

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи



**Данилов Александр Сергеевич**

**РАЗРАБОТКА ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ И  
ПРОГНОЗА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА  
ТЕРРИТОРИЯХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ АГЛОМЕРАЦИЙ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология  
(в горно-перерабатывающей промышленности)

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
профессор **М.А. Пашкевич**

Санкт-Петербург – 2019

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ .....	13
1.1 Современное состояние системы экологического мониторинга в Российской Федерации.....	13
1.2 Общие сведения о дистанционных методах экологического мониторинга .....	18
1.2.1 Анализ систем аэрокосмических средств экологического мониторинга.....	20
1.2.2 Современное состояние вопроса в обеспечении лидарного зондирования атмосферы .....	25
1.2.3 Анализ применения авиационных средств при проведении мониторинга качества атмосферного воздуха.....	26
1.3 Анализ развития беспилотных авиационных систем при проведении экологического мониторинга.....	38
1.3.1 Классификация беспилотных авиационных систем.....	39
1.3.2 Оценка опыта применения беспилотных авиационных систем в природопользовании .....	42
1.4 Ранжирование методов дистанционного экологического мониторинга	49
Выводы к первой главе.....	55
ГЛАВА 2 МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ БУРОУГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ НА КОМПОНЕНТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ.....	56
2.1 Краткая оценка развития экологической ситуации при добыче бурого угля на примере разреза «Коркинский» .....	56
2.1.1 Климатические условия района расположения угольного разреза «Коркинский» .....	63
2.1.2 Характеристика системы водоотведения.....	66

2.2. Характеристика угольного разреза «Коркинский» как источника нарушений и загрязнений окружающей природной среды.....	69
2.2.1 Оценка негативного воздействия угольного разреза «Коркинский» на литосферу.....	69
2.2.2 Оценка негативного воздействия угольного разреза «Коркинский» на гидросферу.....	70
2.2.3 Оценка негативного воздействия угольного разреза «Коркинский» на атмосферу.....	71
2.3 Мониторинг качества атмосферного воздуха в исследуемом районе ...	76
Выводы ко второй главе.....	91
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА ТЕРРИТОРИЯХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ АГЛОМЕРАЦИЙ.....	92
3.1 Обоснование параметров средств измерений беспилотных авиационных систем, применяемых для оценки качества атмосферного воздуха.....	92
3.2 Оценка требуемой частоты облетов объектов горнопромышленных агломераций БВС в процессе мониторинговых исследований.....	99
3.3 Разработка стандартных маршрутных полетных заданий для мониторинга загрязнения атмосферы в зоне воздействия источников загрязнения различных типов.....	102
3.4 Математическое моделирование процесса распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.....	107
3.4.1 Моделирование процесса формирования атмохимических ореолов загрязнения в приземном слое атмосферы горнопромышленных агломераций.....	107
3.4.2 Оценка неопределенности в методике дистанционного экологического мониторинга.....	119
3.5 Апробация разработанной методики на территории горнопромышленной агломерации.....	125

Выводы к третьей главе.....	132
ГЛАВА 4 РИСК-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА РАБОТЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ОТКРЫТОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ.....	133
4.1 Анализ структуры формирования экологических рисков на горнодобывающих предприятиях.....	133
4.2 Оценка эколого-экономического ущерба в результате реализации риска возникновения эндогенных пожаров в угольном разрезе.....	139
4.2.1 Определение скорости распространения эндогенных пожаров в угольных разрезах на основе данных космического мониторинга.....	139
4.2.2 Оценка экологического ущерба, наносимого атмосферному воздуху в результате горения эндогенных пожаров.....	141
4.2.3 Предотвращенный ущерб здоровью населения Коркинского муниципального района.....	142
Выводы к четвертой главе.....	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	148
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	150
Приложение А.....	166
Приложение Б.....	167
Приложение В.....	168
Приложение Г.....	175
Приложение Д.....	177
Приложение Е.....	179
Приложение Ж.....	182
Приложение З.....	184

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Интенсивное развитие промышленности неразрывно связано с увеличением объемов добычи топливно-энергетического сырья с эквивалентным ростом мощностей генерирующих энергию предприятий ТЭК, оказывающих негативное техногенное воздействие на компоненты окружающей природной среды. На долю предприятий ТЭК приходится до 48% выбросов вредных веществ в атмосферу и до 23% сбросов сточных вод в поверхностные водные объекты, до 22% образования вредных отходов и до 70% общего объема парниковых газов. При этом на долю предприятий по добыче, обогащению и утилизации угля приходится около 4% всех выбросов от промышленных источников. Согласно сведениям Минэнерго России и данным, представленным в Государственном докладе о состоянии окружающей среды, Россия занимает шестое место в мире по добычи угля (около 4,5% мирового производства), при этом динамика добычи в последние годы имеет четкие тенденции к росту, что с учетом снижения степени метаморфизма добываемых углей, приводит к увеличению эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Так, например, на долю угольной промышленности Челябинской области приходится 33 – 39 % валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. До настоящего времени крупнейшим предприятием по добыче угля в Южно-Уральской горнопромышленной агломерации являлся Коркинский угольный разрез – самый глубокий в Европе и второй в мире.

Динамика загрязнений за 2013 – 2018 гг. показывает рост валовых выбросов в атмосферный воздух г. Челябинск со 140,9 до 157,6 тыс т./год; в том числе рост выбросов в городе-спутнике Коркино (муниципалитет в составе агломерации Большой Челябинск) с 9,7 до 11,4 тыс. т/год. Среди приоритетных загрязняющих веществ, наибольшие превышения зафиксированы по пыли, оксидам углерода, азота, серы, углеводородам.

Несмотря на колоссальный уровень техногенной нагрузки, оказываемый на атмосферный воздух рассматриваемого региона, на данной территории расположено лишь 8 постов экологического мониторинга, расположенных в г. Челябинск, что недостаточно для получения объективной картины сложившейся ситуации.

В этой связи особое значение приобретает развитие систем оперативного производственного мониторинга и эффективного обеспечения экологической безопасности на территориях горнопромышленных агломераций.

Результаты исследований по расширению использования беспилотных воздушных судов в гражданских целях отражены в трудах отечественных и зарубежных ученых. Так, работы Алексеенко Н.А., Медведева А.А. и Карпенко И.А. посвящены применению дистанционно управляемой авиации в целях биогеографических исследований на особо охраняемых природных территориях. Значительные объемы исследований посвящены применению беспилотных воздушных судов в аэрофотосъемке местности. Данной проблеме посвящены труды таких ученых, как Петров В.М., Зинченко О.Н., Рег О., Ретер М., Софиев М., Вильсон Дж. В современной практике существуют примеры использования беспилотных воздушных судов для мониторинга городской среды. Основной вклад в развитие данного направления внесли Вырелкин А.Д., Кучерявый А.Е., Жи С., Вей Ю., Йу Ц. Выбору и обоснованию формы и технологических параметров беспилотных воздушных судов, применяемых в целях экологического мониторинга посвящены работы Крамфа К., Зиимана М., Вульфа Б., Юнкермана В., Кунтсмана Х., Альварадо М., Гонзалеса Ф., Клиффа Д.

Исследованиям в области физического и математического моделирования распространения аэрозольных частиц в атмосферном воздухе и экспериментального изучения их свойств и закономерностей миграции посвящены работы многих ученых, таких как Алоян А.Е., Баренблатт Г.И.,

Берлянд М.Е., Х. ванн Доп, Иоффе А.О., Левич В.Г., Ньистадт Ф., Пандис С., Райст П., Селезнева Е.С., Фукс Н.А., Шейнфилд Д.

В трудах Беликова А.Б., Леготина Д.Л., Сухова А.К. отражены вопросы методики моделирования распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, показаны аспекты применения модели SILAM Финского метеорологического института. Машихина П.Б., Беляев Н.Н., Гунько Е.Ю. в своих трудах приводят опыт двумерного моделирования распространения примесей в атмосферном воздухе с учетом рельефа местности (или застройки селитебных территорий).

Значительный вклад в развитие процессов моделирования характеристик загрязнения атмосферного воздуха внесли такие ученые, как Генихович Е.Л., Ионин В.А., Оникул Р.И., Шпенглер Дж., Вильсон Р.

Тем не менее, несмотря на актуальность данной проблемы, на сегодняшний день не существует методов оперативной оценки и прогнозирования состояния атмосферного воздуха и распространения аэрозолей на территориях горнопромышленных агломераций с высокой степенью техногенной нарушенности.

В связи с этим **целью работы** является обеспечение экологической безопасности на территориях горнопромышленных агломераций, основанное на повышении степени достоверности результатов измерений и оперативности мобильных систем экологического мониторинга.

**Идея работы:** оценка и прогноз состояния атмосферного воздуха в зоне воздействия производственных объектов горно-перерабатывающих предприятий следует осуществлять путем внедрения в систему экологического мониторинга дистанционных методов с применением беспилотных воздушных судов.

#### **Основные задачи исследований:**

1. анализ и ранжирование методов и средств дистанционного экологического мониторинга в районах горнопромышленных агломераций (со сложными геоморфологическими условиями);

2. оценка уровней воздействия объектов горнопромышленных агломераций на состояние атмосферного воздуха;

3. разработка прогнозных моделей состояния атмосферного воздуха на основе метода конечно-элементного анализа с включением статистических данных дистанционного экологического мониторинга;

4. оценка экологического риска последствия загрязнения атмосферного воздуха на территориях горнопромышленных агломераций с использованием данных дистанционного мониторинга.

#### **Научная новизна работы:**

- установлены закономерности формирования техногенных атмохимических ореолов, отражающие высотное распределение концентраций загрязняющих веществ, в зависимости от метеорологических параметров, уровня техногенной нагрузки, типа и миграционной способности загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух при развитии эндогенных пожаров;

- теоретически обоснована стратегия управления экологической безопасностью территорий горнопромышленных агломераций базирующаяся на данных дистанционного производственного экологического мониторинга с моделированием экологической обстановки методом конечно-элементного анализа.

#### **Основные защищаемые положения:**

1. Эндогенные пожары на Коркинском угольном разрезе являются основным фактором формирования техногенных атмохимических ореолов в воздухе населенных мест Коркинского муниципального района с площадью проективного покрытия  $150 \text{ км}^2$ , сопровождающиеся образованием высококонтрастной пылегазовоздушной смеси, в состав которой входят CO ( $35,0 \text{ К}_{\text{ПДК а.в}}$ ),  $\text{SO}_x$  ( $12,9 \text{ К}_{\text{ПДК а.в}}$ ),  $\text{NO}_x$  ( $8,1 \text{ К}_{\text{ПДК а.в}}$ ), аэрозоль ( $4,5 \text{ К}_{\text{ПДК а.в}}$ ).

2. Кинетика формирования атмохимических техногенных ореолов, обусловленная развитием эндогенного пожара в бурогольном месторождении, адекватно описывается пространственной математической



моделью распространения загрязняющих веществ, построенной по данным дистанционного экологического мониторинга, учитывающей влияние вариативных факторов внешней среды, уровня природной и техногенной защищенности производственного объекта горнопромышленной агломерации.

3. Управление экологической безопасностью производственных объектов горнопромышленных агломераций в краткосрочном и среднесрочном прогнозе, должно базироваться на использовании текущей статистической информации о загрязнении атмосферного воздуха, обеспеченной дистанционной системой аналитического контроля, что позволит снизить эколого-экономические риски.

#### **Методы исследований:**

В качестве основных методов исследований предлагается применить:

- анализ источников и факторов техногенного воздействия Коркинского угольного разреза на атмосферный воздух;
- аналитические и экспериментальные работы в полевых и лабораторных условиях, с применением высокотехнологичного оборудования Научно-образовательного Центра коллективного пользования Горного университета, в том числе с применением средств и методов дистанционного экологического мониторинга;
- методы математического моделирования распространения техногенных атмохимических ореолов загрязнения и картографического моделирования территорий, подвергающихся техногенной нагрузке;

#### **Практическая значимость работы:**

- разработана методика дистанционного мониторинга качества атмосферного воздуха на территориях горнопромышленных агломераций;
- выполнена оценка состояния атмосферного воздуха в зоне воздействия Коркинского угольного разреза АО «РМК»;

- рассчитан технический риск развития эндогенных пожаров, выполнена оценка эколого-экономического ущерба, наносимого атмосферному воздуху как объекту охраны окружающей среды и ущерба здоровью населения в результате загрязнения атмосферного воздуха;
- предложена стратегия управления экологической безопасностью Коркинского угольного разреза в период его ликвидации.

**Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций** обусловлена выполнением комплексного экологического мониторинга качества атмосферного воздуха рассматриваемого района, с применением высокотехнологичного оборудования, современных математических методов и компьютерных технологий обработки информации. Результаты экспериментальных исследований показывают воспроизводимость и удовлетворительную сходимость выявленных закономерностей процессов загрязнения окружающей среды с теоретическими данными и исследованиями.

**Апробация работы.** Основные и отдельные положения работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных и научно-технических конференциях и симпозиумах, в том числе: на Санкт-Петербургском экологическом молодежном форуме (г. Санкт-Петербург, 2015 г.), на Международном симпозиуме им. Академика М.А. Усова студентов и молодых ученых (г. Томск, 2016 г.; 2017 г.), на Международном форуме-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2014 г.; 2015 г.; 2017 г.), на Всероссийской молодежной научно-практической школе-конференции «Науки о Земле. Современное состояние» (г. Новосибирск, 2017 г.), на Международных научных чтениях им. И.И. Сикорского (г. Санкт-Петербург, 2017 г.; 2018 г.), на Научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых «Неделя науки СПбГТИ (ТУ)» (г. Санкт-Петербург, 2015 г.), на Международном конкурсе докладов молодых ученых Института материалов, минералов и горного дела ИОМЗ «Young Persons' Lecture Competition by the Institute of

Materials, Minerals and Mining» (г. Санкт-Петербург, 2017 г.), на Конкурсе идей научно-исследовательских работ молодых ученых «Дальние горизонты науки» (г. Санкт-Петербург, 2017 г.), на Российско-Британском сырьевом диалоге (г. Лондон, 2018 г.), на Международном молодежном экологическом конгрессе «Северная пальмира» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.), на Международном молодежном научно-практическом форуме «Нефтяная столица» (г. Ханты-Мансийск, 2019 г.).

**Личный вклад автора** заключается в: постановке цели, формулировке задач и разработке методик исследований; проведении комплексного экологического мониторинга атмосферного воздуха в зоне воздействия исследуемого объекта; проведении аналитических работ по моделированию процессов формирования и миграции атмохимических ореолов загрязнения; разработке метода дистанционного экологического мониторинга территорий горнопромышленных агломераций; оценке эколого-экономических рисков при ликвидации Коркинского угольного разреза.

**Реализация работы:**

- разработанный метод дистанционного экологического мониторинга качества атмосферного воздуха может быть использован при проектировании мероприятий производственного экологического мониторинга предприятий горно-перерабатывающей промышленности (АО «РМК»);

- результаты работы могут быть использованы в учебном процессе Санкт-Петербургского горного университета при проведении лабораторных занятий по дисциплинам «Методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг» и «Дистанционные и ГИС-технологии в геоэкологических исследованиях».

**Публикации.**

По теме работы опубликовано 23 печатных труда, в том числе 6 статей в журналах, входящих в перечень ВАК Министерства науки и высшего образования России, 7 индексируемых Web of Science и/или Scopus, 1 патент

на полезную модель, 2 свидетельства о регистрации права на программу для ЭВМ.

### **Объем и структура работы.**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, восьми приложений, заключения и списка литературы. Содержит 187 страницы машинописного текста, 26 рисунков, 27 таблиц, 70 формул и список литературы из 143 наименований.

### **Благодарности.**

Автор выражает глубокую признательность профессору, д.т.н. М.А. Пашкевич за научное руководство работой. За всестороннюю помощь в организации работы автор благодарит доцента кафедры геоэкологии Санкт-Петербургского горного университета, к.т.н. Петрову Т.А. За помощь в проведении полевых исследований автор благодарен заведующему кафедрой метрологии и управления качеством Санкт-Петербургского горного университета, д.т.н. Э.А. Кремчееву и исполнительному директору Центра коллективного пользования, к.т.н. В.А. Матвеевой. Искреннюю благодарность автор выражает сотрудникам кафедры геоэкологии Санкт-Петербургского горного университета.

### **Предполагаемое внедрение.**

Результаты диссертационного исследования применяются при проведении производственного экологического контроля в рамках горно-экологического мониторинга при осуществлении работ по ликвидации Коркинского угольного разреза, что подтверждено актом внедрения (Приложение А). Предлагаемые решения также могут быть использованы на особо опасных и технически сложных объектах горно-перерабатывающей промышленности, деятельность которых связана с функционированием производственных объектов, требующих проведения оценки экологического состояния атмосферного воздуха в сложных геоморфологических условиях.

# **ГЛАВА 1 ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

## **1.1 Современное состояние системы экологического мониторинга в Российской Федерации**

По данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» [1] современная экологическая ситуация на территории Российской Федерации в целом характеризуется как напряженная. Существующий уровень экологической опасности в основном обусловлен чрезвычайно высокой техногенной нагрузкой в районах активной добычи и переработки минерального сырья [2-4]. Потенциально экологически опасные объекты составляют значительный удельный вес в структуре промышленности государства.

В соответствии с мировой практикой предполагается развитие уже существующих и внедрения новых механизмов регулирования экологической безопасности. К таким механизмам относится идентификация опасных видов деятельности как основного критерия при оценке состояния экологической безопасности; лицензирование опасных видов деятельности; страхование экологических рисков; осуществление экологического аудита как одного из возможных инструментов оценки уровня опасности; применение понятия риска как интегрального показателя возможных экологических угроз.

Как показывает практика, для правильной организации управления качеством окружающей природной среды необходимым условием является формирование полноценной системы экологического мониторинга [5, 6]. В настоящий момент система мониторинга окружающей среды рассматривается как совокупность подсистем наблюдений, сбора, передачи и обработки, хранения и анализа информации о состоянии качества компонентов окружающей природной среды, прогнозирования изменений данного состояния и разработки эколого-экономически обоснованных

рекомендаций для принятия управленческих решений о предотвращении и минимизации негативного техногенного воздействия на компоненты окружающей природной среды и соблюдения требований экологической безопасности. Системы мониторинга позволяют выявлять критические ситуации, выделять критические факторы воздействия и наиболее чувствительные к воздействию элементы биосферы.

Формированию научных основ современного мониторинга состояния окружающей среды были посвящены работы академика И.П. Герасимова [7,8] и профессора Ю.А. Израэля [9,10], в которых разработаны основные принципы формирования системы экологического мониторинга, а также частично отражены международные аспекты глобальной системы мониторинга.

Мониторинг окружающей среды в современном понимании можно рассматривать как аналитически-информационную систему, которая охватывает следующие основные направления [11]:

1. наблюдение за состоянием окружающей среды, в том числе факториальная оценка с выявлением влияния на отдельные компоненты окружающей природной среды;
2. определение реального состояния качества компонентов окружающей природной среды;
3. долгосрочное прогнозирование изменения состояния качества отдельных компонентов окружающей природной среды;
4. обеспечение научно-информационной поддержки при принятии управленческих решений.

В процессе организации экологического мониторинга существует необходимость решения ряда разноуровневых задач, в связи с этим, И.П. Герасимовым было предложено выделить три типа (ступени) экологического мониторинга: биосферный, геосистемный и биоэкологический [7]. Однако, предложенный подход на практике не

позволяет достаточно конкретно разделить функции подсистем экологического мониторинга.

На сегодняшний день в научном сообществе наиболее распространена следующая классификация видов экологического мониторинга:

1. Пространственное разделение: выделяют детальный мониторинг, (реализуется в пределах небольших территорий), локальный мониторинг (мониторинг в пределах района), региональный мониторинг (охватывающий территории региона), национальный мониторинг (система экологического мониторинга в пределах государства), глобальный мониторинг.

С 90-х годов XX в. В Российской Федерации мониторинг природной среды и источников антропогенных воздействий осуществляется службами Госкомгидромета, Санэпиднадзора, Министерства природных ресурсов, Государственного комитета охраны окружающей среды, Минсельхозпрода и других ведомств. Соответствие служб и ведомств объектам мониторинга представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Мониторинг загрязнения окружающей среды Российской Федерации

Организации, ведомства	Объекты мониторинга
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды	Водные объекты суши, морские воды
	Атмосферный воздух населенных пунктов
	Континентальный шельф
Федеральное агентство по недропользованию	Подземные водные объекты
	Экзогенные геологические процессы
Министерство сельского хозяйства РФ	Почвы земель сельскохозяйственного назначения
	Растительная продуктивность
	Снежный покров
Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Государственный комитет санитарно-эпидемиологического надзора)	Питьевая вода централизованных и нецентрализованных источников водоснабжения
	Водные объекты суши, морские воды
	Почва
	Атмосферный воздух населенных пунктов
	Продукты питания
	Электромагнитное излучение

Среди принятых мер по стабилизации экологической обстановки на территории Российской Федерации наибольшее значение придается внедрению в 1993 году Единой государственной системы экологического мониторинга. Главной задачей созданной системы являлось обеспечение федеральных, региональных и муниципальных органов государственной власти, а также природопользователей актуальной информацией о состоянии компонентов окружающей среды во всех регионах страны, информационная поддержка процедур принятия управленческих решений в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности [12].

В настоящее время в России сложилась такая ситуация, что существуют только ведомственно-разрозненные сети наблюдений, что не позволяет адекватно решать задачи стратегического управления территориями с учетом безусловного обеспечения экологической безопасности населения.

2. По объекту слежения различают [13]:

- фоновый (базовый) экологический мониторинг;
- импактный экологический мониторинг;
- тематический экологический мониторинг;
- территориальный экологический мониторинг;
- акваториальный экологический мониторинг.

3. По природным компонентам выделяются следующие виды мониторинга: биологический (в том числе геоботанический и зоологический); геофизический, геологический и почвенный; атмосферный и гидрологический [14].

4. По уровню организации наблюдений следует выделять мониторинг международный, государственный, местный, общественный и ведомственный.

5. Подсистемы экологического мониторинга различаются по объектам наблюдения: геофизический мониторинг; климатический мониторинг; биологический мониторинг; мониторинг здоровья населения.



Подсистемы экологического мониторинга, существующие в Российской Федерации на данный момент, не имеют единого перечня показателей, указаний по районированию территорий, единства в периодичности отслеживая, что делает затруднительным принятие адекватных мер при управлении развитием территорий и оценке их экологического состояния [15]. В связи с этим, принятие управленческих решений должно обеспечивать не только данными частных систем, но и созданными на их основе комплексными системами экологического мониторинга окружающей среды.

Экологическая программа Организации Объединенных наций (ООН) предусматривает возможность объединения национальных систем мониторинга в единую межгосударственную сеть – Глобальную систему мониторинга окружающей среды. Создание подобной системы в полном объеме, действующей под эгидой ООН, является задачей будущего, в связи с тем, что большинство государств-членов на данный момент не имеют национальных систем.

В общем виде процесс экологического мониторинга представляется схемой: компонент окружающей среды (или окружающая природная среда в целом) – оценка различных параметров отдельными подсистемами экологического мониторинга – сбор и передача информации – обработка и анализ результатов, прогнозирование изменений качества компонентов окружающей среды (рис. 1.1).

Системы экологического мониторинга являются механизмом, предназначенным для обслуживания систем управления качеством окружающей среды. Информация о состоянии компонентов окружающей среды, полученная в системе экологического мониторинга, используется системой управления для предотвращения или минимизации негативного техногенного воздействия, а также для устранения ситуаций экологического бедствия (катастроф), в целях анализа неблагоприятных последствий изменения состояния компонентов окружающей природной среды, а также

для долгосрочного прогнозирования социально-экономического развития территорий.



Рисунок 1.1 – Схема экологического мониторинга

## 1.2 Общие сведения о дистанционных методах экологического мониторинга

Начиная с 70-х годов прошлого столетия, как единое междисциплинарное направление исследований в науке и технике стало быстро развиваться дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) [16-18].

Термин «дистанционное зондирование» предложил американский ученый-географ Э. Прюит.

Данный термин (remote sensing, англ.)– в широком смысле, означает изучение объектов на расстоянии, то есть без контакта приемных чувствительных элементов аппаратуры (датчиков, сенсоров) с поверхностью изучаемого объекта.

