4</sub>	0,0	0,0135	0,00	0,52
Прочие	0,0377	0,111	1,44	2,81
<b>Итого:</b>	<b>0,154</b>	<b>2,611</b>	<b>5,9</b>	<b>94,1</b>

Примечания: \*Расчет на основании профиля выброса  
\*\*Результат инструментального измерения

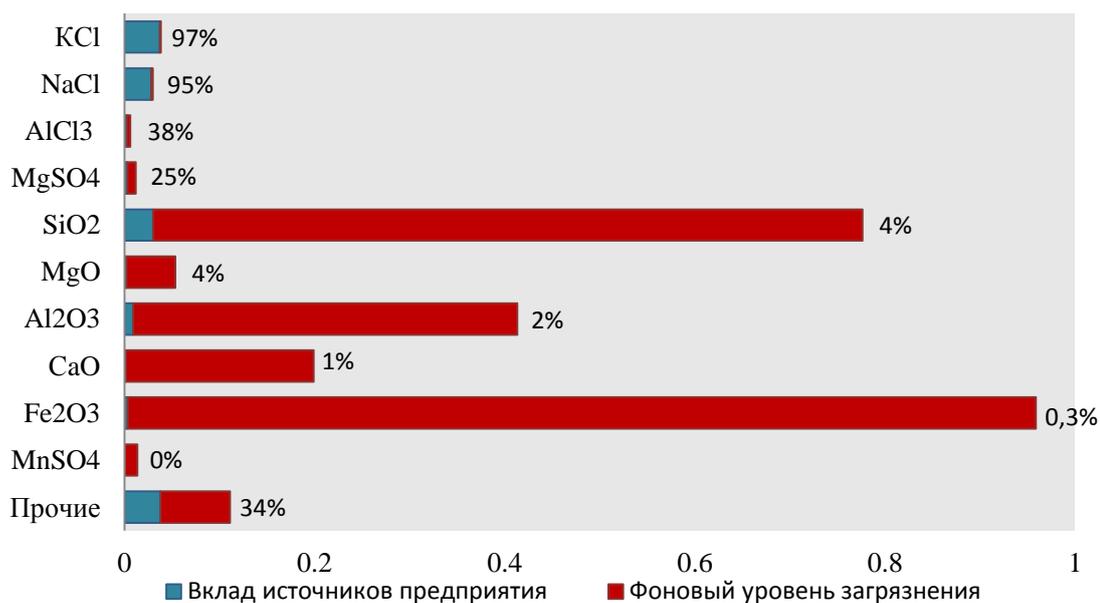


Рисунок 4.7 – Структура загрязнения и долевого вклад пылевых выбросов предприятия на границе СЗЗ, %

Полученные результаты были подтверждены и сопоставительным анализом выполненных микрофотографий пылевых частиц на источниках выбросов и на границе санзоны. Большинство частиц, выбрасываемых источниками предприятия, имели однотипную кристаллическую форму, характерную для солей (Рисунок 4.8а).

Идентифицированные твердые частицы на границе СЗЗ предприятия кардинально отличались по морфологическим признакам (Рисунок 4.8б).

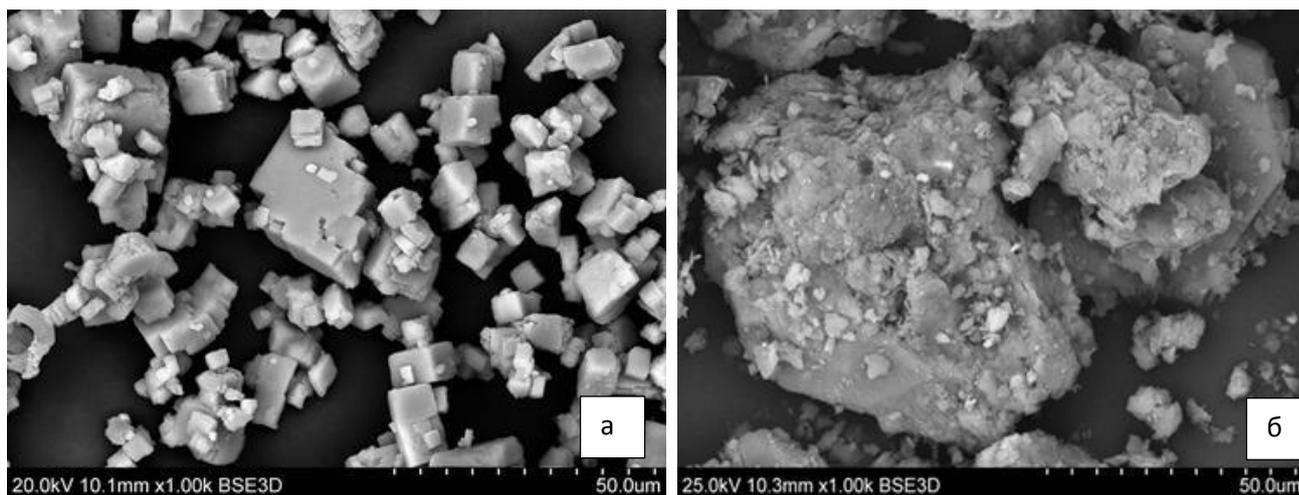


Рисунок 4.8 – Формы пылевых частиц (степень увеличения 1000 крат):  
а) от источников предприятия; б) в атмосферном воздухе на границе СЗЗ

Результаты позволили сделать вывод о том, что сверхнормативное пылевое загрязнение на границе СЗЗ формируется не предприятием, а определяется иными источниками, выявление которых является отдельной задачей. Как следствие, было показано, что контроль влияния источников предприятия через определение взвешенных частиц (пыли) на границе не целесообразен и малоинформативен как показатель производственного контроля.

Полученные результаты позволили снять ответственность за нарушение нормативов качества воздуха с предприятия и одновременно, поставили задачу выявления реальных причин и условий загрязнения атмосферы. Хлориды калия и натрия были определены как маркерные для источника выброса, подлежащие систематическому мониторингу.

#### **Выводы по главе 4:**

- установлено, что, несмотря на качественное разнообразие пылевой структуры выброса от одного технологического процесса (операции), химический состав твердой фракции, как правило, характеризуется стабильной структурой;
- полученные результаты компонентного и дисперсного состава позволили сформулировать понятие «профиль пылевого выброса» как относительно стабильную химическую структуру пылевой смеси;

– на основе построения компонентных профилей пылевых выбросов и атмосферного воздуха контрольной территории, предложена методика оценки вклада хозяйствующих субъектов в загрязнение атмосферы;

– предложенный метод позволяет выполнить корректное обоснование к выбору точек экологического мониторинга и производственного контроля с учетом качественных и количественных характеристик пылей.

– специфическое для технологического процесса вещество, долевым вклад которого в общую структуру выброса (профиль выброса) количественно определен, может рассматриваться как маркерное и обеспечивать корректный мониторинг и контроль выбросов конкретного источника (группы источников).

## **ГЛАВА 5 ОБОСНОВАНИЕ ПУТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И НОРМИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ**

### **5.1 Обоснование оптимальных точек экологического мониторинга и производственного контроля с учетом компонентного и дисперсного состава пылей**

Существующая сеть государственного мониторинга оценивает уровень пылевого загрязнения селитебной территории путём измерения на постах общей пыли [178-180]. В результате применения гравиметрического метода, на фильтр оседают все твердые компоненты, находящиеся в атмосфере во взвешенном состоянии. Установленные концентрации нормируются по химическому веществу с кодом 2902 – взвешенные вещества. Полученные результаты загрязнения атмосферы при измерении взвешенных веществ, дают общее представление о пылевой нагрузке на контрольной территории. В таком случае, невозможно установить надежную связь между уровнем загрязнения и факторами формирующие повышенные концентрации – естественные причины загрязнения атмосферы (пыление открытых участков грунта) или антропогенные источники (хозяйствующие субъекты, строительство, автомобильные дороги и т.д.). Установленные значения приобретают информационный характер, управление которыми невозможно. Как следствие, снижается значимость мониторинга как информационной основы для принятия решений [181].

Пылевые профили легли в основу совершенствования подходов к выбору организации экологического мониторинга на урбанизированных территориях. Предлагаемый подход включал: геоэкологическое картирование и зонирование территории по структуре и уровням расчетного пылевого загрязнения; оценку рисков для здоровья населения при воздействии твердых частиц; установление основных источников выбросов и выбор маркерных веществ для мониторинга.

Принципиальный алгоритм определения точек мониторинга и контролируемых показателей приведен на Рисунке 5.1

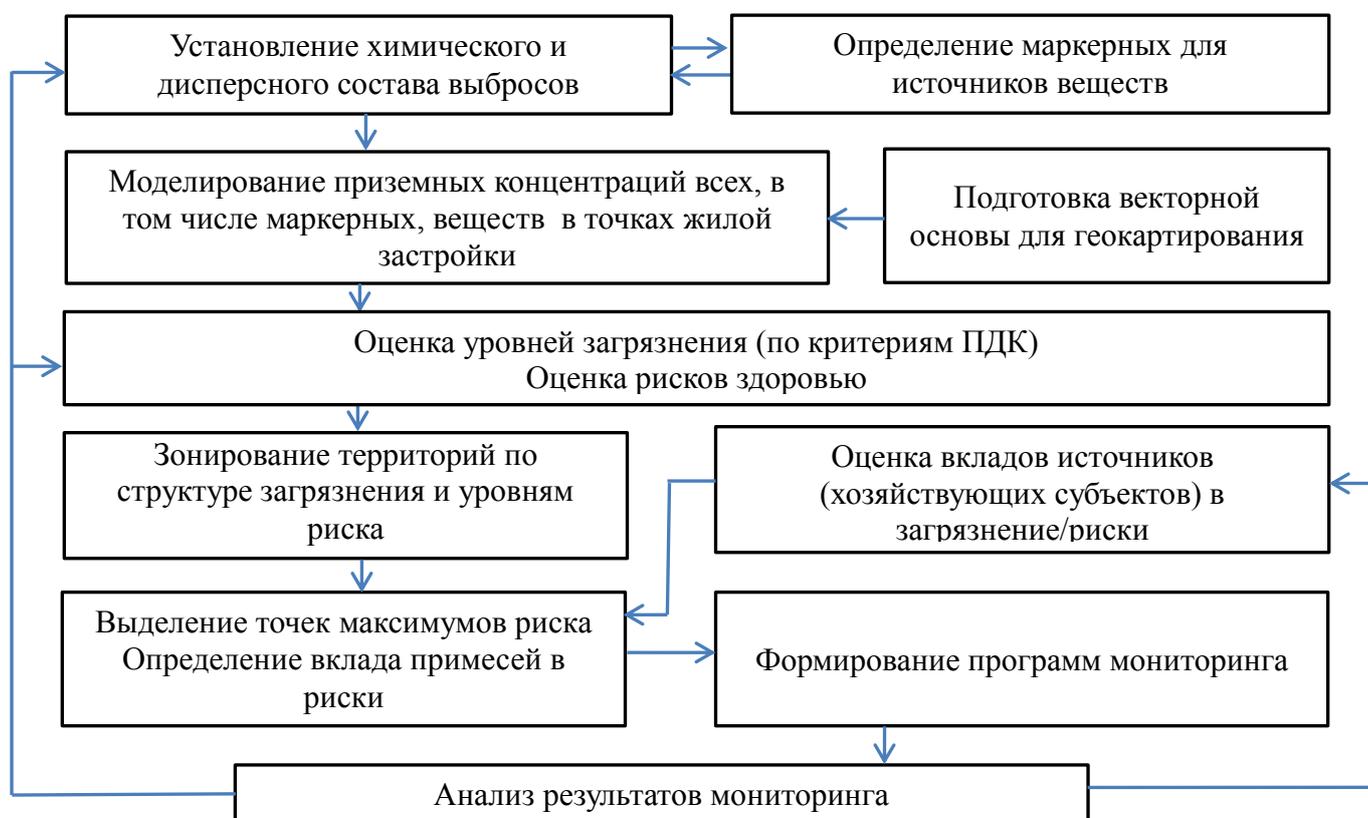


Рисунок 5.1 – Алгоритм определения точек мониторинга и контролируемых показателей

Алгоритм предполагает наличие данных о химическом и дисперсном составе выбросов, маркерных веществах отдельных предприятий и/или источников, результаты моделирования приземных концентраций веществ в точках жилой застройки. Все операции выполняются с применением векторных карт территорий.

Основным критерием выбора мест расположения точек экологического мониторинга и/или производственного контроля, является получение наиболее точных данных об уровне загрязнения атмосферного воздуха, в том числе общего пылевого загрязнения и компонентной структуры пылевого состава.

Места расположения точек измерений качества атмосферного воздуха, должны обеспечивать получение корректных данных о пылевом загрязнении

территории, на которой они расположены. На Рисунке 5.2 приведен общий вид расположения расчетных точек.

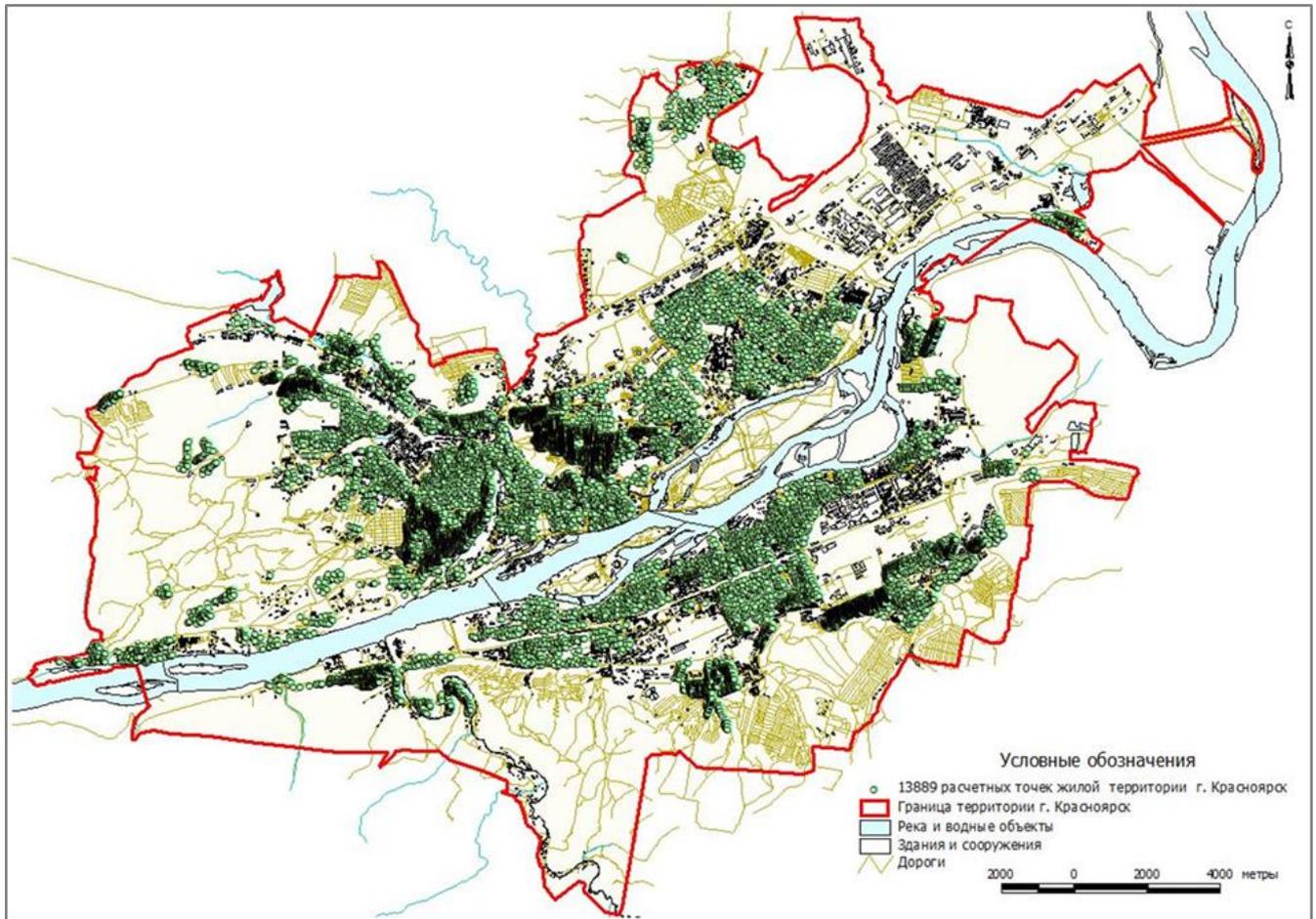


Рисунок 5.2 – Расположение расчетных точек в геометрических центрах жилых строений города Красноярск

Апробация подходов выполнена на примере крупнейшего города России, расположенного на территории Восточной Сибири (г. Красноярск). В результате выполненных на территории проживания населения сводных расчетов рассеивания пылевых выбросов, от всей совокупности стационарных источников, установлено, что формируемые уровни загрязнения воздуха различны как по суммарным среднегодовым приземным концентрациям пылевых частиц (от 0,06 до 0,217 мг/м<sup>3</sup>), так и по структуре пылевого загрязнения. Общий химический состав пылей, поступающих в атмосферный воздух, характеризуется 111 веществами. Перечень веществ и результаты расчетов среднегодовых концентраций в точках расположения жилых зданий и строений представлены в Приложении Ж.

Ранжирование данных компонентов по величине долевого вклада в общую сумму пылей, показало, что только 17 веществ формируют 99 % загрязнения атмосферы, и рассматриваются как приоритетные (Таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Перечень приоритетных твердых загрязняющих веществ г. Красноярск

Код	Наименование вещества	ПДКм.р.	ПДКс.с.	ПДКс.г.	ОБУВ	Класс опасности
101	диАлюминий триоксид (в пересчете на алюминий)	–	0.01	0.005	–	2
123	Железа оксид	–	0.04	–	–	3
125	Калий карбонат	0.1	0.05	–	–	4
128	Кальций оксид (Кальций окись)	–	–	–	0.3	–
143	Марганец и его соединения (в пересчете на марганец (IV) оксид)	0.01	0.001	0.00005	–	2
150	Натрий гидроксид (Натр едкий)	–	–	–	0.01	–
154	Натрий гипохлорит (Натрий хлорноватистоокислый; натрий оксихлорид)	–	–	–	0.1	–
164	Никель оксид	–	0.001	–	–	2
328	Углерод (Пигмент черный)	0.15	0.05	0.025	–	3
344	Фториды плохо растворимые	0.2	0.03	–	–	2
2902	Взвешенные вещества	0.5	0.15	0.075	–	3
2907	Пыль неорганическая >70% SiO <sub>2</sub>	0.15	0.05	–	–	3
2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO <sub>2</sub>	0.3	0.1	–	–	3
2909	Пыль неорганическая: до 20% SiO <sub>2</sub>	0.5	0.15	–	–	3
2930	Пыль абразивная	–	–	–	0.04	–
2936	Пыль древесная	–	–	–	0.5	–
3748	Смолистые вещества	0.1	0.03	0.01	–	1

Методом кластеризации выделено 6 разнородных зон на территории жилой застройки. Каждая зона характеризовалась определенным уровнем и специфической структурой пылевого загрязнения (Рисунок 5.3) и, соответственно, источниками этого загрязнения.

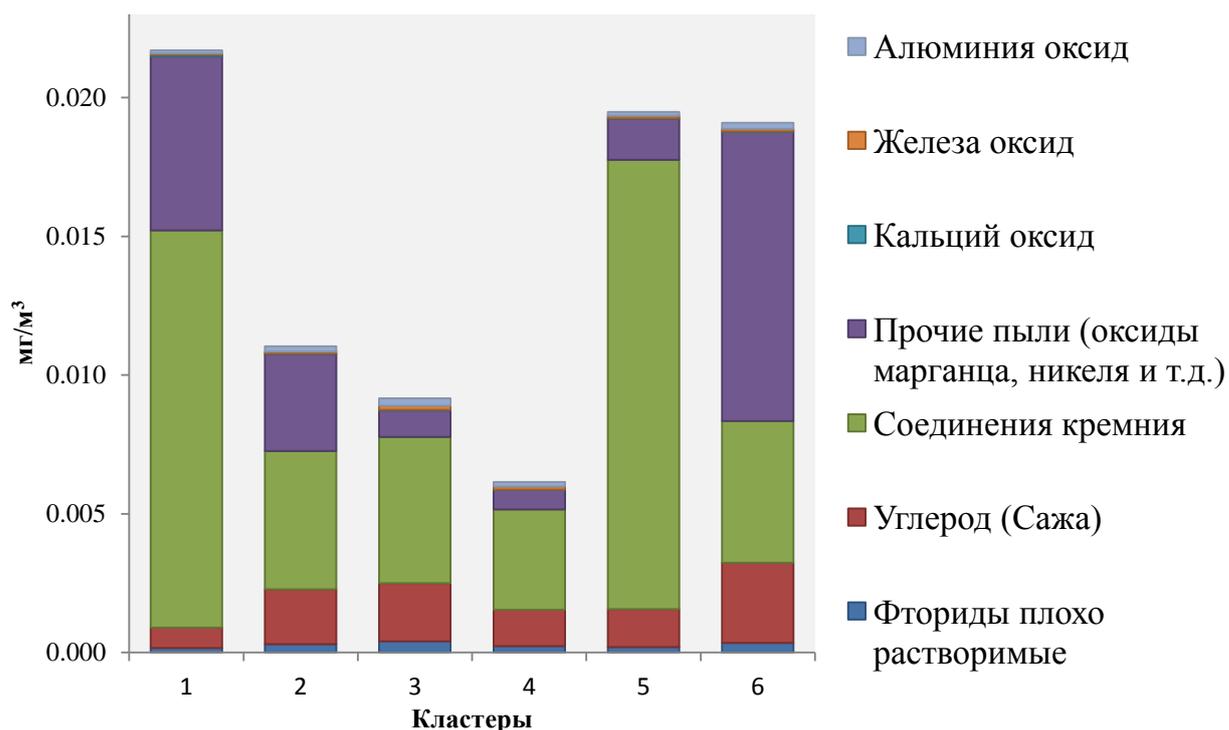


Рисунок 5.3 – Структура пылевых химических веществ в зонах (кластерах) размещения постов мониторинга, мг/м<sup>3</sup>

Для каждого кластера были определены маркерные вещества, характеризующие пылевые выбросы конкретных источников загрязнения – хозяйствующих субъектов. Так, в кластере 3 общий уровень пылевого загрязнения на 57,5 % формировался соединениями кремния, на 22,8 % углеродом (сажа), на 10,4% прочими веществами. Основными источниками загрязнения являлись объекты теплоэнергетики, автономные источники отопления частных домохозяйств, автотранспортные предприятия. В кластере 6 загрязнение атмосферы определялось 54,6 % оксидами меди и никеля, на 26,8 % соединениями кремния. Основные источники – предприятия строительной отрасли и крупная фармацевтическая компания.

Для задач мониторинга в качестве места размещения поста наблюдения в каждой зоне определяли точку с локальным максимумом общего пылевого загрязнения. Установлено, что на исследованной территории 3 выбранных точки практически совпали с местами размещения постов экологического мониторинга – посты №№ 5, 20, 8 (Рисунок 5.4). При этом посты №№ 1, 7, 9 располагаются в

зоне минимального загрязнения (кластер 4) и измерение твердых веществ в данных точках малоинформативно в части выхода на управленческие решения. Вместе с тем, рекомендовано дополнительно включить в систему мониторинга 3 точки в кластерах, не охваченных системным наблюдением (Рисунок 5.4), но характеризующихся высокими приземными концентрациями пыли. Проведение наблюдений в точках расположенных в кластерах №№ 1, 5, 6 обеспечит объективную оценку пылевого загрязнения и обоснование регулирующих мер.

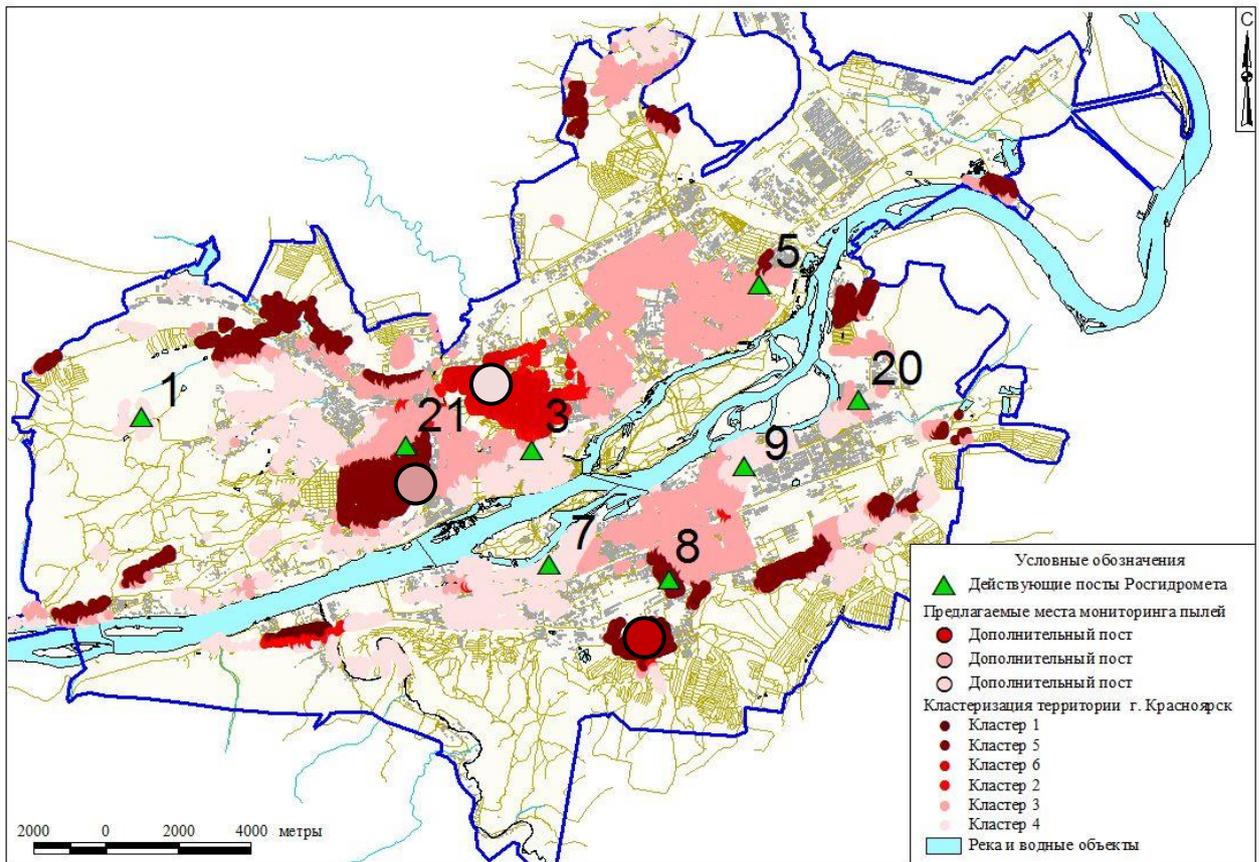


Рисунок 5.4 – Результаты геоэкологического картирования кластеризации городской территории по пылевому загрязнению

Применение сопряжения расчетного и инструментального мониторинга обеспечивает определение перечня хозяйствующих субъектов и источников выбросов, формирующих основное воздействие. Это позволяет обосновывать оптимальный перечень управляющих решений, разрабатывать адекватные воздухоохраные мероприятия по снижению пылевых выбросов, прогнозировать

изменение ситуации, оценивать эффективность и результативность реализованных мер.

Полученные данные геоэкологического картирования распределения пылевого загрязнения на примере отдельных хозяйствующих субъектов и по территории жилой застройки крупного промышленного центра (г. Красноярск) легли в основу обоснования подходов по совершенствованию системы контроля и нормирования промышленных пылевых выбросов, в том числе мелкодисперсных фракций PM10 и PM2.5.

## **5.2 Элементы совершенствования системы экологического нормирования промышленных пылевых выбросов**

Сложившаяся в России система государственного регулирования в области охраны окружающей среды, в частности экологического нормирования выбросов предусматривает, что с января 2019 г. меры, применяются в отношении загрязняющих веществ, входящих в Перечень № 1316-р. Из 106 твердых веществ, для которых установлены гигиенические нормативы (ПДК или ОБУВ) в систему государственного регулирования включены 7 видов пылей и ряд оксидов металлов: взвешенные частицы PM10, взвешенные частицы PM2.5, взвешенные вещества, пыль неорганическая с содержанием кремния < 20 %, 20-70 %, > 70 %, пыль каменного угля, ванадия пяти оксид, диалюминий триоксид, железа трихлорид, зола твердого топлива, зола ТЭС мазутная, кадмий и его соединения, кобальт и его соединения, никель, оксид никеля, магний оксид, марганец и его соединения, медь, оксид меди, сульфат меди, хлорид меди, свинец и его соединения, фториды твердые, хром.

Прочие виды твердых веществ, в том числе: сажа, пыль древесная, пыль абразивная, пыль ферросплавов, диЖелезо триоксид, оксид олова, и пр. выведены из системы государственного регулирования.

Вместе с тем, установлено, что включение всех видов пылей, а также выделение в их составе мелкодисперсных частиц PM10 и PM2.5 и установление

для них нормативов допустимых выбросов будет иметь следствием существенно более жесткие требования к массам выбрасываемых пылевых смесей.

Предлагаемый подход апробирован на примере предприятия металлургического профиля. С использованием базы данных стационарных источников выбросов выполнены расчеты рассеивания для всех твердых веществ. Кроме того, качественные параметры источников выбросов предприятия были откорректированы по результатам исследования компонентного и дисперсного состава. Уровень пылевого воздействия оценивался по максимальному разовому, среднесуточному/среднегодовому воздействию.

Результаты полученных концентраций и анализ веществ подлежащих/неподлежащих государственному регулированию и учету в составе выбросов приведены в Таблице 5.2.

Установлено, что ведомость инвентаризации предприятия не учитывает в составе фактического выброса оксиды меди, свинца и цинка, а также мелкодисперсные частицы PM10 и PM2.5. Как следствие, превышение гигиенических нормативов на уровне 1,96 ПДКм.р. и 1,52 ПДКс.с по PM10 и 1,42 ПДКм.р. и 1,12 ПДКс.с по PM2.5 не фиксируется в составе разрешительной документации предприятия, и не принимается во внимание при планировании воздухоохранной деятельности предприятия.

При существующем подходе к государственному регулированию твердых выбросов предприятию необходимо снизить валовый выброс на 0,49 т/год по диВанадий пентоксиду. Расширив перечень веществ, подлежащих государственному регулированию, включив в него все виды пылей и другие вещества твердого агрегатного состояния, предприятие будет обязано выполнить меры по снижению пыли ферросплавов на 2,28 т/год, по мелкодисперсным частицам – на 19,34 т/год по PM10, в том числе на 14,20 т/год по PM2.5. Такие меры приведут к тому, что на границе санитарно-защитной зоны и в жилой застройке будут соблюдены все требования как экологического, так и санитарно-эпидемиологического законодательства страны.

Таблица 5.2 – Расчетная характеристика пылевого загрязнения на границе контрольной территории и обоснование необходимости мероприятий по снижению

Код	Наименование вещества	С <sub>max</sub> на границе СЗЗ		М, т/год	Требования к снижению выброса
		доли ПДК <sub>м.р.</sub>	доли ПДК <sub>с.с/с.г.</sub>		
101	диАлюминий триоксид	–	0.14	1.747	Не требуется
110	диВанадий пентоксид	–	1.62	3.032	<b>Требуется снижение на 0.49 т/год</b>
123	Железа оксид*	–	0.25	23.205	Не требуется
128	Кальций оксид *	0.61	–	1.601	Не требуется
138	Магний оксид	0.06	0.06	0.761	Не требуется
143	Марганец и его соедин.	0.25	0.37	2.339	Не требуется
146	Медь оксид **	–	0.28	0.526	Не требуется
184	Свинец и его соедин.**	0.19	0.12	0.782	Не требуется
207	Цинк оксид **	–	0.01	0.063	Не требуется
328	Углерод (сажа)*	0.01	0.00	0.820	Не требуется
2909	Пыль с сод. до 20% SiO <sub>2</sub>	0.24	0.12	201.695	Не требуется
2936	Пыль древесная*	0.85	–	10.723	Не требуется
2981	Пыль ферросплавов*	1.38	–	8.273	<b>Требуется снижение на 2.28 т/год</b>
8	PM10**	1.96	1.52	42.583	<b>Требуется снижение на 19.34 т/год</b>
10	в том числе PM2.5**	1.42	1.12	26.023	<b>Требуется снижение на 14.20 т/год</b>

Примечания: \* вещество не входит в перечень, подлежащий государственному регулированию  
 \*\* вещество не учитывается хозяйствующим субъектом  
 Тонем выделены вещества, по которым требуется дополнительное снижение выбросов, не предусмотренное существующей системой экологического нормирования.

Там образом, нормативное закрепление данного подхода дополняет и повышает точность оценки пылевого воздействия промышленного объекта на атмосферный воздух, обеспечивает эффективное управление твердыми компонентами выбросов и минимизацию рисков для здоровья населения, постоянно проживающего в условиях негативного воздействия твердых частиц.

Следует отметить, что учет полного спектра твердых веществ и мелкодисперсных фракций при экологическом нормировании следует рассматривать как первый шаг к совершенствованию системы управления пылевыми выбросами. Актуальным представляется обоснование учета групп

суммаций для пылей, оказывающих однонаправленное действие. Это требует глубокого анализа промежуточных результатов процедуры установления ПДК пылей разного вида и понимания механизмов биологического действия каждой пыли. Требуется решения и задача сопряженного нормирования мелкодисперсных пылей и токсичных веществ, входящих в состав мелкодисперсной фракции. Задача непростая, поскольку, с одной стороны, требуется максимальная защита населения от негативного воздействия, с другой стороны – важным является устранение двойного нормирования выбросов и избыточного давления на хозяйствующие субъекты.

Вместе с тем, представляется, что результаты настоящего диссертационного исследования актуализируют задачу развития нормативно-методической базы по установлению структуры выбросов различных производственных процессов и учету долевого содержания в них мелкодисперсных частиц PM10 и PM2.5.

Для определения основных причин повышенного загрязнения территорий, организации планировочных решений развития территорий регулятором целесообразным представляется применение профиля пылевых выбросов источников предприятий для оценки долевого вклада в фактическое загрязнение атмосферы и более эффективного управления выбросами конкретных хозяйствующих субъектов.

#### **Выводы к главе 5:**

– общий химический состав пылей, поступающий в атмосферный воздух крупного промышленного города России, характеризуется 111 веществами. Ранжирование данных компонентов по величине долевого вклада в общую сумму пылей показала, что только 17 веществ формируют 99 % загрязнения атмосферы, и рассматриваются как приоритетные;

– методом кластеризации выделено 6 разнородных зон (кластеров) на территории жилой застройки. Установлено, что каждая зона характеризовалась определенным уровнем и специфической структурой пылевого загрязнения и, соответственно, источниками этого загрязнения;

– результаты геоэкологического картирования, использование профиля выброса загрязнения атмосферы, оценки рисков для населения и выбор «маркерных» веществ позволили определить места оптимального расположения контрольных точек инструментальных измерений государственного экологического мониторинга;

– предложенная система мониторинга, сопряженная с расчетами рассеивания, позволяет увязывать данные о загрязнении с конкретными источниками выбросов, разрабатывать адекватные воздухоохраные мероприятия, прогнозировать изменение ситуации, оценивать эффективность и результативность принимаемых мер;

– государственное регулирование веществ, обладающих твердым агрегатным состоянием, должно основываться на оценке всего перечня компонентов, выбрасываемых хозяйствующим субъектом. Нормативное закрепление данного подхода повысит точность оценки пылевого воздействия промышленного объекта на атмосферный воздух и обеспечит эффективное управление пылевыми выбросами, направленное на минимизацию рисков для здоровья населения, постоянно проживающего в условиях негативного воздействия твердых частиц;

– учет полного спектра твердых веществ и мелкодисперсных фракций при экологическом нормировании является первым шагом к совершенствованию системы управления пылевыми выбросами, которая требует дальнейшего развития в части учета эффектов суммации действия пылевых частиц разного химического состава и обоснования сопряженного нормирования мелкодисперсных пылей и токсичных веществ, входящих в состав мелкодисперсных фракций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. По результатам исследования компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов 75 технологических операций предприятий черной и цветной металлургии, машиностроительной, горнодобывающей и горно-перерабатывающей отраслей определено, что в большинстве случаев выбросы являются многокомпонентными, полидисперсными смесями, содержащими до 80 массовых % оксидов и солей тяжелых металлов (Pb, Mn, Cu, V, Cr, Ni и др.), до 56 % мелкодисперсных PM10 и до 44 % по PM2.5.

2. Полный учет дисперсного и компонентного состава твердых выбросов в ряде случаев свидетельствует о 2-3 кратном увеличении зоны влияния источников твердых выбросов, по сравнению с установленной без такого учета, и в целом, обеспечивает надежную и адекватную оценку уровня экологической опасности (безопасности) территорий и населения. Для предприятия по первичной переработке алюминия на границе СЗЗ зафиксированы превышения по диАлюминий триоксиду на уровне до 1,3 ПДКс.с. Содержание мелкодисперсных фракций PM10 и PM2.5, в составе выбросов предприятия металлургического профиля, формирует превышения острого и хронического ингаляционного неканцерогенного риска ( $HQ > 1$ ) на уровне до 2,3 HQас по PM10 и 1,7 HQас по PM2.5.

3. Предложенный метод идентификации и количественного определения химического состава и фракционной структуры пылей в атмосферном воздухе, основанный на отборе, микроскопировании проб и анализе состава твердой компоненты с использованием нейросети, компьютерного зрения и библиотек атрибутированных фотографий пылей (более 200 образцов), расширяет возможности оперативного исследования химического и фракционного состава твердых частиц в атмосферном воздухе. Полученные результаты качественного и количественного определения твердых веществ в атмосферном воздухе характеризовались высокой сходимостью по сравнению со стандартными методами измерений.

4. Разработанная методика определения долевых вкладов отдельных химических веществ и источника в целом в загрязнение атмосферного воздуха твердыми частицами, основанная на формировании профилей пылевых выбросов, обеспечивает адекватную и доказательную оценку влияния конкретного объекта на экологическую ситуацию и может лежать в основе выбора маркерных веществ. Доказано, что вклад предприятия горно-перерабатывающего профиля в загрязнение воздуха на границе СЗЗ не превышает 6 %. Основное загрязнение атмосферы формируется маркерными для предприятия веществами – хлоридами калия и натрия.

5. Предложенный и апробированный на примере крупного промышленного города алгоритм выбора точек и формирования программ мониторинга твердых веществ показал достаточность 6 точек для мониторинга пылевого загрязнения и актуальность измерения 6 примесей как маркерных для наиболее значимых источников и вносящих наибольшие вклады в риски для здоровья. Представляется, что алгоритм является универсальным и пригоден для применения на любых урбанизированных территориях.

6. На конкретном примере доказано, что включение в систему государственного экологического нормирования выбросов всех фактически содержащихся в выбросах твердых веществ и учет мелкодисперсных фракций (PM10, PM2.5) приводит к повышению требований по снижению массы твердых компонентов выбросов от 2,3 до 19,3 тонн/год. Подход целесообразно применять ко всем хозяйствующим субъектам, имеющим твердые выбросы, что обеспечит реальное достижение нормативного качества воздуха и экологической безопасности населения.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

- АИТ – автономные источники теплоснабжения
- ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения
- ГИС – геоинформационная система
- ГОСТ – Государственный стандарт
- ИЗА – индекс загрязнения атмосферы
- МР – методические рекомендации
- НДВ – нормативы допустимых выбросов
- НИР – научно-исследовательская работа
- ОБУВ – ориентировочный безопасный уровень воздействия
- ПДК<sub>м.р.</sub> – предельно-допустимая концентрация
- ПДК<sub>с.с</sub> – предельно-допустимая концентрация
- ПДК<sub>с.г.</sub> – предельно-допустимая концентрация
- СЗЗ – санитарно-защитная зона
- СанПиН – санитарные правила и нормы
- СП – свод правил
- УПРЗА – унифицированная программа расчёта загрязнения атмосферы
- PM (Particulate Matters) – твердые частицы
- PM<sub>10</sub> – твердые частицы размером менее 10 мкм
- PM<sub>2.5</sub> – твердые частицы размером менее 2,5 мкм
- TSP (Total Suspended Particles) – общее количество взвешенных частиц
- HQ<sub>ac</sub>, HQ<sub>ch</sub> – коэффициенты опасности примеси при остром и хроническом воздействии
- H<sub>ac</sub>, H<sub>ch</sub> – сумма коэффициентов опасности для веществ с однородным механизмом действия при остром и хроническом воздействии

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021. – 864 с.
2. Доклад «Об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год». М.: Росгидромет, 2021. – 104 с.
3. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: Приказ Минприроды России от 06.06.2017 № 273. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71642906/> (дата обращения 07.08.2023).
4. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду: Руководство 2.1.10.1920-04 (утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 05.03.2004). – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
5. Dust and nanoparticles. Health and safety [Электронный ресурс]. – European Commission. – Brussels, Belgium, 2021. – Режим доступа: [https://ec.europa.eu/taxation\\_customs/dds2/SAMANCTA/EN/Safety/Dust\\_EN.htm](https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/EN/Safety/Dust_EN.htm) (дата обращения 07.08.2023).
6. Данилова, Е.А. Классификация дисперсных систем и влияние размеров частиц на некоторые свойства / Е.А. Данилова, А.М. Гусев, К.И. Домкин // Надежность и Качество: труды Междунар. симпозиума. 2011. – Т. 2. – С. 376-379.
7. Инструкция по контролю содержания пыли на предприятиях горнорудной и нерудной промышленности (рудниках, карьерах, геолого-разведочных работах, обогатительных, агломерационных и дробильно-сортировочных фабриках). – М.: Недра, 1981. – 32 с.
8. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. – 684 с.

9. Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2021 г.: Ежегодник – Санкт-Петербург: ООО «Амирит», 2022. – 254 с.
10. Самые экологически грязные города России. Топ-60. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://topmira.com/goroda-strany/item/47> (дата обращения: 07.08.2023).
11. Bai, N. The pharmacology of particulate matter air pollution-induced cardiovascular dysfunction / N. Bai, M. Khazaei, SF. van Eeden, I. Laher // *Pharmacology & Therapeutics*, – 2007. – Vol. 113, № 1. – P. 16-29.
12. Effects of particulate matter (PM(10), PM(2.5) and PM(1)) on the cardiovascular system / G. Polichetti, S. Cocco, A. Spinali [et al.] // *Toxicology*. – 2009. – Vol. 261, № 1-2. – P. 1-8.
13. Просвирякова, И.А. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц PM10 и PM2.5 в атмосферном воздухе и риска для здоровья жителей в зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий / И.А. Просвирякова, Л.М. Шевчук // *Анализ риска здоровью*. – 2018. – № 2. – С. 14-22.
14. Шаяхметов, С.Ф. Исследование фракционного и компонентного состава высокодисперсных частиц пыли в воздухе рабочей зоны алюминиевого производства / С.Ф. Шаяхметов, Л.Г. Лисецкая, А.В. Меринов // *Российские нанотехнологии*. – 2018. – Т. 13, № 5–6. – С. 108-112.
15. Май, И.В. Фракционный и компонентный состав пыли в воздухе рабочей зоны машиностроительного предприятия / И.В. Май, С.Ю. Загороднов, А.А. Макс // *Медицина труда и промышленная экология*. – 2012. – № 12. – С. 12-15.
16. Липатов, Г.Я. Выбросы вредных веществ от металлургических корпусов медеплавильных заводов / Г.Я. Липатов, В.И. Адриановский // *Санитарный врач*. – 2013. – № 8. – С. 41-43.
17. Дорохина, Е.В. Метод определения компонентного состава абразивно-металлической пыли от шлифования черных металлов / Е.В. Дорохина, В.Е.

- Соляников, И.П. Калинина // Экология и промышленность России. – 2008. – № 6. – С. 41-42.
- 18.Рожков, А.И. Анализ химического состава пыли дуговых сталеплавильных печей / А.И. Рожков, А.И. Рожков, В.В. Логвин // Вестник КИГИТ. – 2012. – № 10 (28). – С. 45-47.
- 19.Янин, Е.П. Пылевые выбросы предприятий как источник загрязнения городской среды кадмием / Е.П. Янин // Экология урбанизированных территорий. – 2009. – № 1. – С. 30-35.
- 20.A European aerosol phenomenology – 3: Physical and chemical characteristics of particulate matter from 60 rural, urban, and kerbside sites across Europe / J.-Ph. Putaud, R. Van Dingenen, A. Alastuey [et al.] // Atmospheric Environment. – 2010. – Vol. 44, № 10. – P. 1308-1320.
- 21.Assessment of the main sources of PM10 in an industrialized area situated in a Mediterranean Basin / A. Soriano, S. Pallarés, A.B. Vicente [et al.] // Fresenius Environmental Bulletin. – 2011. – Vol. 20, № 9 A. – P. 2379-2390.
- 22.Геохимические аспекты загрязнения окружающей среды г. Кызыла пылевыми частицами дымовых выбросов / Л.Х. Тасоол, Б.Г. Хомушку, С.А. Чупикова, Н.Н Янчат // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2016. – № 6. – С. 531-542.
- 23.Основные направления совершенствования котельной техники при техническом перевооружении угольных ТЭС / А.Г. Тумановский, А.Л. Шварц, В.Г. Мещеряков, Е.Н. Толчинский // Теплоэнергетика. – 2000. – № 8. – С. 2-8.
- 24.Снищерева, В.П. Источники пылеобразования и комплексное обеспыливание на Жезказганских обогатительных фабриках / В.П. Снищерева, Л.О. Козлова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № S1-1. – С. 38-46.
- 25.Буторина, И.В. Образование пыли при производстве горячего проката / И.В. Буторина, И.К. Капустин // Черные металлы. – 2015. – № 10. – С. 35-38.