Обобщение сведений, опубликованных в открытых источниках, позволило следующим образом классифицировать средства дистанционного экологического мониторинга:

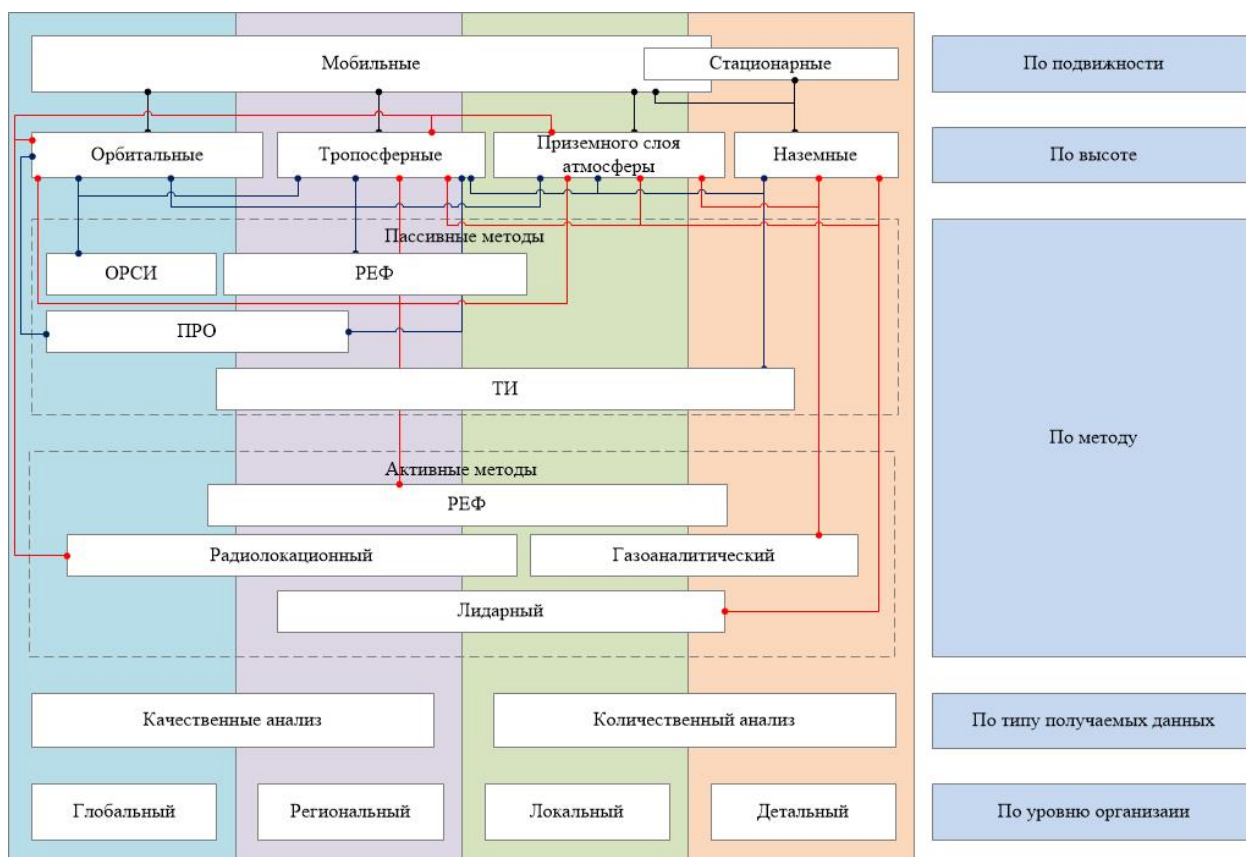


Рисунок 1.2 – Структура дистанционных методов экологического мониторинга (где: ОРСИ – метод отраженного и рассеянного солнечного излучения, РЕФ – метод рефракции, ПРО – метод прозрачности атмосферы, ТИ – метод теплового излучения)

Первым этапом развития дистанционного зондирования явилась аэрофотосъемка и тематическое использование её результатов, в настоящее время результаты дистанционного зондирования используются при решении научно-технических проблем: поиск месторождений полезных ископаемых, изучение и рациональное использование земельных и лесных ресурсов, разработка проектов землеустройства различных рангов, анализ засоления почв. Но все больше роль дистанционного зондирования растет при решении экологических проблем.

Выделяют зондирование пассивное, в случае, если регистрируется естественное отражение или излучение радиационных потоков, и активное при улавливании искусственного облучения рассматриваемой поверхности.

Очевидно, что наземные и дистанционные методы при совместном использовании удачно дополняют друг друга, их совместное использование позволяет получать полную и объективную информацию о состоянии окружающей среды.

Исходя из предложенной классификации средств дистанционного (бесконтактного) мониторинга, учитывая специфику экологических исследований, можно сделать вывод о рациональности применения наземных средств и средств, выполняющих исследования приземного слоя атмосферы, с возможностью установки на них контактных датчиков. Одним из перспективных направлений в данной сфере является применение беспилотных воздушных судов (БВС) различной конструкции.

### **1.2.1 Анализ систем аэрокосмических средств экологического мониторинга**

Первым аппаратом, предназначенным для дистанционного зондирования поверхности Земли из космоса, является «Tiros-1», который был запущен 01.04.1960 в Соединенных Штатах Америки (США). В качестве средств измерения на борту аппарата были установлены телевизионные системы. Вплоть до 1999 г. в США было запущено еще 34 спутниковых аппарата (СА) в метеорологических целях [19-22]. Поколение СА «Tiros-9» было оборудовано инфракрасными сканирующими радиометрами высокого разрешения, позволяющими вести съемку не только в видимом диапазоне, но и в инфракрасном. Необходимая периодичность съемки обеспечивается постоянным одновременным нахождением на орбите не менее двух СА.

Данные, получаемые с использованием метеорологических СА, нашли широкое применение для решения спектра задач рационального природопользования и контроля состояния компонентов окружающей среды на региональном и глобальном уровне:

- выявление и классификация широкомасштабных загрязнений компонентов окружающей природной среды, как в результате природных процессов, так и в результате негативного техногенного воздействия;

- контроль состояния и оценка продуктивности растительных сообществ;

- обнаружение, оценка и прогноз распространения пустынных и засушливых зон;

- контроль динамики снежных и ледовых покровов и прогноз изменения климатических условий.

Разработка аппаратного оформления космической съемки нового поколения, которое обладает более высоким пространственным разрешением (достигает десятков метров) и узким спектральным интервалом (достигает десятков нанометров), позволила создать новые природно-ресурсные орбитальные системы, позволяющие решать задачи экологического мониторинга локального и регионального уровня.

В последние десятилетия наблюдается развитие различных методов зондирования атмосферы, в том числе и ее газового состава [23-28]. На сегодняшний день в целях изучения состава атмосферы наиболее интенсивно используются четыре пассивных спутниковых метода [29, 30] (таблица 1.2):

- метод прозрачности (ПРО), заключающийся в извлечении из спектров поглощения солнечного излучения при восходах и заходах Солнца за горизонт планеты (возможно использование также Луны и звезд) информация о содержании газовой смеси в атмосферном воздухе;

- метод теплового излучения (ТИ), заключающийся в измерении спектральной или угловой зависимости собственного излучения атмосферы;

- метод отраженного и рассеянного солнечного излучения (ОРСИ), заключающийся в извлечении из измерений уходящего излучения в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной областях спектра информации о содержании газовой смеси в атмосферном воздухе;

- метод рефракции (РЕФ), заключающийся в извлечении из различного рода измерений искривления лучей света в атмосфере информации о содержании газовой смеси в атмосферном воздухе.

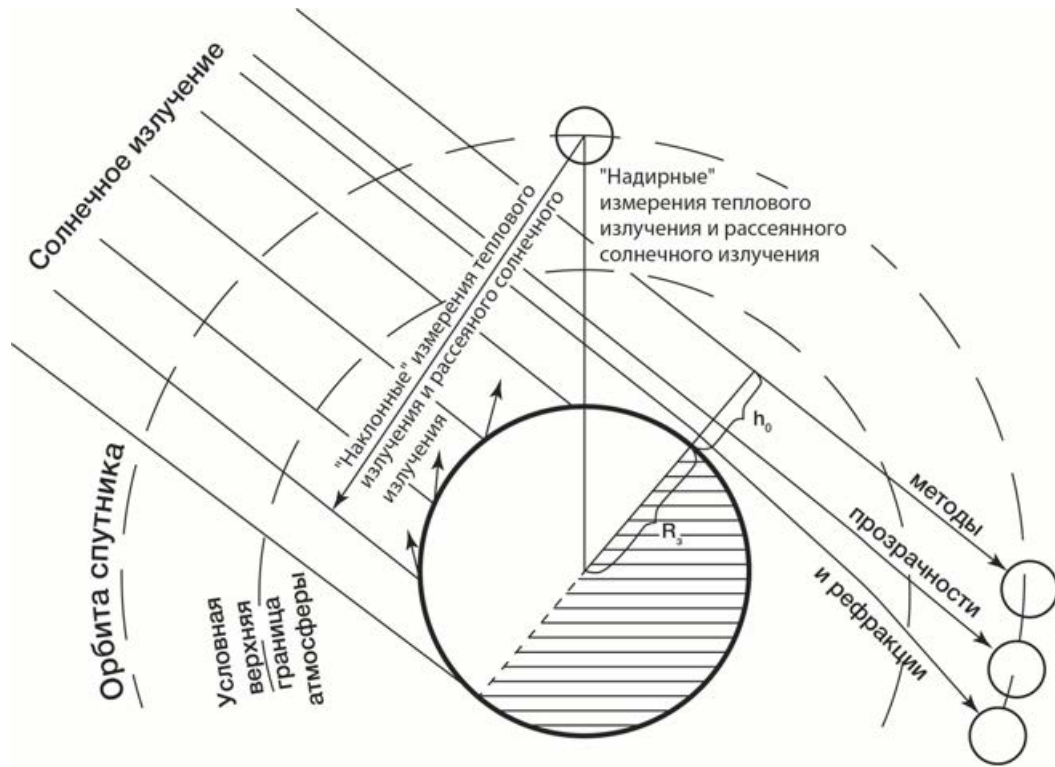


Рисунок 1.3 – Геометрия измерений пассивных спутниковых методов  
( $h_0$  – прицельная высота,  $R_3$  – радиус Земли)

При исследовании состава атмосферных примесей с использованием спутниковых измерений наибольшее распространение получили два типа геометрии измерений (рис. 1.3): надирная и касательная, которые существенно отличаются пространственным разрешением. В аналогичных условиях разрешающая способность и чувствительность при надирной геометрии измерений значительно ниже по сравнению с касательной схемой, что объясняется существенно большими геометрическими путями при распространении излучения на этих трассах.

Таблица 1.2 – Классификация спутниковых средств, применяемых для экологического мониторинга

Методы	Определяемые параметры	Примеры аппаратуры	Источник информации
Пассивные методы			
Прозрачность атмосферы (ПРО)	Газовый состав, коэффициент аэрозольного ослабления, микроструктура аэрозоля и облаков, температура, колебательные температуры	SAM II, SAGE I, II, III, Озон-Мир, POAM II, III, ILAS I, II, HALOE, ATMOS, ACE, MAESTRO, SCIAMACHY, UVISI/MSX, GOMOS	Использование излучения Солнца, луны, звезд в широкой спектральной области. Касательные трассы, восходы и заходы источника.
Собственное (тепловое) излучение (ТИ)	Температура, газовый состав, аэрозоли, облака, микроструктура аэрозолей и облаков, колебательные температуры	LIMS, ISAMS, SSM/I, MAS, TOVS, MLS, CIRRIS 1A, CLAES, MIPAS, TES, HIRDLS, MSU, CRISTA, TMI, SEVIRI, SABER	Собственное равновесное и неравновесное излучение атмосферы в ИК и МКВ областях. Надирная и касательная геометрия.
Отраженное и рассеянное солнечное излучение (ОРСИ)	Газовый состав, характеристики аэрозолей и облаков,	AVHRR, TOMS, SBUV, GOME, SCIAMACHY, OMI, MODIS, POLDER	Рассеянное излучение в УФ, видимой и ближней ИК областях спектра. Надирная и касательная геометрия.
Рефракция (РЕФ)	Температура и плотность, содержание водяного пара, характеристики турбулентности, гравитационных волн, ионосферы.	ЭФО-1, ЭФО-2, UVISI/MSX, GOMOS	Измерения изображения Солнца, угла рефракции для излучения внешних источников. Касательная геометрия.

## Продолжение таблицы 1.2

Методы	Определяемые параметры	Примеры аппаратуры	Источник информации
<b>Активные методы</b>			
Лидарное зондирование	Аэрозоли, облака, высота облачности, поле ветра	ALISSA, LITE, GLAS, ELISE	Надирная геометрия Измерений
Рефракция	Температура, влажность в тропосфере, характеристики турбулентности, гравитационных волн, ионосферы.	MicroLab-1, GPS системы	Касательная геометрия измерений
Радиолокация	Скорость ветра, облака и осадки	AMI, NSCAT, SeaWinds, ASCAT, PR (TRRM)	Надирная геометрия измерений.

Частота проведения измерений в значительной степени варьируется для разных методов и зависит от орбит используемых спутниковых систем, режима работы спутниковой аппаратуры и геометрии измерений.

Среди пассивных методов широкое применение получил метод затменного зондирования.

Впервые исследования содержания газовых примесей в составе атмосферного воздуха с применением искусственных спутников Земли (ИСЗ) были проведены с использованием наземных измерений отраженной от спутниковых аппаратов солнечной радиации [31]. Исследования состава атмосферы непосредственно спутниковыми аппаратами начались в 1960-х г. на ИСЗ USAF-1962 [32] при использовании ПРО-метода и позволили получить ряд профилей содержания озона в широтном поясе 13° N—13° S.

Значительный объем исследований верхних слоев атмосферы был выполнен в рамках научно-исследовательских работ на многоразовых космических аппаратах «Space Shuttle» [38], в том числе были выполнены уникальные измерения прозрачности верхних слоев атмосферы на трассах касательное геометрии [39].



Современный уровень развития технологических решений при проведении космической съемки делает возможным создание систем детального наблюдения за качеством компонентов окружающей природной среды с пространственным разрешением не ниже 20 м.

Проведенные сравнительные аналитические исследования косвенных методов показывают, что наиболее полную информацию о составе и состоянии атмосферы можно получить в условиях применения глобальной системы мониторинга, только в комбинации с существующими и планируемыми системами наземных, самолетных и аэростатных измерений.

### **1.2.2 Современное состояние вопроса в обеспечении лидарного зондирования атмосферы**

Исследование состава и свойств различных слоев атмосферы с помощью лазерных локаторов в последнее десятилетие развивается со значительными темпами.

Путем обработки результатов лидарного зондирования получают сведения о высотном ходе общего объемного коэффициента обратного рассеяния, а также объемного коэффициента обратного аэрозольного рассеяния. Восстановление высотного хода коэффициента рассеяния является следствием решения обратной задачи.

В сравнении с другими наземными методами – сумеречными и прожекторными, лидарные методы имеют ряд преимуществ. Лазерное излучение практически монохроматично и, следовательно, обладает высоким пространственным разрешением.

Исследование состава и свойств атмосферного воздуха с применением метода лидарного зондирования может проводиться на высотах до 100 км.

Несмотря на преимущества метода лидарного зондирования, он обладает и рядом существенных недостатков, связанных со сложностью в его реализации, а также в интерпретации результатов. Примером подобных недостатков являются нежелательные явления, такие, как просветление

атмосферы перед лучом лазера; самофокусировка луча лазера; электрический пробой, возникающие при усилении мощности лазерного луча выше определенной.

Лидарное зондирование позволяет избирательно контролировать отдельные параметры воздушной среды, однако главным недостатком является ограниченность потолка зондирования атмосферы с Земли в связи с влиянием облаков.

### **1.2.3 Анализ применения авиационных средств при проведении мониторинга качества атмосферного воздуха**

Средства измерения, позволяющие оценивать качество атмосферного воздуха, также проводить контроль состояния подстилающей поверхности устанавливаются и применяются на пилотируемых воздушных средствах с середины 1950-х г. На сегодняшний день, во многих странах мира разрабатываются и функционируют на постоянной основе различные летающие экологические лаборатории на базе широко спектра летательных аппаратов. Основные технические характеристики ряда зарубежных летательных аппаратов, применяемых в целях мониторинга и специально оборудованных военных самолетов, привлекаемых для выполнения контрольных полетов, а также назначение данных аппаратов приведены в таблице 1.3. [40, 41]. Следует отметить, что совершенствованию средств мониторинга воздушной среды на базе пилотируемых летательных аппаратов гражданского и военного назначения в развитых странах уделяется значительное внимание.

Таблица 1.3 –Технические характеристики некоторых самолётов-лабораторий США и стран ЕС и их назначение

Тип самолёта	Количество / тип двигателя	Максимальная масса, кг	Полезная нагрузка, кг	Скорость, км/ч	Потолок, м	Дальность полета, км	Назначение	Комплектация
HU-25. США	2/ТРД	14500	1265	1000	13700	4650	Оценка загрязнения поверхностных водных объектов	ИК- и УФ-аппаратура, РЛС БО, ТВ
HC-130. США	4/ТВД	79380	19870	590	10000	3600	Анализ ледовой обстановки и оценка загрязнения морей	РЛС БО, ИК- и ТВ-аппаратура,
RU-38A. США	2/ПД	2440	400	180	3000	900	Картографирование, разведка погоды	ИК-аппаратура, РЛС БО
Gates Lear Jet -23. США	2/РД	5900	2900	900	13800	3100	Исследование вулканов	Спектрональная аппаратура TIMS
ДС-7 Франция	4/ТВД	48100	23500	500	6000	7850	Исследование атмосферы	Лидары, ИК-аппаратура
ДС-8 США	4/ТРД	142800	85800	930	9100	12000	Исследования атмосферы	Лидары
ER-2 США	2/ТВД	22450	6100	500	9600	3000	Исследования атмосферы	Пробоотборные устройства, лидары
QUEEN AJR США	2/ПД	3700	1450	350	9500	2000	Исследования атмосферы	Пробоотборные устройства, лидары
L-180 Electra США	4/ТВД	52660	26600	650	8600	5600	Исследования атмосферы	Пробоотборные устройства
КС-135 США	4/ТРД	125000	78000	700	10700	14800	Исследование атмосферы.	Пробоотборные устройства, лидары

Продолжение таблицы 1.3

Тип самолёта	Количество / тип двигателя	Максимальная масса, кг	Полезная нагрузка, кг	Скорость, км/ч	Потолок, м	Дальность полета, км	Назначение	Комплектация
ВАС Canberra Англия	2/ТД	25000	12250	830	15000	6000	Исследование атмосферы	Пробоотборное устройство
В-57 США	2/ТД	25000	12250	880	25000	6500	Исследование атмосферы	Пробоотборные устройства
Piaggio P-149 ФРГ	1/ПД	1680	520	300	3000	1500	Исследование атмосферы	Пробоотборное устройство: гондола
RB-52 США	8/ТРД	221000	110000	1040	18300	20000	Исследование атмосферы	пробоотборные устройства
Locheed U-2 США	1/ТД	7800		800	32000	7000	Исследование атмосферы	Пробоотборные устройства
Locheed T-33 ФРГ	1/ТД	5900	2000	960	20000	2150	Исследование атмосферы	Пробоотборное устройство: гондола
Mystere-30 ФРГ	2/ТРД	14000	5500	830	12500	2300	Исследование атмосферы	Пробоотборное устройство: гондола
SAAB-32 Lansen Швеция	1/РД	10000	3000	1125	15000	2900	Исследование атмосферы	Пробоотборные устройства
Вертолёт HH-60J США	2/ТВД	9640	3550	280	5800	600	Охрана окружающей среды	РЛС БО, ИК-аппаратура
ДС-6. США	4/ПД	33100	13100	370	6900	6000	Исследование атмосферы	Лидары, РЛС

Примечание: ТРД – турбореактивный двигатель, ТВД – турбовинтовой двигатель, РД – реактивный двигатель; ПД – поршневой двигатель

Сведения, приведенные в таблице 1.3 показывают, что диапазон технических характеристик, применяемых пилотируемых летательных аппаратов – носителей средств измерения является достаточно обширным: скорость изменяется в диапазоне от 180 до 1100 км/час, потолок высоты варьируется в диапазоне от 3 до 32 км. Широкие диапазоны значений технических характеристик пилотируемых средств является следствием значительного перечня решаемых авиационными комплексами задач.

Анализ сведений об аппаратном оснащении летающих лабораторий, используемых в США и странах Европы, также свидетельствует о широком спектре решаемых задач, определяемых характеристиками устанавливаемых средств измерений и индикации. Среди подобных задач следует выделить: детальное изучение метеорологических параметров и физико-химических свойств атмосферного воздуха на локальном уровне; оценку состава и свойств атмосферных аэрозолей; анализ геологических условий, а также радиационных и физических параметров земной поверхности и поверхностных водных объектов. Обзор сведений, опубликованных в открытых литературных источниках, показал, что наличие высокоэффективного аппаратного оформления, позволяет с большей периодичностью использовать авиационные средства наблюдения в международных проектах и программах мониторинга качества компонентов окружающей среды. Так, например, подобные средства применяются в Программе изучения средних слоев атмосферы, Международной программе изучения литосферы, Всемирной климатической программе и ряде других.

Иностранные авиационные средства, переоборудованные под цели летающих лабораторий, считаются достаточно эффективным средством оценки качества атмосферного воздуха. В целях проведения режимных мониторинговых наблюдений ряд летательных аппаратов оснащен средствами отбора проб. Технические характеристики пробоотборных систем, устанавливаемых на зарубежных самолетах-лабораториях представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Системы отбора газообразных проб, устанавливаемые на зарубежных летательных аппаратах

Тип самолёта	Страна	Средства пробоотбора	Площадь фильтра, м <sup>2</sup>	Высота отбора, км	Производит. СФУ, м <sup>3</sup> /ч	Скорость фильтрации, м/с	Тип фильтр-материала
В-57	США	СФУ"ЛАСЛ" или Ф-33, СФУ секционного отбора (12 секц.)	0,4 или 0,17 1 секция-ОД 2	13 – 20	104		1РС-1478
U-2	США	Гондолы (расположены в носовой части и под фюзеляжем)	0,05 и 0,13	9 – 20	140 – 860	20	-
Бичкафт	США	СФУ в трубе на внешней стороне двери	0,05	1 – 3,5		22	1РС-1478
Хастинг	Англия	Цилиндрический фильтр длиной 16 см	0,03	1,4 – 4,5	120 – 160		Растительные волокна эпарто
Канберра	Англия	Установка с дискообразным фильтром	0,005	до 14,5	25	3,2	Растительные волокна эпарто
Р-149Б	ФРГ	Гондола		до 3,5		80	Волокнистый фильтр из поливинилового хлорида
Локхид Т- 33	ФРГ	Гондола		до 13		200	-
Лансен 1-32	Швеция	6 СФУ 3x2	0,19	до 13	450		Фильтр из волокнистого материала и неорганический нерастворимый фильтр
Ф - 86	Швейцария	Гондола-труба	0,013	3 – 13,5	78	4,5	Целлюлозно-асбестовый фильтр

Как следует из таблицы 1.4, в связи с ограниченной площадью фильтров, указанных пробоотборных средств летающие лаборатории могут быть применены в целях отбора газообразных веществ из атмосферного воздуха только тогда, когда не предъявляются требования по высокой производительности.

Тенденцией совершенствования аппаратурно-измерительного оборудования летающих лабораторий является расширение круга решаемых задач, за счет комплексирования измерений по группам параметров.

Также, сложилась устойчивая тенденция расширения географии и периодичности проведения контрольных полетов как на национальных территориях, так и в международном воздушном пространстве.

Следует отметить, что в Российской Федерации накоплен значительный опыт разработки летающих лабораторий гражданского назначения. В настоящее время в нашей стране существуют летающие лаборатории различного класса на базе самолетов и вертолетов, предназначенные для осуществления съемки рельефа местности, а также изучения состава и свойств атмосферного воздуха. На протяжении последних лет подобные измерительные комплексы разрабатывались на базе авиационных средств конструкторских бюро Ил, Ан, Ту, Як, Ми, Ка.

Серийно-производимые авиационные средства были адаптированы для проведения дистанционного зондирования земной поверхности в целях решения специальных задач военных ведомств и прикладных задач агропромышленного комплекса и лесного хозяйства, картографии и гидрометеорологии, геологии, океанологии и вулканологии.

Решение задач дистанционного зондирования природных и антропогенных объектов возможно благодаря оборудованию подобных комплексов специально разработанной бортовой аппаратурой. Авиалаборатории такого класса нашли широкое применение при анализе и контроле пожароопасных ситуаций в лесных массивах, определении содержания влаги в верхних почвенно-растительных слоях под

сельскохозяйственными угодьями, разведке ледовой обстановки на морях и в руслах крупных рек, ортофотосъемке.