26. Соловьева, Е.А. Опасность и характеристики выбросов предприятия ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» / Е.А. Соловьева, А.А. Петренко // Комплексные проблемы техносферной безопасности: мат. Междунар. научно-практич. конф. – 2017. – Часть 1. – С. 176-178.
27. Мусина, Э.Б. Оценка влияния цементной промышленности на загрязнение окружающей среды на примере АО «Карцемент» / Э.Б. Мусина // Гидрометеорология и экология. – 2020. – № 2. – С. 75-82.
28. Field evaluation of the dust impacts from construction sites on surrounding areas: A city case study in China / H. Yan, G. Ding, H. Li [et al.] // Sustainability. – 2019. – Vol. 11. – P. 1906.
29. Subramanian, N. Construction Dust. Causes, Effects and Remedies / N. Subramanian, A. Er. Vivek // NBM&CW, April 2019. – P. 148-160.
30. О результатах оценки воздействия на качество атмосферного воздуха и об определении необходимой степени очистки пылевых выбросов асфальтобетонных заводов / М.А. Николенко, Н.В. Неумержицкая, Н.М. Сергина, М.В. Белоношко // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 3. – С. 99. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3191](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3191) (Дата обращения 07.08.2023).
31. Климчук, В.А. Неорганизованные выбросы пыли коксохимического производства в атмосферный воздух / В.А. Климчук // Тенденции развития науки: инновационный подход: Сб. мат. Междунар. научно-практич. конф. – 2019. – С. 157-160.
32. Грошева, М.А. Анализ методов и средств обеспыливания воздуха на хлебопекарных предприятиях / М.А. Грошева, Е.С. Навасардян // Будущее машиностроения России: Сб. докладов Четырнадцатой Всеросс. конф. молодых ученых и специалистов с междунар. уч-ем. – 2021. – С. 21-29.
33. Юрченко, В.А. Исследование характеристик экологически опасной мелкодисперсной пыли какао кондитерских предприятий / В.А. Юрченко, К.С. Пономарев, С.Д. Пономарева // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2018. – № 2 (59). – С. 45-54.

34. Анализ влияния пыли на здоровье человека и окружающей среды / Д.А. Дубинин, А.О. Викторова, А.С. Афанасьев [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2019. – №1 (52). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5540](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5540) (Дата обращения 07.08.2023).
35. Ивлев, Л.С. Механизмы образования и распада атмосферных аэрозолей и облачности и их экологическое значение / Л.С. Ивлев // Биосфера. – 2013. – Т. 5, № 2. – С. 182-210.
36. Маслов, В.А. Влияние изменения концентрации аэрозоля на прозрачность атмосферы / В.А. Маслов, Б.И. Назаров, С.Ф. Абдуллаев // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2007. – Т. 50, № 3. – С. 241-247.
37. Terradellas, E. Airborne Dust: A Hazard to Human Health, Environment and Society / E. Terradellas, S. Nickovic, X.-Ye Zhang // Bulletin WMO. – 2015. – Vol. 64 (2). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/airborne-dust-hazard-human-health-environment-and-society> (дата обращения: 07.08.2023).
38. Коковкин, В.В. Базы данных по загрязнению сельхозземель в окрестностях промпредприятий Новосибирской области / В.В. Коковкин, В.Ф. Рапуга / Информационные технологии, системы и приборы в АПК: мат. 7-й Междунар. научно-практич. конф. «Агроинфо-2018». С 2018. – С. 66-71.
39. Леженин, А.А. Анализ распространения выбросов в атмосферу от цементного завода в долине р. Бердь / А.А. Леженин, В.Ф. Рапуга, Т.В. Ярославцева / Экологически безопасные технологии природообустройства и водопользования: теория и практика: мат. Междунар. конф., посвященной 25-летию программы УНИТВИН / Кафедры ЮНЕСКО. – 2017. – С. 50-54.
40. Ахмедова, Н.М. Влияние пылевых выбросов горного производства на окружающую среду / Н.М. Ахмедова, С.М. Худайбердиева // Journal of Advances in Engineering Technology. – 2022. – № 3. – С. 57-60.
41. The effects of cement dust on some soil characteristics / Y.K. Bayhan, S. Yapıcı, B. Kocaman [et al.] // Fresenius environmental bulletin. – 2002. – Vol. 11(11). – P. 1030-1033.

42. Impact of Cement Dust on Physical and Chemical Nutrients Properties of Forest Topsoil / AP. Adebisi, HO. Adigun, K.J. Lawal [et al.] // *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* – 2021. – Vol. 25 (5). – P. 677-682.
43. Кищенко, И.Т. Лесоведение: учебное пособие для среднего профессионального образования / И.Т. Кищенко. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 392 с.
44. Vorobev, A.E. Dust contamination of upland areas of the North Caucasus by mines / A.E. Vorobev, V.V. Datchenko, M.Z. Madaeva // *Science. Education. Engineering.* – 2021. – № 1 (70). – С. 9-16.
45. Влияние выбросов промышленности и автотранспорта на растительный покров / Э.А. Лазарева, А.Н. Портнов, В.Л. Маркелов [и др.] // *Современные наукоемкие технологии.* – 2005. – № 10. – С. 97-98.
46. Farmer, A.M. The effects of dust on vegetation-a review / A.M. Farmer // *Environmental Pollution.* – 1993. – Vol. 79. – P. 63-75.
47. Study of the responses of two biomonitor plant species (*Datura alba* & *Ricinus communis*) to roadside air pollution / N. Khalid, A. Masood, A. Noman [et al.] // *Chemosphere.* – 2019. – Vol. 235. – P. 832-841.
48. Trace elements present in airborne particulate matter – Stressors of plant metabolism / M. Pavlik, D. Pavlikova, V. Zemanova [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety.* – 2012. – Vol. 79. – P. 101-107.
49. Effects of dust deposition from diamond mining on subarctic plant communities and barren-ground caribou forage / A.D. Watkinson, J. Virgl, V.S. Miller [et al.] // *J Environ Qual.* – 2021. – Vol. 50, Iss. 4. – P. 990-1003.
50. Куприянов, А.Н. Изменение флористического состава растительных сообществ Караканского хребта вблизи угольных разрезов / А.Н. Куприянов, С.С. Казьмина, А.А. Зверев // *Вестник Томского государственного университета. Биология.* – 2018. – № 43. – С. 66-88.
51. Ворончихина, Е.Н. Негативное влияние выбросов предприятий города Красноярск на загрязнение воды в реке Кача / Е.Н. Ворончихина // *Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: Сб. мат. Всеросс.*

- научно-практич. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2019. – С. 342-344.
52. Survey of the effect of dust storms on the water quality of Seimare dam / A. Ahmadvazeli, K. Naddafi, K. Yaghmaeian [et al.] // *Journal of Air Pollution and Health*. – 2018. – Vol. 3, № 3. – P. 167-176.
53. Jabri, S. Study on dust and its effect on water of raeis-ali-delwari dam / S. Jabri, M.M. Taghizadeh // *International Journal of Environmental Quality*. – 2018. – Vol. 27. – P. 39-45.
54. Умнякова, Н.П. Взаимосвязь экологического состояния атмосферы городов и долговечности строительных материалов и конструкций / Н.П. Умнякова // *Жилищное строительство*. – 2012. – №1. – С. 30-33.
55. Умнякова, Н.П. Экологическое воздействие городской среды на конструкции навесных вентилируемых фасадов / Н.П. Умнякова // *Вестник МГСУ*. – 2010. – № 4-5. – С. 157-162.
56. Клевеко, В.И. Обслуживание и испытание зданий и сооружений. Обследование строительных конструкций: учеб. пособие / В.И. Клевеко. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 165 с.
57. Качество воздуха и здоровье: информационный бюллетень о Целях в области устойчивого развития (ЦУР): задачи, связанные со здоровьем [Электронный ресурс]. – Всемирная Организация Здравоохранения, 2018. Режим доступа: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/340800> (дата обращения 07.08.2023).
58. Air quality guidelines: global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide [Электронный ресурс]. World Health Organization. Regional Office for Europe, 2006. – Режим доступа: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107823> (дата обращения 07.08.2023).
59. Health effects of dust [Электронный ресурс]. – Department of Health. Western Australia, 2022. – Режим доступа: [https://www.healthywa.wa.gov.au/Articles/F\\_I/Health-effects-of-dust](https://www.healthywa.wa.gov.au/Articles/F_I/Health-effects-of-dust) (дата обращения 07.08.2023).

60. Anderson, J.O. Clearing the air: a review of the effects of particulate matter air pollution on human health / J.O. Anderson, J.G. Thundiyil, A. Stolbach // *J Med Toxicol.* – 2012. – 8(2). – P. 166-175.
61. Wu, J.-Z. Effects of particulate matter on allergic respiratory diseases / J.-Z. Wu, D.-D. Ge, L.-Fu Zhou // *Chronic Dis Transl Med.* – 2018. – 4(2). – P. 95-102.
62. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project [Электронный ресурс]. – Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2013. – Режим доступ: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK361803/> (дата обращения 07.08.2023).
63. Нахратова, О.В. Влияние загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами на риск сердечно-сосудистых заболеваний (обзор) / О.В. Нахратова, Д.П. Цыганкова, Е.Д. Баздырев // *Экология человека.* – 2022. – Т. 29, № 8. С. 531-546.
64. Adverse health effects of outdoor air pollutants / L. Curtis, W. Rea, P. Smith-Willis [et al.] // *Environ Int.* – 2006. – Vol. 32(6). – P. 815-830.
65. Air quality guidelines for Europe, 2nd edition [Электронный ресурс]. – WHO Regional office for Europe. – Copenhagen, Denmark, 2000. – Режим доступа: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8681> (дата обращения 07.08.2023).
66. Воздействие взвешенных частиц на здоровье. Значение для разработки политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии [Электронный ресурс]. – Всемирная организация здравоохранения. Европейское региональное бюро, 2013. – Режим доступа: [https://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf](https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf) (дата обращения: 07.08.2023).
67. Health effects of dust [Электронный ресурс]. – Department of Health. Western Australia, 2022. – Режим доступа: [https://www.healthywa.wa.gov.au/Articles/F\\_I/Health-effects-of-dust](https://www.healthywa.wa.gov.au/Articles/F_I/Health-effects-of-dust) (дата обращения 07.08.2023).

- 68.Ревич, Б.А. Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов / Б.А. Ревич // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2018. – Т. 29, № 3. – С. 53-78.
- 69.Liao, Z. The impact of particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) on skin barrier revealed by transcriptome analysis: Focusing on cholesterol metabolism / Z. Liao, J. Nie, P. Sun // Toxicology Reports. – 2020. – Vol. 7. – P. 1-9.
- 70.Skin Damage Mechanisms Related to Airborne Particulate Matter Exposure / N.D. Magnani, X.M. Muresan, G. Belmonte [et al.] // Toxicological Sciences. – 2016. – Vol. 149. – P. 227-236.
- 71.Air Pollution and Dementia: A Systematic Review / R. Peters, N. Ee, J. Peters, [et al.] // J Alzheimers Dis. – 2019. – 70(Suppl 1). – P. 145-163.
- 72.Choi1, H. Air Pollution and Dementia / H. Choi, S.H. Kim // Dement Neurocogn Disord. – 2019. – 18(4). – P. 109-112.
- 73.Long-term effect of fine particulate matter on hospitalization with dementia / M. Lee, J. Schwartz, Yu. Wang [et al.] // Environmental Pollution. – 2019. – Vol. 254, Part A. – P. 112926.
- 74.Fine particulate matter exposure during childhood relates to hemispheric-specific differences in brain structure / D. Cserbik, Ju.-C. Chen, R. McConnell [et al.] // Environment International. – 2020. – Vol. 143. – P. 105933.
- 75.Lung inflammation induced by concentrated ambient air particles is related to particle composition / P.H.N. Saldiva, R.W. Clarke, B.A. Coull [et al.] // American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine. – 2002. –Vol. 165, № 12. – P. 1610–1617.
- 76.Soukup, J.M. Soluble components of Utah Valley particulate pollution alter alveolar macrophage function in vivo and in vitro / J.M. Soukup, A.J. Ghio, S. Becker // Inhalation Toxicology. – 2000. – № 12(5). – P. 401-414.
- 77.Davidson, C.I. Airborne Particulate Matter and Human Health: A Review / C.I. Davidson, R.F. Phalrn, .A. Solomon // Aerosol Science and Technology. – 2005. – Vol. 39. – P. 737–749.

78. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: СанПиН 1.2.3685-21 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения 07.08.2023).
79. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: ГН 2.1.6.2604-10 от 19.04.2010 № 26 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://legalacts.ru/doc/postanovlenie-glavnogo-gosudarstvennogo-sanitarnogo-vracha-rf-ot-19042010-n\\_1/](https://legalacts.ru/doc/postanovlenie-glavnogo-gosudarstvennogo-sanitarnogo-vracha-rf-ot-19042010-n_1/) (дата обращения 07.08.2023).
80. Air quality in Europe, 1993: A pilot report [Электронный ресурс]. World Health Organization. – Copenhagen, Denmark, 2000. – Режим доступа: <https://www.eea.europa.eu/publications/2-9167-057-X> (дата обращения 07.08.2023).
81. Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон № 96-ФЗ от 04.05.1999 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102059495> (дата обращения 07.08.2023).
82. Об охране окружающей среды: Федеральный закон № 7-ФЗ от 10.01.2002 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102074303> (дата обращения 07.08.2023).
83. Опутина, И.П. Выявление по результатам анализа правоприменительной практики областей природоохранной деятельности, на которые могут влиять качество и правильность применения методик расчета выбросов в атмосферный воздух / И.П. Опутина, Н.В. Костылева // Астраханский вестник экологического образования. – 2021. – № 6(66). – С. 122-125.
84. Загороднов, С.Ю. Мелкодисперсные частицы (PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>) в атмосферном воздухе крупного промышленного региона: проблемы мониторинга и нормирования в составе производственных выбросов / С.Ю.

- Загороднов, И.В. Май, А.А. Кокоулина // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 142-147.
85. Методические проблемы мониторинга мелкодисперсных частиц в атмосферном воздухе населённых мест // А.О. Карелин, А.Ю. Ломтев, Н.А. Мозжухина [и др.] // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95, № 10. – С. 985-988.
86. Загороднов, С.Ю. Изучение компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов предприятий металлургического комплекса для задач оценки экспозиции населения / С.Ю. Загороднов, А.А. Кокоулина, Е.В. Попова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 5-2. – С. 451-456.
87. Май, И.В. Учёт выбросов пылей в системе управления качеством атмосферного воздуха / И.В. Май, С.Ю. Загороднов // Гигиена и санитария. – 2022. – Т. 101, № 6. – С. 602-608.
88. Май, И.В. Экологическое нормирование пылевых промышленных выбросов: проблемы и пути решения / И.В. Май, С.Ю. Загороднов // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25, № 7. – С. 42-47.
89. Particulate matter (PM): Introduction, definition, and classification [Электронный ресурс] Science Query. – Режим доступа: <https://sciencequery.com/particulate-matter-pm-introduction-definition-and-classification/> (дата обращения 07.08.2023).
90. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24.11.2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0075&from=EN> (дата обращения 07.08.2023).
91. WHO Global Air Quality Guidelines (AQG) [Электронный ресурс]. – World Health Organization, 2021. – Режим доступа: <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines> (дата обращения 07.08.2023).

92. Загрязнение атмосферного воздуха (воздуха вне помещений) [Электронный ресурс]. – Информационный бюллетень ВОЗ; 2022. – Режим доступа: [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) (дата обращения 07.08.2023).
93. Air Quality Guidelines for Europe: WHO regional publications. European series № 23 [Электронный ресурс]. – World Health Organization. Regional Office for Europe, 1987. – Режим доступа: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/107364> (дата обращения 07.08.2023).
94. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21.05.2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:32008L0050> (дата обращения 07.08.2023).
95. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 21.05.2008 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/107/oj> (дата обращения 07.08.2023).
96. Commission Directive (EU) 2015/1480 of 28.08.2015 amending several annexes to Directives 2004/107/EC and 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council laying down the rules concerning reference methods, data validation and location of sampling points for the assessment of ambient air quality [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32015L1480> (дата обращения 07.08.2023).
97. Clean Air Act: A Summary of the Act and Its Major Requirements [Электронный ресурс]. – Congressional Research Service, 2022. – Режим доступа <https://sgp.fas.org/crs/misc/RL30853.pdf> (дата обращения 07.08.2023).
98. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS Table) [Электронный ресурс]. – U.S. Environmental Protection Agency. – Режим доступа: <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table#1> (дата обращения 07.08.2023).

99. Clean Air Act: Title I – Air Pollution Prevention and Control, Parts A through D [Электронный ресурс]. – U.S. Environmental Protection Agency. – Режим доступа: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-title-i-air-pollution-prevention-and-control-parts-through-d> (дата обращения 07.08.2023).
100. Clean Air Act: Title II – Emission Standards for Moving Sources, Parts A through C [Электронный ресурс]. – U.S. Environmental Protection Agency. – Режим доступа: <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/clean-air-act-title-ii-emission-standards-moving-sources-parts-through-c> (дата обращения 07.08.2023).
101. Reporting for TRI Facilities [Электронный ресурс]. – U.S. Environmental Protection Agency. – Режим доступа: <https://www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/reporting-tri-facilities> (дата обращения 07.08.2023).
102. Toxics Release Inventory Chemical List for Reporting Year 2019 [Электронный ресурс]. – U.S. Environmental Protection Agency. – Режим доступа: <https://www.epa.gov/toxics-release-inventory-tri-program/tri-chemical-list-reporting-year-2019> (дата обращения 07.08.2023).
103. Guidance document on air zone management [Электронный ресурс]. – Canadian Council of Ministers of the Environment, 2019. – Режим доступа: [https://www.ccme.ca/en/res/guidancedocumentonairzonemanagement\\_secured.pdf](https://www.ccme.ca/en/res/guidancedocumentonairzonemanagement_secured.pdf) (дата обращения 07.08.2023).
104. Air Quality in Ontario: Report 2015 [Электронный ресурс]. – Canada: Ministry of the environment and climate change, 2017. – Режим доступа: <https://www.airqualityontario.com/downloads/AirQualityInOntarioReportAndAppendix2015.pdf> (дата обращения 07.08.2023).
105. Addressing air pollution in Canada: Air Convention webinar with Argentina [Электронный ресурс]. – Canada: Environment and climate change Canada, 2019. – Режим доступа: [https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2019/AIR/Forum/5\\_1\\_Pritula\\_Canadas\\_domestic\\_approach\\_to\\_address\\_air\\_pollution.Aug\\_26\\_2019.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2019/AIR/Forum/5_1_Pritula_Canadas_domestic_approach_to_address_air_pollution.Aug_26_2019.pdf) (дата обращения 07.08.2023).

106. National Pollutant Release Inventory [Электронный ресурс]. – Canada: Government of Canada. – Режим доступа: <https://www.canada.ca/en/services/environment/pollution-waste-management/national-pollutant-release-inventory.html> (дата обращения 07.08.2023).
107. Summary of instruments to implement base-level industrial emission requirements [Электронный ресурс]. – Canada: Government of Canada. – Режим доступа: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/canadian-environmental-protection-act-registry/summary-instruments-base-level-emission-requirements.html> (дата обращения 07.08.2023).
108. The Air Quality Management System: Federal, Provincial and Territorial Roles and Responsibilities [Электронный ресурс]. – Canada: Canadian Council of Ministers of the Environment, 2012. – Режим доступа: [https://www.ccme.ca/en/res/aqms\\_roles\\_and\\_resp\\_e.pdf](https://www.ccme.ca/en/res/aqms_roles_and_resp_e.pdf). (дата обращения 07.08.2023).
109. National Environment Protection (Ambient Air Quality) Measure [Электронный ресурс]. – Australia: Federal Register of Legislation. – Режим доступа: <https://www.legislation.gov.au/Details/F2016C00215> (дата обращения 07.08.2023).
110. Air Quality [Электронный ресурс]. – Australia: NSW Environment Protection Authority. – Режим доступа: <https://www.soe.epa.nsw.gov.au/all-themes/climate-and-air/air-quality> (дата обращения 07.08.2023).
111. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов (с изменениями и дополнениями): СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/12158477/> (дата обращения 07.08.2023).
112. Руководство по контролю загрязнения атмосферы: РД 52.04.186-89 (утв. Госкомгидрометом СССР 01.06.1989, Главным государственным санитарным врачом СССР 16.05.1989) [Электронный ресурс]. – Режим

- доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200036406> (дата обращения 07.08.2023).
113. Комплексный фоновый мониторинг загрязнения окружающей природной среды в России / Г.М. Черногаева, В.А. Гинзбург, С.Г. Парамонов [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2009. – № 5. – С. 56-65.
114. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2019 год. – М.: Росгидромет, 2020. – 246 с.
115. Шагидуллина, Р.А. Система расчетного мониторинга загрязнения атмосферного воздуха / Р.А. Шагидуллина, А.Р. Шагидуллин, Р.Р. Шагидуллин // Естественные и технические науки. – 2020. – № 10(148). – С. 55-57.
116. Методические рекомендации по обеспечению качества измерений концентраций взвешенных частиц (PM10 и PM2,5) в атмосферном воздухе Санкт-Петербурга: Распоряжение Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга от 23.12.2011 № 177-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/537911588?ysclid=ll5mbxyvc2249451603> (дата обращения 07.08.2023).
117. Измерение массовой концентрации мелкодисперсных частиц PM2.5 и PM10 в атмосферном воздухе с использованием метода лазерной дифракции: МУК 4.1.3242-14 от 29.12.2014 (утв. руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А.Ю. Поповой) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293757/4293757382.htm>. (дата обращения 01.09.2023).
118. Allen, T. Particle Size Measurement. Volume 1: Powder sampling and particle size measurement (5th ed.); Chapman & Hall: London, 1997. ISBN 0-412-75350-4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- <https://vdocuments.mx/particle-size-measurement-volume-1.html?page=1> (дата обращения 01.09.2023).
119. Beckers, G.J.J. Some restrictions in particle sizing with the Horiba CAPA-500 / G.J.J. Beckers, H.J. Veringa // Powder Technology. – 1990. – Vol. 60, Iss 3. – P. 245-248.
120. Ranucci, J. Dynamic plume-particle size analysis using laser diffraction / J. Ranucci // Pharmaceutical Technology. – 1992. – Vol. 16: – P. 108-114
121. Список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха деятельности [Электронный ресурс]. – Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова. – Режим доступа: [http://voeikovmgo.ru/?option=com\\_content&view=article&id=681:rc20150423&catid=15:resursy&lang=ru](http://voeikovmgo.ru/?option=com_content&view=article&id=681:rc20150423&catid=15:resursy&lang=ru) (дата обращения 07.08.2023).
122. Состояние атмосферного воздуха [Электронный ресурс]. – Краевое государственное бюджетное учреждение «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края» (КГБУ «ЦРМПиООС»). – Режим доступа: <https://www.krasecology.ru/> (дата обращения 07.08.2023).
123. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха г. Казани [Электронный ресурс]. – Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Татарстан. – Режим доступа: <http://www.tatarmeteo.ru/ru/monitoring-okruzhayushhej-sredyi/monitoring-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduxa-kazani.html> (дата обращения 07.08.2023).
124. Характеристика уровня загрязнения атмосферного воздуха по данным государственной сети наблюдений и автоматизированной системы мониторинга атмосферного воздуха Санкт-Петербурга. Экологический портал Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. – Режим доступа: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=53> (дата обращения 07.08.2023).

125. Экологическая ситуация города Москвы [Электронный ресурс]. – Государственное Природоохранное Бюджетное Учреждение «МОСЭКОМОНИТОРИНГ» – Режим доступа: <https://mosecom.mos.ru/karta/> (дата обращения 07.08.2023).
126. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. – 299 с.
127. Захарова, П.В. Мониторинг загрязнения атмосферного воздуха при развитии транспортной системы города Москвы / П.В. Захарова, О.Ю. Кислова // Вестник НЦБЖД. – 2016. – № 1(27). – С. 130-138.
128. Развитие и модернизация Единой системы экологического мониторинга города Москвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.unecse.org/fileadmin/DAM/env/europe/monitoring/15thMeeting/Official/2014\\_\\_Geneva\\_Semutnikova.pdf](https://www.unecse.org/fileadmin/DAM/env/europe/monitoring/15thMeeting/Official/2014__Geneva_Semutnikova.pdf) (дата обращения 07.08.2023).
129. Air quality in Europe – 2019 report [Электронный ресурс]. – Luxembourg: European Environment Agency, 2019. – Режим доступа: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019/download> (дата обращения 07.08.2023).
130. Массовая концентрация взвешенных частиц PM10 и PM2.5 в атмосферном воздухе. Методика измерений гравиметрическим методом: РД 52.04.830-2015 (утв. Заместителем Руководителя Росгидромета 20.11.2015). – М.: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2015. <http://docs.cntd.ru/document/1200133379>.
131. Technical Guidance Note M15 (Monitoring). Monitoring PM10 and PM2.5 [Электронный ресурс]. – Great Britain: Environment Agency, 2012. – Режим доступа: [https://www.musami.pt/sites/default/files/TGN\\_M15\\_-\\_Monitoring\\_PM10\\_and\\_PM2.5.pdf](https://www.musami.pt/sites/default/files/TGN_M15_-_Monitoring_PM10_and_PM2.5.pdf) (дата обращения 07.08.2023).
132. Перечень загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей

среды: Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08.07.2015 № 1316-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420286994> (дата обращения 07.08.2023).

133. Тасейко, О.В. Изучение пространственной и временной динамики взвешенных частиц в атмосферном воздухе г. Красноярск / О.В. Тасейко, Е.Н. Бельская, У.С. Постникова // Экология и промышленность России. – 2023. – Т. 27, № 3. – С. 60-65.
134. Пережогин, А.Н. Оценка эффективности санитарно-гигиенических мероприятий, направленных на обеспечение качества атмосферного воздуха и профилактику риска здоровью населения в городах с особо высоким уровнем загрязнения (на примере г. Братска) / А.Н. Пережогин // Анализ риска здоровью-2022. Фундаментальные и прикладные аспекты обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения: мат. междунар. встречи по окружающей среде и здоровью RISE-2022. Мат. XII Всеросс. научно-практич. конф. с междунар. уч-ем: в 2 т. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2022. – Том 1. – С. 393-397.
135. Горяев, Д.В. Гигиеническая оценка качества атмосферного воздуха и риски для здоровья населения Красноярского края / Д.В. Горяев // Анализ риска здоровью. – 2016. – № 2. – С. 76-83.
136. Методические вопросы контроля РМ частиц в селитебной зоне и на границе санитарно-защитной зоны / А.Ю. Ломтев, Н.А. Мозжухина, А.О. Карелин [и др.] // Методологические проблемы изучения, оценки и регламентирования химического загрязнения окружающей среды и его влияние на здоровье населения: мат. пленума Научного совета РФ по экологии человека и гигиене окружающей среды. – М., 2015. – С. 238-240.
137. Опыт обоснования и результаты мониторинга приоритетных веществ, загрязняющих атмосферный воздух г. Норильска (в рамках федерального проекта «Чистый воздух») / И.В. Май, С.В. Клейн, С.Ю. Балашов [и др.] //

- Здоровье населения и среда обитания-ЗНиСО. – 2022. – Т. 30, № 12. – С. 45-52.
138. Методические подходы к учёту скорости оседания различных пылевых фракций для задач оценки экспозиции населения мелкодисперсными частицами / И.В. Май, А.А. Макс, С.Ю. Загороднов, В.М. Чигвинцев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 5-3. – С. 791-794.
139. Оценка корректности установления нормативов выбросов вредных веществ стационарными источниками в г. Казань / А.Р. Шагидуллин, А.Р. Магдеева, В.А. Габдрахимова [и др.] // Химия и инженерная экология – XIX: сб. трудов междунар. научн. конф., посвящ. 150-летию периодической таблицы химических элементов, Казань, 26–28 сентября 2019 года. – Казань: ИП Сагиева А.Р., 2019. – С. 288-292.
140. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий: СанПиН 2.1.3684-21 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/400289764/?ysclid=1l51xisknr532770289> (дата обращения 07.08.2023).
141. Туртыгина, Н.А. Моделирование процесса смешивания при выпуске рудной массы / Н.А. Туртыгина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 1. – С. 146-159.
142. Демина, Л.Н. Новый вид минерального сырья для производства строительных изделий / Л.Н. Демина // Проблемы развития рынка товаров и услуг: перспективы и возможности субъектов РФ: матер. VI Всеросс. научно-практич. конф. с междунар. уч-ем. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2020. – С. 659-662.

143. Опыт шахтного выщелачивания металлов из руд / В.И. Голик, Ю.И. Разоренов, М.Ф. Мицик, В.В. Якшина // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2021. – Т. 19, № 3. – С. 16-23.
144. Zagorodnov, S.Y. Component composition of atmospheric dusts as a characteristic of environmental pollution /, S.Y. Zagorodnov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. – 2020. – С. 72069.
145. May, I. Heavy metals in dust emissions from civil engineering and metallurgic enterprises: experience in qualitative and quantitative determination / I. May, S. Zagorodnov // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference – SGEM 2020. Conference Proceedings. – 2020. – С. 169-176.
146. Май, И.В. Методические подходы к установлению компонентного профиля пылевых выбросов предприятия / И.В. Май, С.Ю. Загороднов // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 12. – С. 39-45.
147. Zagorodnov, S.Y. Component, disperse and morphological composition of ambient air dust contamination in the zones of mining-processing enterprises / S.Y. Zagorodnov, A.A. Kokoulina, S.V. Klein // 8th International Conference on Environmental Science and Technology, ICEST 2017. – 2017. – С. 012004.
148. Zagorodnov, S.Y. Study of component composition and particle size distribution of dust emissions to solve the problems of environmental quality management / S.Y. Zagorodnov, A.A. Kokoulina, E.V. Popova // WIT Transactions on Ecology and the Environment. – 2014. – Т. 183. – С. 225-231.
149. Май, И.В. Идентификация компонентного состава пылевых выбросов как инструмент оптимизации мониторинга и управления качеством атмосферного воздуха / И.В. Май, С.Ю. Загороднов // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 8. – С. 42-47.

150. Наилучшие доступные технологии. Определение маркерных веществ в различных отраслях промышленности: Сборник статей. Том 5. – М., Изд-во «Перо», 2016 – 68 с.
151. May, I. Predictive estimate of geoeological situation based on building up a dust structure profile of industrial emissions / I. May, S. Zagorodnov // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. Sofia, 2020. – С. 255-262.
152. Zagorodnov, S.Yu. Examining component structure of dust emissions from industrial enterprises as a tool for creating a control and monitoring program / S.Yu. Zagorodnov, I.V. May // 19th International scientific geoconference SGEM-2019. – 2019. – С. 365-372.
153. Левкин, Н.Д. Мониторинг загрязнения окружающей среды породными отвалами угольных шахт // Человечество и окружающая среда: Сб. матер. междунар. научно-практич. конф. МГУ-СУНИ. – М., 2004. – С. 42.
154. Левкин, Н.Д. Влияние породных отвалов угольных шахт Подмоскoвнoгo бассейна на состояние окружающей среды / Н.Д. Левкин // Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами: матер. 3-й междунар. геоэкологической конф. – Тула: ТулГУ, 2006. – С. 81-93.
155. Сурина, Е.Е. Функциональное моделирование в проектировании и разработке автоматизированной системы экологического мониторинга и контроля на промышленном предприятии / Е.Е. Сурина / Развитие современного общества: вызовы и возможности: матер. XVII междунар. научн. конф., в 4 ч. – М.: Московский университет им. С.Ю. Витте, 2021. – Т. 1. – С. 722-728.
156. Иванова, И.Г. Ситуационная модель системы принятия решений на основе данных экологического мониторинга в условиях развития городских территорий / И.Г. Иванова, А.Д. Данилов, К.Ю. Гусев // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2020. – Т. 8, № 1(28).

- [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/02/IvanovaSoavtori\\_1\\_20\\_1.pdf](https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2020/02/IvanovaSoavtori_1_20_1.pdf) (дата обращения 07.08.2023).
157. Технология картирования рисков загрязнения атмосферы предприятиями теплоэнергетики на примере города Алматы / Э.А. Закарин, Т.В. Дедова, Л.А. Балакай, К.А. Бостанбеков // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25, № 4. – С. 21-27.
158. Разакова, М.Г. Выявление и картирование нефтяных загрязнений почв по данным дистанционного зондирования / М.Г. Разакова // Проблемы информатики. – 2017. – № 4(37). – С. 4-15.
159. Картирование территорий городов и поселков Приаралья по состоянию загрязнения питьевой воды / О.В. Гребенева, М.Б. Отарбаева, Н.М. Жанбасинова, Е.Ю. Иванова // Аллергология и иммунология. – 2016. – Т. 17, № 1. – С. 78.
160. Геоэлектрическая диагностика химического загрязнения геологической среды в зоне влияния полигона токсичных отходов / А.П. Гусев, М.Г. Верутин, П.А. Калейчик [и др.] // Вестник Пермского университета. Геология. – 2019. – Т. 18, № 1. – С. 79-85.
161. Воробьева, И.Д. Применение геоинформационных систем для оценки уровня загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта в городе Калининграде / И.Д. Воробьева, Л.Н. Скрыпник // Научные исследования: от теории к практике. – 2016. – № 2-2(8). – С. 71-73.
162. Геоинформационное картирование загрязнения атмосферного воздуха в Республике Дагестан / М.И. Гаджибеков, Р.Т. Раджабова, Н.О. Гусейнова [и др.] // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. – 2015. – № 2. – С. 101-104.
163. Геоинформационная система мониторинга состояния атмосферного воздуха и контроля за выбросами загрязняющих веществ предприятиями / Л.О. Штриплинг, В.В. Баженов, Ю.В. Калинин, О.В. Нижевясов // Омский научный вестник. – 2010. – № 1(94). – С. 203-208.

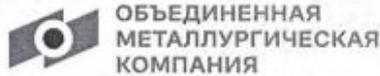
164. Волкодаева, М.В. Использование геоинформационных технологий для задач оптимизации размещения станций мониторинга качества атмосферного воздуха // Записки Горного института. – 2015. – Том 215. – С. 107-114.
165. Yerramilli, A. Air Pollution, Modeling and GIS based Decision Support Systems for Air Quality Risk Assessment / A. Yerramilli, V.B. Rao Dodla, S. Yerramilli: Part 17 in book «Advanced Air Pollution», Editor F. Nejadkoorki. 2011. – P. 295-324. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.intechopen.com/chapters/17389>. (Дата обращения 07.08.2023).
166. Пространственный анализ в задаче формирования доказательной базы вреда здоровью при воздействии факторов среды обитания / С.В. Клейн, С.А. Вековщина, С.Ю. Балашов, А.А. Кокоулина // Здоровье населения и среда обитания-ЗНиСО. – 2017. – № 10(295). – С. 9-13.
167. Air quality mapping using GIS and economic evaluation of health impact for Mumbai City, India / A. Kumar, I. Gupta, J. Brandt [et al.] // Journal of the Air & Waste Management Association. – 2016. – Vol. 66, Iss. 5. – P. 470-481.
168. Statistical modelling of particle number concentration in Zurich at high spatio-temporal resolution utilizing data from a mobile sensor network / M.D. Mueller, D. Hasenfratz, O. Saukh [et al.] // Atmospheric Environment. – 2016. – Vol. 126. – P. 171-181.
169. GIS Applications in Air Pollution Modeling [Электронный ресурс] / D. Isakovic, J. Jordan, C. Bowyer[et al.] // The 2022 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), USA (2022). – Режим доступа: <https://www.geospatialworld.net/article/gis-applications-in-air-pollution-modeling/> (дата обращения 07.08.2023).
170. Креницкий И.Г. Сводный отчет по результатам инженерно-экологических изысканий в районе строительства обогатительной установки по переработке технологических отложений Джидинского ВМК [Текст] / И.Г. Креницкий; под. ред. Ю.П. Гусева. ГФУП «Бурятгеоцентр». Улан-Удэ, 2011.

171. Смирнова, О.К. Джидинский рудный район (проблемы состояния окружающей среды) / О.К. Смирнова, А.М. Плюснин // отв. Ред. Г. И. Татьков. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2013. – 181 с.
172. Оценка состояния почв и растительности г. Закаменска (Бурятия): последствия деятельности Джидинского вольфрамо-молибденового комбината / С.Г. Дорошкевич, О.К. Смирнова, Б.В. Дампилова, В.В. Гайдашев // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2016. – № 5. – С. 427-441.
173. Игошин, А.Н. Кластерный анализ зернового сектора региона / А.Н. Игошин, А.Д. Черемухин // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 7(50). – С. 21-29.
174. Осипова, Ю.А. Применение кластерного анализа методом k-средних для классификации текстов научной направленности / Ю.А. Осипова, Д.Н. Лавров // Математические структуры и моделирование. – 2017. – № 3(43). – С. 108-121.
175. Карымова, А.В. Нейросетевой кластерный анализ регионов России с целью анализа изобретательской деятельности РФ с использованием нейросетевого кластерного анализа / А.В. Карымова // Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки: сб. статей Междунар. научно-практич. конф. – Уфа: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2021. – С. 74-77.
176. Кидрачев, Р.Н. Категорирование авиакомпаний на основе кластерного анализа / Р.Н. Кидрачев // Национальная Ассоциация Ученых. – 2018. – № 9(36). – С. 60-65.
177. Зайцева, Н.В. Установление связи нарушений здоровья населения с воздействием приоритетных химических факторов в зоне влияния хозяйственной деятельности объектов по производству металлургического глинозема / Н.В. Зайцева, М.А. Землянова, Д.В. Горяев // Актуальные вопросы анализа риска при обеспечении санитарно-эпидемиологического благополучия населения и защиты прав потребителей: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным

- участием, Пермь, 16–18 мая 2018 года / Под ред. А.Ю. Поповой, Н.В. Зайцевой. – Пермь: Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 2018. – С. 55-60.
178. Горюнова, А.А. Характеристика состояния атмосферного воздуха населенных пунктов Российской Федерации / А.А. Горюнова, А.В. Князева, В.А. Никифорова // Молодая мысль: наука, технологии, инновации: Материалы XI (XVII) Всероссийской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Братск, 01-05 апреля 2019 года. – Братск: Братский государственный университет, 2019. – С. 108-111.
179. Новороцкая, А.Г. Оценка состояния атмосферного воздуха в зоне влияния ТЭЦ-2 Г. Хабаровска / А.Г. Новороцкая // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 12. – С. 215-220.
180. Кармацкая, А. К вопросу о загрязнении атмосферного воздуха (на примере города Тюмени) / А. Кармацкая, А. Зверева, О.В. Шулепова // Мир Инноваций. – 2019. – № 2. – С. 3-6.
181. Никитин, Е.В. Мониторинг окружающей среды как система обеспечения экологической безопасности // Правопорядок: история, теория, практика. – 2021. – № 3 (30). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-okruzhayushey-sredy-kak-sistema-obespecheniya-ekologicheskoy-bezopasnosti> (дата обращения: 12.09.2023).

## Приложение А

### Акты внедрения результатов диссертационного исследования



Совершенство  
продуманных  
решений

Акционерное общество  
«Чусовской металлургический завод»

Россия, 618200, Пермский край,  
г. Чусовой, ул. Трудовая, д.13  
тел.: +7 (495) 231-77-71,  
8-800-200-8000  
факс: +7 (342) 566-35-71  
e-mail: odo@chmz.ru  
www.omk.ru

№ 4300-Н-768/23 от 03.04.2023  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

#### АКТ

о внедрении результатов исследования пылевидных продуктов металлургических производств на электронном микроскопе и рентгеновском дифрактометре

Настоящий акт подтверждает внедрение результатов научного исследования, выполненного с участием Загороднова Сергея Юрьевича в ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», в деятельность АО «Чусовской металлургический завод» (г. Чусовой).

Полученные результаты изучения компонентного и дисперсного состава пылевых выбросов, образованных в результате деятельности технологических процессов предприятия, использованы при разработке нормативов ПДВ (НДВ), обосновании достаточности границ санитарно-защитной зоны и формировании программы контроля качества атмосферного воздуха в зоне влияния предприятия. Результаты установленного химического и дисперсного состава пылей представляю высокий практический интерес в части полного учета твердых компонентов при решении задач управления выбросам. Предприятие применяет установленные в ходе исследования данные при планировании природоохранных мероприятий направленные на минимизацию воздействия пылевых выбросов на атмосферный воздух.

Начальник  
Управления по безопасности производства АО «ЧМЗ»



С.А. Иванов  
*К. А. Безгубова*



SSSMM044300YTQKOIP5

Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»  
Военно-промышленная корпорация «НПО машиностроения»



акционерное общество

**ПЕРМСКИЙ ЗАВОД «МАШИНОСТРОИТЕЛЬ»**

Россия, 614014, г. Пермь, ул. Новозаягинская, 57  
тел. (342) 263-17-32, факс (342) 263-17-24, телеграф «Овод»  
e-mail: pzmash@perm.ru http://pzmash.ru  
ОКПО 07520139, ОГРН 1075906004217  
ИНН/КПП 5906075029/785050001

14.07.2023 № 831-839

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

### АКТ

о внедрении результатов научного исследования определения элементного  
и дисперсного состава образцов пылевых выбросов от источников  
Акционерного общества «Пермский завод «Машиностроитель»

г. Пермь

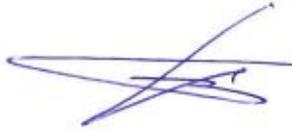
05.07.2023 г.

Акционерное общество «Пермский завод «Машиностроитель» настоящим актом подтверждает внедрение в деятельность предприятия результатов научного исследования, выполненного Загородновым Сергеем Юрьевичем в рамках исследовательской работы ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения».

Полученные данные о пылевом составе исследованных источников предприятия используются при разработке природоохранной проектной документации. Установленные в результате исследования значения уточненного химического состава твердых компонентов выбросов использованы при установлении зоны влияния предприятия и выборе точек проведения контрольных измерений качества атмосферного воздуха. Принимая во внимание высокую практическую значимость результатов,

предприятие ориентируются на установленные данные компонентного и дисперсного состава при планировании воздухоохраных мероприятий.