Оценка технических характеристик, устанавливаемых на летательные аппараты средств измерений позволила произвести разделение аппаратов на две группы:

1) авиационные лаборатории дистанционного зондирования атмосферного воздуха, поверхностных водных объектов и литосферы;

2) авиационные лаборатории для радиационных исследований и отбора проб.

Следует отметить, что данная классификация весьма условна, и существуют авиационные лаборатории, оборудованные средствами измерений, индикации и отбора проб обоих типов одновременно.

В таблице 1.5. представлены характеристики летающих лабораторий российского производства с перечнем образцов аппаратуры дистанционного зондирования.



Таблица 1.5 – Некоторые летающие лаборатории дистанционного зондирования отечественного производства

Тип самолёта	Количество / тип двигателя	Максимальная масса, кг	Полезная нагрузка, кг	Скорость, км/ч	Потолок, м	Дальность полета, км	Назначение
Ил-14 ВНИИ ЯГГ	2/ПД	18500	2800	345	6500	1250	Измерение концентрации метана в атмосферном воздухе, анализ толщины льда, его плотности и возраста
Ил-18 ДООР «Севрыба»	4/ТВД	64000	10900	685	10000	6500	Определение скопления рыбы, морского зверя и запасов водорослей
Ту-134сх ВНИЦ «Агроресурсы»	2/ТВД	47600	9000	880	10100	2020	Картографирование для земельного кадастра, определение: влагосодержания и температуры почв с/х угодий, степень созревания с/х культур.
Ил-18 ИРЭ РАН	4/ТВД	64000	10900	685	10000	6500	Картография ледового покрова для проводки судов. Определение загрязнения водной поверхности. Определение состояния ирригационных систем. Определение уровня грунтовых вод и засоленности почв
Ил-18 ГГО им. Воейкова	4/ТВД	64000	10900	685	10000	6500	Определение массовой концентрации аэрозольных частиц и газовой примеси. Анализ воздуха на CO <sub>2</sub> , окислы металлов.
Ту-134 НИИ АС	2/ТВД	47600	9000	880	10100	2020	Ортофотосъемка, контроль экологического состояния основных техногенных и природных зон Российской Федерации

Продолжение таблицы 1.5

АН-12 НПО «ВЗЛЕТ»	4/ТВД	61000	21000	570	8600	5530	Исследование загрязнения водоёмов, обнаружение очагов наземных и подземных пожаров., картирование нефте- и газопроводов
АН-12 НПО «ВЗЛЕТ»	4/ТВД	61000	21000	570	8600	5530	Исследование морской поверхности в видимом и ИК- диапазонах
АН-24 НПО «Ленинец»	2/ТВД	21000	6500	460	7700	1850	Исследование морской поверхности.
ЯК-40 СКИФ г. Днепропетровск	3/ТРД	17200	2945	510	6000	820-1000	Определение источников радиоактивного загрязнения, обнаружение подземных пожаров, контроль состояния нефте- и газопроводов
ИЛ-103 Госкомприрода	1/ПД	1310	270	340	4000	800	Анализ качество поверхностных водных объектов и оценка условий рельефа местности на региональном уровне.
Ту-134 А НПО «Вега»	2/ТВД	47000	8200	850	12100	2100	Обнаружение нефтяных загрязнений на суше и на водной поверхности
АН-24Б МО РФ	2/ТВД	21000	6500	460	7700	1850	Исследования радиоактивного загрязнения атмосферы и земной поверхности, отбор аэрозольных проб
АН-30РР МО РФ	2/ТВД 1/ТРД	23000	4580	435	8300	1240	Радиационный и экологический контроль земной поверхности и атмосферы
ТУ-154 ЦПК	3/ТВД	98000	18000	900	12100	3900	Зонирование территорий по характеристикам растительного покрова с выделением типа почв.
АН-72РК	2/ТРД	32000	7100	575	10100	2700	Радиационный контроль атмосферного воздуха
МИ-8МТ МО РФ	2/ТВД	13000	2900	220	5000	520	Радиационный контроль земной поверхности

В Российской Федерации на базе современных серийно производимых самолетов разработаны следующие перспективные авиационные лаборатории [42-45]:

- геофизическая лаборатория на базе Ан-74;
- лаборатория океанологических исследования и разведки рыбных запасов на базе Ил-114;
- лаборатория разведки ледовой обстановки на базе С-80;
- лаборатория крупномасштабной аэрофотосъемки и геофизических исследований на базе С-80;
- лаборатория крупномасштабной аэрофотосъемки и геофизических исследований на базе Ан-28;
- лаборатория океанологических исследования и разведки рыбных запасов на базе Ан-28;
- лаборатория разведки пожароопасных ситуаций и охраны лесов на базе Ан-28.

Аналитический обзор части Федеральной космической программы России на период 2016-2025 гг., посвященной развитию дистанционного зондирования Земли, показал, что разработка авиационной подсистемы в ней не предусмотрено [46].

Представленные сведения указывают на то, что в России разработано и эксплуатируется достаточно широкий перечень оборудования дистанционного зондирования земли авиационного базирования, спектральные диапазоны которых практически перекрывают микроволновый, инфракрасный и видимый диапазон электромагнитного излучения, что обеспечивает возможность получения обширной информации о состоянии качества компонентов окружающей природной среды. В следствие достаточного представления видов летательных аппаратов и средств измерения и индикации становится очевидным, что ограничения, накладываемые на процесс дистанционного зондирования земли с этой точки зрения, не будут существенными. Следовательно, можно сделать вывод о

том, что основные ограничения при проведении экологического мониторинга дистанционными методами возникнут не в ходе аппаратурном оформлении процесса измерений, а при обработке и интерпретации получаемой измерительной информации о состоянии компонентов окружающей среды, так как рассмотренные типы средств измерений и индикации, а также методическое обеспечение указанных средств, разрабатывались, как правило, в целях решения конкретных узко-специализированных задач.

Технические характеристики пробоотборного оборудования, устанавливаемого в Российской Федерации на летающие лаборатории указаны в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Основные сведения об отечественных пробоотборных устройствах

Средства пробоотбора	Условное название	Назначение	Принцип действия
Фильтрующий материал	ФПА-15-2,0 (ФПП)	Улавливание аэрозольных частиц размером $>0,1$ мкм	Электростатическое притягивание частиц волокнами фильтра
Сорбционно-фильтрующий материал	К-517-Д	Улавливание паров йода	Сорбция паров йода на мелкоизмельченном угольном сорбенте
Многослойный сорбционно-фильтрующий материал	К-519-Д	Улавливание трудносорбируемых соединений йода	Сорбция паров йода на мелкоизмельченном угольном сорбенте (обеспечивает возможность исследования проникновения паров йода по толщине материала)
Самолётная фильтрвентиляционная установка	К-514-Д «Фука»	Отбор аэрозолей из различных слоев атмосферы.	Прокачивание атмосферного воздуха через фильтрматериал за счет набегающего потока.
Самолётная фильтрвентиляционная установка	К-515-Д «Вокал»	Отбор проб при выполнении полётов по трассам	
Самолётный пробоотборник	«Эрис»	Регистрация благородных газов на борту самолёта-лаборатории	Отбор забортного воздуха методом криогенной конденсации с последующей пробоподготовкой и анализом в лаборатории

Сопоставление данных таблиц 1.4 и 1.6 указывает на то, что производительность зарубежных авиационных средств отбора проб на порядок меньше, что, очевидно, ограничивает возможности применения подобных комплексов в условиях, когда уровень концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе близок к фоновому. Проведенные на основе информации, размещенной в открытых источниках, аналитические исследования показали, что применением авиационных устройств отбора проб атмосферного воздуха в западных странах находится в стадии опытных образцов, в то же время, на территории России данное оборудование является штатным для специализированных авиационных лабораторий.

Однако, в ходе исследований было выявлено, что существующие пробоотборные устройства из-за своих масса-габаритных параметров не могут быть установлены на БВС. Для устранения данного недостатка, было разработано спускаемое пробоотборное устройство (Приложение Б).

Авиасредства по сравнению с космическими обладают рядом преимуществ: расстояние между средствами контроля и изучаемыми объектами в разы меньше, это позволяет получать информацию большего разрешения, короче временные промежутки между повторными полетами, полетные трассы авиасредств не зависят от орбиты.

В тоже время применение пилотируемых средств в целях экологического мониторинга имеет ряд существенных недостатков: экономическая эффективность проведения мониторинговых исследований с привлечением авиалабораторий достигается лишь при изучении состояния компонентов окружающей природной среды на региональном уровне; кроме того существующие пробоотборные устройства в силу своих массогабаритных параметров могут устанавливаться лишь на пилотируемые аппараты, что обуславливает необходимость разработки авиационных пробоотборных устройств новой конструкции.

### **1.3 Анализ развития беспилотных авиационных систем при проведении экологического мониторинга**

Анализ открытых литературных источников показал, что на сегодняшний день разработаны базовые принципы и методики определения состояния компонентов окружающей среды при проведении экологического мониторинга с использованием контактных и дистанционных методов.

Для контактных и дистанционных методов характерны свои достоинства и недостатки, поэтому наибольший интерес представляют технологии, позволяющие их совмещать с целью получения более полной и оперативной информации о качественных показателях окружающей природной среды [46-48].

Использование дистанционных методов позволяет в несколько раз сократить объемы наземных исследований.

В тоже время, для наземных методов исследований широко разработана нормативная база, что позволяет добиться единого подхода в изучении качества компонентов окружающей среды вне зависимости от масштабов исследуемой территории.

Выбор дистанционных методов определяется именно размерами изучаемых территорий и масштабом решаемых задач в связи с чем использование беспилотных авиационных систем (БАС) при оценке качества окружающей среды горнопромышленных агломераций является наиболее выигрышным по сравнению с использованием аэро- и космосъемки, поскольку данные методы успешно применяются, как правило, в исследованиях регионального масштаба.

В настоящий момент, беспилотное воздушное судно (unmanned aircraft) - это воздушное судно, управляемое в полете пилотом, находящимся вне борта такого воздушного судна, или выполняющее автономный полет по заданному предварительно маршруту [49].

### 1.3.1 Классификация беспилотных авиационных систем

Оценка опыта применения беспилотных воздушных судов (БВС) гражданского, двойного и специального назначения, а так же анализ сведений, опубликованных в открытых источниках информации позволил предложить классификацию БВС по 14 базовым признакам [50]:

1) По использованию БВС следует разделять на: военные, гражданские и антитеррористические. При этом БВС гражданского назначения могут быть: транспортными, коммерческими, частными и государственными (соответственно лицензиям для внешних пилотов) [51-55].

2) По системе управления одним БВС можно классифицировать на: дистанционно пилотируемые; дистанционно управляемые; автоматические; дистанционно управляемые авиационной системой; беспилотно-автоматические. Управление дистанционно пилотируемыми БВС осуществляется непосредственно внешним пилотом в зоне видимости через наземную станцию управления (НСУ). Работа дистанционно управляемых БВС осуществляется автономно, однако существует потенциальная возможность управления оператором или внешним пилотом, при применении только обратной связи. Автоматические БВС способны выполнять предварительно запрограммированные действия без управления внешним пилотом, однако при эксплуатации таких БВС отсутствует возможность изменения полетного задания во время его выполнения или адаптации к внешним изменениям; при этом многоразовые БВС имеют функцию перепрограммирования перед каждым полетом с учётом изменения параметров окружающей среды и информации предыдущих полетов. Низкоуровневое управление дистанционно управляемыми авиационной системой БВС осуществляется встроенными системами или наземной станцией управление, в то время как высокоуровневое управление траекторией полета контролируется внешним пилотом. Управление полетом беспилотно-автоматических БВС осуществляется полностью

интегрированными подсистемами БАС, без участия внешнего пилота или применения НСУ, которые можно перепрограммировать с учётом изменений параметров окружающей среды. Предложенная классификация в соответствии с режимом управления полетом указывает степени автономности и автоматизации БВС. В данной классификации классы режима управления полетом БВС расположены в порядке уменьшения классической возможности управления полетом внешним пилотом и соответственно увеличения автоматизации и автономности [56-68].

3) По правилам полётов БВС следует разделять на визуальные, визуально-приборные и приборные. В случае, если БВС выполняет полет в пределах визуального обнаружения внешнего пилота, который управляет полетом и контролирует положение БВС в светлое время суток, полет является визуальным. Когда полет выполняется в автоматическом режиме не только в видимой зоне, но и в слепых зонах, а также в темное время суток с соответствующей системой управления, то полёт является приборным. Визуально-приборными называются БВС использующие во время одного полета как визуальные, так и приборные правила [69-72].

4) По используемому классу воздушного пространства БВС следует классифицировать на несегрегированные и сегрегированные. При этом, несегрегированные подразделяют на классы А, В и С. Сегрегированные БВС могут выполнять полеты в сегрегированном воздушном пространстве, к которому относятся специальные зоны полетов, зоны ограничения полетов, запретные зоны. Несегрегированные БВС выполняют полеты соответственно в несегрегированном воздушном пространстве классов А, В, С, в которых необходимым условием выполнения полетов является наличие соответствующего бортового оборудования, разрешений служб организации и обслуживания воздушного движения и лицензий [73, 74].

5) По типу летательного аппарата БВС классифицируют на: конвертоплановые, самолетные и вертолетные. Самолетные и вертолетные



типы БВС обладают соответствующим внешним видом и характеристиками, когда конвертоплановый тип БВС обладает свойствами обоих предыдущих.

6) По виду крыла существуют БВС с плавающими, способными изменять размер, положение и форму крыла в процессе выполнения полета, а также во время взлета и посадки; и фиксированными крыльями. БВС с фиксированными крыльями наиболее часто являются БВС самолетного или вертолетного типа. Плавающий тип крыльев получил широкое применение в БВС конвертопланового типа.

7) БВС также следует разделять по способу реализации подъемной силы, то есть по направлению взлета или посадки. По направлению взлета БВС делятся на: БВС горизонтального взлета, БВС вертикального взлета, мультиподъемные БВС. По направлению посадки БВС различают вертикальные и горизонтальные, мачтовые и парашютные, беспосадочные, с комбинированным типом посадки [75].

8) По типу двигателя БВС подразделяются на: электрические, с гибридными двигателями и двигателями внутреннего сгорания, которые, в свою очередь, разделяют на поршневые, реактивные, газотурбинные, прямоточные воздушно-реактивные [69, 71].

9) По возможности повторного использования БВС могут быть одноразовыми (беспосадочными или посадочными) и многоразовыми [65,70].

10) По массе и максимальной дальности деятельности БВС разделяют на следующие категории: специальные, стратегические, оперативно-стратегические, оперативные, оперативно-тактические, тактические [62]. При этом в зависимости от массы БВС гражданского назначения условно выделяют:

- нано, обладающие массой менее 25 г;
- микро, обладающие взлетной массой до 5 кг;
- мини, взлетная масса которых варьируется от 20 до 150 кг.

В зависимости от максимальной дальности действия, выделяют следующие категории БВС:

- нано (максимальная дальность действия менее 1 км);
- микро (максимальная дальность действия менее 10 км);
- мини (максимальная дальность действия менее 30 км).

11) В зависимости от радиуса действия БВС подразделяются на: БВС ближнего радиуса действия (до 40 км), малого (до 70 км), среднего (до 300 км), дальнего (до 1500 км), большой продолжительности полёта (свыше 1500 км) [62].

12) По высоте БВС можно разделить на низковысотные, средневысотные, высотные [62].

13) По функциональному назначению БВС классифицируют на:

- наблюдательные;
- мониторинговые;
- дистанционно-зондирующие;
- военного назначения;
- многоцелевые [62].

Спектр решаемых задач определяет тактико-технические характеристики БВС и требования, предъявляемых к бортовому оборудованию.

### **1.3.2 Оценка опыта применения беспилотных авиационных систем в природопользовании**

Изначально БВС применялись в основном в военных целях, но начиная с середины 2000-х годов значительное распространение стали получать микро-БВС разрабатываемые для сугубо гражданских целей.

Гражданская область применения БВС весьма обширна. БВС гражданского назначения используются службами и ведомствами предупреждения и устранения последствий чрезвычайных ситуаций (например, в целях контроля пожароопасных ситуаций); предприятиями агропромышленного комплекса (оценка качества почвенно-растительного слоя, контроль посева); надзорными органами и ведомствами (охрана лесов и

выявление незаконной рубки, разведка рыбных запасов, контроль рыбного промысла и выявление браконьерской ловли); проектными институтами и организациями (геодезические, картографические, геолого-географические исследования); компаниями топливно-энергетического комплекса (мониторинг нефте- и газопроводов, оценка ситуации в районах добычи нефти и природного газа); средствами массовой информации [76].

В соответствии с находящимся в открытом доступе аналитическими отчетами европейских консалтинговых компаний, прогнозируемая оценка распределения потребительского спроса на БВС гражданского назначения на период до 2020 г. Может быть представлена следующими укрупненными группами потребителей: до 45 % – федеральные и региональные органы власти, 25 % – службы и ведомства, основным направлением деятельности которых является ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций, 13 % – сельскохозяйственные и лесохозяйственные предприятия, 10 % – предприятия топливно-энергетического комплекса, 6 % – организации, проводящие дистанционное зондирование земли, 1 % – СМИ.

Рынок БВС является одним из наиболее быстроразвивающихся сегментов авиационного рынка во всем мире. По прогнозам, инвестиции, а, следовательно, коммерциализация данной области в ближайшее десятилетие будут исчисляться миллионами долларов США [77].

В России на сегодняшний день коммерческий сегмент рынка БВС представлен разработкой ряд фирм военно-промышленного комплекса (ОКБ «Сокол», НИИ «Кулон», КБ «Луч») и частными компаниями (ООО «ТеКнол», АО НПП «Радар-ммс», ООО «ГеоСкан»).

Существующие БВС и дистанционно пилотируемые летательные аппараты (ДПЛА) являются комплексными техническими средствами, которые в процессе эксплуатации требуют участия специалистов с высоким уровнем профильной подготовки. Возникают трудности при доставке подобных технических средств в районы выполнения исследований, становятся очевидными неизбежность проблем со взлетом и посадкой

комплексов в ограниченных условиях местности, с управлением полетами в сложных геоморфологических условиях. Исходя из этого, очевидным является задача разработки перспективных БВС, обладающих высокой мобильностью, простотой эксплуатации и дешевизной технически средств оценки качества атмосферного воздуха.

Большинство компаний-производителей БВС нашло решение данной задачи в уменьшении массо-габаритных характеристик БВС и увеличении их автономности, что приводит к упрощению управления полетами.

Данные, представленные в статистических отчетах Управления перспективных исследований и разработок МО США (DAPRA), показывает, что в последнее время существует тенденция к росту интереса к данному классу аппаратов, что, одновременно является результатом прогресса в области миниатюризации составляющих частей летательных аппаратов. Ряд исследований в данной области, в том числе работы по конструированию лёгких батарей и пьезоэлектрических моторов для машущих крыльев, финансируется DARPA. Создание и применение машущих крыльев могут повысить эффективность работы микро-БВС нетрадиционных аэродинамических форм, которые осуществляют полеты по принципу насекомых или птиц.

Значительно уменьшить время ожидания, свойственное существующим средствам дистанционного экологического мониторинга возможно при использовании локально управляемых мини- и микро-БВС, которые действуя по требованию отдельного пользователя, способны получать информацию о качества компонентов окружающей природной среды, а также повышать ситуационную осведомленность заинтересованных природопользователей и на основе получаемых данных повышать оперативность принимаемых управленческих решений и эффективность реализуемых природоохранных мероприятий, при этом возможно достичь снижение требований к численности и квалификации персонала, осуществляющего эксплуатацию беспилотных воздушных судов.

Большинство современных серийно-производимых БВС, которые способны решать рассмотренные задачи экологического мониторинга, обладают взлетной массой, превышающей 15 кг и габаритными размерами по некоторым измерениям порядка 2 м. Данные массо-габаритные характеристики в значительной степени ограничивают спектр применения подобных БВС и обуславливают повышенные капитальные затраты при их приобретении, в связи с этим, основной тенденцией развития современных БВС в России и за рубежом является снижение максимальной взлетной массы и габаритных размеров БВС, при сохранении радиуса действия и продолжительности полета. Выявленная концепция развития накладывает определенные требования, которые связаны в первую очередь с миниатюризацией бортового радиоэлектронного оборудования, а также составных частей аппаратуры полезной нагрузки, а также требования к применению наилучших из доступных технологий при расчете и производстве конструкции летательных аппаратов.

Определенная группа требований к проектируемым БВС накладывается и потенциальными потребителями данной продукции, и заключается в необходимости обеспечения невысокой стоимости и многофункциональность беспилотных авиационных систем (БАС).

Поставленные перед разработчиками современных БВС гражданского назначения задачи определяют жесткие требования к характеристикам, составу и организации систем управления, которые в общем виде состоят из:

- системы глобального позиционирования (GPS-приемник);
- кроссплатформенной инерциальной навигационной системы;
- датчика абсолютного давления (определение высоты БВС) и дифференциального датчика давления (определение скорости БВС).

GPS-приемник необходим для определения пространственного положения БВС, измерения горизонтальной скорости и угла поворота аппарата. Одной из особенностей спутниковых систем навигации является определение высоты произвольной точки со значительной погрешностью.

Для устранения данного недостатка в БВС дополнительно применяются датчики абсолютного давления в качестве высотомеров.

Использование БВС в целях экологического мониторинга обуславливает необходимость обеспечения определенной постоянной скорости полета, что достигается внедрением контура стабилизации скорости движения. Для этого в состав аппаратуры систем управления интегрируется датчик скорости БВС. Стабилизация углового положения БВС требует включения в состав бортового радиоэлектронного оборудования датчиков угловой скорости, поступающая с которых информация обрабатывается совместно с данными GPS-приемника. Подобный подход позволяет компенсировать температурные дрейфы датчиков угловой скорости, и при этом обеспечить управляемое движение БВС в случае утраты сигнала GPS-приемника, вызванными естественными причинами или искусственным подавлением сигнала системы.

В литературе подробно описаны факты использования БВС для аэрофотосъемки и картографии. Рассматриваются различные способы аэрофотосъемки (в том числе инфракрасной, радиолокационной, телевизионной). Даны практические рекомендации по выполнению дешифрирования топографических элементов местности [78, 79].

Также описано использование БВС для идентификации очагов возгорания (по средствам инфракрасной съемки), ведения метеонаблюдений, применения в лесном хозяйстве [80, 81].

В ряде литературных источников рассмотрены уравнения движения летательных аппаратов, изложены приближенные методы расчета аэродинамических характеристик аппаратов различных аэродинамических схем и компоновок. Приводятся решения траекторных задач динамики полета и расчеты динамических свойств летательного аппарата как объекта управления, особенности расчета подъемной силы, оценка влияния силы тяжести на динамику полета [82-84].

В последние годы реализуются проекты по использованию БВС в целях экологического мониторинга окружающей природной среды Арктики. Цикл экспериментальных полетов в реальных условиях дрейфующей станции «Северный полюс – 35», который был проведен весной 2008 г., БВС модели Элерон-Т23Э позволил обосновать круглогодичную применимость данных аппаратов на дрейфующих станциях «Северный полюс», где они применяются в целях получения оперативной информации о ледовой обстановке, температуре и плотности льда в зоне дрейфа станции. Данный БВС использовался как в условиях полярного дня, так и в условиях полярной ночи. Специализированное оснащение данной беспилотной авиационной системы позволяет получать профили вертикальной стратификации температуры и влажности атмосферного воздуха на высотах до 3 км. Полученные в ходе реализации данного проекта результаты наблюдений и контроля подстилающей поверхности различного типа представляют значительный научный интерес для исследований в области взаимодействия приземных слоев атмосферного воздуха и воды морей и океанов в условиях дрейфа льдов.

Целью данных исследований являлось изучение процессов, которые определяют характер распределения аэрозольных примесей, в том числе сажи в атмосферном воздухе Арктики, оказывающих воздействие на миграцию, аккумуляцию сажи на поверхности снежного покрова и льдов, а также на величину альбедо.

Исследователями из США и Норвегии за месяц экспериментальных полетов было проведено около 20 запусков БВС [85]. В тех же условиях, БВС российского производства менее чем за 15 дней выполнил 10 полетов. Важным фактором, накладывающим ограничения на проведение полетов, являются неблагоприятные метеорологические условия. В результате реализации данного проекта был получен значительный массив данных измерения концентрации аэрозольных частиц и сажи на разных высотах;

выполнены множественные измерения альбедо, в том числе в районах выполнения работ маршрутными постами.