Главный эколог



В.Б. Гаврюсов

Заместитель главного инженера



А.М. Аглиев

## Приложение Б

### Промежуточные целевые показатели для достижения AQG (Air Quality Guidelines)

Показатель	PM10, мг/м <sup>3</sup>	PM2.5 мг/м <sup>3</sup>	Обоснование выбранного уровня	PM10, мг/м <sup>3</sup>	PM2.5 мг/м <sup>3</sup>	Обоснование выбранного уровня
Среднегодовой уровень			Среднесуточный уровень*			
Промежуточная цель (IT-1)	0,07	0,035	Установлено, что эти уровни связаны с примерно 15 % дополнительных случаев смертности по сравнению с AQG	0,15	0,075	На основе опубликованных коэффициентов риска из мультицентровых исследований и мета-анализов о 5 % увеличении смертности по сравнению с AQG
Промежуточная цель 2 (IT-2)	0,05	0,025	Помимо других преимуществ для здоровья, эти уровни снижают риск преждевременной смертности примерно на 6% (2-11 %) по сравнению с IT-1.	0,1	0,05	На основе опубликованных коэффициентов риска из мультицентровых исследований и мета-анализов о 2,5 % увеличении смертности по сравнению с AQG
Промежуточная цель 3 (IT-3)	0,03	0,015	Помимо других преимуществ для здоровья, эти уровни снижают риск смертности ещё примерно на 6 % (2-11 %) по сравнению с IT-2.	0,075	0,0375	Примерно на 1,2 % увеличение смертности по сравнению с AQG
Рекомендуемые значения концентраций (AQG)	0,02	0,01	Это самые низкие уровни, при которых по результатам исследования был показан рост общей смертности, а также смертности от сердечно-сосудистых и лёгочных заболеваний, рака лёгких, на 95 % обусловленной воздействием PM2.5.	0,05	0,025	Основано на соотношении между среднесуточными и среднегодовыми уровнями PM

- 99 % перцентиль (3 дня в году)

## Приложение В

### Перечень производств и технологических процессов, на которых выполнены комплексные исследования пылевого состава выброса

№	Вид технологической операции
<b>Машиностроительное производство</b>	
1	Плоскошлифовальные станки
2	Отрезные станки
3	Заточные станки с алмазным кругом
4	Заточные станки
5	Горизонтально-расточные станки
6	Сверлильные станки
7	Токарные станки
8	Фрезерные станки
9	Наждаки
10	Галтовочные барабаны
11	Камеры очистные дробеметные
12	Токарные станки (обработка неметаллических материалов)
13	Полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа
14	Полуавтоматическая сварка в среде аргона
<b>Металлургическое производство</b>	
1	Загрузка колошниковой шихты грейфером
2	Загрузка моношихты грейфером
3	Загрузка металлургического шлака грейфером
4	Смешение шихты
5	Спекание агломерата
6	Выгрузка агломерата (после спекания)
7	Мешалка (приготовление смеси для укладки форм)
8	Электросталеплавильная печь
9	Выпуск чугуна (литейный двор)
10	Выпуск шлака (литейный двор)
11	Продувка чугуна в конвертере
12	Прокат заготовок на стане
13	Печь обжига извести во вращающейся печи
14	Выплавка феррованадия (электросталеплавильная печь)
15	Рубка стали
16	Дробеметная камера (обработка рессор дробью)
<b>Горнодобывающее производство</b>	
1	Места пересыпа руды на ленточный конвейер
2	Печь КС (сушка КСI дымовыми газами)
3	Пылевые выбросы от пересыпа готовой продукции – смесители
4	Пересып готовой продукции (конвейеры)
5	Грохоты
6	Вибрационная сушильно-охладительная установка (ВСОУ)
7	Просеивающие машины
8	Склад зернового концентрата (КСI) (мелкая грануляция)
9	Склад зернового концентрата (КСI) (крупная грануляция)
10	Пересыпка руды на конвейер
11	Грохоты
12	Склад сильвинита (склад дробленой руды)

## Приложение Г

## Свидетельства о государственной регистрации базы данных

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2016620004

«Пыли промышленных производств»

Правообладатель: *Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» (ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения») (RU)*

Авторы: *Май Ирина Владиславовна (RU), Клейн Светлана Владиславовна (RU), Вековщина Светлана Анатольевна (RU), Загороднов Сергей Юрьевич (RU), Кокоулина Анастасия Александровна (RU), Попова Екатерина Владимировна (RU), Ситчихина Любовь Александровна (RU), Никифорова Надежда Викторовна (RU), Волкова Марина Валерьевна (RU)*

Заявка № 2015621372

Дата поступления 06 ноября 2015 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 11 января 2016 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2021622129

**«Расчетный уровень пылевого воздействия стационарных источников выбросов в точках жилой застройки крупного промышленного центра»**

Правообладатель: *Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения») (RU)*

Авторы: *Зайцева Нина Владимировна (RU), Май Ирина Владиславовна (RU), Клейн Светлана Владиславовна (RU), Балашов Станислав Юрьевич (RU), Загороднов Сергей Юрьевич (RU), Вековичина Светлана Анатольевна (RU), Попова Екатерина Владимировна (RU), Андришунас Алена Мухаматовна (RU), Ситчихина Любовь Александровна (RU)*

Заявка № 2021622022

Дата поступления 05 октября 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных 12 октября 2021 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Изrael

## Приложение Д

### Результаты углубленных исследований пылевой компоненты выбросов различных производств

#### Машиностроительное производство

##### Плоскошлифовальные станки

Обрабатываемый материал: сталь 45. Марка станка 3E756, диаметр шлифовального круга 250 мм. Место отбора: местный отсос шлифовального круга, 5 см от места шлифования.

Компонентный состав выбросов пыли от работы плоскошлифовального станка представлен в Таблице Д. 1 и на Рисунке Д. 1.

Таблица Д. 1 – Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от плоскошлифовального станка при обработке стальной детали

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	CaSO <sub>4</sub>	88,69
2	CaO	7,88
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,09
4	MgO	0,35
Итого:		100

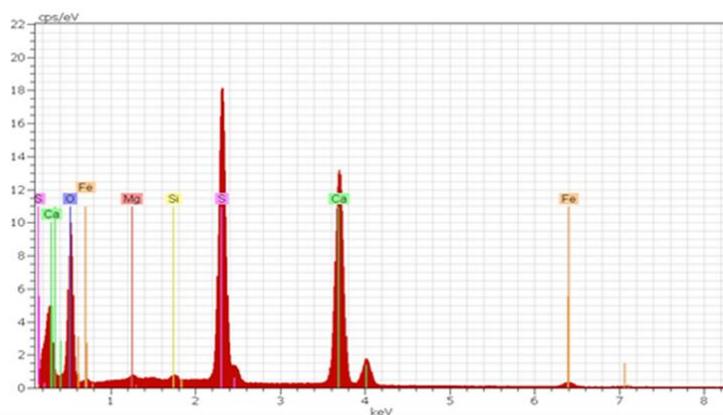
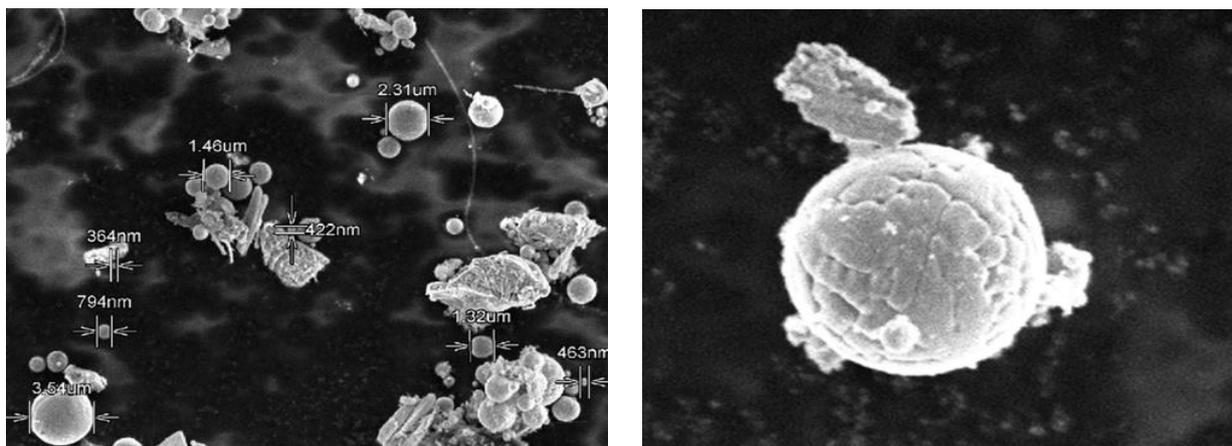


Рисунок Д. 1 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли плоскошлифовального станка при обработке стальной детали

Морфология частиц: частицы имеют неправильную, раздробленную, округлую форму. Фотографии пыли и ее элементов представлены на рисунке Д. 2.

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице Д. 2 и на Рисунке Д. 3.

Объёмная доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10): 4,93; доля PM2,5 не установлена. Медианный размер: 300 мкм.



а)

б)

Рисунок Д. 2 – Фотографии форм частиц пыли от работы плоскошлифовального станка: а) x 1000; б) x 3000

Таблица Д. 2 – Дисперсный состав пыли от работы плоскошлифовального станка

Размер частиц, мкм		Объёмный % фракций от общего объема частиц	
		по определяемым диапазонам	по нормируемым размерам
Размер частиц >10 МКМ	100,01-1000	62,32	95,07
	10,01-100,00	33,75	
PM 10 (размер ≤ 10 мкм)	8,51-10,00	0,92	4,93, в том числе PM 2,5 (размер частиц ≤ 2,5 мкм) отсутствуют
	7,01-8,50	0,9	
	5,51-7,00	0,735	
	4,01-5,50	1,1	
	2,51-4,00	1,31	
	2,01-2,50	—	
	1,01-2,00	—	
0,01-1,00	—		

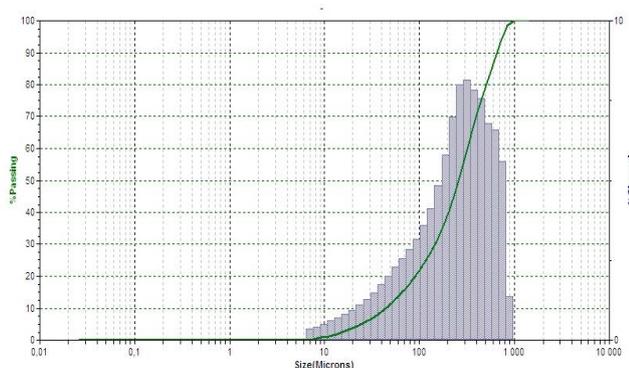


Рисунок Д. 3 – Гистограмма дисперсного состава пыли от работы плоскошлифовального станка

### Отрезные станки

Обрабатываемый материал: сталь 45. Марка станка И6620, диаметр отрезного круга 400 мм.

Место отбора: местный отсос отрезного круга, 5 см от места шлифования.

Компонентный состав выбросов пыли от работы отрезного станка представлен в Таблице Д. 3 и на Рисунке Д. 4.

Таблица Д. 3 – Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от отрезного станка при обработке стальной детали

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	FeSO <sub>4</sub>	30.72
2	SiO <sub>2</sub>	24.01
3	MgO	20.12
4	CaO	11.28
5	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.01
6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.87
Итого:		100

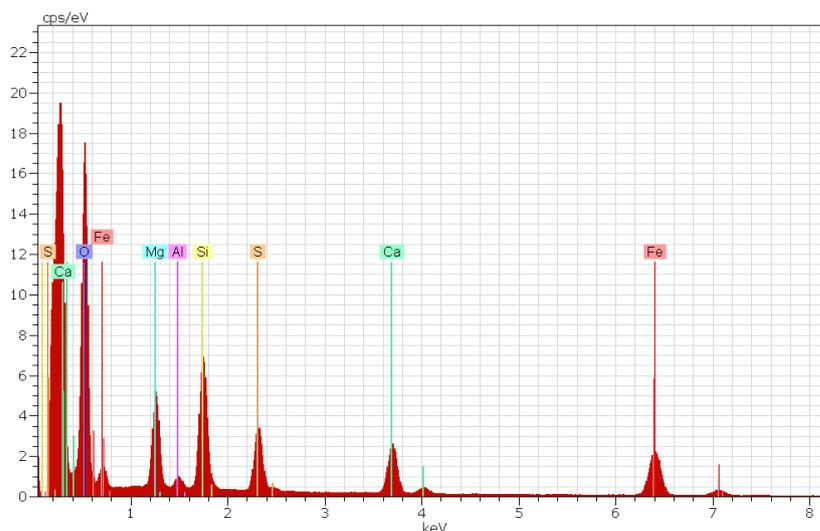


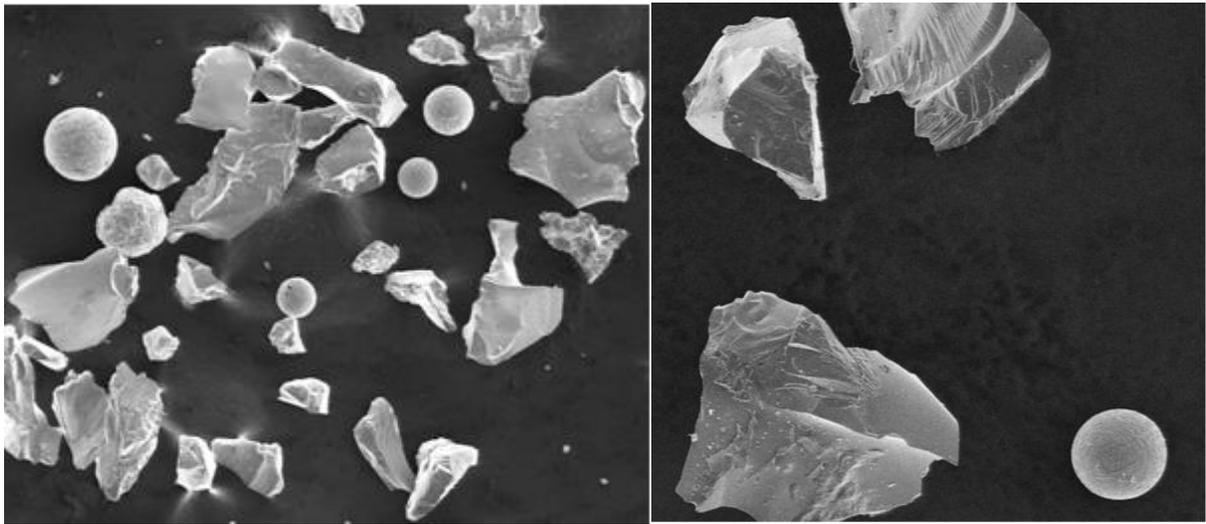
Рисунок Д. 4 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли отрезного станка при обработке стальной детали

Морфология частиц: частицы имеют раздробленную, угловатую, округлую форму.

Фотографии пыли и ее элементов представлены на Рисунке Д. 5.

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице Д. 4 и на Рисунке Д. 6.

Объемная доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10): 32,97; доля PM2.5: 7,07. Медианный размер: 200 мкм.



а)

б)

Рисунок Д. 5 – Фотографии форм частиц пыли от работы отрезного станка:  
а) x 100; б) x 300

Таблица Д. 4 – Дисперсный состав пыли от работы отрезного станка

Размер частиц, мкм		Объёмный % фракций от общего объема частиц	
		по определяемым диапазонам	по нормируемым размерам
Размер частиц >10 МКМ	100,01-1000	14,92	67,03
	10,01-100,00	52,11	
PM 10 (размер ≤ 10 мкм)	8,51-10,00	4,20	32,97, в том числе PM 2,5 (размер частиц ≤ 2,5 мкм) – 7,08
	7,01-8,50	4,55	
	5,51-7,00	4,58	
	4,01-5,50	6,77	
	2,51-4,00	5,79	
	2,01-2,50	1,42	
	1,01-2,00	3,39	
	0,01-1,00	2,27	

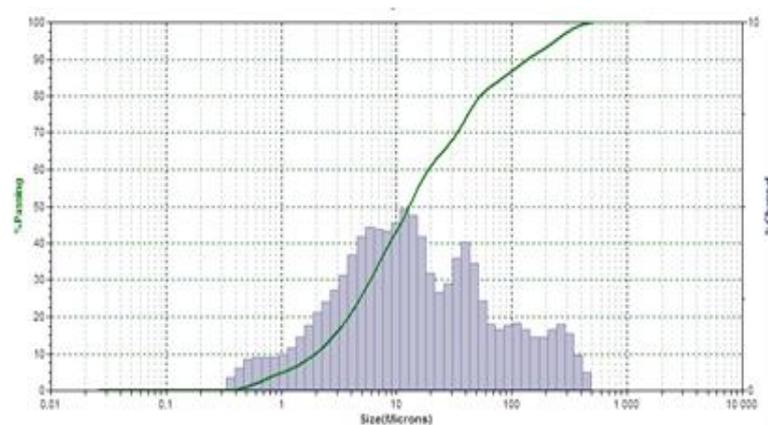


Рисунок Д. 6 – Дисперсный состав пыли от работы отрезного станка

### Заточные станки с алмазным кругом

Обрабатываемый материал: сталь КВ 8. Марка станка ЗЕ642, диаметр заточного круга 125 мм.

Место отбора: местный отсос заточного круга, 5 см от места заточки инструмента. В инвентаризации указаны: пыль металлическая и пыль неорганическая с содержанием оксида кремния выше 70%.

Компонентный состав выбросов пыли от работы заточного станка с алмазным кругом представлен в Таблице Д. 5 и на Рисунке Д. 7.

Таблица Д. 5 – Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от заточного станка с алмазным кругом при обработке стальной детали

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	73,12
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,01
3	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,46
4	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,47
5	SiO <sub>2</sub>	0,56
6	FeS <sub>2</sub>	0,37
Итого:		100

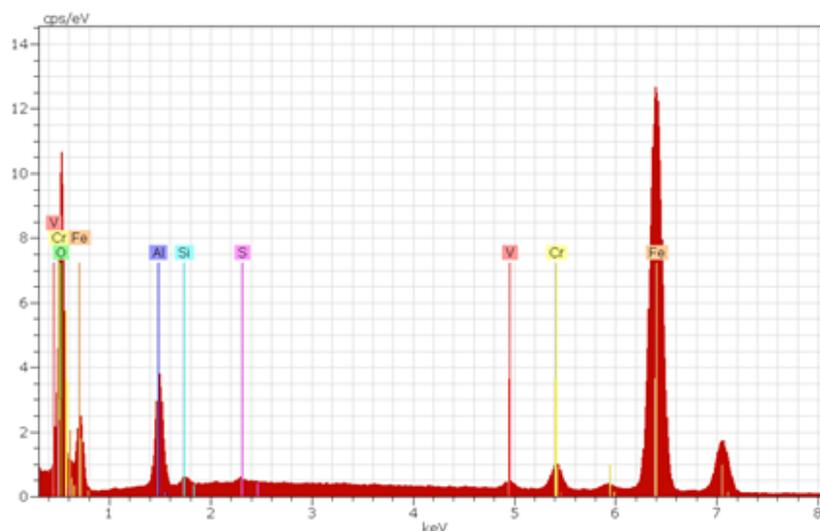
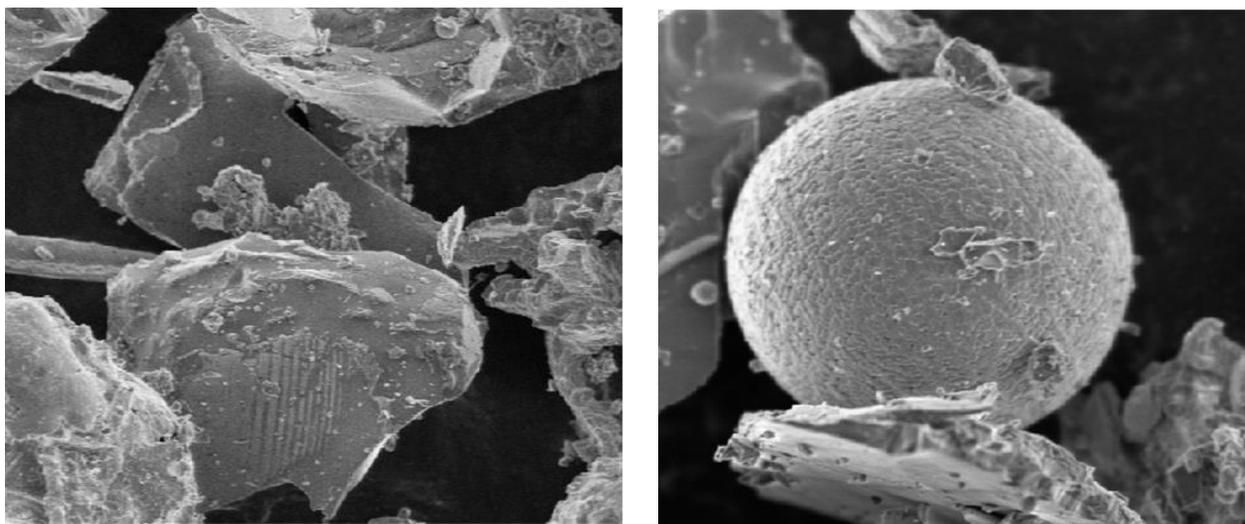


Рисунок Д. 7 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли заточного станка с алмазным кругом при обработке стальной детали

Морфология частиц: частицы имеют округлую, раздробленную, угловатую форму. Фотографии пыли и ее элементов представлены на Рисунке Д. 8.



а)

б)

Рисунок Д. 8 – Фотографии форм частиц пыли от работы заточного станка с алмазным кругом: а) x 500; б) x 1000

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице Д. 6

Объёмная доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10): 7,09%; доля PM 2.5: 0,37%. Медианный размер: 100 мкм.

Таблица Д. 6 – Дисперсный состав пыли от работы заточного станка с алмазным кругом

Размер частиц, мкм		Объёмный % фракций от общего объёма частиц	
		по определяемым диапазонам	по нормируемым размерам
Размер частиц >10 мкм	100.01-1000	52,1	92.91
	10.01-100.00	48,81	
PM 10 (размер частиц до 10 мкм включительно)	8.51-10.00	1.3	7.09
	7.01-8.50	1.15	
	5.51-7.00	1.03	
	4.01-5.50	1.64	
	2.51-4.00	1.6	
PM 2.5 (размер частиц ≤2.5 мкм)	2.01-2.50	0.37	0.37
	1.01-2.00	0	
	0.01-1.00	0	

### Сверлильные станки

Обрабатываемый материал: сталь 40 X.

Особенности оборудования: марка станка В34Н, диаметр сверла 12 мм.

Место отбора: местный отсос, 5 см от места сверления заготовки.

Выбросы содержат частицы пыли металлической.

Компонентный состав выбросов пыли от работы сверлильного станка представлен в Таблице Д. 6 и на Рисунке Д. 10.

При обработке стальной детали на сверлильном станке установлено присутствие в выбросах следующих компонентов (в порядке уменьшения содержания): железо, марганец, хром, кремний, хлор, алюминий.

Морфология частиц: частицы имеют раздробленную, округлую, угловатую форму.

Фотографии пыли и ее элементов представлены на Рисунке Д. 11.

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице Д. 7 и на Рисунке Д. 12.

Объёмная доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10): 13,45; доля PM2,5: 6,7. Медианный размер: 100 мкм.