Реализация совместного проекта межгосударственной группы ученых сделала возможным взаимный обмен накопившимся опытом применения БВС в гражданских целях. Коллективы иностранных ученых применяют БВС различных изготовителей, но с сопоставимыми техническими характеристиками. Для обеспечения старта обоих БВС применялись катапульты; посадка БВС проводилась по самолетному в режиме визуального управления внешним пилотом с мобильной наземной станции управления. Обе рассматриваемые модели БВС оснащены двухтактными двухцилиндровыми двигателями внутреннего сгорания, которые обеспечивают длительность автономного полета до пяти часов, радиус действия 300-350 км, масса аппаратуры целевой нагрузки составляла 6-7 кг. В составе аппаратуры целевой нагрузки присутствовало газоаналитическое оборудование, спектрофотометрические системы, метеорологические датчики, а также системы визуального наблюдения и фотофиксации. Следует отметить, что накопление большего объема собираемой информации о состоянии качества атмосферного воздуха производилось на бортовом накопителе информации БВС.

Однако следует отметить, что БВС оборудованные электродвигателями обладают рядом значимых преимуществ. Среди них, в первую очередь, необходимо выделить повышенную надежность и стабильность работы. К немаловажным преимуществам следует также отнести относительную простоту при обслуживании БВС, оборудованных электродвигателями. Наряду с преимуществами, существенным недостатком БВС с электродвигателями является малый энергоресурс, что приводит к ограничению длительности автономного полета. Так, у применяемой в рамках проекта «Арктика» модели Элерон-10Э длительность полета составляла менее двух часов, что не позволяет достигнуть дальность полета более 100 км. Максимальная масса аппаратуры целевой нагрузки данной



БАС составляет до 4 кг. Для обеспечения старта БВС применялась катапульта; посадка БВС проводилась по самолетному в режиме визуального управления внешним пилотом с мобильной наземной станции управления. БВС данного класса показали положительные результаты при решении тактических задач в условиях Арктики, что было подтверждено результатами реализации проекта с применением БВС в условиях дрейфующих станций «Северный полюс».

Перспективы дальнейшего транснационального партнерства в области эксплуатации БВС для задач экологического мониторинга компонентов окружающей природной среды в Арктике находятся в стадии обсуждения.

В настоящее время только создается нормативная база, методики выполнения измерений для беспилотных авиационных систем.

Проведение экологического мониторинга качества атмосферного воздуха горнопромышленных агломераций с применением БВС позволит повысить точность получаемых результатов и увеличить оперативность функционирования систем определения преобладающих зон загрязнения на различных высотных уровнях от источника загрязнения, а также определить реальную дальность переноса загрязняющих веществ.

Современные малогабаритные БВС обеспечивают возможность проведения дискретного дистанционного экологического мониторинга, аэрофотосъемку подстилающей поверхности, природных и техногенных объектов с различных высот в диапазоне от 25 м до 1 км; количественного определения концентрации основных веществ, загрязняющих атмосферный воздух, а также проведения измерения метеорологических параметров в районе проведения исследований.

#### **1.4 Ранжирование методов дистанционного экологического мониторинга**

Современная система оценки применимости методов экологического мониторинга должна быть основана на комплексных интегральных

показателях, которые способны формировать совокупность наиболее значимых измеряемых величин, интернирующихся в единое целое.

Частные индикаторы, которые применяются в целях описания явлений и процессов не позволяют получить комплексное представление об объекте исследований, что обуславливает потребность в проведении интегральной оценки и последующего составления на основе данной оценки рейтинг-листов. Однако при этом все методы интегральных оценок являются в значительной степени субъективными.

Этапы оценки интегральных показателей состоят из таких процедур как нормирование, агрегирование и взвешивание.

Нормированием является операция приведения данных к безразмерному виду (или к единому диапазону) в ходе которого становится возможным сравнение различных типов данных.

Агрегированием называется совокупность операций суммирования ряда второстепенных подиндикаторов в целях получения интегрального индикатора. Данная процедура позволяет проводить сравнительную оценку объектов по совокупности различных показателей.

Взвешивание – это процесс присвоения значениям индикаторов определенного веса, в ходе данной операции становится возможным дифференциация важности основных индикаторов в их общей совокупности.

Значение и содержательный смысл интегрального индикатора в значительной степени зависят от выбранного способа трансформации частных индикаторов. В современной практике выделяют 4 основных метода трансформации частных индикаторов: метод максимум-минимум, метод нормирования показателей, метод стандартизации показателей и рейтинговый метод [86].

Кроме того, подходы к вычислению интегрального показателя разнятся в зависимости от выбранного способа его математического представления: метод по сумме показателей (линейная модель), метод по произведению средневзвешенных геометрических групповых показателей, метод по сумме

средневзвешенных арифметических групповых показателей, метод расстояний.

В процессе проведения многоуровневых расчетов, следует оценивать также консолидированное значение интегрального показателя по всем уровням по предлагаемой формуле:

$$M_{\text{конс}} = \prod_{j=1}^n M_j, \quad (1.1)$$

где  $M_{\text{конс}}$  – консолидированный интегральный показатель по всем уровням;  $M_j$  – интегральный показатель  $j$ -го уровня.

В последние десятилетия в России в значительной степени возросла заинтересованность к процедурам ранжирования и построению рейтинг-листов. Основным отличием построения рейтинг-листов от процесса ранжирования является присвоение веса индикаторам.

Следует отметить, что в случае увеличения числа сравниваемых объектов, количество связей между ними растет пропорционально квадрату числа исследуемых объектов. В таком случае сохранение, анализ и интерпретация большой совокупности взаимосвязей между объектами ограничиваются психофизиологическими способностями исследователя. Таким образом при необходимости ранжирования большего количества сравниваемых объектов эксперты могут допускать принципиальные ошибки.

В целях снижения влияния человеческого фактора необходимо прибегать к формализованным процедурам попарного сравнения объектов, то есть к алгоритмам экспертно-балльного ранжирования.

Среди современных алгоритмов экспертно-балльного ранжирования наиболее подходящими для решения поставленной задачи являются алгоритм Штейнгауза и алгоритм Штейнгауза–Форда–Джонсона [87].

Очевидным является, что разработать универсальную методологию ранжирования невозможно. Поскольку данная задача не имеет строго математического решения справедливыми являются возражения по релевантности того или иного рейтинг-листа. На основе выполненного анализа применимости и распространенности средств дистанционного

экологического мониторинга было проведено экспертно-бальное ранжирование, заключавшееся в проведении консультаций с ведущими экспертами организаций-производителей БВС и эксплуатантами БАС гражданского назначения.

В таблице 1.7 приведены основные характеристики распространенных дистанционных средств экологического мониторинга, их преимущества и недостатки с учетом предложенной в разделе 1.1 классификации.

Таблица 1.7 – Сравнительные характеристики дистанционных методов контроля

<b>Спутниковое ДЗЗ</b>	<b>Пилотируемые средства контроля</b>	<b>Беспилотные авиационные системы</b>
Цена возрастает пропорционально увеличению площади	С увеличением площади цена растет в меньшей степени	С увеличением площади цена растет в меньшей степени
Данные фиксируются в цифровом виде, требуется расшифровка	Данные фиксируются в цифровом виде, требуется расшифровка	Данные фиксируются в цифровом виде, расшифровки не требуется
Облачность является мешающим фактором. Период повторного посещения от 3 дней и более	Пилотируемые средства могут осуществлять полет ниже облаков и повторить полет в течение суток	БВС могут осуществлять полет ниже облаков и повторить полет в течение суток
Минимальная площадь заказа составляет 64 кв. км	Аэрофотосъемка нерентабельна для небольших площадей	Использование БВС рентабельно для небольших площадей
В настоящее время самым лучшим считается гражданское пространственное разрешение 50 см	Можно получать изображения с разрешением до нескольких сантиметров в зависимости от высоты полета	Можно получать изображения с разрешением до нескольких сантиметров в зависимости от высоты полета
Одновременно получают изображения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах	Пленочные камеры обычно получают отдельно цветные и инфракрасные изображения	Можно оперативно устанавливать аппаратуру для получения снимков различных спектральных диапазонов

Продолжение табл. 1.7

Средний срок поставки изображения составляет 7 дней. Для некоторых облачных/дождливых районов срок может увеличиваться до месяца.	Срок поставки данных от нескольких секунд до нескольких часов.	Срок поставки данных от нескольких секунд до нескольких часов.
Быстрота и удобство обработки цифровых данных в камеральных условиях.	Трудоемкость при обработке результатов аэрофотосъемки в камеральных условиях	Быстрота и удобство обработки цифровых данных в камеральных условиях.
Невозможность оперативного монтажа оборудования	Средняя скорость монтажа оборудования	Оперативный монтаж оборудования
Высокая сложность обучения операторов	Высокая сложность обучения операторов и необходимость в профессиональном пилоте	Возможность оперативного обучения внешнего пилота

По состоянию на 2019 год в коммерческом сегменте рынка БВС России представлено не менее 50 отечественных производителей. Консультации проводились с представителями производителей с наибольшим числом коммерческих моделей БВС в портфеле, такими как Zala Aero Group, ООО «Беспилотные системы», ООО «Геоскан», Истринский экспериментальный механический завод и АО «НПП Радар-ммс». Результаты ранжирования показывают, что наиболее подходящим носителем для средств измерений в процессе оценки качества атмосферного воздуха на территориях горнопромышленных агломераций являются беспилотные авиационные системы на основе беспилотных воздушных судов вертолетного типа (таблица 1.8).

В качестве подобного средства при разработке метода дистанционного экологического мониторинга качества атмосферного воздуха было использовано беспилотное воздушное судно вертолетного типа из состава лаборатории моделирования экологической обстановки Санкт-Петербургского горного университета.

Таблица 1.8 – Сравнительная характеристика дистанционных средств, применяемых для экологического мониторинга

Параметры	Пилотируемая авиация (самолет)	Пилотируемая авиация (вертолет)	Наземные методы	Спутниковые системы (ДЗЗ)	БВС (самолет)	Мультикоптеры	БВС (вертолет)
Оперативность	1	1	4	1-5	5	5	5
Продолжительность	5	5	2	2-5	5	2	5
Всепогодность	2	3	2	2	3	3	4
Себестоимость (1 час.)	1	1	4	1-4	4	4	5
Наличие инфраструктуры (взлётная площадка)	1	3	4	5	3	5	5
Режим «висения»	-	5	5	2	-	5	5
Трудоемкость	3	2	3	4	5	5	5
Производительность	5	5	3	5	5	2	5
Задачи	Пилотируемая авиация (самолет)	Пилотируемая авиация (вертолет)	Наземные методы	Спутники (ДЗЗ)	БВС (самолет)	Мультикоптеры	БВС (вертолет)
Экологический мониторинг	1	5	5	2	3	2	5
Картографирование	5	5	0	3	5	4	5
Мониторинг нештатных ситуаций	4	4	3	1	4	4	5
Геофизическая съёмка	5	5	5	3	0	0	5

## **ВЫВОДЫ К ПЕРВОЙ ГЛАВЕ**

1. На сегодняшний день остро стоит проблема проведения атмосферического мониторинга на территории расположения особо опасных и технически сложных объектов минерально-сырьевого комплекса, доля которых в структуре горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности России достигает 40%.

2. Среди рассмотренных способов мониторинговых исследований качества атмосферного воздуха наиболее перспективным является использование беспилотных авиационных систем с установленными на борту средствами измерений.

3. Отсутствие методик выполнения измерений и техническое несовершенство беспилотных авиационных систем не позволяет перейти от классических способов экологического мониторинга к применению дистанционных технологий.

4. Проведенные опытно-конструкторские исследования позволили разработать спускаемое пробоотборное устройство, использование которого способно решить проблему технического несовершенства беспилотных авиационных систем применяемых для атмосферических исследований.

## ГЛАВА 2 МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ БУРОУГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ НА КОМПОНЕНТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

### 2.1 Краткая оценка развития экологической ситуации при добыче бурого угля на примере разреза «Коркинский»

Особенности расположения угольного разреза «Коркинский» характерны для большинства буроугольных месторождений России. Разрез располагается на территории Коркинского муниципального района Челябинской области, в 30 км южнее города Челябинска. Промышленная площадка угольного разреза расположена на северной окраине города Коркино (рисунок 2.1).

Ближайшими к разрезу населёнными пунктами, кроме города Коркино, являются посёлок городского типа Роза, расположенный непосредственно к востоку, посёлок Тимофеевка – в 3 км западнее, посёлок Бектыш – в 5 км юго-восточнее и посёлок Калачёво – 7 км северо-восточнее.

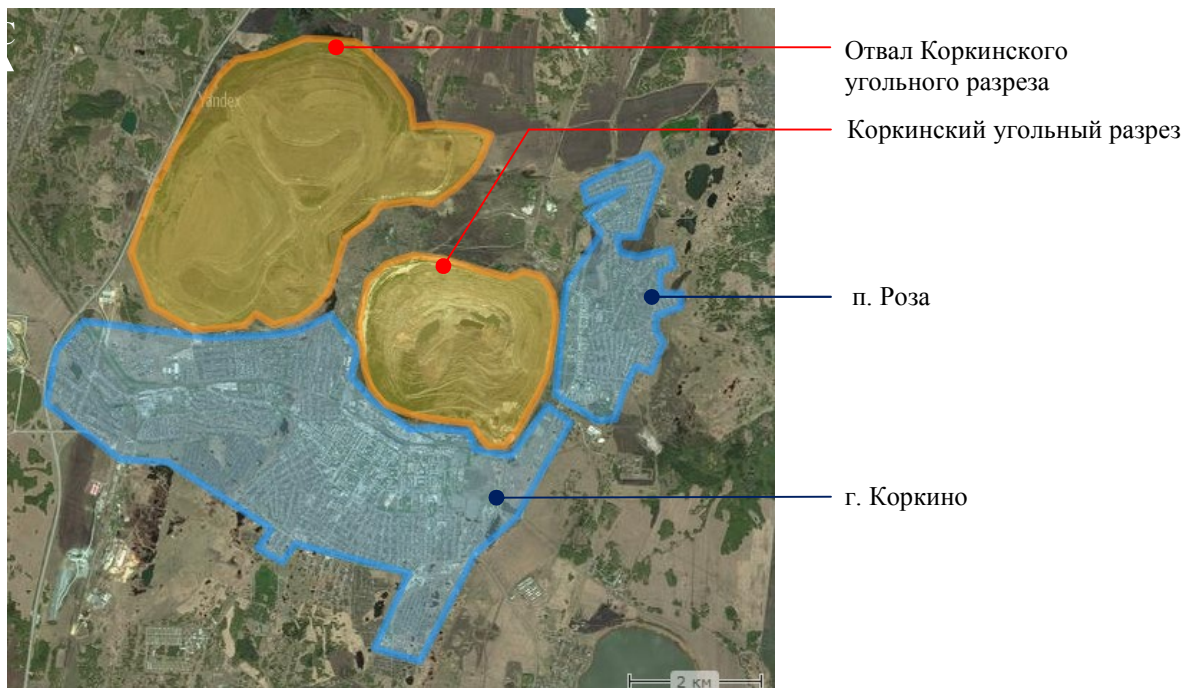


Рисунок 2.1 – Карта-схема расположения угольного разреза «Коркинский»

Основная нагрузка на окружающую среду г. Коркино, формируется в результате деятельности следующих отраслей промышленности:



угледобывающая промышленность (выведенный из эксплуатации угольный разрез «Коркинский»); промышленность строительных материалов (ОАО «ЛафаржЦемент», Комбинат асбоцементных изделий). Помимо указанных промышленных объектов на территории Коркинского муниципального района расположены и другие предприятия, являющиеся источниками выбросов вредных веществ в атмосферный воздух: заводы по производству сухих строительных смесей ООО «Юнис-Урал», ООО «Хенкель-Баутехник», ООО «Коркинская нефтебаза», ООО «Пилигрим» и другие более мелкие предприятия, фирмы.

Коркинский бурогольный разрез функционировал как предприятие по добыче угля в период с 1932 по 2018 г.

Выпускаемая товарная продукция – уголь бурый марки Б, группы ЗБ, подгруппы ЗБВ. В период эксплуатации Коркинского угольного разреза отработка месторождения проводилась как открытым, так и подземным способом.

За период эксплуатации Коркинского угольного разреза было добыто более 250 млн т угля, при этом во внешних отвалах складировано более 1,3 млрд м<sup>3</sup> вскрышных пород.

В настоящий момент на территории бывшего предприятия угольный разрез «Коркинский» выделяют следующие объекты:

- открытая горная выработка, представленная угольным разрезом;
- внешние отвалы вскрышных пород и отходов углеобогащения;
- промышленная инфраструктура и вспомогательные здания и сооружения.

На прилегающей к открытой горной выработке территории можно выделить внешние отвалы, высота которых достигает 130 м, которые в настоящее время не эксплуатируются, вблизи внешних отвалов расположены значительные объемы терриконов законсервированных шахт, часто заполненных водой.

Поверхность отвала подвержена самозарастанию травянисто-кустарниковой растительностью. На территориях, выведенных из эксплуатации более 10 лет назад, на сегодняшний день наблюдается наличие древесной растительности.

На завершающем этапе разработки месторождения вскрышные породы располагались во временных внутренних отвалах разреза, которые размещались на юго-западном и восточном борту и предусматривались для их пригрузки и укрепления в оползнеопасных зонах. В период работы предприятия часть глинистых вскрышных пород применялась в целях тушения и перекрытия очагов эндогенных пожаров.

В юго-восточном направлении на расстоянии 700 м от территории бывшей обогатительной фабрики находится отстойник для осветления технологической воды, которая впоследствии сбрасывалась в р. Чумляк. Общая площадь отстойника превышает 30 га, протяженность ограждающей дамбы достигает 1100 м. По состоянию на 2017 г. угольный разрез «Коркинский» являлся крупнейшим объектом горнодобывающей отрасли в Челябинской области (рисунок 2.2).

Коркинский угольный разрез классифицирован как потенциально опасный объект I класса опасности, аварии на котором могут являться источником возникновения чрезвычайных ситуаций федерального масштаба решением комиссии Челябинской области по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, и обеспечению пожарной безопасности №32- 2010 от 14.12.2010 г.

Разрез «Коркинский» за годы своей отработки накопил ряд существенных техногенных экологических проблем, значительная часть которых связана с выемкой из недр и перемещением в отвалы значительного объема горных пород, что вызывает смещения массива пород и земной поверхности. Значительная часть оползнеопасных зон находится в активном состоянии. Протяженность прибортовых массивов, подверженных данным процессам достигает по фронту 650 м, а по высоте 300 м.



— - контур угольного разреза «Коркинский» (1)      - - - - - контур хвостового хозяйства (2)      — - - территория населенных пунктов (3)

Рисунок 2.2 – Ситуационный план угольного разреза «Коркинский»

Как следствие проявления деформационных процессов в виде эрозии, оползней, осыпей уступов, подвижки по тектоническим нарушениям. Ситуация в открытой горной выработке усугубляется формированием аномальных зон вторичного напряженно-деформированного состояния, крутым углом бортов, подрезкой плоскостей ослабления и обводнением.

К первостепенным экологическим проблемам – наследию горнодобывающего предприятия, следует отнести эндогенные пожары в разрезе, приводящие к загрязнению атмосферного воздуха в городе Коркино и прилегающих населенных пунктах.

Очаги распространения эндогенных пожаров расположены преимущественно на нерабочих бортах угольного разреза, где запасы отработаны, а также, в местах выходов в разрез подземных горных выработок отработанных шахт. На 2019 г. в разрезе «Коркинский» зафиксировано 3 очага эндогенных пожаров, общей площадью 410 м<sup>2</sup>. В

целях локализации возгораний принимаются меры по тушению и профилактике возникновения эндогенных пожаров, среди которых наибольшее распространение получили охлаждение водой и перекрытие инертной породой. На фоне сложившихся экологических проблем, которые требуют оперативного решения, добыча угля на Коркинском разрезе стала нерентабельной.

В тоже время, по состоянию на 01.01.2018 г. неотработанные разведанные для открытой разработки запасы бурого угля в проектном контуре Коркинского угольного разреза составляли более 12 млн т, в том числе категории С1 – более 2 млн т, категории В – более 10 млн т. По экономическим и горнотехническим причинам запасы были отнесены в группу забалансовых.

Участок горных выработок угольного разреза «Коркинский» представляет собой техногенный промышленный ландшафт: в центральной части участка - нарушенные земли угольного разреза «Коркинский» (горная выработка глубиной 540 м, площадью 720 га). На рисунке 2.3 представлена карта-схема расположения основных антропогенных ландшафтов.

С западной части к карьере примыкает отвал вскрышных пород угольного разреза «Коркинский» площадью 1160 га, высотой 65 м. В западной и южной частях отвала наблюдается его самозаращение древесной, кустарниковой и травяной растительностью. В южной части находятся территории, занятые производственными и перерабатывающими предприятиями города Коркино, объектами транспортной инфраструктуры. С запада и востока расположены земли поселений, представленные в западной части – селитебной территорией города Коркино, а в восточной - жилой застройкой поселка Роза. Северо-западная часть участка захватывает южную часть заброшенного расселенного поселка Второй участок. Западная часть поселка Роза, примыкающая к карьерной выемке угольного разреза «Коркинский» выселена. В северной части участка - земли, нарушенные при функционировании шахты «Коркинская», представляют собой заброшенные

постройки, часто с несанкционированными свалками строительных и коммунальных отходов, интенсивно зарастающие кустарниковой и травяной растительностью.



Рисунок 2.3 – Схема расположения антропогенных ландшафтов в районе воздействия угольного разреза «Коркинский»

Почвенный покров и растительность в районе исследования нарушены при строительстве и функционировании угольного разреза «Коркинский». Непосредственно в пределах участка естественные ненарушенные сообщества растительности и зональные типы почв не наблюдаются. Ненарушенный или слабонарушенный почвенный покров встречается к югу, юго-востоку и востоку от района исследования, за пределами санитарно-защитной зоны (СЗЗ) карьера и жилой застройки поселка Роза и города Коркино.

Ландшафт исследуемого участка относится к сильноизмененному – восстановление ландшафта до первоначального природного невозможно. По социально-экономической функции согласно [88] территория участка

характеризуется как «промышленные ландшафты». Классификация ландшафта, сформированного в пределах исследуемого района по [88] приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Классификация ландшафта исследуемого района [89]

Классификационные признаки	Характеристика ландшафта
По видам социально-экономической функции	Промышленные ландшафты
По природным факторам формирования:	
1. степень континентальности климата	Континентальные
2. принадлежность к морфоструктурам высшего порядка	Южноуральская предгорно-среднегорная лесостепная и горно-лесная область
3. особенности макрорельефа	Южно-Зауральская возвышенно-равнинная озернолесостепная провинция (подобласть)
4. расчлененность рельефа	Слаборасчлененные
5. биоклиматические различия	Лесостепная физико-географическая область
По устойчивости к антропогенным воздействиям:	
1. направленность	- привнесение вещества и энергии в природу (выбросы загрязняющих веществ, сбросы, утечки сточных вод промышленных предприятий, строительство техногенных объектов, формирование отвалов), - перераспределение и трансформация вещества и энергии в природе (изъятие полезного ископаемого, внесение насыпных грунтов при строительстве и планировке территории, территории складирования отходов, разработка карьеров и формирование отвалов)
2. генезис	Физические, химические
3. интенсивность	Сильные
4. масштаб	Локальные в пределах СЗЗ (1000 м), ограничены глубиной отработки (540 м)
5. длительность	Длительные
По степени измененности	Сильноизмененные

Таким образом, район проведения исследований расположен в зоне техногенного ландшафта, в пределах которого произошла значительная трансформация природных составляющих окружающей среды. Ландшафт

территории относится к сильноизмененному (восстановление ландшафта до природного невозможно). Современные фактические параметры открытой горной выработки Коркинского угольного разреза представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Параметры горной выработки на момент окончания горных работ

Параметр	Единица измерения	Значение
Площадь горной выработки	га	725,9
Длина по поверхности	м	3120
Ширина по поверхности	м	2570
Длина по дну горной выработки	м	500
Ширина по дну горной выработки	м	130
Глубина горной выработки	м	493
Результирующий угол откоса борта горной выработки:	град.	25
- западного		
- восточного		
- южного		
- северного		26

### 2.1.1 Климатические условия района расположения угольного разреза «Коркинский»

Город Коркино территориально расположен в лесостепной зоне, на значительном удалении от морей и океанов, восточнее от Уральского хребта.

Климат относится к умеренному континентальному (переходный от умеренно-континентального к резко континентальному). Температура воздуха зависит как от влияния поступающих на территорию области воздушных масс, так и от количества получаемой солнечной энергии (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Климатические характеристики Челябинской области

Период	Среднемесячная и среднегодовая температура воздуха, °С	Среднемесячная и среднегодовая скорость ветра, м/с	Среднее число дней с пыльной бурей
Январь	-15,9	2,5	-
Февраль	-13,8	2,2	-
Март	-6,9	2,4	-

Продолжение табл. 2.3

Апрель	4,1	2,8	0,4
Май	11,9	3,2	1,2
Июнь	17,2	2,8	1,1
Июль	18,7	2,3	0,8
Август	16,3	2,2	1
Сентябрь	10,8	2,5	0,7
Октябрь	2,8	2,8	0,1
Ноябрь	-6,1	2,7	0,07
Декабрь	-12,6	2,2	0,1
Год	-2,3	2,6	5,5

Солнце светит на территории области 2066 часов в году. Годовое количество достигает 410 - 450 мм. Ветровой режим на территории города Челябинск и области зависит от особенности размещения основных центров действия атмосферы и изменяется под влиянием орографии (таблица 2.4). В январе-мае преобладают ветры южного и юго-западного направления со средней скоростью 3-4 м/с. При метелях максимальная скорость увеличивается до 16-28 м/с. В июне-августе ветер дует с запада и северо-запада, средняя скорость не увеличивается, но при грозах наблюдается кратковременное шквалистое усиление ветра до 16-25 м/с. В сентябре - декабре ветер изменяет направление на южное и юго-западное, средняя скорость ветра составляет 3 м/с, максимальная – 18-28 м/с.

Таблица 2.4 – Повторяемость направлений ветра на территории Челябинской области

Направление	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
Повторяемость, %	15	3	19	7	26	10	7	13	27

Среднегодовая скорость ветра - 2,6 м/с.

Скорость ветра, повторяемость превышения которой в году составляет 5 %, 7 м/с.

Зима длительная, умеренно-холодная и снежная. Постоянный снежный покров образуется в середине ноября и сохраняется 145 - 150 дней. Высота снежного покрова составляет 30-40 см, но в малоснежные зимы ниже. Метели наблюдаются в течение 30 - 35 дней, общей продолжительностью



220 - 270 часов. Средняя температура января изменяется в диапазоне от  $-15,5$  до  $-17,5^{\circ}$  С. Абсолютный минимум температуры воздуха достигал  $-49^{\circ}$  С. Весна продолжительная и умеренно-тёплая. Лето умеренно тёплое и сухое, в отдельные годы дождливое. Средняя температура воздуха в июле  $18 - 19^{\circ}$  С. Наибольшее количество осадков приходится на июль.

По данным наблюдений метеорологической станции Челябинск-город в период 2008 - 2016 гг. в районе было зарегистрировано 9 случаев опасных явлений (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Повторяемость опасных природных явлений

Год	Месяц	Количество случаев	Вид опасного явления и его характеристика
2008	июнь	1	Очень сильный дождь - 88,2 мм за 12 часов
2010	январь	2	Сильный мороз - минимальная температура воздуха $-40^{\circ}$ С
	ноябрь	1	Сильное отложение мокрого снега на провода - диаметр 38 мм
2012	июль	1	Шквал - максимальная скорость ветра 28-32 м/с
2014	апрель	1	Очень сильный снегопад - 39 мм за 12 часов
	июль	1	Очень сильный дождь - 56 мм за 10,7 часов
	октябрь	1	Раннее установление снежного покрова - на 26-28 дней раньше нормы
2015	июнь	1	Очень сильный дождь - 51 мм за 6 часов 40 минут

Основными неблагоприятными факторами для рассеивания загрязняющих веществ являются штиль и устойчивое состояние атмосферы, в том числе инверсия температуры в нижних слоях атмосферы, возникающая, в основном, вследствие радиационного выхолаживания земной поверхности, адвекции теплого воздуха на холодную подстилающую поверхность, а также при стоке холодного воздуха в вогнутые формы рельефа [90-93].

При оценке характеристик атмосферы использовалось справочное пособие «Климатические характеристики и условия распространения примесей в атмосфере» [94]. Характеристики инверсионных процессов представлены в таблице 2.6.

Представленные сведения показывают, что повторяемость инверсий достаточно высокая. Суммарно по приземным и приподнятым инверсиям

повторяемость в январе близка к 100%, (фиксируется практически ежедневно). Ночь и утро – инверсия приземная, а при последующем прогреве нижних слоев воздуха (днем и к вечеру) – приподнятая.

Таблица 2.6 – Аэроклиматические и комплексные характеристики атмосферы

Наименование характеристики	Единица измерения	Значение
<b>Аэроклиматические характеристики (приземные инверсии)</b>		
Повторяемость в разрезе года	%	43
Продолжительность, суммарная за год	Часы	2500
Высота нижней границы инверсионного слоя	Км	У земли
Мощность инверсионного слоя, средняя за год	Км	0,45
Совпадение инверсионных явлений и штилей	%	10-15
Преимущественный сезон наблюдения	-	Зима
<b>Аэроклиматические характеристики (приподнятые инверсии)</b>		
Повторяемость в разрезе года	%	41
Продолжительность, суммарная за год	Часы	3500-3700
Высота нижней границы инверсионного слоя	Км	0,01-2,0
Мощность инверсионного слоя, средняя за год	Км	0,46
Количество инверсионных дней в году	Дни	110-125
Совпадение инверсионных явлений и штилей	%	10-15
Преимущественный сезон наблюдения	-	Зима
<b>Комплексные характеристики</b>		
Застойные ситуации (скорость ветра 0,1 м/с и приземная инверсия)	%	14
Ситуации, благоприятные для образования фотохимического смога (застойные ситуации при высокой солнечной радиации в теплое время года)	часы	50

### 2.1.2 Характеристика системы водоотведения

К водохозяйственным ландшафтам в районе исследований отнесены р. Чумляк, являющаяся приемником сточных вод после очистных сооружений. Питьевая вода для нужд Коркинского и Розинского городских поселений подается по водоводу из Шершневого водохранилища. В настоящее время Коркинское городское поселение имеет довольно низкую степень благоустройства. На данный момент в городе Коркино районы индивидуальной жилой застройки не обеспечены централизованной системой водоотведения, водоотведение хозяйственно-бытовых сточных вод

в указанных районах осуществляется в локальные септики. Структура системы сбора, очистки и отведения сточных вод в городе Коркино включает в себя систему самотечных и напорных канализационных трубопроводов, с размещенными на них канализационными насосными станциями. Все канализационные стоки поступают на очистные сооружения, находящиеся в 15 км северо-восточнее от поселка Розинского. Производительность очистных сооружений достигает 22 тыс. куб. м. в сутки. Построены очистные сооружения канализации в 1955 году, в 1965 и 1981 годах проводилась частичная реконструкция. На очистных сооружениях канализационные стоки проходят биологическую очистку, после чего очищенные воды сбрасываются в реку Чумляк.

В период эксплуатации предприятия, внутрикарьерный водоотлив Коркинского разреза был представлен пятью насосными установками главного водоотлива и одной участковой насосной.

Водопонижение и осушение бортов ранее осуществлялось посредством откачки воды из шахты «Коркинская» и из зумпфов, расположенных на забое разреза под западным бортом и на откосе южного борта. После прекращения откачки из шахты нижние отработанные горизонты постепенно заполнились водой, которая начала дренироваться на откос северного борта на участке выхода лавы №11.

В результате отсыпки внутреннего отвала под основанием северного борта сформировался ещё один водоём за счёт выхода подземных вод из лавы №11. Эти воды перетекают в основной зумпф по склону северного борта.

На настоящий момент откачка воды из отработанной выработки Коркинского угольного разреза прекращена. Учитывая вышеизложенное необходимо произвести оценку водного баланса техногенного водоема, который образуется в результате затопления открытой горной выработки.

Испарение на площади данного водоёма было рассчитано в соответствии с «Методикой расчета водохозяйственных балансов водных объектов», утверждённой приказом МПР РФ от 30 ноября 2007 г. N 314 [95].

Для малых водоемов площадью до 5 км<sup>2</sup>, а также имеющих среднюю длину разгона воздушного потока над водной поверхностью не более 2-3 км допускается определять средние многолетние величины испарения (мм в год) по следующей формуле:

$$W_{\text{исп}} = E_{20} \cdot K_H \cdot K_{\text{защ}} \cdot \beta, \quad (2.1)$$

где:  $E_{20}$  – средняя многолетняя величина испарения с водной поверхности испарительного бассейна площадью 20 м<sup>2</sup>, составляет в данном районе 70 см;  $K_H$  – поправочный коэффициент на глубину водоёма (для водоёма глубиной >25 м в лесостепной зоне – 0,92);  $K_{\text{защ}}$  – поправочный коэффициент на защищенность водоёма от ветра древесной растительностью, строениями, крутыми берегами и другими препятствиями. Данный коэффициент определяется отношением высоты препятствия (остаточных бортов разреза) к размеру водоёма. При остаточной высоте бортов 100-200 м и линейном размере водоёма 1 – 2 км соотношение будет равно 0,1, а коэффициент ветровой защищённости составит 0,76;  $\beta$  – поправочный коэффициент на площадь водоёма. Для техногенного водоёма, площадь которого при заполнении потенциально может изменяться от 0 до 4,0 км<sup>2</sup> коэффициент  $\beta$  может приниматься равным 1,24.

Расчеты показали, что испарительная способность техногенного водоёма в рекультивируемом Коркинском разрезе составит 607 мм в год

Необходимо отметить, что на площади дополнительного затопления будет не только испарение с водной поверхности, но и поступление атмосферных осадков. Среднемноголетний годовой слой осадков по данным метеостанции Челябинск составляет в этом районе 427 мм.

Таким образом, слой испарения с поверхности водоёма за вычетом атмосферных осадков составляет 180 мм в год.

После завершения рекультивации угольного разреза баланс воды в техногенном водоёме будет определяться испарением с поверхности водоёма, атмосферными осадками на площади водоёма, атмосферными осадками на площади карьера, оставшейся не затопленной и поступлением подземных вод.

Техногенный водоём внутри рекультивируемого Коркинского разреза после превышения отметки +50 будет работать как испаритель. Чем выше отметка затопления и больше площадь водоёма, тем больше воды он испаряет. Таким образом, уровень воды в техногенном водоёме, как после окончания рекультивации, так и при естественном затоплении, может поддерживаться только за счёт притока подземных вод.

## **2.2. Характеристика угольного разреза «Коркинский» как источника нарушений и загрязнений окружающей природной среды**

### **2.2.1 Оценка негативного воздействия угольного разреза «Коркинский» на литосферу**

В соответствии с почвенным районированием территории Челябинской области, город Коркино расположен в пределах развития почвенной комбинации выщелоченных и оподзоленных, серых и темно-серых лесных почв, и черноземов.

На территориях непосредственно подверженных негативному воздействию угольного разреза «Коркинский» преимущественное распространение получили урбаноземы. Плодородные почвы распространены в окрестностях города Коркино, поселка Роза, за пределами промышленной и селитебной застройки и представлены черноземами и выщелоченными пахотными почвами.

Ведение горных работ на Коркинском угольном разрезе оказало и продолжает оказывать значительное техногенное воздействие на исходное напряженно-деформированное состояние верхней части литосферы.

В настоящий момент, основную угрозу в плане развития деформационных процессов представляет собой Восточный борт разреза, который находится в аварийном состоянии. Его деформации происходят на протяжении более 40 лет и сопровождаются разрушением зданий и сооружений в прибортовой зоне. Территория опасных деформаций за пятнадцатилетний период наблюдений продвинулась по поверхности в сторону поселка Роза на 50 м, прибортовая полоса на длине 200-250 м оказалась в зоне накопления деформаций, превышающих предельно допустимые. Появились трещины в зданиях станции Роза, котельной, военизированной горноспасательной части, ряда жилых домов, под железнодорожными путями и шоссейной автодорогой. Борт постоянно находится в околопредельном состоянии массива.

### **2.2.2 Оценка негативного воздействия угольного разреза «Коркинский» на гидросферу**

Гидрографическая сеть территории, подверженной воздействию Коркинского угольного разреза является чрезвычайно бедной и представлена бассейном реки Чумляк, которая является правым притоком реки Миасс. Р. Чумляк мелководная и постоянное течение имеет ниже города Коркино, где в нее впадает р. Каменка. Незначительная протяженность рек, малое количество атмосферных осадков и постоянное преобладание испаряемости над суммой осадков обуславливают как маловодность рек, так и крайнюю неустойчивость режима стока.

Фоновый химический состав воды р. Чумляк сульфатно-гидрокарбонатный, магниевый-кальциевый-натриевый. Вода в реке обладает слабощелочной реакцией (рН 8,37). Минерализация воды достигает 0,6 г/л, значение общей жесткости 6,0 мг-экв/л.

Выше города Коркино в р. Чумляк выявлены повышенные концентрации ряда элементов: марганец (1,3 ПДК<sub>рх</sub>), фториды (1,5 ПДК<sub>рх</sub>), медь (15 ПДК<sub>рх</sub>), цинк (1,4 ПДК<sub>рх</sub>), ртуть (28,6 ПДК<sub>рх</sub>), фенолы (2,6 ПДК<sub>рх</sub>).

Аналогичный химический состав наблюдается ниже места впадения р. Каменки в р. Чумляк.

Сброс дренажных вод угольного Коркинского угольного разреза характеризуется минерализацией 1,6 г/л, со слабощелочной реакцией (рН 8,18). В составе сбрасываемых дренажных вод выявлены превышения следующих элементов: натрий (3,2 ПДК<sub>рх</sub>), калий (1,6 ПДК<sub>рх</sub>), сульфаты (5,8 ПДК<sub>рх</sub>), нитриты (1,9 ПДК<sub>рх</sub>), аммоний (26 ПДК<sub>рх</sub>), марганец (6,6 ПДК<sub>рх</sub>), медь (11 ПДК<sub>рх</sub>), цинк (1,8 ПДК<sub>рх</sub>), ртуть (28,6 ПДК<sub>рх</sub>), фенолы (5,7 ПДК<sub>рх</sub>).

Сброс вод оказывает влияние на изменение химического состава р. Чумляк ниже по течению. По макрокомпонентному составу воды р. Чумляк ниже сброса аналогичны составу дренажных вод.

Анализ представленных сведений показал, что сброс дренажных вод определяет гидрохимическое состояние р. Чумляк на исследуемой территории.

Наличие в пределах водосборных площадей поверхностных водных объектов открытой горной выработки Коркинского угольного разреза, внешних отвалов, промышленных предприятий и селитебной застройки определяет в целом неудовлетворительное состояние поверхностных водных объектов определяется.

### **2.2.3 Оценка негативного воздействия угольного разреза «Коркинский» на атмосферу**

По состоянию на 2018 г. добыча полезных ископаемых в пределах Коркинского угольного разреза прекращена и наиболее важной проблемой становятся эндогенные пожары, которые являются основным источником загрязнения атмосферного воздуха ближайших населенных пунктов (город Коркино, поселок Роза, город Челябинск).

Преобладающими источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в период ликвидации и рекультивации Коркинского разреза будут являться:

- силовые агрегаты при эксплуатации машин и механизмов, а также пыление и выбросы силовых агрегатов при транспортировке;
- выбросы загрязняющих веществ вследствие горения эндогенных пожаров.

При разработке мероприятий по профилактике и тушению эндогенных пожаров на разрезе «Коркинский» выбран оптимальный и эффективный способ локализации эндогенных пожаров, который предполагает три этапа развития: перекрытие очагов пожаров инертными вскрышными породами; оценка и контроль состояния пожароопасных территорий; специальные мероприятия, в случае повторного проявления признаков эндогенного пожара.

Первый этап является основным при тушении эндогенных пожаров и подразумевает подготовку и выемку инертных вскрышных пород с последующим перекрытием очагов пожаров. Объем инертных вскрышных пород, укладываемых на пожар, составляет 400 тыс. м<sup>3</sup> в год. Отсыпка очагов пожаров инертными вскрышными породами будет происходить в течении 10 лет. Режим работы составляет 355 дней в году, в 1 смену по 12 часов.

Для обеспечения необходимой производительности по выемке и транспортированию инертных вскрышных пород необходимо следующее оборудование, представленное в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Перечень используемого оборудования

Оборудование	Необходимое количество, ед.
Экскаватор Hyundai R520LC	1
Автосамосвал Shacman	4
Бульдозер Б10М	1
Топливозаправщик	1
Поливочная машина	1
Автобус ПАЗ	1

Основными постоянно действующими источниками загрязнения атмосферы при тушении эндогенных пожаров на разрезе «Коркинский» будут являться:



- работа двигателей внутреннего сгорания (ДВС) техники;
- погрузочно-разгрузочные работы;
- пыление автодороги и транспортируемого материала;
- заправка оборудования.

При работе техники и при производстве погрузочно-разгрузочных работ и транспортировании инертных вскрышных в атмосферный воздух происходят выбросы пыли неорганической 70-20%  $\text{SiO}_2$ , оксида углерода, оксидов азота, керосина, сажи, диоксида серы.

При заправке техники в атмосферный воздух происходят выбросы сероводорода и углеводородов предельных  $\text{C}_{12}$ - $\text{C}_{19}$ .

Всего в ходе тушения эндогенных пожаров на разрезе «Коркинский» будет выделяться 9 загрязняющих веществ, в том числе 2 твердых и 7 жидких (газообразных).

Низкие температуры воздуха и отсутствие ветра в осенне-зимние периоды обуславливают возникновение глубоких температурных инверсий внутрикарьерной атмосферы.

На угольном разрезе «Коркинский» проблема эндогенных пожаров существовала все годы его разработки.

С целью уменьшения выбросов вредных веществ, образующихся от эндогенных пожаров, принимаются следующие меры по тушению и профилактике: охлаждение холодной водой, направление в зону действия пожаров дождевых и грунтовых вод; обработка антипирогенами; перекрытие инертными породой и глинистым материалом с последующей трамбовкой.

Наибольшее воздействие на атмосферный воздух происходит при локализации над поверхностью разреза приземной температурной инверсии. В такие периоды происходит полное задымление угольного разреза «Коркинский» и частичное задымление близлежащих населенных пунктов.

Выгоревшие объемы угля и заскладированных углесодержащих отходов ослабляют горный массив и массивы отходов и значительно осложняют общую геодинамическую ситуацию.

Анализ способов тушения эндогенных пожаров, а также многолетний опыт тушения сотрудниками разреза «Коркинский» показали, что наибольшей эффективностью обладает способ локализации, при котором происходит перекрытие очага эндогенного пожара инертными породами. Изолирование подразумевает прекращение доступа кислорода, которые выполняет основную функцию в окислительных процессах. В качестве инертного материала целесообразно применять инертные вскрышные породы, вынимаемые без применения буровзрывных работ [96].

Однако, выполняемые мероприятия, не снижают напряженности в решении проблемы профилактики и ликвидации существующих эндогенных пожаров. Расположение очагов эндогенных пожаров представлено на рисунке 2.4.

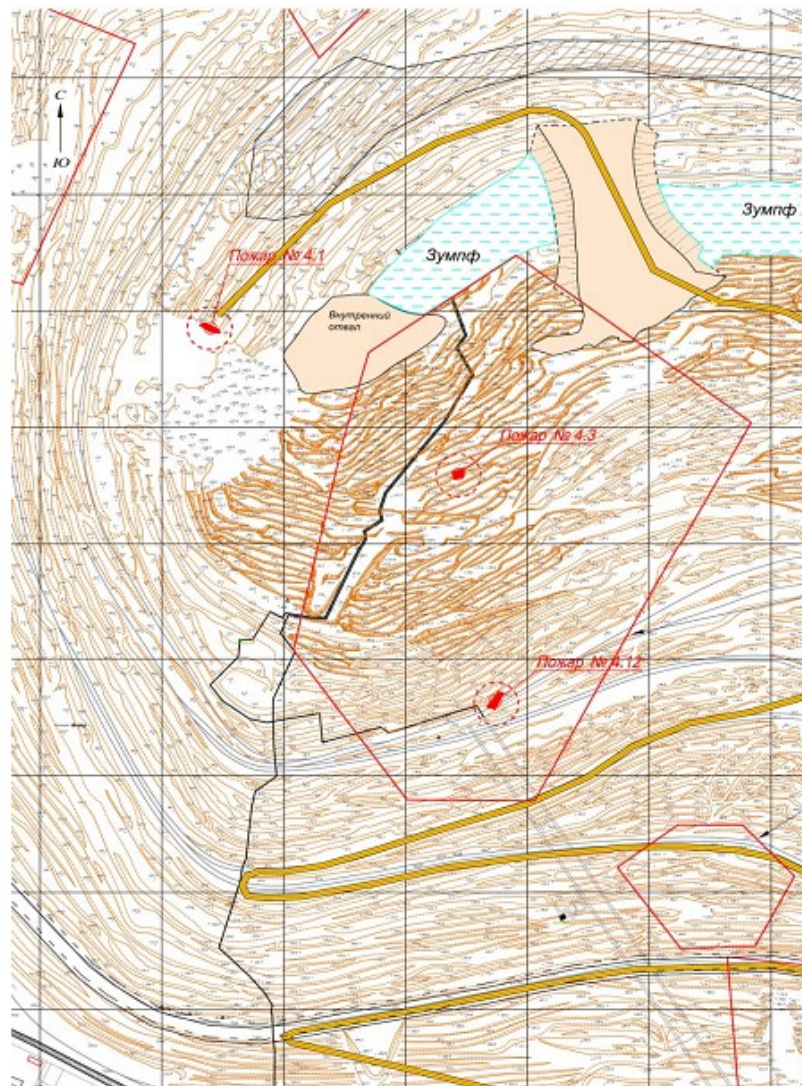


Рисунок 2.4 – Схема расположения очагов эндогенных пожаров.

Очаг пожара №4.1 локализована на западном борту с горизонта  $-76$  м до  $-98$  м, и занимает площадь  $80 \text{ м}^2$ . Основные площади очагов пожаров №4.12 и №4.3 локализованы на территории оползневой зоны в юго-западной части горизонта  $+45-39$  м и горизонта  $-125-140$  м, соответственно. Площадь пожара №4.12 достигает  $150 \text{ м}^2$ , пожара №4.3 –  $180 \text{ м}^2$ .

Горение пластов угля сопровождается выбросом в атмосферный воздух широкого спектра загрязняющих веществ, среди которых особую опасность представляют оксиды азота, диоксид серы, сероводород, оксид углерода. По предварительным оценкам, при отказе от тушения эндогенных пожаров на разрезе «Коркинский» в атмосферный воздух будет выбрасываться  $950,7$  т/год загрязняющих веществ. Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу в результате горения пластов угля, приведен в таблице 2.7. Классы опасности загрязняющих веществ приняты согласно справочнику «Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух» [97].

Таблица 2.7 – Перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу в результате горения пластов угля

Вещество		Класс опасности	Суммарный выброс вещества	
Код	Наименование		г/с	т/год
0301	Азота диоксид (азот (IV) оксид)	3	0,01200	0,01500
0304	Азот (II) оксид (азота оксид)	3	0,00200	0,00200
0330	Сера диоксид (ангидрид сернистый)	3	13,35000	17,54200
0333	Дигидросульфид (сероводород)	2	18,49500	24,30200
0337	Углерод оксид (сажа)	4	691,6480	908,8250
Всего			723,5070	950,6860

Для оценки техногенной нагрузки, оказываемой угольным разрезом «Коркинский» на ближайшие населенные пункты, были проведены расчеты рассеивания приземных концентраций загрязняющих веществ при горении пластов угля. Результаты проведенных расчетов представлены в

Приложении В. Расчет рассеивания загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы выполнен с применением унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы «Эколог». Анализ результатов расчета рассеивания загрязняющих веществ, выделяемых при горении пластов угля показывает, что на границе СЗЗ наблюдается превышение расчетных приземных концентраций относительно ПДК по следующим веществам: - сероводород 7,85 ПДК (0,06 мг/м<sup>3</sup>), - углерод оксид 5,22 ПДК (26,1 мг/м<sup>3</sup>).

Таким образом, проведенная оценка угольного разреза «Коркинский» как источника загрязнения и нарушения компонентов окружающей природной среды показала, что наибольшее воздействие в ходе эксплуатации объекта испытывает атмосферный воздух, в результате чего был сделан вывод о необходимости проведения детальных мониторинговых исследований данного компонента окружающей природной среды.