Таблица Д. 6 – Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от сверлильного станка при обработке стальной детали

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	95,85
2	MnO <sub>2</sub>	1,79
3	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,43
4	SiO <sub>2</sub>	0,42
5	FeCl <sub>3</sub>	0,30
6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20
Итого:		100

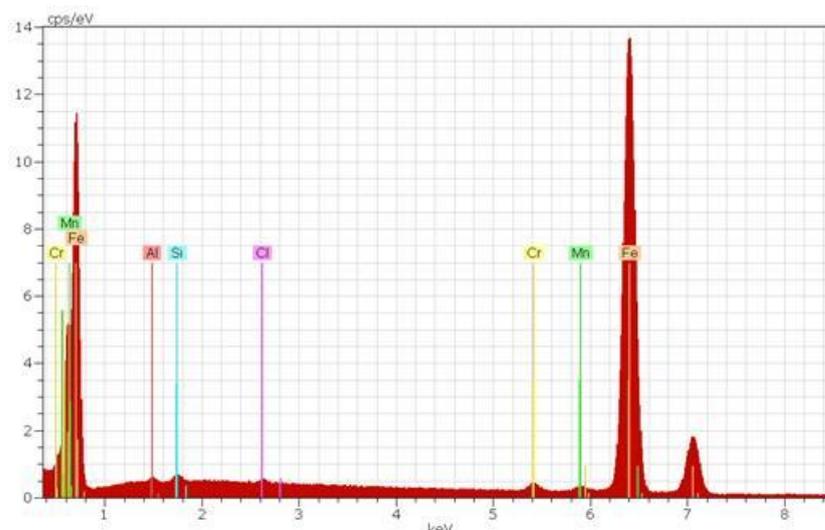
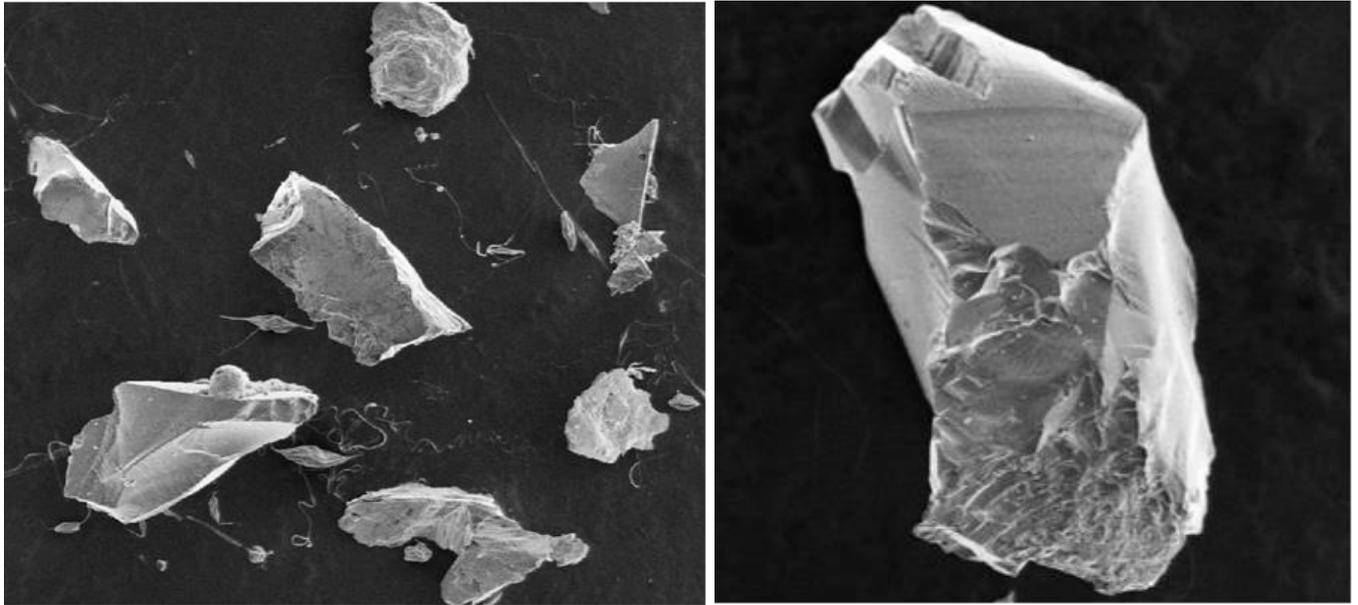


Рисунок Д. 10 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли сверлильного станка при обработке стальной детали



а)

б)

Рисунок Д. 11 – Фотографии форм частиц пыли от работы сверлильного станка а) x 100; б) x 400

Таблица Д. 7 – Дисперсный состав пыли от работы сверлильного станка

Размер частиц, мкм		Объёмный % фракций от общего объема частиц	
		по определяемым диапазонам	по нормируемым размерам
Размер частиц >10 мкм	100,01-1000	42,78	86,55
	10,01-100,00	36,96	
PM 10 (размер ≤ 10 мкм)	8,51-10,00	0,81	13,45, в том числе PM 2,5 (размер частиц ≤ 2,5 мкм) – 6,7
	7,01-8,50	0,69	
	5,51-7,00	0,66	
	4,01-5,50	1,41	
	2,51-4,00	3,19	
	2,01-2,50	1,23	
	1,01-2,00	3,63	
0,01-1,00	1,85		

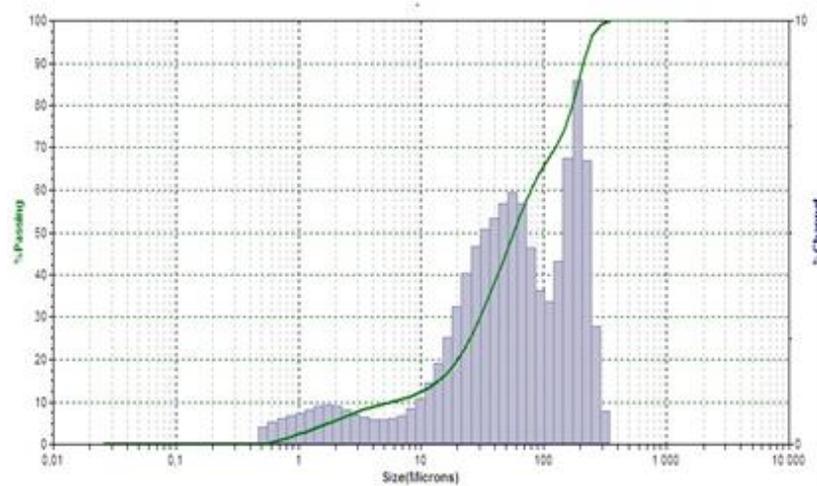


Рисунок Д. 12 – Гистограмма дисперсного состава пыли от работы сверлильного станка

## Металлургическое производство

### Загрузка колошниковой шихты грейфером

Обрабатываемый материал: колошниковая шихта.

Место отбора: на расстоянии 2 метра от места загрузки колошниковой шихты грейфером в бункер.

Выбросы содержат частицы загружаемого материала (пыль металлическая и пыль неорганическая с содержанием оксида кремния выше 70 %).

Компонентный состав выбросов пыли от загрузки колошниковой шихты представлен в Таблице Д. 8 и на Рисунке Д. 13.

При загрузке колошниковой шихты грейфером установлено присутствие в выбросах следующих компонентов: железо, цинк, сера, кремний, магний, алюминий.

Морфология частиц: частицы имеют раздробленную, неправильную, угловатую форму.

Фотографии пыли и ее элементов представлены на Рисунке Д. 14.

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице Д. 9 и на Рисунке Д. 15.

Объёмная доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10): 24,77; доля PM2,5: 5,40. Медианный размер: 40 мкм.

Таблица Д. 8 – Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от загрузки колошниковой шихты грейфером

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	77,52
2	ZnO	13,98
3	FeS <sub>2</sub>	2,50
4	SiO <sub>2</sub>	2,45
5	MgO	1,49
6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,33
7	CaO	0,74
Итого:		100

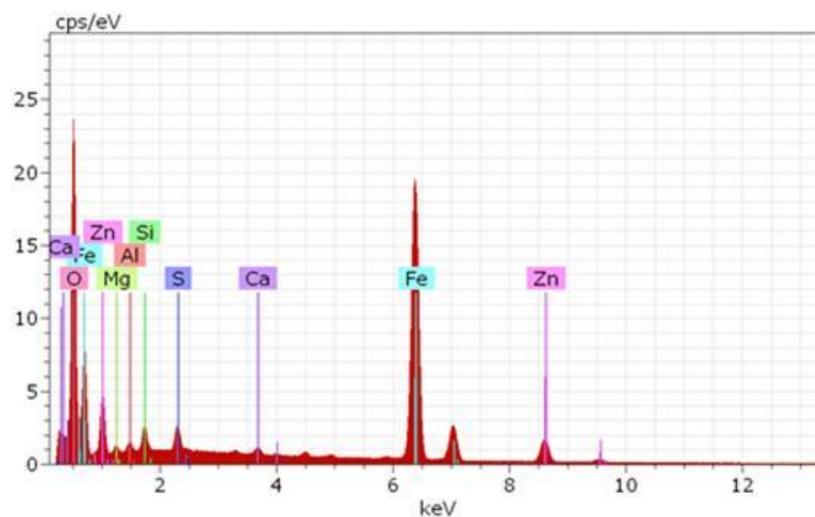
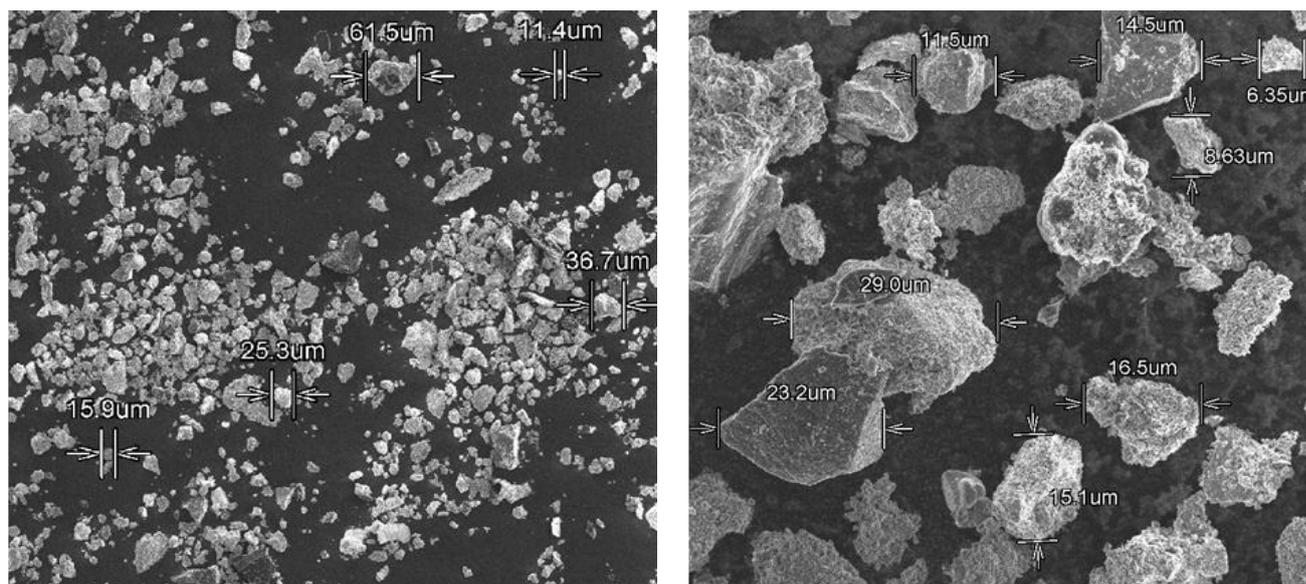


Рисунок Д. 13 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли от загрузки колошниковой шихты грейфером



а)

б)

Рисунок Д. 14 – Фотографии форм частиц пыли от загрузки колошниковой шихты грейфером: а) x 100; б) x 1000

Таблица Д. 9 – Дисперсный состав пыли от загрузки колошниковой шихты грейфером

Размер частиц, мкм		Объёмный % фракций от общего объема частиц	
		по определяемым диапазонам	по нормируемым размерам
Размер частиц >10 мкм	100,01-1000	32,11	74,59
	10,01-100,00	43,12	
PM 10 (размер ≤ 10 мкм)	8,51-10,00	2,76	24,77, в том числе PM 2,5 (размер частиц ≤2,5 мкм) – 5,40
	7,01-8,50	3,58	
	5,51-7,00	3,84	
	4,01-5,50	5,71	
	2,51-4,00	3,48	
	2,01-2,50	0,61	
	1,01-2,00	0,87	
	0,01-1,00	3,92	

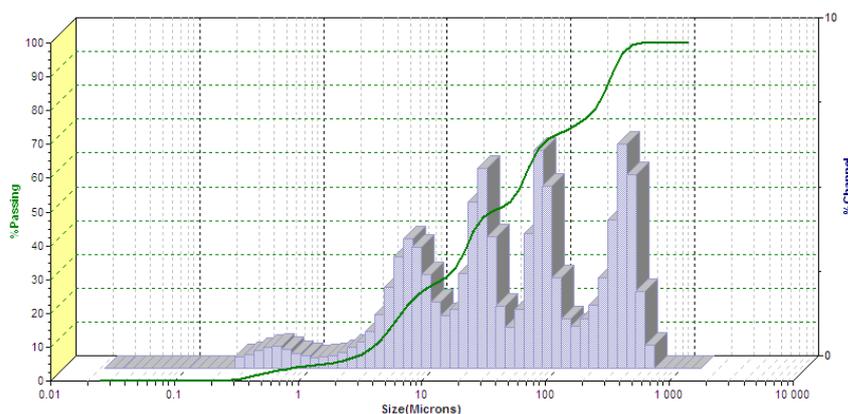


Рисунок Д. 15 – Гистограмма дисперсного состава пыли от загрузки колошниковой шихты

### Загрузка металлургического шлака грейфером

Обрабатываемый материал: металлургический шлак.

Место отбора: на расстоянии 1 метр от загрузки металлургического грейфером в бункер.

Выбросы содержат пыль металлическую и пыль неорганическую с содержанием оксида кремния выше 70%.

Объёмная доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10): 55,52; доля PM2,5: 44,46.

Компонентный состав выбросов пыли от загрузки металлургического шлака представлен в Таблице Д. 10 и на Рисунке Д. 16.

При загрузке металлургического шлака установлено присутствие в выбросах следующих компонентов: железо.

Морфология частиц: частицы имеют округлую, раздробленную, угловатую форму.

Фотографии пыли и ее элементов представлены на Рисунке Д. 17.

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице Д. 11 и на Рисунке Д. 18.

Медианный размер: 4 мкм.

Таблица Д. 10 – Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от загрузки металлургического шлака грейфером

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100,00
Итого:		100

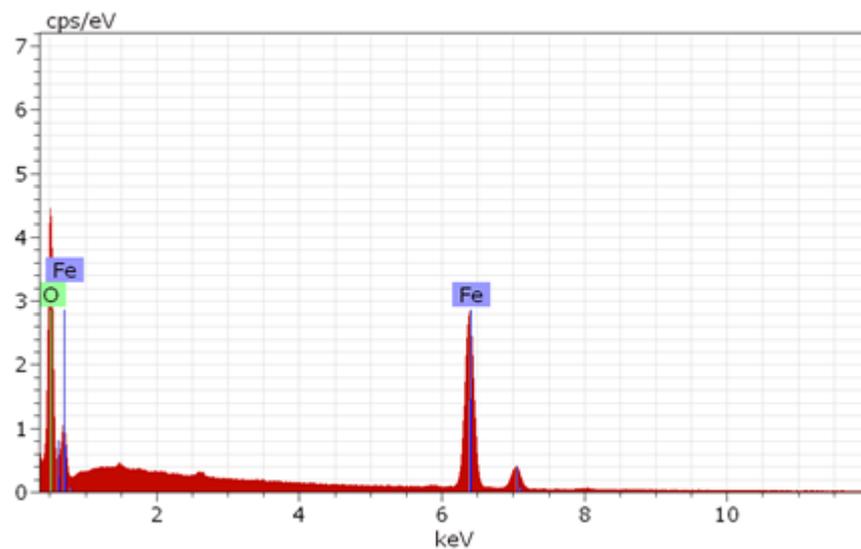
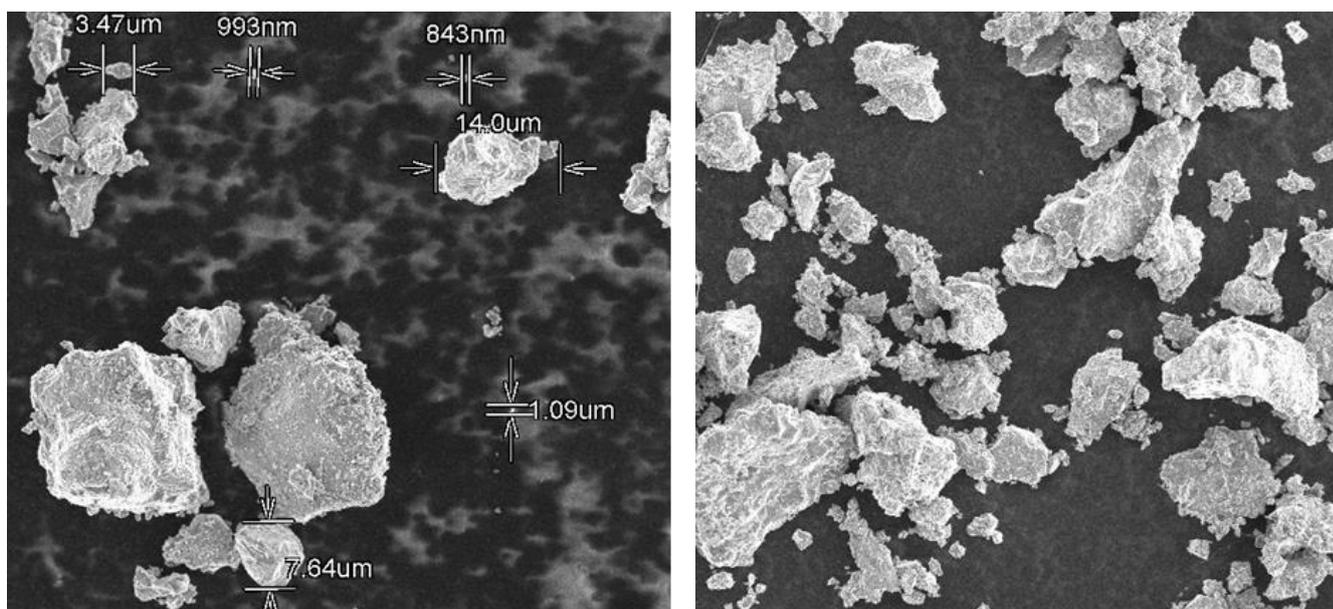


Рисунок Д. 16 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли от загрузки металлургического шлака грейфером



а)

б)

Рисунок Д. 17 – Фотографии форм частиц пыли от загрузки металлургического шлака грейфером: а) x 3000; б) x 300

Таблица Д. 11 – Дисперсный состав пыли от загрузки металлургического шлака грейфером

Размер частиц, мкм		Объемный % фракций от общего объема частиц	
		по определяемым диапазонам	по нормируемым размерам
Размер частиц >10 мкм	100,01-1000	8,55	44,48
	10,01-100,00	35,93	
PM 10 (размер ≤ 10 мкм)	8,51-10,00	1,19	55,52, в том числе PM 2,5 (размер частиц ≤ 2,5 мкм) – 44,46
	7,01-8,50	1,24	
	5,51-7,00	1,26	
	4,01-5,50	2,81	
	2,51-4,00	4,56	
	2,01-2,50	1,34	
	1,01-2,00	2,23	
0,01-1,00	40,89		

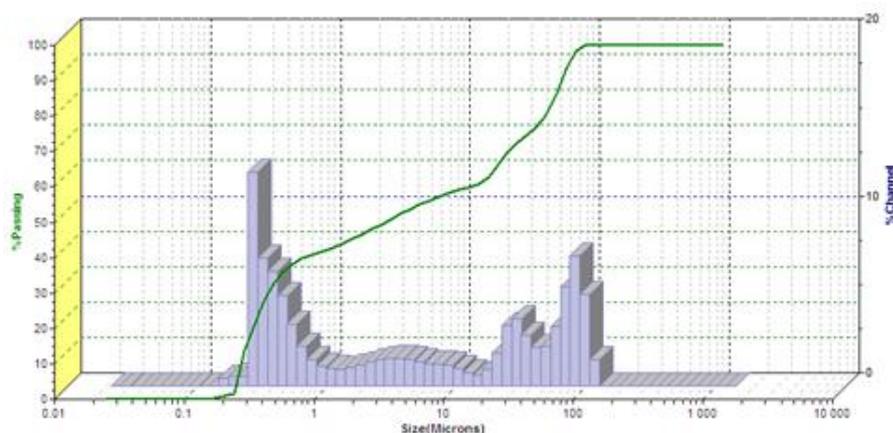


Рисунок Д. 18 – Гистограмма дисперсного состава пыли от загрузки металлургического шлака грейфером

### Спекание агломерата

Обрабатываемый материал: смесь из колошниковой шихты, моношихты и металлургического шлака.

Место отбора: местный отсос спекания агломерата.

Выбросы содержат пыль металлическую и пыль неорганическую с содержанием оксида кремния выше 70 %.

Компонентный состав выбросов пыли от спекания агломерата представлен в Таблице Д. 12 и на Рисунке Д. 19.

При спекании агломерата установлено присутствие в выбросах следующих компонентов: железо, кальций, магний, кремний, цинк, хром, алюминий.

Морфология частиц: частицы имеют неправильную, раздробленную, угловатую форму.

Фотографии пыли и ее элементов представлены на Рисунке Д. 20.

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице Д. 13 и на Рисунке Д. 21.

Объёмная доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10): 8,43; доля PM2,5: 2,93. Медианный размер: 200 мкм.

Таблица Д. 12 – Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от спекания агломерата

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	96.48
2	MgO	0.81
3	CaO	0.76
4	SiO <sub>2</sub>	0.72
5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47
6	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.38
7	ZnO	0.37
Итого:		100

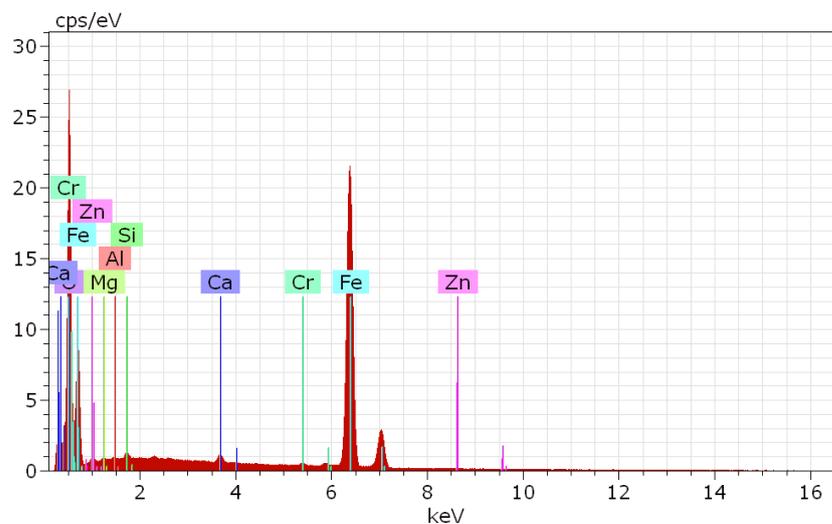
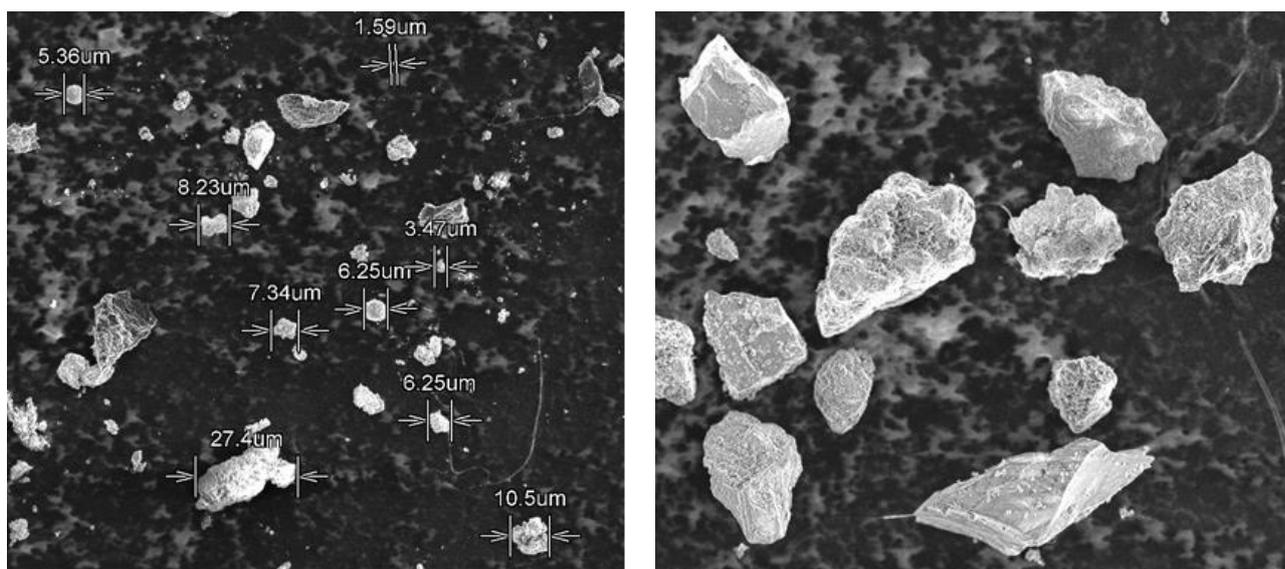


Рисунок Д. 19 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли спекания агломерата



а)

б)

Рисунок Д. 20 – Фотографии форм частиц пыли от спекания агломерата: а) x 500; б) x 1000

Таблица Д. 13 – Дисперсный состав пыли от спекания агломерата

Размер частиц, мкм		Объёмный % фракций от общего объема частиц	
		по определяемым диапазонам	по нормируемым размерам
Размер частиц >10 мкм	100,01-1000	68,07	91,57
	10,01-100,00	23,5	
PM 10 (размер ≤ 10 мкм)	8,51-10,00	0,99	8,43, в том числе PM 2,5 (размер частиц ≤ 2,5 мкм) – 2,93
	7,01-8,50	1,37	
	5,51-7,00	1,23	
	4,01-5,50	1,14	
	2,51-4,00	0,77	
	2,01-2,50	0,59	
	1,01-2,00	1,14	
	0,01-1,00	1,2	

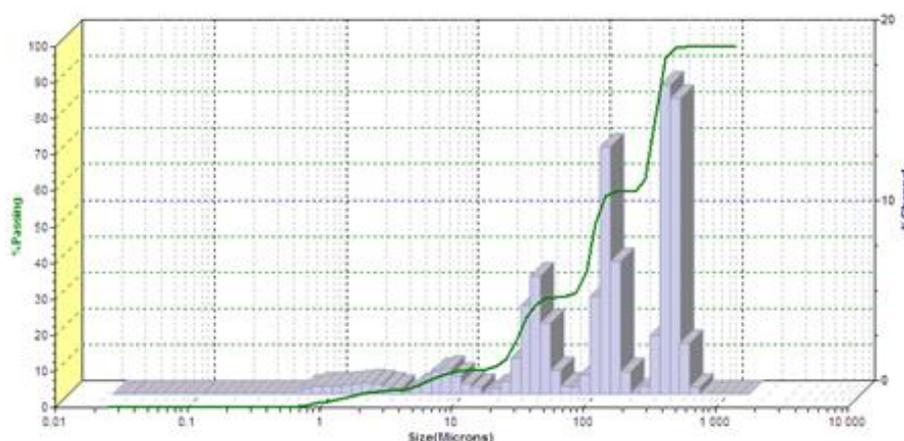


Рисунок Д. 21 – Гистограмма дисперсного состава пыли от спекания агломерата

### Горнодобывающее производство

#### Места пересыпа руды на ленточный конвейер

Обрабатываемый материал: калийная руда.

Место отбора: на расстоянии 15 сантиметров от места пересыпа калийной руды с конвейера на конвейер.

Выбросы содержат частицы пересыпаемого материала (калий хлорид, натрий хлорид).

Компонентный состав выбросов пыли от пересыпа руды на конвейер представлен в Таблице Д. 14 и на Рисунке Д. 22.

При пересыпе руды с конвейера на конвейер установлено присутствие в выбросах следующих компонентов: хлор, натрий, алюминий, калий, кремний.

Вещественный состав компонентов выбросов от пересыпа руды на конвейер характеризуется следующими соединениями: KCl, NaCl.

Морфология частиц: частицы имеют раздробленную, неправильную, угловатую, округлую форму.

Фотографии пыли и ее элементов представлены на Рисунке Д. 23.

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице Д. 15 и на Рисунке Д. 24.

Объемная доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10): 32,33; доля PM2,5: 14,61. Медианный размер: 30 мкм.

Таблица Д. 14 – Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от пересыпа руды

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	KCl	54.89
2	NaCl	31.59
3	SiO <sub>2</sub>	4.98
4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.30
5	CaO	2.19
6	CaSO <sub>4</sub>	1.64
7	MgO	1.23
8	FeS <sub>2</sub>	1.19
Итого:		100

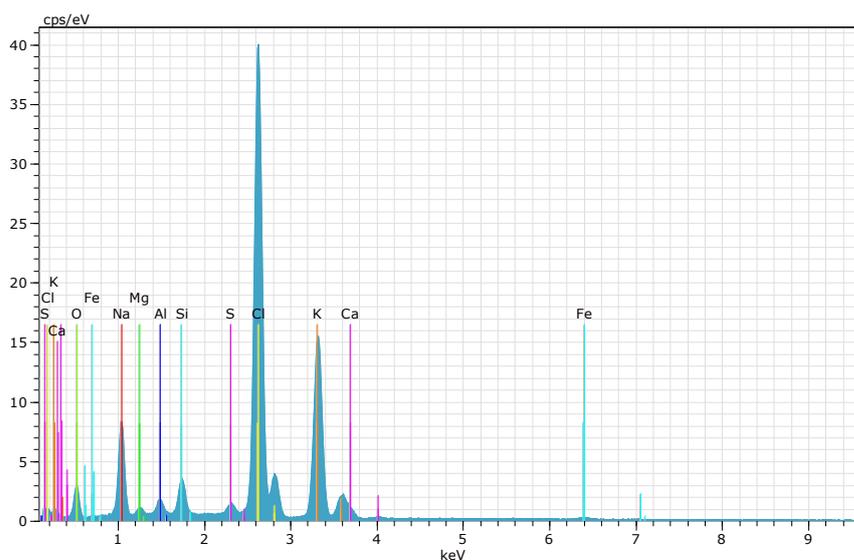
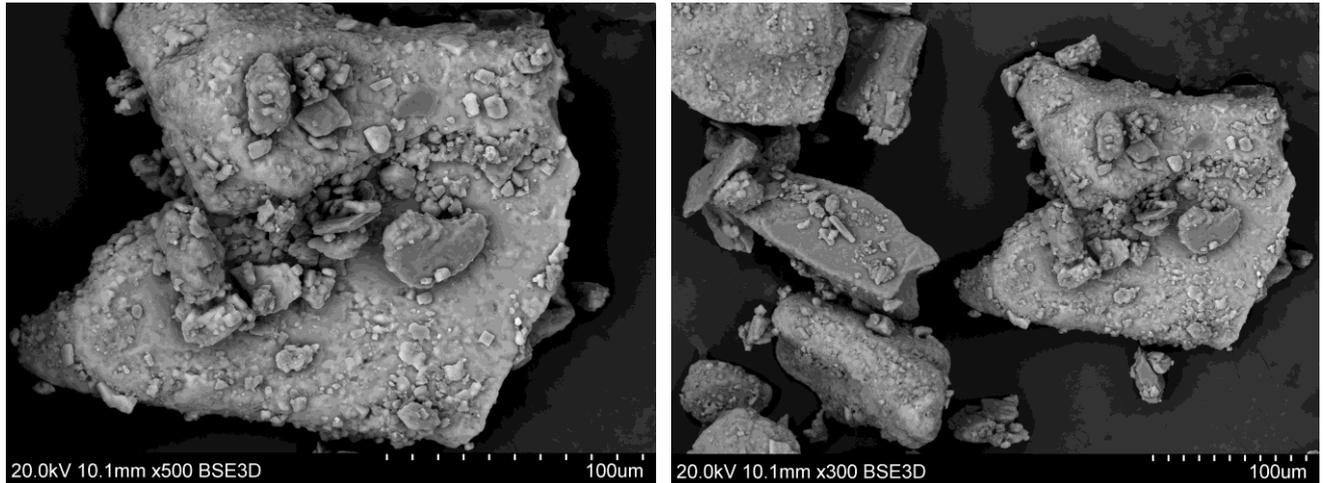


Рисунок Д. 22 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли от пересыпа руды



а)

б)

Рисунок Д. 23 – Фотографии форм частиц пыли от пересыпа руды: а) x 500; б) x 300

Таблица Д. 15 – Дисперсный состав пыли от пересыпа руды

Размер частиц, мкм		Объёмный % фракций от общего объема частиц	
		по определяемым диапазонам	по нормируемым размерам
Размер частиц >10 мкм	100,01-1000	25,04	67,67
	10,01-100,00	42,63	
PM 10 (размер ≤ 10 мкм)	8,51-10,00	3,49	32,33, в том числе PM 2,5 (размер частиц ≤ 2,5 мкм) – 14,61
	7,01-8,50	2,33	
	5,51-7,00	2,25	
	4,01-5,50	4,28	
	2,51-4,00	5,37	
	2,01-2,50	3,09	
	1,01-2,00	7,32	
	0,01-1,00	4,2	

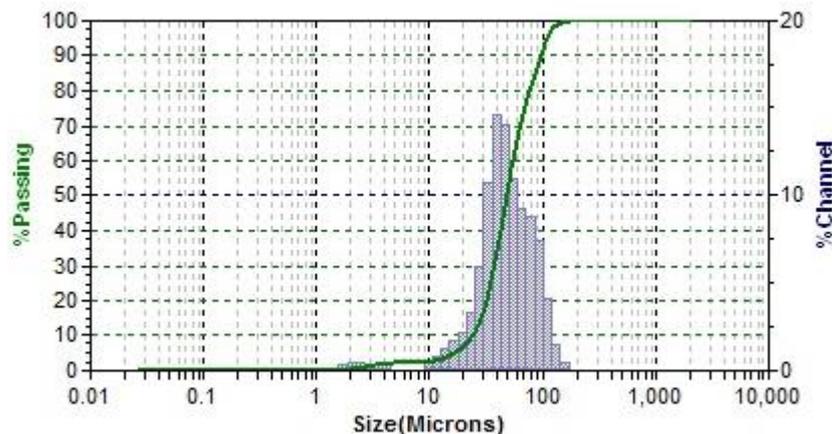


Рисунок Д. 24 – Гистограмма дисперсного состава пыли от пересыпа руды

### **Пересып готовой продукции (конвейеры)**

Обрабатываемый материал: хлорид калия и хлорид натрия.

Место отбора: в месте пересыпа готовой продукции с конвейера на конвейер.

Выбросы содержат частицы пыли хлорида калия и хлорида натрия.

Масса выброса взвешенных частиц от пересыпа готовой продукции устанавливается по результатам инструментальных определений аккредитованными испытательными лабораторными центрами.

Компонентный состав выбросов пыли от пересыпа готовой продукции представлен в Таблице Д. 16 и на Рисунке Д. 25.

При пересыпе готовой продукции установлено присутствие в выбросах следующих компонентов: хлор, калий, натрий.

Вещественный состав компонентов выбросов от пересыпа готовой продукции на конвейер характеризуется следующими соединениями: KCl, NaCl.

Морфология частиц: частицы имеют неправильную, раздробленную, угловатую форму.

Фотографии пыли и ее элементов представлены на Рисунке Д. 26.

Дисперсный состав пыли представлен в Таблице Д. 17 и на Рисунке Д. 27.

Объемная доля частиц с размерами менее 10 мкм (PM10): 14,90; доля PM2,5: 2,318. Медианный размер: 80 мкм.

Таблица Д. 16 – Компонентный состав исследованного образца выбросов пыли от пересыпа готовой продукции

п/п	Компоненты	Содержание, %
1	KCl	98.4
2	NaCl	1.6
Итого:		100

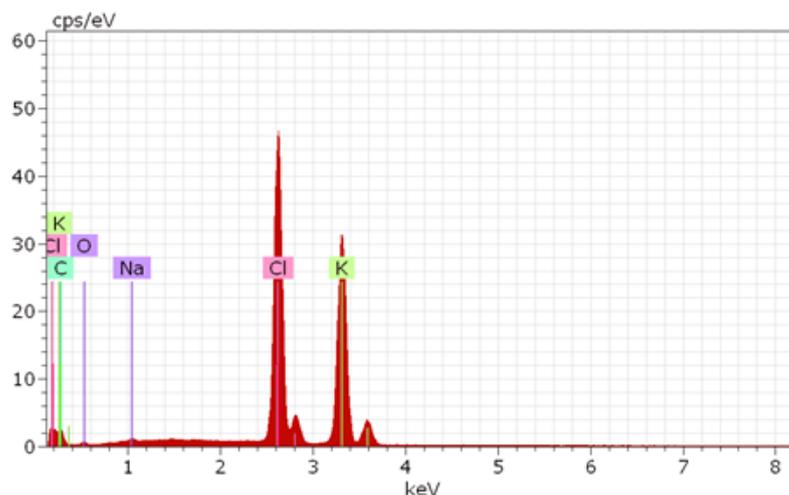
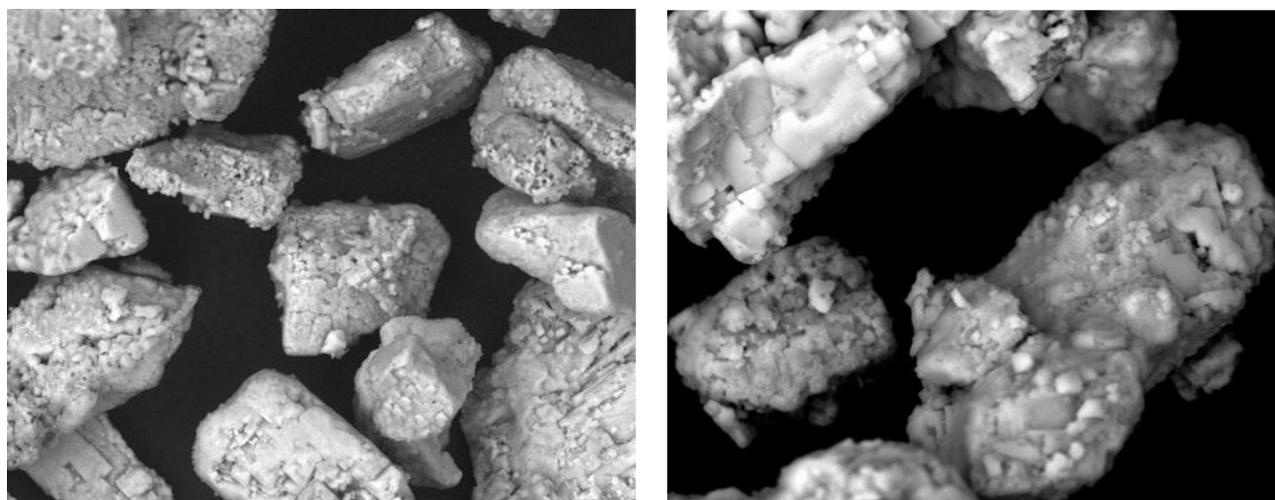


Рисунок Д. 25 – Спектрограмма компонентного состава выбросов пыли от пересыпа готовой продукции



а)

б)

Рисунок Д. 26 – Фотографии форм частиц пыли от пересыпа готовой продукции: а) x 500; б) x 1000

Таблица Д. 17 – Дисперсный состав пыли от пересыпа готовой продукции

Размер частиц, мкм		Объёмный % фракций от общего объема частиц	
		по определяемым диапазонам	по нормируемым размерам
Размер частиц >10 мкм	100,01-1000	39,32	85,1
	10,01-100,00	45,78	
PM 10 (размер ≤ 10 мкм)	8,51-10,00	2,72	14,9, в том числе PM 2,5 (размер частиц ≤ 2,5 мкм) – 2,318
	7,01-8,50	1,87	
	5,51-7,00	1,77	
	4,01-5,50	3,19	
	2,51-4,00	3,032	
	2,01-2,50	1,038	
	1,01-2,00	1,28	
0,01-1,00	-		

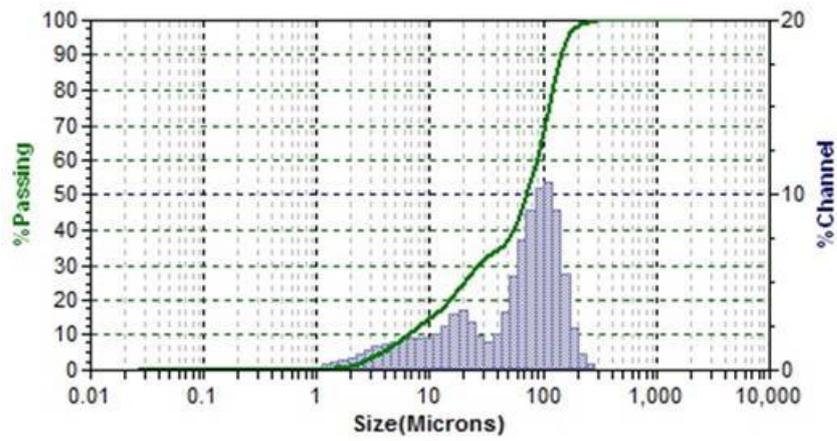


Рисунок Д. 27 – Гистограмма дисперсного состава пыли от пересыпа готовой продукции

## Приложение Е

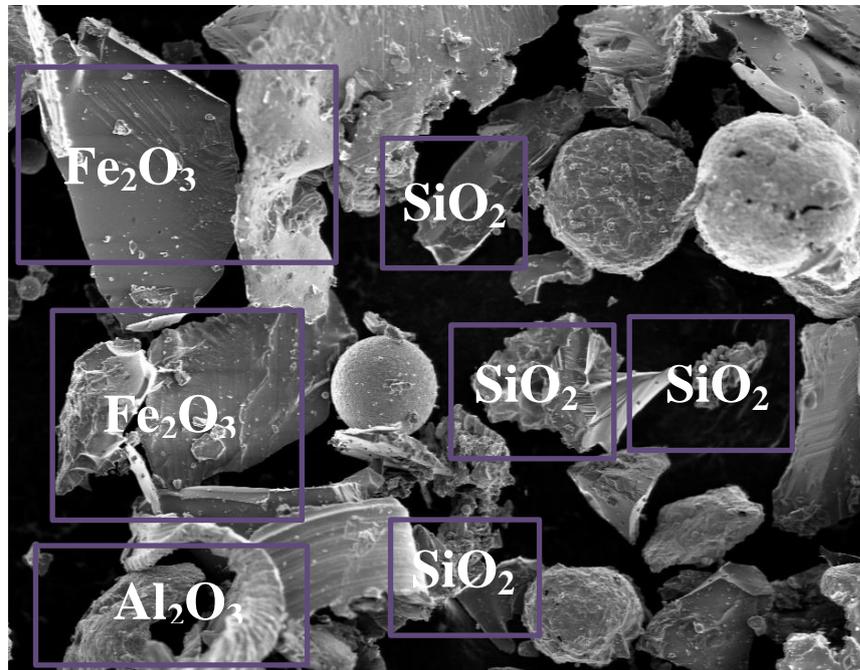
Атрибутированные микрофотографии по содержанию химического состава  
пылевой компоненты

Рисунок Е. 1 – Пример атрибутирования химических веществ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ) установленных по результатам микрофотографирования пылевых образцов

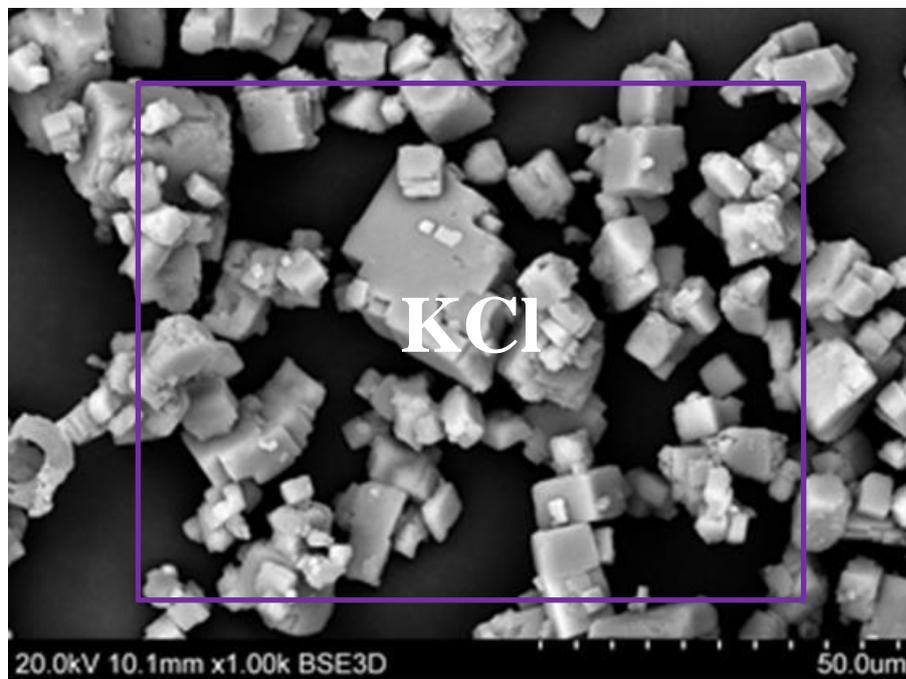


Рисунок Е. 2 – Пример атрибутирования химических веществ ( $\text{KCl}$ ) установленных по результатам микрофотографирования пылевых образцов