### **2.3 Мониторинг качества атмосферного воздуха в исследуемом районе**

Территория Челябинской области, на которой расположен целый ряд крупнейших промышленных объектов горнодобывающей отрасли России, таких как Магнитогорский металлургический комбинат, Челябинский металлургический комбинат, медеплавильный комбинат «Карабашмедь» и Коркинский угольный разрез, находится в состоянии экологического кризиса.

При этом для большинства предприятий отсутствует расширенная эколого-токсикологическая оценка деятельности предприятий и достоверная информация о процессах, способствующих выбросу загрязняющих веществ в атмосферный воздух, в связи с чем не предпринимаются меры по снижению негативной техногенной нагрузки на атмосферных воздух.

Общее развитие системы экологического мониторинга не способствует повышению представительности данных о качестве атмосферного воздуха на территориях горнопромышленных агломераций. Так, на территории города Челябинска с населением более 1,2 млн человек находится лишь 8

стационарных постов экологического мониторинга, расположенных в разных районах города, что не соответствует нормам, представленным в ГОСТ 17.2.3.01-86. «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов» [98]. Так же следует отметить, что с 2016 года была прекращена работа передвижных постов экологического мониторинга на территории городов-спутников (город Коркино, поселок Роза), входящих в агломерацию «Большой Челябинск».

Детальные мониторинговые атмохимические исследования до настоящего времени на территории Коркинского муниципального района не проводились.

В связи с процедурой ликвидации АО «Челябинская угольная компания» и прекращением добычи угля в Коркинском угольном разрезе, воздействие на компоненты окружающей природной среды контролируется недостаточно тщательно и преимущественно по стандартным показателям с оценкой содержания основных веществ, загрязняющих атмосферный воздух, в процессе извлечения горной массы из недр, переработке полезных ископаемых и при складировании промышленных отходов (вскрышных пород).

Вследствие несовершенства системы мониторинга в настоящее время остается не изученной ситуация с переносом загрязняющих компонентов на территории агломерации «Большой Челябинск» и недостаточно достоверно оценен вклад выбросов Коркинского угольного разреза в общую картину загрязнения воздушного бассейна агломерации.

Для оценки состояния атмосферного воздуха в зоне воздействия Коркинского угольного разреза в полевые сезоны с 2016 по 2018 годы проведен комплекс инженерно-экологических исследований, которые включали в себя комплексную оценку состояния атмосферного воздуха на территории Коркинского и Сосновского районов Челябинской области с привлечением передвижной лаборатории экологического мониторинга и

беспилотных воздушных систем лаборатории моделирования экологической обстановки Горного университета.

Анализ загрязнения атмосферного воздуха в зоне воздействия Коркинского угольного разреза проводился в «теплые» периоды года (июнь - август) в различных метеорологических условиях, преимущественно без осадков. Данные временные периоды обоснованы наиболее частым в срезе года проявлением неблагоприятных метеорологических условий, в том числе формированием приземных температурных инверсий в утренние часы.

На рисунке 2.5 представлена разработанная в целях проведения исследований схема расположения маршрутных постов экологического мониторинга качества атмосферного воздуха, разработанная в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов» для оценки уровня загрязненности атмосферного воздуха в зоне воздействия Коркинского разреза.

Маршрутные посты мониторинга качества атмосферного воздуха располагались непосредственно на территории открытой горной выработки угольного разреза и на селитебной территории города Коркино и поселка Роза в соответствии с основными направлениями ветров, построенными по данным средних многолетних наблюдений (рисунок 2.6).



Рисунок 2.5 – Схема расположения маршрутных постов мониторинга атмосферного воздуха.

На основе данных рекогносцировки местности маршрутные посты были размещены в различных частях населенных пунктов (с учетом типа застройки) на открытых площадках.

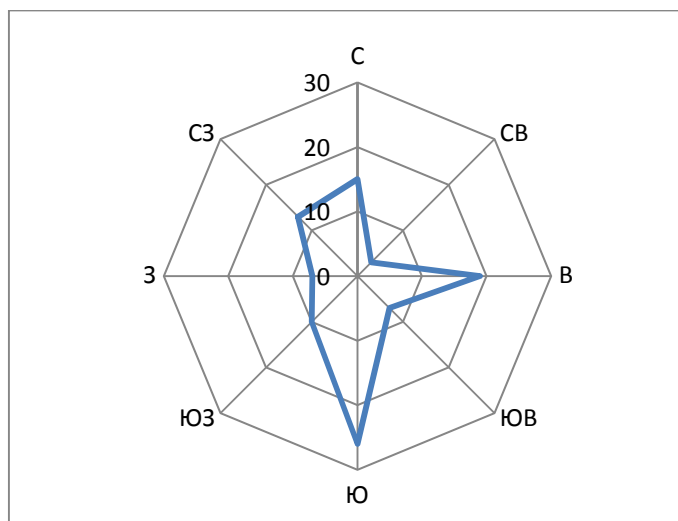


Рисунок 2.6 – Среднегодовая роза ветров исследуемого региона

Схема расположения маршрутных постов разработана с учетом природной и техногенной защищенности объектов и территории в целом (учитывались основные направления среднегодовой розы ветров исследуемого региона, значительные формы рельефа местности, проводимые природоохранные мероприятия и др.), что позволяет получить объективные данные и выявить закономерности распространения атмосферного ореола загрязнения приземной атмосферы.

В качестве фонового участка при оценке качества атмосферного воздуха Челябинской агломерации, был выбран район расположения деревни Томино Сосновского муниципального района Челябинской области. В соответствии с ГОСТ 17.2.3.01-86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов» в населенных пунктах с населением до 50 тыс. человек допустимо устанавливать один стационарный или передвижной пост экологического мониторинга. Выбор данного участка в качестве фонового обоснован значительным (до 15 км) удалением от исследуемого объекта, а также расположением относительно угольного

разреза «Коркинский» с подветренной стороны (с учетом среднегодовой розы ветров).

В связи со значительным количеством маршрутных постов исследования качества атмосферного воздуха проводились по сокращенной программе (ежедневные измерения, дважды по 20 минут на каждом посту).

В период неблагоприятных метеорологических условий наблюдения проводились через каждые 3 часа. При этом анализ загрязнения приземного слоя проводился на постах, расположенных по приоритетному направлению распространения ветра, и на территориях с максимальной плотностью населения.

Для определения приземных концентраций загрязняющих веществ, опробование проводилось на высоте 1,5 – 2 м от поверхности земли.

Скорость воздушного потока и направление ветра были определены с использованием анализатора метеорологических параметров МЭС-200.

На всем протяжении полевых исследований значение скорости ветра в среднем составляло 3-4 м/с (с порывами до 7 м/с), а повторяемость его направлений, в среднем, соответствовала розе ветров для исследуемого района, температура воздуха изменялась в диапазоне от +23<sup>0</sup>С до +27<sup>0</sup>С, влажность атмосферного воздуха не превышала 65 %, а атмосферное давление соответствовало норме и составляло 101,3 кПа.

На основании данных о выбрасываемых в атмосферный воздух загрязняющих компонентах, был определен перечень веществ, подлежащих контролю. К данным веществам были отнесены оксид углерода (сажа), оксид и диоксид азота, диоксид серы и сероводород.

В таблице 2.8 представлены среднесуточные и максимальные разовые значения предельно допустимых концентраций исследуемых загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха населенных пунктов, а также приведены лимитирующие показатели вредности и классы опасности загрязняющих веществ.

Оценка содержания газообразных загрязняющих веществ проводилась



с применением портативных газоанализаторов ГАНК-4.

Принцип действия газоанализатора комбинированный и основан на следующих методах измерений:

- а) со встроенными датчиками: электрохимический (СО, О<sub>2</sub>, СН<sub>2</sub>О), полупроводниковый (стирол, бензол), термокаталитический (СН<sub>4</sub>, гексан),
- б) со сменной химкассетой – спектрофотометрический.

Таблица 2.8 – Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов [4]

Наименование вещества	Химическая формула	Величина предельно допустимой концентрации, мг/м <sup>3</sup>		ЛПВ	КО
		максимальная разовая	среднесуточная		
Углерод оксид	СО	5	3	рез.	4
Азота диоксид	NO <sub>2</sub>	0,4	0,02	рефл.-рез.	3
Азота оксид	NO	0,4	0,06	рефл.	3
Дигидросульфид	H <sub>2</sub> S	0,008	-	рефл.	2
Сера диоксид	SO <sub>2</sub>	0,5	0,05	рефл.-рез.	3

Примечание: КО – класс опасности вещества; ЛПВ – лимитирующий показатель вредности (характеризует направленность биологического действия); рез. – резорбтивный (возможность развития общетоксических, гонадотоксических, эмбриотоксических, мутагенных, канцерогенных и других эффектов, возникновение которых зависит не только от концентрации вещества в воздухе, но и длительности ее вдыхания); рефл. – рефлекторный (реакция со стороны рецепторов верхних дыхательных путей - ощущение запаха, раздражение слизистых оболочек, задержка дыхания); рефл.-рез. – рефлекторно-резорбтивный.

В таблице 2.9 представлены усредненные значения концентраций загрязняющих компонентов в приземном слое атмосферы для района фонового мониторинга.

Следует отметить, что коэффициент контрастности по сероводороду не рассчитывался вследствие отсутствия норматива ПДК<sub>СС</sub> в соответствии с

ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений» [99].

Таблица 2.9 – Усредненные значения концентраций различных загрязняющих компонентов в приземном слое атмосферы фонового участка

№ поста мониторинга	Место расположения поста	Содержание загрязняющих компонентов					
		Наименование компонента	CO	NO	NO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	SO <sub>2</sub>
Ф	350 м севернее д. Томино	Концентрация, мг/м <sup>3</sup>	2,61	0,037	0,013	0,002	0,047
		Коэффициент контрастности относительно ПДК <sub>СС</sub>	0,87	0,62	0,65	-	0,94

В результате исследования превышений предельно допустимых концентраций исследуемых компонентов районе расположения поста фонового экологического мониторинга не выявлено.

Интерпретация результатов мониторинга качества атмосферного воздуха в приземном слое на территории, подверженной антропогенному воздействию, осуществлялась путем построения атмохимических ореолов загрязнений.

Для графического отображения закономерностей миграции выявленных атмохимических ореолов был выполнен расчет рассеивания загрязняющих компонентов в приземном слое атмосферы.

При построении карт распространения атмохимических ореолов загрязнения использовалось программное обеспечение Surfer v.13.3, а в качестве метода интерполяции был применен метод Inverse Distance to a Power. Расчет проводился при наиболее часто повторяемых метеорологических условиях.

В качестве топографической основы построения карт распространения атмохимических ореолов загрязнения использовался космоснимок исследуемого участка. Принимая во внимание небольшую высоту застройки относительно глубины угольного разреза, элементы селитебной территории

при построении моделей распространения атмосферических ореолов загрязнения приравнивались к шероховатости рельефа местности.

Обработка результатов наблюдений проводилась с применением метода интерполяции Inverse Distance to a Power (IDP), который является интерполятором взвешенного среднего значения. Данный метод может применяться как точный интерполятор, так и интерполятор сглаживания [100-102].

При использовании предложенного метода интерполяции точкам данных присваивается определенный вес так, что влияние одной точки данных, по сравнению с другой растет по мере уменьшения расстояния до произвольного узла сетки. Присвоение веса точкам данных осуществляется путем использования весовой силы (мощности), контролирующей рост весового коэффициента при сокращении расстояния до произвольного узла сетки. Чем больше весовая мощность, тем меньшее воздействие оказывают отдаленные от узла сетки точки данных в процессе интерполяции. При увеличении мощности значение узла сетки приближается к значению самой близкой точки данных.

При решении большинства задач, указанный метод применяется как точный интерполятор. В процессе вычисления значений узлов сетки, присваиваемые точкам весовые коэффициенты, являются частью от целого и в сумме равны единице. В случае, если положение точки совпадает с произвольным узлом сетки, данной точке присваивается вес равный единице, а всем остальным точкам – нулевой вес. Для исключения присвоения произвольным точкам подавляющего веса может быть использован параметр сглаживания(smoothing), при этом ни одной точке не присваивается весовой коэффициент равный единице.

Одним из недостатков метода IDP является генерация «кругов мишени», которые окружают произвольные точки наблюдения. Использование параметра сглаживания при интерпретации результатов позволяет снизить влияние данного эффекта.

Основное преимущество метода IDP – высокая скорость интерполяции. При реализации метода IDP (в случае, когда параметр сглаживания не задан) применяется уравнение [103]:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}}. \quad (2.2)$$

В случае, когда параметр сглаживания задан, уравнение принимает вид:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{(h_{ij} + \delta)^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(h_{ij} + \delta)^\beta}}, \quad (2.3)$$

где:  $Z$  – интерполируемое значение узла сетки,  $Z_i$  – соседние точки данных,  $h_{ij}$  – расстояние между точкой данных и узлом сетки,  $\beta$  – весовая мощность (силовой параметр),  $\delta$  – параметр сглаживания.

Графическое представление результата расчета параметров полного рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе представлено в виде ситуационной карты-схемы расположения Коркинского угольного разреза с нанесенными на него изолиниями, построенными по коэффициентам контрастности, отражающими расположение атмосферных ореолов загрязнения.

Коэффициент контрастности ( $K_k$ ), характеризующий уровень загрязнения приземной атмосферы каким-либо загрязняющим веществом, определяется по формуле:

$$K_k = \frac{C}{ПДК_{cc}}, \quad (2.4)$$

где:  $C$  – концентрация загрязняющего вещества в приземном слое атмосферы,  $\text{мг/м}^3$ ,  $ПДК_{cc}$  – среднесуточная предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества.

При расчете коэффициентов контрастности по сероводороду в качестве элемента сравнения использовалась концентрация данного компонента в фоновом участке, так как требования гигиенического норматива не

предусматривают установление среднесуточной предельно допустимой концентрации дигидросульфида в атмосферном воздухе населенных мест.

Построенные по результатам мониторинговых исследований карты распространения атмохимических ореолов загрязнения представлены на рисунках 2.7 - 2.11.

Анализ результатов расчета полного рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе исследуемого района показал, что при нормальных (наиболее часто повторяющихся) метеорологических условиях наблюдается значительное превышение среднесуточных предельно допустимых концентраций по ряду компонентов.

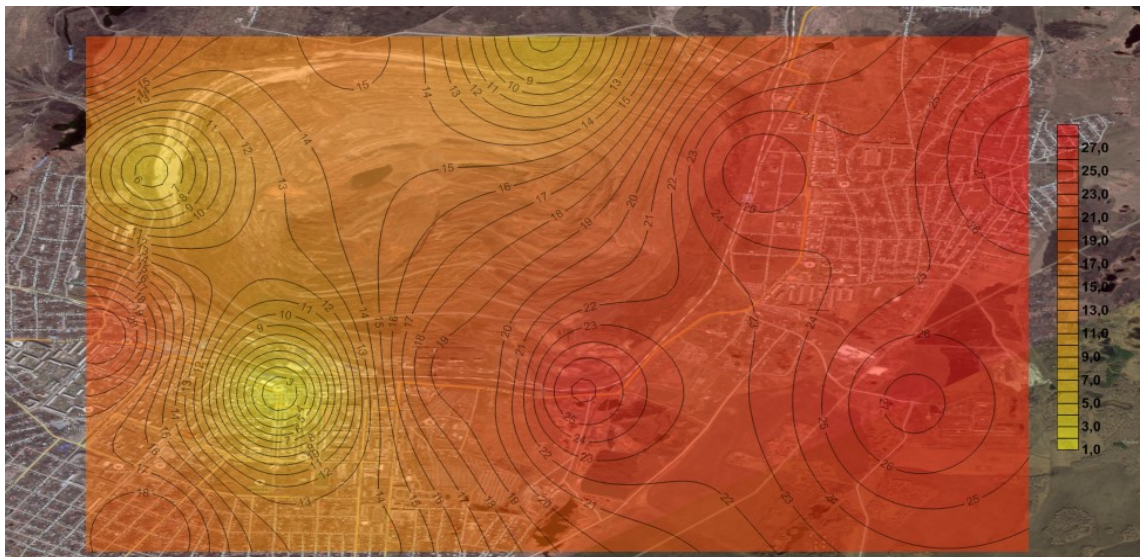


Рисунок 2.7 – Атмохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы оксидом углерода (CO) в районе расположения Коркинского угольного разреза

Наибольшую опасность вызывает выявленный атмохимический ореол распространения оксида углерода (максимально наблюдаемый  $K_{ПДК_{cc}}^{CO} - 27,8$ ). При этом превышения предельно допустимой концентрации наблюдаются на всей территории города Коркино и поселка Роза ( $K_{ПДК_{cc}}^{CO}$  от 3 до 27).

Атмохимический ореол загрязнения оксидом азота (II) и диоксидом азота на территории углеобогатительной фабрики имеет максимальный коэффициент контрастности относительно ПДК<sub>cc</sub> 4,2 – 4,6 и 1,2 – 1,3 соответственно.

Площадь выявленной техногенной атмохимической аномалии

достигает  $0,7 - 1,0 \text{ км}^2$ . Селитебная часть города Коркино испытывает нагрузку в  $2,4 - 2,8 K_{\text{ПДК}_{\text{сс}}}^{\text{NO}}$ . На территории поселка Роза превышений предельно допустимых концентраций зафиксировано не было.

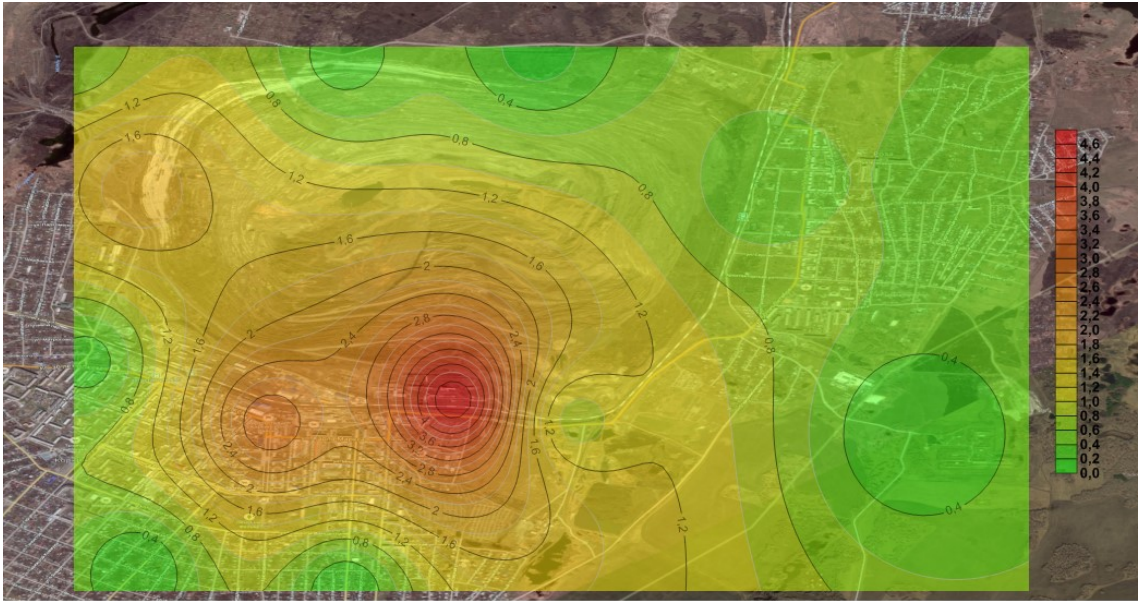


Рисунок 2.8 – Атмохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы оксидом азота (NO) в районе расположения Коркинского угольного разреза

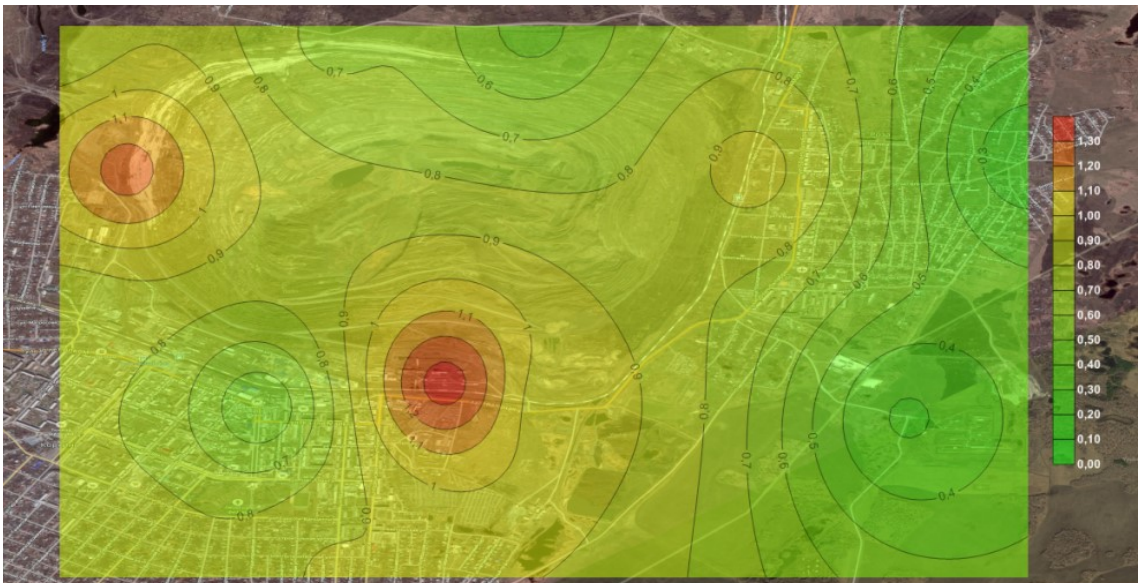


Рисунок 2.9 – Атмохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы диоксидом азота (NO<sub>2</sub>) в районе расположения Коркинского угольного разреза

Техногенные атмохимические аномалии, формируемые в результате горения эндогенных пожаров на территории Коркинского угольного разреза имеют максимальные  $K_{\text{ПДК}_{\text{сс}}}^{\text{SO}_2}$  и  $K_{\Phi}^{\text{H}_2\text{S}}$  на юго-восточной окраине поселка Роза и достигают значений  $2,2 - 2,3$  и  $1,05 - 1,10$ , соответственно.

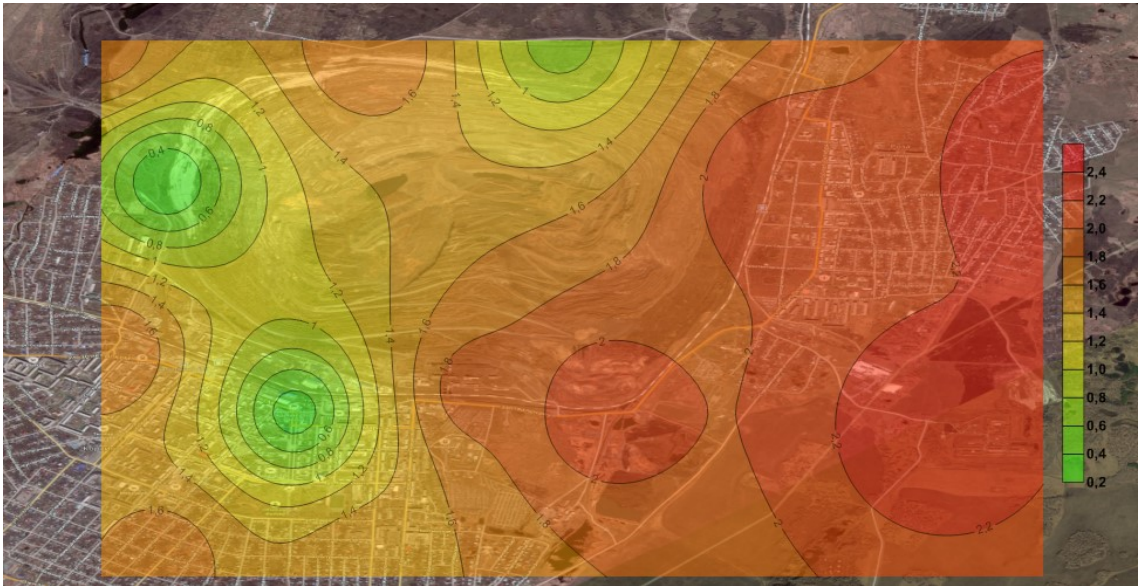


Рисунок 2.10 – Атмохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы диоксидом серы (SO<sub>2</sub>) в районе расположения Коркинского угольного разреза

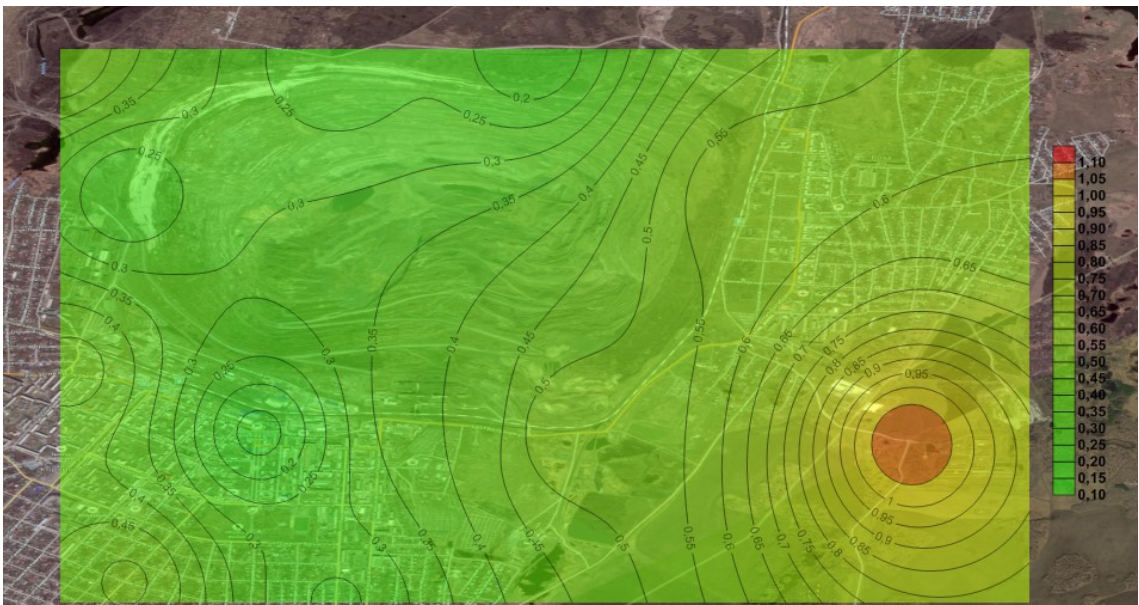


Рисунок 2.11 – Атмохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы сероводородом (H<sub>2</sub>S) в районе расположения Коркинского угольного разреза

В рамках выполнения исследований качества атмосферного воздуха на территории, подверженной воздействию производственной деятельности Коркинского угольного разреза, было выявлено несколько веществ, обладающих эффектом суммации.