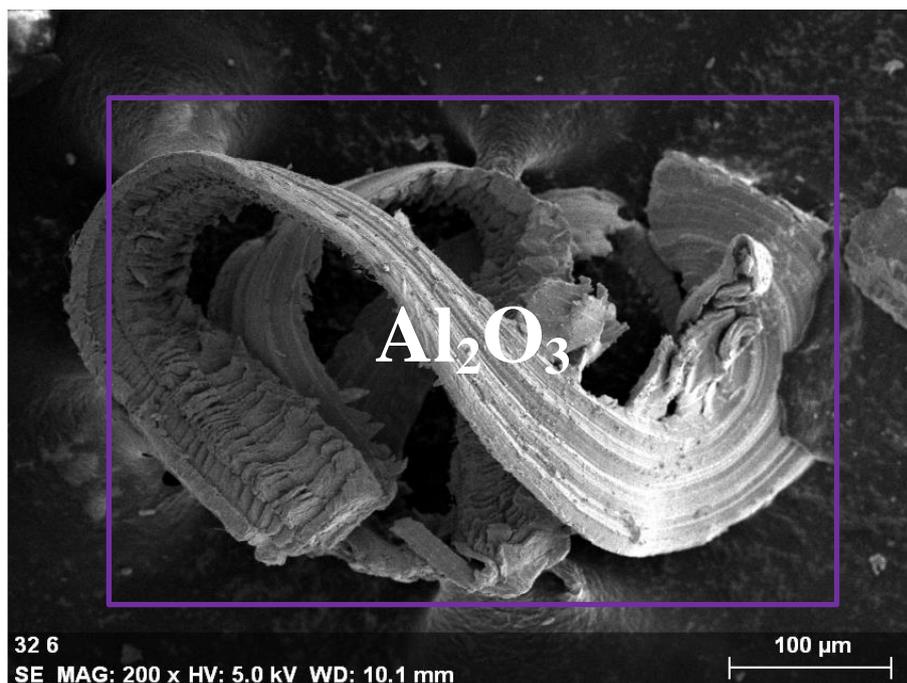


Рисунок Е. 3 – Пример атрибутирования химических веществ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) установленных по результатам микропирования пылевых образцов

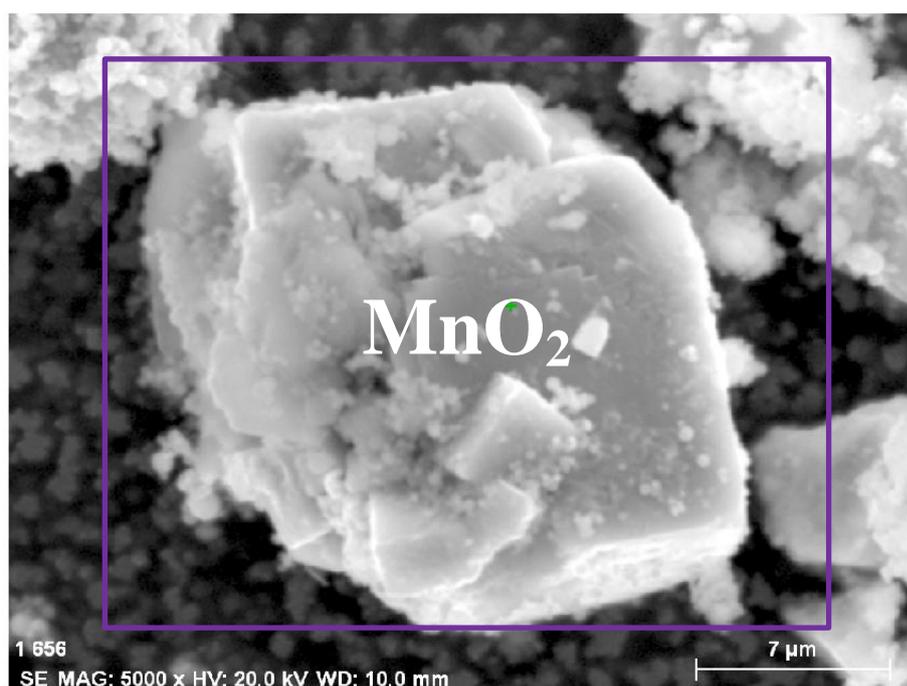


Рисунок Е. 4 – Пример атрибутирования химических веществ ( $\text{MnO}_2$ ) установленных по результатам микропирования пылевых образцов

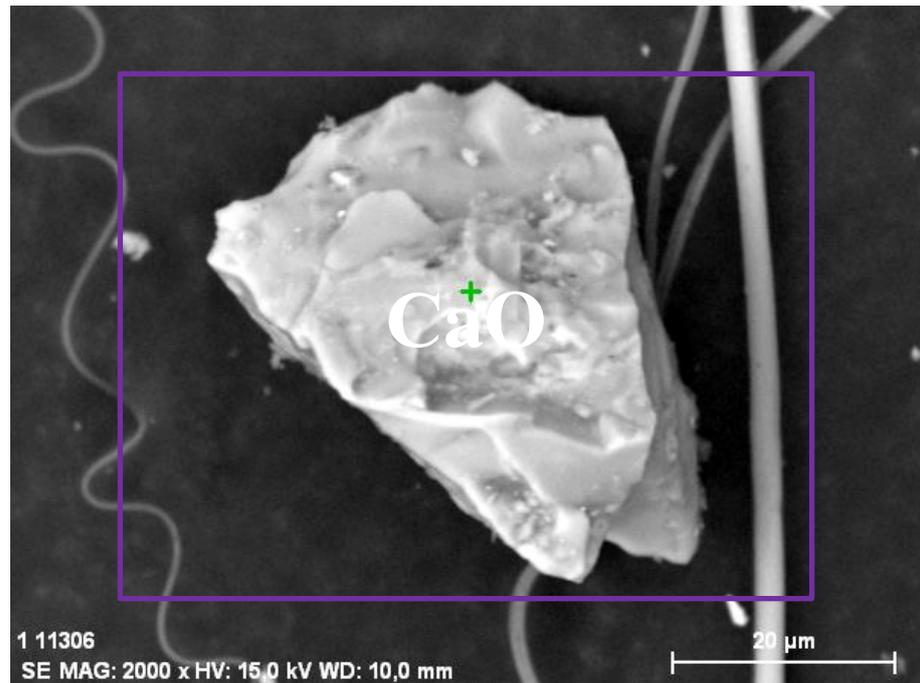


Рисунок Е. 5 – Пример атрибутирования химических веществ (CaO) установленных по результатам микрофотоирования пылевых образцов

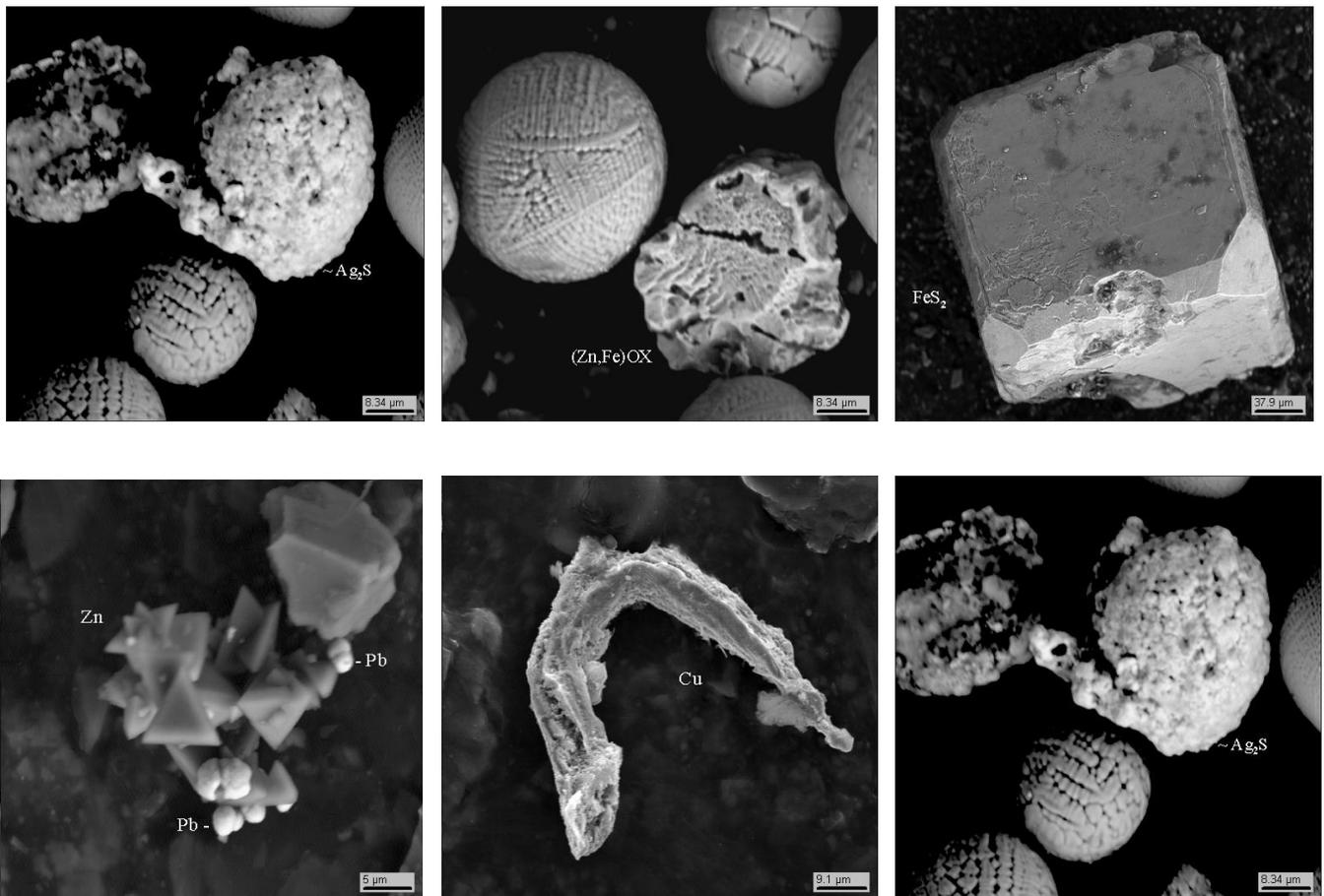


Рисунок Е. 6 – Примеры атрибутирования химических веществ, установленных по результатам микрофотоирования пылевых образцов

## Приложение Ж

**Результаты расчетов среднегодовых концентраций в точках расположения  
жилых зданий и строений г. Красноярск**

Таблица Ж 1 – Расчетные концентрации в точках жилых строений г. Красноярск

Код	Наименование вещества	Гигиенические нормативы, мг/м <sup>3</sup>			Уровень среднегодовых концентраций, мг/м <sup>3</sup>		
		ПДК <sub>мр</sub> / ОБУВ	ПДК <sub>сс</sub>	ПДК <sub>сг</sub>	Максимум	Среднее	Минимум
1	2	3	4	5	6	7	8
101	диАлюминий триоксид (в пересчете на алюминий)		0.01	0.005	0.000119	2.106E-05	7.285E-06
110	диВанадий пентоксид Ванадия пятиокись (пыль)		0.002	0.00007	1.287E-06	1.008E-07	1.153E-08
113	Вольфрам триоксид (Ангидрид вольфрамовый)		0.15		2.156E-09	7.791E-11	9.686E-12
118	Титан диоксид	0.5			4.973E-06	8.849E-08	7.118E-09
121	Железо сульфат (в пересчете на железо)		0.007		7.448E-10	2.46E-11	2.505E-12
122	Железо трихлорид (Железа хлорид) (в пересчете на железо)		0.004		9.367E-11	3.062E-12	3.136E-13
123	диЖелезо триоксид (Железа оксид) (в пересчете на железо)		0.04		0.0028044	0.0001026	8.44E-06
125	диКалий карбонат (Калия карбонат, Поташ)	0.1	0.05		0.0005512	2.68E-05	2.115E-06
126	Калий хлорид	0.3	0.1		1.185E-05	3.599E-07	3.668E-08
128	Кальций оксид (Негашеная известь)	0.3			0.0001775	1.933E-05	1.861E-06
132	Кадмий сульфат (в пересчете на кадмий)		0.0003		4.629E-11	1.521E-12	1.5E-13
136	Литий хлорид	0.02			5.01E-08	4.785E-10	2.166E-11
138	Магний оксид	0.4	0.05		5.203E-06	9.019E-08	6.204E-09
140	Медь сульфат (Медь сернокислая) (в пересчете на медь)	0.003	0.001		4.003E-07	1.14E-08	6.764E-10
143	Марганец и его соединения (в пересчете на марганца (IV) оксид)	0.01	0.001	0.00005	0.0005534	7.811E-06	1.096E-06
145	Медь сульфит (1:1) (Медь сернистая) (в пересчете на медь)	0.003	0.001		6.316E-09	2.152E-10	2.348E-11
146	Медь оксид (Меди оксид) (в пересчете на медь)		0.002	0.00002	5.99E-06	2.4E-07	2.458E-08
150	Натр едкий	0.01			7.62E-05	9.43E-06	1.394E-06
151	Оловянноокислый натрий гидрат		0.02		2.12E-09	7.936E-11	9.258E-12
152	Натрий хлорид (Поваренная соль)	0.5	0.15		1.368E-05	1.112E-06	1.15E-07
154	Натрий гипохлорит	0.1			0.0004015	1.952E-05	1.542E-06

## Продолжение Таблицы Ж 1

1	2	3	4	5	6	7	8
155	диНатрий карбонат (Натрия карбонат, Сода кальцинированная)	0.15	0.05		2.875E-05	2.761E-06	3.423E-07
156	Натрий нитрит	0.005	0		1.57E-07	7.35E-09	8.124E-10
158	диНатрий сульфат (Натрия сульфат)	0.3	0.1		9.273E-09	6.662E-10	7.659E-11
160	Натрий, сульфит-сульфатные соли	0.3	0.1		3.85E-08	1.259E-09	1.289E-10
161	пентаНатрий трифосфат (Натрий триполифосфат)	0.3	0.1		8.333E-06	4.641E-07	2.274E-08
164	Никель оксид (в пересчете на никель)		0.001		0.0008084	5.758E-06	2.659E-07
165	Никель растворимые соли (в пересчете на никель)	0.002	0.0002		3.665E-09	3.636E-10	1.509E-11
166	Никель сульфат (в пересчете на никель)	0.002	0.001		2.525E-08	1.848E-09	1.507E-10
168	Олово оксид (в пересчете на олово)		0.02		1.477E-07	7.289E-09	4.673E-10
170	Олово сульфат (в пересчете на олово)		0.02		1.246E-08	1.391E-09	1.331E-10
172	Алюминий, растворимые соли	0.01			5.802E-09	1.19E-10	1.245E-11
184	Свинец и его неорганические соединения (в пересчете на свинец)	0.001	0.0003	0.00015	5.824E-07	3.385E-08	2.135E-09
190	диСурьма триоксид (Сурьмы трехокись) (в пересчете на сурьму)		0.02	0.0002	1.439E-10	2.904E-12	2.194E-13
195	Желтая кровяная соль		0.04		2.351E-08	7.663E-10	7.861E-11
203	Хром (Хром шестивалентный) (в пересчете на хрома (VI) оксид)		0.0015	0.000008	4.9E-06	4.156E-07	3.09E-08
205	Цинк сульфат (в пересчете на цинк)		0.008		5.076E-11	1.7E-12	1.766E-13
206	Цинк динитрат (в пересчете на цинк) (Цинка нитрат)		0.003		1.157E-07	4.027E-09	4.2E-10
207	Цинк оксид (в пересчете на цинк)		0.05	0.035	4.168E-06	1.019E-07	1.009E-08
214	Кальций дигидрооксид (Гашеная известь, Пушонка)	0.03	0.01		1.512E-08	4.973E-10	4.868E-11
228	Хрома трехвалентные соединения (в пересчете на Cr <sup>3+</sup> )	0.01	0		5.428E-06	1.19E-07	3.6E-09
231	Бария растворимые соли	0.015	0.004	0.0005	2.635E-05	5.94E-07	5.852E-08
251	Сегнетова соль	0.3			1.982E-08	2.125E-09	1.933E-10
263	диЛитий карбонат (Лития карбонат) (в пересчете на литий)	0.005			1.091E-06	2.331E-08	2.254E-09

## Продолжение Таблицы Ж 1

1	2	3	4	5	6	7	8
289	Цинка монофосфат	0.005			1.036E-07	3.62E-09	3.88E-10
323	Кремния диоксид аморфный (Аэросил-175)	0.02			4.009E-06	5.977E-07	2E-07
328	Углерод (Сажа)	0.15	0.05	0.025	0.0122596	0.0018611	0.000387
331	Сера элементарная	0.07			2.366E-07	1.752E-08	1.621E-09
339	Фосфор белый	0.0005			1.229E-07	2.16E-09	2.537E-10
343	Фториды хорошо растворимые	0.03	0.01		4.268E-07	2.209E-08	2.293E-09
344	Фториды плохо растворимые	0.2	0.03		0.0015393	0.0002941	0.0001082
372	Аммоний хлорид (Нашатырь)	0.2	0.1		2.498E-05	4.756E-06	1.414E-06
406	Полиэтен (Полиэтилен)	0.1			6.988E-08	6.848E-09	1.852E-09
633	Поликарбонат	0.2			1.138E-05	1.908E-07	1.467E-08
703	Бенз/а/пирен (3,4-Бензпирен)		0.000001	0.000001	4.467E-06	8.589E-07	3.132E-07
725	Возгоны каменноугольного пека	0.1			1.485E-05	2.601E-06	8.842E-07
1580	2-Гидрокси-1,2,3-пропантрикарбоновая кислота (Лимонная кислота)	0.1			8.175E-08	4.191E-09	2.838E-10
1591	Этандиовая кислота (Кислота щавелевая)	0.015			6.24E-07	4.079E-08	2.328E-09
1592	гамма-Ноналактон	0.01			5.802E-09	1.984E-10	2.117E-11
1724	Тиокарбамид (Тиомочевина)	0.01			2.928E-08	1.153E-09	7.036E-11
2510	Ампициллина натриевая соль	0.005			3.893E-08	5.158E-10	7.434E-11
2543	Канамицина сульфат	0.001			2.377E-08	7.319E-10	1.076E-10
2603	Микроорганизмы	0.000004			2.525E-09	5.482E-11	4.137E-12
2726	Канифоль талловая	0.5			1.903E-06	4.77E-08	2.684E-09
2744	СМС Бриз, Вихрь, Лотос, Юка, Эра	0.03			4.506E-06	5.095E-08	3.119E-09
2881	Синтетические моющие средства "Ариэль", "Миф-Универсал", "Тайд"	0.15	0.05		1.331E-05	9.799E-08	4.019E-09
2902	Взвешенные вещества	0.5	0.15	0.075	0.0116606	0.0025164	0.0001801
2904	Мазутная зола теплостанций (в пересчете на ванадий)		0.002		4.601E-06	7.32E-07	1.403E-07
2907	Пыль неорганическая >70% SiO <sub>2</sub>	0.15	0.05		0.0005713	1.99E-05	1.278E-06
2908	Пыль неорганическая: 70-20% SiO <sub>2</sub>	0.3	0.1		0.0220732	0.0065639	0.0012908
2909	Пыль неорганическая: до 20% SiO <sub>2</sub>	0.5	0.15		0.0069014	0.0008076	0.0001875
2915	Пыль стекловолокна	0.06			2.523E-06	3.609E-08	4.354E-09
2916	Пыль стеклопластика	0.06			1.251E-05	1.629E-07	5.702E-09

## Продолжение Таблицы Ж 1

1	2	3	4	5	6	7	8
2917	Пыль хлопковая	0.2	0.05		2.249E-05	2.489E-07	1.726E-08
2919	Пыль капрона	0.05			9.804E-06	7.816E-08	1.153E-08
2920	Пыль меховая (шерстяная, пуховая)	0.03			1.196E-05	1.628E-07	1.517E-08
2921	Пыль поливинилхлорида	0.1			8.702E-06	4.898E-08	6.78E-09
2922	Пыль полипропилена	0.1			0.0001022	1.642E-07	4.01E-09
2926	Угольная зола т/электростанций	0.05	0.02		4.691E-07	2.422E-09	1.659E-10
2930	Пыль абразивная (Корунд белый, Монокорунд)	0.04			0.0002638	1.026E-05	8.064E-07
2931	Пыль асбестосодержащая		0.006		0.0002603	4.001E-07	1.143E-07
2934	Пыль аминопластов	0.04			5.529E-06	4.543E-08	1.219E-09
2936	Пыль древесная	0.5			0.0009525	6.272E-05	6.685E-06
2937	Пыль зерновая (по массе) (по грибам хранения)	0.5	0.15		0.0003419	4.323E-06	1.281E-06
2952	Пыль текстолита	0.04			4.696E-06	1.465E-07	8.455E-09
2953	Пыль фенопластов резольного типа (Э2-330-02, У2-301-07)	0.05			6.664E-07	1.734E-08	9.198E-10
2962	Пыль бумаги	0.1			5.216E-05	1.486E-06	2.56E-07
2965	Пыль гетинаксов Г-2, Г-4 (ГОСТ 3441-81)	0.03			1.486E-06	2.013E-08	8.17E-10
2968	Пыль мыльного порошка (ТУ 1816-180-84)	0.1			7.988E-14	1.885E-15	1.871E-16
2970	Пыль полиэфирной ненасыщенной смолы ПН-12	0.02			2.516E-06	3.176E-07	1.025E-07
2973	Пыль сахара, сахарной пудры (сахарозы)	0.1			3.381E-05	6.983E-07	9.294E-08
2975	Пыль синтетического моющего средства марки "Лотос-М"	0.01			1.365E-11	3.243E-13	4.288E-14
2976	Пыль слюды ТУ-43-4-171-75	0.04			1.503E-05	2.034E-07	6.235E-09
2977	Пыль талька	0.5			9.96E-06	1.214E-07	1.412E-08
2978	Пыль резинового вулканизата	0.1			3.506E-05	7.589E-07	5.891E-08
2989	Пыль полиамида	0.5			4.525E-07	6.669E-09	7.329E-10
2990	Пыль полистирола	0.35			1.402E-05	2.766E-07	1.614E-08
2993	УВМ на основе гидратцеллюлозы	0.05			1.866E-07	5.479E-09	2.95E-10
2999	АБС-пластики 0809, 1106-30	0.1			3.034E-05	1.033E-06	5.648E-08
3103	тетраНатрий дифосфат (Натрия дифосфат, Натрия пирофосфат)	0.1			1.72E-08	1.546E-09	1.144E-10
3112	Железо глицерофосфат	0.04			9.703E-10	1.559E-10	5.288E-11
3119	Кальций карбонат	0.5	0.15		1.033E-06	4.343E-08	2.182E-08
3129	Натрий силикат (Натрий кремнекислый)	0.3			7.526E-07	7.187E-09	3.254E-10

## Окончание Таблицы Ж 1

1	2	3	4	5	6	7	8
3132	триНатрий фосфат (Натрия о-фосфат)	0.1			4.567E-06	5.639E-07	1.489E-07
3147	Калий нитрат	0.05			1.026E-07	2.538E-09	2.287E-10
3153	Натрий гидрокарбонат	0.1			2.035E-05	2.379E-07	5.938E-09
3155	Натрия нитрат	0.05			2.257E-06	1.053E-07	4.726E-09
3164	Магний сульфат гептагидрат (Магния сульфат семиводный)	0.04			4.242E-09	3.466E-10	3.965E-11
3181	Цефалозин	0.01			4.196E-07	1.351E-08	2.008E-09
3721	Пыль мучная	1	0.4		0.0001234	9.912E-07	9.435E-08
3748	Смолистые вещества (возгоны пека) в составе электролизной пыли в	0.1	0.03	0.01	0.0009334	0.0001661	6.348E-05