Эффект суммации - изменение вредного действия двух или более загрязняющих веществ при их совместном присутствии в атмосферном

воздухе по сравнению с индивидуальным воздействием каждого вещества отдельно.

При совместном присутствии в атмосферном воздухе нескольких веществ, обладающих суммацией действия, сумма концентраций не должна превышать 1 (единицы) при расчете по формуле:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1, \quad (2.5)$$

где:  $C_i$  - фактические концентрации веществ в атмосферном воздухе среды обитания человека, мг/м<sup>3</sup>; ПДК<sub>*i*</sub>- предельно допустимые концентрации тех же веществ, мг/м<sup>3</sup>.

Согласно ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений» к группе суммаций в рассматриваемом районе относятся серы диоксид и сероводород. При совместном присутствии в атмосферном воздухе азот диоксид и сера диоксид обладают частичной суммацией действия, сумма их концентраций не должна превышать 1,6 при расчете по формуле:

$$\frac{C_{NO_2}}{\text{ПДК}_{NO_2}} + \frac{C_{SO_2}}{\text{ПДК}_{SO_2}} \leq 1,6. \quad (2,6)$$

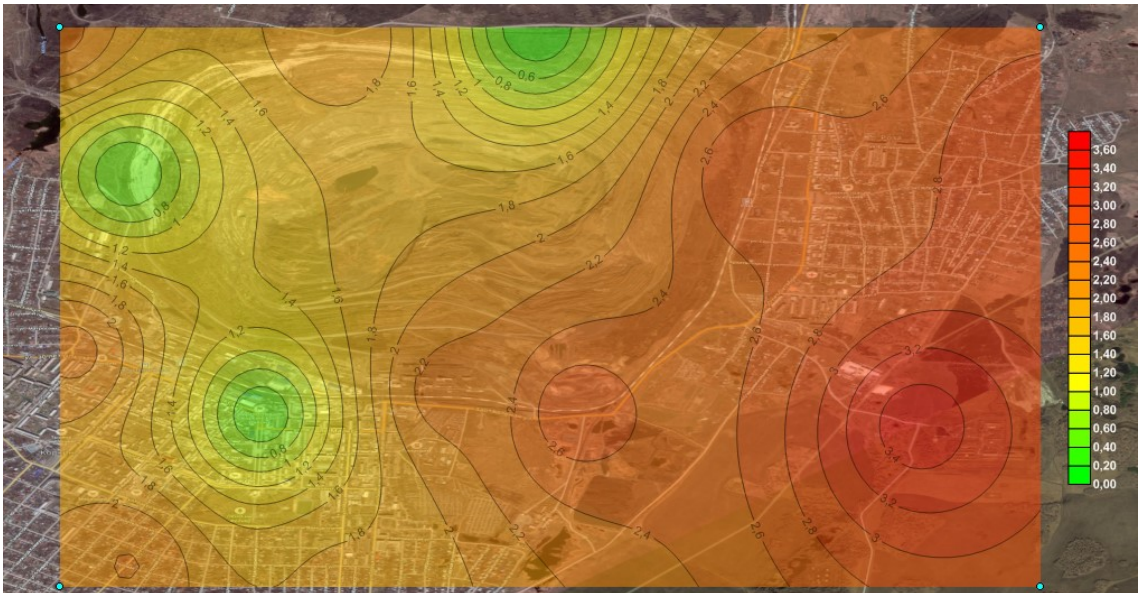


Рисунок 2.12 – Атмохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы веществами, входящими в группу суммаций (диоксид серы + сероводород) в районе расположения Коркинского угольного разреза



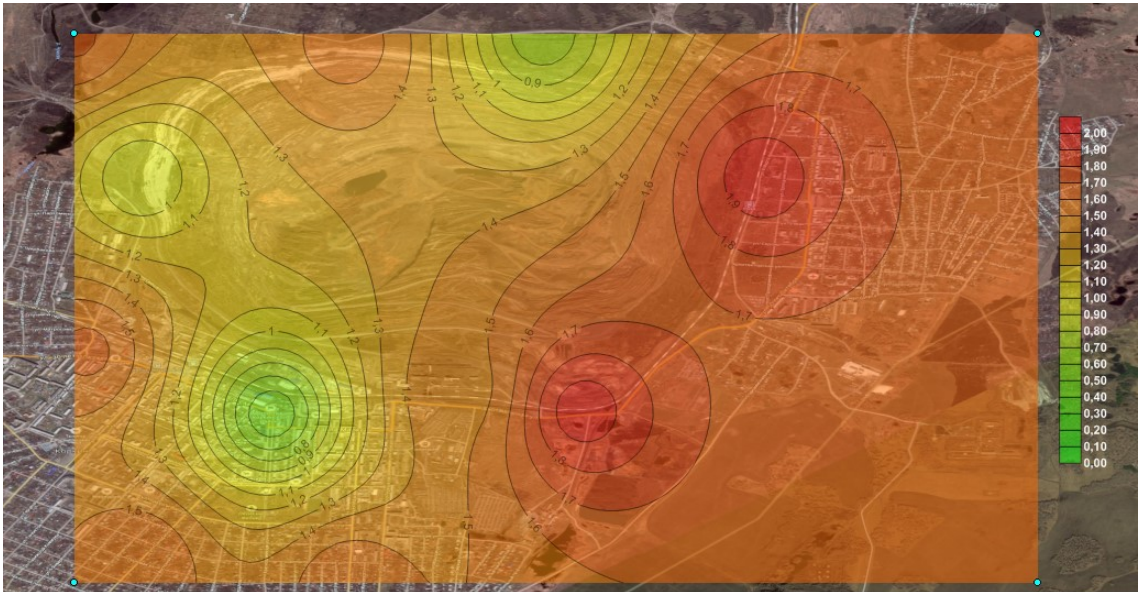


Рисунок 2.13 – Атмохимический ореол загрязнения приземного слоя атмосферы веществами, входящими в группу неполной суммаций (диоксид серы + диоксид азота) в районе расположения Коркинского угольного разреза

Анализ полученных результатов показывает, что очаги техногенных атмохимических аномалий по обеим группам суммаций расположены на восточной окраине города Коркино и на всей территории поселка Роза. Суммарная площадь выявленной аномалии составляет порядка  $10,6 \text{ км}^2$ , максимальный коэффициент контрастности по группе суммаций №41 составляет  $K_{ПДК_{cc}}^{\Sigma 41} = 3,3 - 3,6$ , по группе неполной суммации №4  $K_{ПДК_{cc}}^{\Sigma 4} = 1,8 - 2,0$ .

Загрязнение воздушного бассейна в результате выбросов в атмосферу значительных объемов загрязняющих веществ от неорганизованных источников в местах эксплуатации производственных объектов горно-перерабатывающего комплекса привело к тому, что на сегодняшний день на территории крупных горнопромышленных агломераций сформировались атмохимические ореолы загрязнения с аномально высокими концентрациями загрязняющих веществ.

Атмохимический мониторинг позволил выявить превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих компонентов в атмосферном воздухе населенных пунктов. По всем исследуемым веществам

наибольшие концентрации наблюдались на территории плотной жилой застройки в восточной части поселка Роза ( $C_{CO}=83,4$  мг/м<sup>3</sup>,  $C_{H_2S}=0,002$  мг/м<sup>3</sup>,  $C_{SO_2}=0,12$  мг/м<sup>3</sup>,  $C_{NO}=0,28$  мг/м<sup>3</sup>,  $C_{NO_2}=0,024$  мг/м<sup>3</sup>).

Проведенные исследования позволили выявить атмосферические аномалии техногенного характера в районе, подверженном воздействию угольного разреза «Коркинский». Однако при проведении мониторинговых исследований в районах расположения подобных производственных объектов минерально-сырьевого комплекса, отмечается труднодоступность мест расположения постов мониторинга, высокие временные затраты на проведение исследований, необходимость привлечения большого количества трудовых ресурсов, что приводит к низкой эффективности работ по контролю качества компонентов окружающей среды.

Кроме того, ограниченное количество постов экологического мониторинга приводит к снижению точности получаемых данных о состоянии атмосферного воздуха.

Данные недостатки «традиционного» способа мониторинга качества атмосферного воздуха указывают на необходимость внедрения современных оперативных средств экологического мониторинга с широкой полосой охвата.

В целях повышения оперативности проведения подобных исследований, при сохранении достаточной степени достоверности получаемых результатов и повышении точности построения карт атмосферических аномалий, было принято решение об обосновании параметров и внедрении в систему производственного экологического мониторинга дистанционных методов получения метрологически значимой измерительной информации с высокой оперативностью.

## ВЫВОДЫ КО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

1. Проведенные полевые исследования позволили выявить основной источник загрязнения приземного слоя атмосферы техногенного происхождения – эндогенные пожары на территории Коркинского угольного разреза.

2. Результаты проведенных мониторинговых исследований в зоне воздействия Коркинского угольного разреза показали, что основными компонентами, загрязняющими атмосферный воздух, являются оксид углерода, оксид азота, диоксид азота, диоксид серы и сероводород (коэффициенты контрастности  $K_{\text{ПДК}_{\text{cc}}}^{\text{CO}} = 27,8$ ,  $K_{\text{ПДК}_{\text{cc}}}^{\text{NO}} = 4,6$ ,  $K_{\text{ПДК}_{\text{cc}}}^{\text{NO}_2} = 1,3$ ,  $K_{\text{ПДК}_{\text{cc}}}^{\text{SO}_2} = 2,3$ ,  $K_{\text{Ф}}^{\text{H}_2\text{S}} = 1,1$ ).

3. Анализ графических результатов экологического мониторинга атмосферного воздуха в приземном слое показал, что атмохимические аномалии имеют площадь от 0,6 до 27,5 км<sup>2</sup>. Дальность распространения техногенных атмохимических аномалий при средней скорости ветра 3-4 м/с достигает 18-23 км.

4. Натурные наблюдения показали превышение допустимой концентрации оксида углерода на 100% селитебной территории г. Коркино, пос. Роза в течение всего периода наблюдений.

5. В ходе проведения экологического мониторинга было выявлено взаимное усиление негативного воздействия загрязняющих веществ, входящих в группы суммаций ( $K_{\text{ПДК}_{\text{cc}}}^{\Sigma 41} = 3,3 - 3,6$ ,  $K_{\text{ПДК}_{\text{cc}}}^{\Sigma 4} = 1,8 - 2,0$ ).

6. Результаты оценки Коркинского угольного разреза как источника воздействия на атмосферный воздух, показали, что мониторинг качества атмосферного воздуха на указанной территории необходимо проводить не только во время эксплуатации горнодобывающего предприятия, но также на стадии его ликвидации и рекультивации нарушенных земель.

**ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА  
АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С ПРИМЕНЕНИЕМ  
МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ НА  
ТЕРРИТОРИЯХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ АГЛОМЕРАЦИЙ**

**3.1 Обоснование параметров средств измерений беспилотных  
авиационных систем, применяемых для оценки качества атмосферного  
воздуха**

В процессе разработки методики оценки качества атмосферного воздуха на территориях горнопромышленных агломераций с применением беспилотных воздушных судов (БВС) следует учитывать ряд ограничений различного характера (рисунок 3.1). Основные из них заключаются в требованиях законодательства Российской Федерации в области обеспечения единства измерений, в области безопасной эксплуатации беспилотных воздушных судов гражданского назначения, а также технических требованиях предъявляемых к средствам измерений и методическим требованиям, обусловленным специальными условиями размещения средств измерений (СИ) на борту БВС.



Рисунок 3.1 – Схема нормативного обеспечения методики дистанционной оценки качества атмосферного воздуха с применением беспилотных авиационных систем (БАС)

При выборе СИ в первую очередь должно учитываться допустимое значение погрешности для данного результата измерения, установленное

нормативной документацией, регламентирующей требования к точности определения концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

В случае, если допустимая погрешность не устанавливается в соответствующих нормативных документах, предельно допустимая погрешность измерения принимается равной расширенной неопределенности методики измерения.

При создании измерительной системы и выборе СИ учитываются:

- 1) допускаемые отклонения результатов измерения;
- 2) условия эксплуатации измерительной системы;
- 3) перечень контролируемых параметров и номинальные значения измеряемых величин;
- 4) величина разности между максимальным и минимальным значением измеряемой величины, регламентируемая в нормативной документации;
- 5) время одного измерения;
- 6) конструкция СИ и условия отбора проб;
- 7) методы проведения измерений и способы контроля.

Главным критерием выбора СИ является их соответствие требованиям достоверности измерений, получения настоящих (действительных) значений измеряемых величин с заданной точностью при минимальных временных и материальных затратах.

Если необходимо создать измерительную систему, то руководствуясь критерием точности, ее погрешность (расширенная неопределенность) должна вычисляться как сумма погрешностей всех элементов системы (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, методических погрешностей и пр.), в соответствии с установленным для каждой системы законом.

Выполнив предварительный выбор средств измерений в соответствии с критерием точности, следует при окончательном выборе средств измерений учитывать:

1) рабочую область значений измеряемых величин при соответствующих атмосферном давлении, температуре и влажности атмосферного воздуха в районе отбора пробы и пр., оказывающих влияние на процесс измерения;

2) масса-габаритные характеристики СИ;

3) конструктивные особенности СИ;

4) наличие соответствующих протоколов обмена данными;

5) технические характеристики пробоотборных устройств;

6) быстродействие измерительной системы в целом.

При выборе средств измерений необходимо отдавать предпочтение стандартизированным СИ, внесенным в реестр Федерального информационного фонда.

В соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации №425 от 07.12.2012 [104] измерение концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе относятся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений и выполняются при осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды. При этом метрологическое обеспечение должно соответствовать требованиям №102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений» [105]. Кроме того, обязательным метрологическим требованием к подобным измерениям относится показатель точности измерения и в диапазоне измеряемых величин от  $10^{-7}$  до  $100 \text{ мг/м}^3$  предельно-допустимая погрешность составляет  $\pm(10...25)\%$ .

В данной работе, методика оценки качества атмосферного воздуха на территориях горнопромышленных агломераций базируется на применении малогабаритных газоанализаторов с комплектом сенсоров, позволяющих определять содержание оксида углерода, оксидов азота, оксида серы, сероводорода.

В соответствии с [106] газоаналитическое оборудование, применяемое в экологических исследованиях должно отвечать ряду требований.

Газоанализатор или его части (например, выносной сенсор), предназначенный для работы в присутствии агрессивных газов и паров и способный выделять побочные продукты в процессе работы (например, каталитическое окисление или другие химические процессы), должен быть изготовлен из материалов, стойких к коррозии. Конструкцией газоанализатора должно быть обеспечено удобство выполнения регулярных проверок погрешности измерений. Должна быть обеспечена достоверность передачи цифровых данных между пространственно разделенными частями измерительной системы (газоанализатор и наземная станция управления комплексом на базе БВС).

В газоанализаторе для обеспечения применимости в составе мониторингового комплекса на базе БВС должен быть реализован следующий минимальный набор тестов:

- 1) контроль напряжения электропитания цифровых устройств с периодом, не превышающим десятикратное время срабатывания;
- 2) проверка всех световых и звуковых сигналов при включении газоанализатора или по команде пользователя;
- 3) циклическое автотестирование узлов газоанализатора с периодом тестирования не зависящем от процесса обработки результатов измерения;
- 4) контроль памяти программ и параметров с помощью процедур, которые позволяют обнаруживать единичную ошибку;
- 5) тест оперативного запоминающего устройства предусматривающий проверку записи-чтения каждой ячейки памяти.

При применении газоаналитической системы в целях контроля качества атмосферного воздуха рациональным является выбор систем непрерывного действия оборудованных комплектом измерительных преобразователей различных типов:

- электрохимических детекторов в целях определения концентрации кислорода, сернистого ангидрида, оксида и диоксида азота, сероводорода, оксида углерода и аммиака;

- оптических детекторов в целях определения концентрации диоксида углерода и суммы углеводородов.

Принцип действия электрохимических газоаналитических приборов основывается на электрохимическом методе определений массовых концентраций вредных токсичных веществ, а также кислорода в газовой среде. В качестве чувствительного элемента используется электрохимический сенсор (ячейка), предназначенный для обнаружения контроля токсичных, инертных и других газов, кислорода, органических веществ и паров кислот.

Газовоздушная смесь через противопылевой фильтр (также выполняющий функцию селективного (избирательного) фильтра) и гидрофобную мембрану диффундирует на измерительный (рабочий) электрод, выполненный из одного из благородных металлов (платина, золото, палладий либо другого драгметалла). Высвобождающиеся при этом электроны проходят через электролит и эталонный электрод, и формируют во внешней цепи сигнал постоянного тока. Величина этого сигнала прямо пропорциональна концентрации детектируемого газа.

Современные датчики имеют в своём составе внутреннюю память, с сохранёнными на ней настроечными константами сенсора. При применении такого электрохимического сенсора с FLASH-памятью и подключении его к измерительной головке газоанализатора необходимая информация из него автоматически сканируется, что экономит время на подготовку СИ к работе. Встроенная компенсация влияния температуры на датчик обеспечивает стабильную и устойчивую работу электрохимической ячейки с необходимой точностью при определённой температуре окружающей среды.

Необходимость установки избирательного (селективного) фильтра обусловлена необходимостью исключения эффекта перекрёстной чувствительности газов, находящихся в атмосфере воздуха. Например, присутствие 40 ppm (млн<sup>-1</sup>) диоксида азота (NO<sub>2</sub>) в атмосфере вызвало бы отрицательные показания до - 30 ppm (млн<sup>-1</sup>) в электрохимическом сенсоре



кислорода ( $O_2$ ), предназначенного для измерения низких концентраций. Селективные фильтры пропитаны веществом, соединяющим с помощью химической реакции газы, к которым имеется перекрёстная чувствительность у электрохимического датчика.

В связи с этим, данные фильтры имеют ограниченный ресурс и являются индивидуальными для различных датчиков. Кроме того, наличие избирательного фильтра увеличивает время измерения целевого газа и снижает чувствительность сенсора. Средний срок службы либо хранения электрохимического сенсора составляет 9 - 36 месяцев, но стоит учитывать, что ресурс сенсора расходуется в независимости от того, используется он или нет. Чем больше размеры газочувствительного сенсора и больше в нём электролита, тем выше его стабильность работы, ресурс и чувствительность к газу.

При определении содержания диоксида углерода в атмосферном воздухе могут использоваться оптические датчики газоанализаторов. Принцип работы таких систем основан на инфракрасном излучении – изменение интенсивности которого до и после поглощения углекислым газом находятся в диапазоне от 1 до 15 мкм. В качестве источников излучения служат светодиоды, инфракрасные лазеры или нагретые спирали.

Кроме селективных приёмников, в инфракрасных датчиках углекислого газа могут применяться болометры, термобатарей или полупроводниковые элементы. Тогда газоанализаторы оснащаются интерференционными или газовыми фильтрами.

С учетом проведенных ранее исследований, результаты которых представлены в разделе 1.3 предлагается следующая компоновка БВС вертолетного типа (рисунок 3.2).

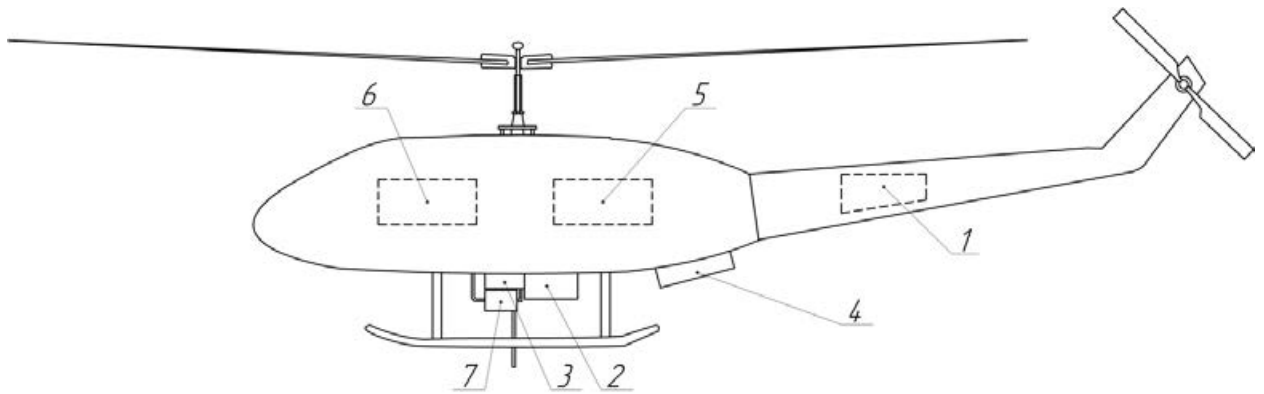


Рисунок 3.2 – Общий вид автоматизированной измерительной системы на базе БВС для мониторинга атмосферного воздуха (1 – блок координатометрирования; 2 – блок химических сенсоров, состоящий из газоанализатора и элементов питания; 3 – сорбционный пробоотборник; 4 – усилительно-преобразующее устройство и антенна радиосвязи; 5 – блок метеодатчиков; 6 – система управления; 7 – блок спускаемого пробоотборника)

Минимальные технические характеристики БВС при использовании их в составе комплекса экологического мониторинга приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные технические характеристики БВС

Характеристика	Значение
Дальность действия БВС (при условии радиовидимости), км, не менее	10
Максимальная высота полета БВС, м, не менее	600
Максимальная скорость горизонтального полета БВС, км/ч, не более	60
Скорость горизонтального полета БВС, км/ч	0 - 60
Среднее квадратическое отклонение от заданного маршрута полета, м, не более	25
Время непрерывной работы БВС от бортовой системы электропитания изделия во время полета, ч, не менее	1
Максимальная взлетная масса БВС, кг, не более	35
Рабочие условия эксплуатации	
- температура атмосферного воздуха, °С	от 0 до 45
- атмосферное давление, кПа	от 84,0 до 106,7
- относительная влажность атмосферного воздуха, %	от 5 до 95

### 3.2 Оценка требуемой частоты облетов объектов горнопромышленных агломераций БВС в процессе мониторинговых исследований

В соответствии с существующей нормативно-правовой базой, контроль качества атмосферного воздуха должен обеспечиваться стационарными газоаналитическими постами. Количество стационарных постов находится в пропорциональной зависимости от численности населения (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Требования по количеству стационарных постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха в населенных пунктах [98]

Численность населения	Количество стационарных постов наблюдения
До 50 тыс. жителей	1
До 100 тыс. жителей	2
От 100 до 200 тыс. жителей	2-3
От 200 до 500 тыс. жителей	3-5
Более 500 тыс. жителей	5-10
Более 1 млн. жителей	10-20 (в том числе маршрутные посты)

В соответствии с правилами контроль необходимо вести по одной из четырех программ мониторинга и выполнять операции контроля практически непрерывно.

Требования [98] распространяются на правила контроля качества воздуха селитебных территорий и вновь строящихся населенных пунктов, однако не распространяются на правила контроля качества воздуха промышленных агломераций.

В соответствии с изменениями от 24.07.2018 в федеральный закон «Об охране окружающей среды» программа производственного экологического контроля для объектов I категории, к которым в том числе относятся разрезы по добыче угля, дополнительно содержит программу создания системы автоматизированного контроля. В ст. 67.3 говорится о необходимости оборудования стационарных источников выбросов автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов. Программой создания системы автоматизированного

контроля определяются стационарные организованные источники и показатели выбросов загрязняющих веществ, подлежащие автоматическому контролю.

Таким образом, действие настоящего федерального закона не может быть применено к площадным неорганизованным источникам загрязнения, которые являются наиболее значимыми на территориях горнопромышленных агломераций.

Требования к периодичности наблюдений за качеством атмосферного воздуха в районе расположения объектов по добыче и переработке горючих полезных ископаемых, в том числе углей, изложены во «Временном руководстве по профилактике и тушению эндогенных пожаров» [107].

Ответственные лица, с целью своевременного обнаружения эндогенных пожаров, как одного из наиболее опасных факторов влияния на атмосферный воздух, должны проводить периодическое обследование территории угольных разрезов (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Периодичность оценки пожароопасных ситуаций в угольных разрезах.

Группа (категория) пожароопасности	Критерий пожароопасности, баллы	Степень пожароопасности	Периодичность обследования
I	< 25	Не опасные	-
II	25-50	Малоопасные	1 раз в 15 дней
III	50-75	Умеренно опасные	1 раз в 7 дней
IV	75-100	Опасные	1 раз в 7 дней
V	100-125	Повышенной опасности	1 раз в 3 дня
VI	125	Весьма опасные	Каждый день

Принимая во внимание категорию пожароопасности исследуемого объекта в период его эксплуатации (VI), можно сделать вывод о том, что проведение мониторинговых работ должно осуществляться ежедневно. Однако, следует отметить, что применительно к угольному разрезу «Коркинский» находящемуся в стадии ликвидации с отсутствием комплекса

мероприятия по профилактике развития эндогенных пожаров, руководствоваться данными таблицы не вполне корректно.

Анализ действующий на территории Российской Федерации нормативно-правовой базы по организации экологического мониторинга в районах расположения особо опасных и технически сложных объектов горнопромышленных агломераций показал, что единого подхода к обоснованию периодичности проведения наблюдений в настоящее время не существует, в связи с этим было принято решение определить периодичность наблюдений за качеством атмосферного воздуха (периодичность облетов) в районе, подверженном негативному воздействию угольного разреза «Коркинский» расчетным способом.

Исходными данными для расчета являлись данные двухлетних статистических наблюдений за качеством атмосферного воздуха г. Челябинск (данные собирались на стационарных постах экологического мониторинга атмосферного воздуха, расположенных в разных районах города с 2017 по 2018 г.). Выбор группы стационарных постов обуславливается близостью г. Челябинск к району проведения исследований и доступностью статистических данных о качестве атмосферного воздуха за репрезентативный период наблюдений.

Основным критерием выбора периодичности облета стало соответствие требованиям федерального закона от 26.06.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений», в соответствии с которым предельно допустимая погрешность определения концентрации органических и неорганических веществ в атмосферном воздухе должна составлять от 10% до 25%.

Оценка воздействия угольного разреза «Коркинский» на атмосферный воздух проводилась путем расчета стандартного отклонения от медианного значения кратности превышения ПДК<sub>АВ</sub>, рассчитанного за исследуемый период времени. Проведенные расчеты показали, что оптимальным является период проведения измерений один раз в 9 дней. При этом обеспечиваются законодательные требования в области обеспечения единства измерений и

стандартные отклонения лежат в пределах от 12% до 19% при коэффициенте охвата равном 2. Дальнейшее уменьшение периода облета следует считать нецелесообразным, в связи с увеличением затрат на проведение испытаний, не сопоставимыми с незначительным увеличением доверительной вероятности.

Решение о проведении дополнительных полетов измерительного комплекса должно приниматься на основании метеорологической информации и при подтверждении наступления периодов неблагоприятных метеорологических условий (в том числе пожароопасных).

### **3.3 Разработка стандартных маршрутных полетных заданий для мониторинга загрязнения атмосферы в зоне воздействия источников загрязнения различных типов**

Планирование полетов БВС и подача представления на установление временного или местного режима производится в порядке, определенном требованиями [108], другими документами воздушного законодательства Российской Федерации.

Перед выполнением полета командир экипажа БВС знакомится со всей имеющейся информацией, касающейся данного полета, а также планирует альтернативные действия на случай, если полет по плану не может быть выполнен вследствие ухудшения погодных условий.

Перед началом полета командир экипажа БВС удостоверяется, что летно-технические характеристики БВС позволяют безопасно выполнить намеченный полет в прогнозируемых условиях.

Командир экипажа БВС имеет право принимать окончательные решения о взлете, полете и посадке БВС, а также о прекращении полета и возвращении на площадку запуска или о вынужденной посадке в случаях явных угроз жизни и здоровью, нанесения ущерба окружающей среде. Такие решения об экстренном прекращении полета могут быть приняты с отступлением от плана полета, указаний соответствующего органа

воздушного движения и задания на полет, с обязательным уведомлением соответствующего органа обслуживания воздушного движения.

При изменении метеоусловий в процессе летной смены и приближении их значений к предельным, командир экипажа БВС принимает решение о продолжении (прекращении) полетов.

Главным критерием в принятии решения на вылет должна быть полная уверенность командира экипажа БВС в том, что его опыт и практические навыки, а также техническое состояние БВС позволят ему успешно выполнить полет при данных конкретных метеоусловиях и завершить его безопасной посадкой с учетом структурных особенностей района полетов.

К особенностям летной эксплуатации БВС относятся:

- выполнение полетов без пилота на борту;
- выполнение полетов в сегрегированном воздушном пространстве;
- возможность подготовки БВС к полету, взлет и посадка с использованием площадок ограниченных размеров;
- небольшие размеры БВС;
- значительное влияние метеоусловий на выполнение полета;
- ограниченный набор пилотажно-навигационного оборудования;
- отсутствие у многих внешних пилотов специального авиационного образования.

Ночные полеты разрешается выполнять при наличии оснащении БВС бортовыми аэронавигационными огнями.

При полетах на малых и предельно малых высотах, высота полета БВС не должна быть меньше минимально допустимой высоты полета, устанавливаемой эксплуатационной документацией для данного типа БВС.

При полетах в горной местности набор высоты полета беспилотного воздушного судна разрешается выполнять по маршруту следования только при условии обеспечения набора минимального безопасного эшелона (высоты) полета до установленного рубежа.

При наличии в районе площадки взлета мощной кучевой и кучево-дождевой облачности командир экипажа БВС обязан оценить возможность взлета и определить порядок обхода мощно-кучевой, кучево-дождевой облачности и зон сильных ливневых осадков.

В зависимости от решаемых задач и типа БВС различают три варианта полетов:

- дистанционно управляемый – когда внешний пилот от взлета до посадки управляет полетом БВС в режиме ручного управления, воздействуя на его органы управления;
- автономный – когда полет запрограммирован и выполняется без вмешательства внешнего пилота в управление, по заданной программе;
- смешанного типа – когда внешний пилот в любой момент времени может вмешаться в управление полетом и перейти с автоматического на ручное управление.

Для построения универсальных карт облета на территориях горнопромышленных агломераций, было предварительно проведено моделирование распространений загрязняющих веществ от типовых источников выбросов. Моделирование проводилось с применением унифицированной программы расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух «УПРЗА Эколог 4.6», в которой реализован расчетный алгоритм, соответствующий Приказу МПР от 06.06.2017 №273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе». В качестве типовых источников при моделировании рассматривались: одиночный точечный источник выброса высотой 50 м; линейный источник выброса протяженностью 1000 м и высотой 2 м; площадной источник выброса с линейными размерами 2000 x 200 м и высотой 2 м.

Также было проведено моделирование распространения примесей в случаях различных комбинаций указанных источников. Результаты моделирования приведены в Приложении Г.



Учитывая практически равномерный характер рассеивания загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух одиночным источником загрязнения, а также локализацию и дальность переноса атмосферного ореола, предполагается применение в качестве полетного задания облета по спирали Архимеда, в направлении приоритетного распространения загрязнения (рисунок 3.3)

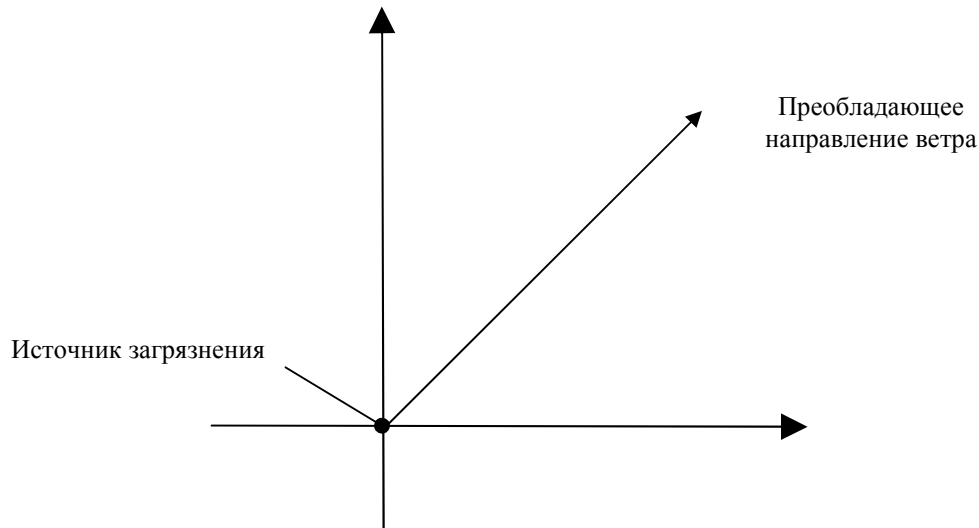


Рисунок 3.3 – Маршрут полета БВС при оценке загрязнения атмосферного воздуха от одиночного точечного источника

При этом шаг спирали может варьироваться в диапазоне от 200 до 500 м, постепенно увеличиваясь по мере удаления от источника выброса, а максимальный радиус спирали должен обеспечивать определение содержания загрязняющих компонентов в атмосферном воздухе во всем факеле выброса на удалении от источника, которое может быть достигнуто по техническим характеристикам БВС, но не более 15 км. Облеты необходимо проводить на различных высотах от источника с шагом от 25 до 75 м. Минимальная высота полета – 25 м установлена в соответствии с федеральными законодательными требованиями о безопасной эксплуатации БВС гражданского назначения.

Реализация подобного полетного задания обеспечит получение наибольшего полезного объема информации о качестве атмосферного воздуха при наименьших возможных затратах. Следует также отметить, что

предлагаемое полетное задание позволяет получать информацию, отвечающую требованиям №102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений».

При построении полетного задания в случае оценки вклада линейного источника в загрязнение воздушного бассейна очевидным является необходимость применения облета по галсам вдоль линейного источника, как показано на рисунке 3.4.

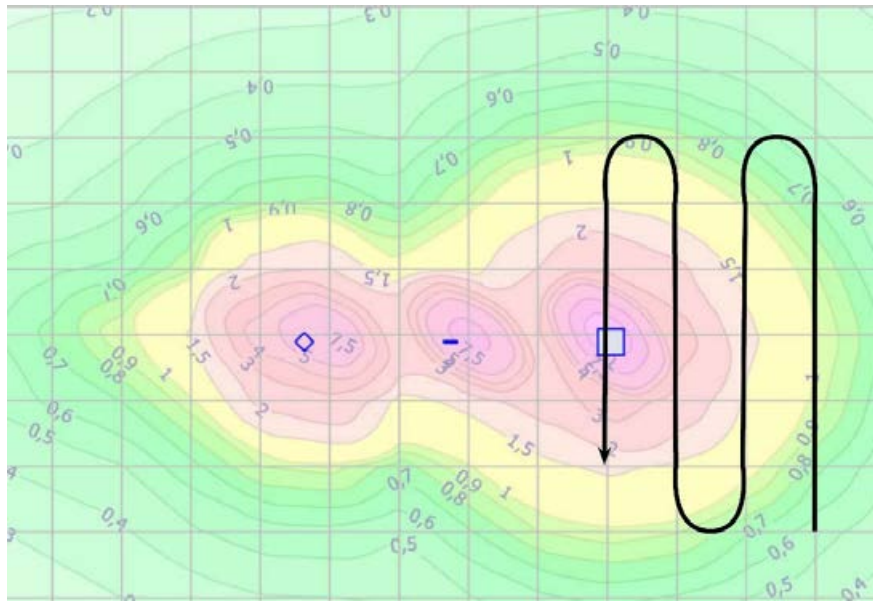


Рисунок 3.4 – Маршрут полета БВС при оценке загрязнения атмосферного воздуха от линейного источника

Ширина галса при этом определяется дальностью переноса загрязняющего компонента по нормали к линейному источнику и не может быть меньше ширины санитарно-защитной зоны. Шаг галса должен удовлетворять условиям [105] и для типового линейного источника загрязнения атмосферного воздуха должен составлять от 200 до 500 м.

Для оценки вклада площадных источников выбросов в загрязнение атмосферного воздуха на территориях горнопромышленных агломераций предлагается построение универсальных полетных заданий, заключающихся в облете площадного источника по спирали от геометрического центра к периферии (рисунок 3.5). Подобный подход позволит наиболее полно оценить перечень и концентрацию загрязняющих компонентов,

поступающих в атмосферный воздух в процессе эксплуатации площадных источников загрязнения атмосферы.

Рисунок 3.5 – Маршрут полета БВС при оценке загрязнения атмосферного воздуха от площадного источника

В случае комбинированного воздействия различных источников оптимальным, как и в случае оценки воздействия линейного источника, будет применение полетного задания с маршрутом облета по галсам. Ширина галса при этом должна обеспечивать локализацию атмохимического ореола загрязнения (достигать изолинии с коэффициентом контрастности равным единице). Направление полета следует выбирать вдоль самого протяженного участка атмохимической аномалии.

### **3.4 Математическое моделирование процесса распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе**

#### **3.4.1 Моделирование процесса формирования атмохимических ореолов загрязнения в приземном слое атмосферы горнопромышленных агломераций**

Оценка скорости и характера осаждения загрязнителей атмосферы на рельеф (подстилающую поверхность) является одной из основных частей работы по моделированию распространения примесей в атмосфере. Построение адекватных моделей обеспечивает возможность корректного

описания характера и интенсивности техногенной нагрузки на окружающую среду, вызванной эмиссией загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Различают седиментационное осаждение, связанное с осаждением содержащихся в воздухе примесей под действием силы тяжести, «влажное» осаждение, характеризующееся эффектом захвата примесей осадками (каплями дождя, снегом, туманом и т.д.) и «сухое» осаждение, характеризующееся эффектом удаления примесей из атмосферы в результате их непосредственного контакта с рельефом местности (при этом эффективность осаждения в значительной степени зависит от природы подстилающей поверхности).

При решении задачи осаждения однородной (монодисперсной) атмосферной примеси, которая характеризуется скоростью свободного осаждения  $w_g$ , эффект седиментационного осаждения в уравнении атмосферной диффузии для атмосферной примеси с концентрацией  $C$  выражается формулой:

$$-w_g \cdot \frac{\partial C}{\partial h}, \quad (3.1)$$

где ось  $h$  направлена по нормали к рельефу местности (подстилающей поверхности), т.е. имеет направление противоположное силе тяжести. В таком случае значение  $w_g$  определяется из условия равенства сил тяжести и сопротивления движению, приложенных к элементарной частице в процессе осаждения.

Локальный атмосфернохимический поток на рельеф местности за счет седиментационного осаждения выражается как произведение концентрации загрязняющего вещества вблизи рассматриваемой точки рельефа местности и скорости осаждения. Значение концентрации неоднородной (полидисперсной) примеси определяется интегрированием концентраций однородной примеси по спектру скорости седиментационного осаждения.

Сухое осаждение загрязняющих веществ из атмосферного воздуха на рельеф местности может быть описано введением граничных условий для

атмохимического потока. Данные граничные условия используются при решении уравнения атмосферной диффузии с дополнительным слагаемым, равным произведению концентрации  $C$  на скорость сухого осаждения  $w_d$ . Указанное граничное условие может применяться не только при решении задачи выпадения атмосферной примеси непосредственно на рельеф местности, но и при решении задачи определения концентрации на некотором высотном уровне [109]. Значения  $w_d$  при этом определяются с учетом физико-химических свойств исследуемых загрязняющих веществ, особенностей рельефа местности (подстилающей поверхности, типа и интенсивности растительного покрова и т.п.) и ряда других параметров.

**Распространение примесей в горизонтальном однородном воздушном потоке.** В рамках простого диффузионного приближения массовая концентрация  $C$  однородной примеси, представленной монодисперсным загрязняющим веществом, определяется решением уравнения атмосферной диффузии и выражается формулой:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + (W_{x_i} - w_g \cdot \delta_{i3}) \cdot \frac{\partial C}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} D_{t_i} \cdot \frac{\partial C}{\partial x_i} - \alpha C + S, \quad (3.2)$$

где  $W_{x_i}$  - компонент скорости воздушного потока вдоль оси  $x_i$ , причем ось  $x_3$  направлена по нормали к рельефу местности;  $w_g$  - скорость седиментационного осаждения, м/с;  $D_{t_i}$  - коэффициент турбулентной диффузии в направлении  $x_i$ , м<sup>2</sup>/с;  $S$  — источниковый член;  $\delta_{i3}$  - символ Кронекера;  $\alpha$  — коэффициент, характеризующий захват загрязняющего вещества атмосферными осадками.

Уравнение атмосферной диффузии, представленное в общем виде (3.2) необходимо дополнить краевыми условиями, которые будут характеризовать начальное распределение концентрации загрязняющего компонента, а также граничными условиями, определяющими решения на границах области интегрирования (полупространства  $x_3 > 0$ ). При этом краевые условия для концентрации тяжелой фракции (аэрозоли) и легкой фракции (газообразные

примеси) определяются единообразно для всех границ [110] за исключением рельефа местности, для которой они выражаются в виде:

$$\left( D_{t_3} \frac{\partial c}{\partial x_3} - w_d C \right) \Big|_{x_3=0} = 0. \quad (3.3)$$

Данная задача может быть решена, если указанные в уравнении коэффициенты являются известными (заданными) величинами. В случае, если коэффициенты уравнения неизвестны, задача моделирование выпадения атмосферных примесей на рельеф местности должна дополняться решением системы уравнений гидротермодинамики, описывающей турбулентные движения воздушного потока в приземном слое атмосфере.

Для мелкодисперсных аэроаэрозольных частиц, т. е. для частиц плотностью  $\rho$  и радиусом  $R$ , характеризующихся числом Рейнольдса не более 50-100, скорость гравитационного осаждения вычисляется по формуле Стокса:

$$w_g = \frac{2}{9} \cdot \frac{\rho}{\rho_a} \cdot \frac{gR^2}{\nu}, \quad (3.4)$$

где  $\nu$  - кинематическая вязкость атмосферного воздуха,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\rho_a$  - плотность атмосферного воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $g$  - ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Для более крупных частиц, к которым неприменимо приближение уравнения Стокса, данное выражение может быть преобразовано [111], однако в рамках диссертационного исследования соответствующее обобщение не рассматривается.

Учитывая специфику конкретных задач охраны воздушного бассейна от загрязнений, было принято ограничение, заключающееся в рассмотрении стационарных процессов диффузии в диапазоне от локального до регионального уровня (территории, подверженные воздействию производственных объектов горнопромышленных агломераций).

При данном ограничении в уравнении атмосферной диффузии принимаются равными нулю слагаемые содержащие  $\frac{\partial}{\partial t}$  и (в случае, если локальная система координат выбрана таким образом, что ось  $x_1$  направлена вдоль приоритетного направления розы ветров) коэффициенты  $W_{x_2}$ ,  $W_{x_3}$  и

$D_{t_3}$ . Для других переменных и ненулевых коэффициентов, которые в случае горизонтально однородного воздушного потока будут зависеть только от  $x_3$ , в дальнейшем будут применяться следующие обозначения  $x_1 = x$ ,  $x_3 = h$ ,  $W_{x_1} = W(h)$ ,  $D_{t_2} = D_{t_y}$ ,  $D_{t_3} = D_{t_h}(h)$ .

При рассмотрении процессов распространения загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы, коэффициенты уравнения атмосферной диффузии определяются из теории подобия Мони́на – Обухова как функции от безразмерного аргумента [112]:

$$\zeta = \frac{h}{L}, \quad (3.5)$$

где  $L$  - масштаб длины (м), который определяется по формуле:

$$L = - \frac{v_*^3}{\kappa \cdot (g/T) \cdot (Q/C_p \cdot \rho_a)}, \quad (3.6)$$

где  $v_*$  - динамическая скорость, м/с;  $g/T$  - параметр плавучести;  $Q$  - турбулентный поток тепла, МДж/м<sup>2</sup>. В приземном слое атмосферы турбулентный поток тепла считается постоянным по высоте;  $\rho_a$  - плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $C_p$  - теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/К;  $\kappa$  - число Кармана.

Если заменить граничное условие в дополненном уравнение атмосферной диффузии на:

$$C|_{h=h_1} = C_1, \quad (3.7)$$

где  $C_1$  - заданное (измеренное) значение концентрации  $C$  загрязняющего компонента (мг/м<sup>3</sup>) на высоте  $h = h_1$ , то возможно получить горизонтально однородное решение уравнения атмосферной в виде:

$$C = C_1 \exp \left[ - \frac{wg}{v_*} \psi(h) \right], \quad (3.8)$$

$$\psi(h) = \frac{1}{\kappa} \left[ f_T \left( \frac{h}{L} \right) - f_T \left( \frac{h_1}{L} \right) \right], \quad (3.9)$$

где  $f_T \left( \frac{h}{L} \right)$  - универсальная функция теории подобия, которая описывает распределение температуры атмосферного воздуха с увеличением высота в термически стратифицированном приземном слое атмосферы.

Простейшее решение в случае стратифицированного нейтрально приземного слоя атмосферы, когда  $f_T \left( \frac{h}{L} \right)$  заменяется на  $\ln h$ , было получено в работе Голицына, Баренблатта [113].

Случай произвольно стратифицированного приземного слоя атмосферы рассматривался в работе [114], однако полученное при этом решение уравнения атмосферной диффузии содержало ошибку, поскольку для нейтрально стратифицированного приземного слоя не переходило в решение Баренблатта – Голицына.

Формула (3.8) описывает вертикальное распределение однородной примеси в приземном слое атмосферы. Данное распределение характеризуется скоростью седиментационного осаждения  $w_g$ , проинтегрировав которую по спектру скоростей  $w_g$  с весом, заданным их плотностью вероятностей  $f_c(w_g)$ , было получено выражение для вертикального профиля концентрации неоднородной атмосферной примеси.

Таким образом, если  $f_c(w_g)$ , аппроксимировать гамма-распределением:

$$f_c(w_g) = \frac{1}{\Gamma(k)} \Theta^k w_g^{k-1} e^{-\Theta w_g}, \quad (3.10)$$

где  $\Gamma(k)$  - гамма-функция с параметрами  $k$  и  $\Theta$ ; то полученный вертикальный профиль будет описываться формулой:

$$C(h) = \frac{C_1}{\left[ 1 + V^2 \frac{\overline{w_g}}{v_*} \Psi(h) \right]^{1/V^2}}, \quad (3.11)$$

где  $\overline{w_g}$  - средняя по спектру скорость седиментационного осаждения;  $V$  - коэффициент вариации скорости осаждения.

В случае, если информация о характеристиках термической стратификации приземного слоя атмосферы отсутствует, можно, заменив функцию  $\Psi(h)$  на  $\ln h/h_1$ , воспользоваться выражением для усредненных условий:

$$\frac{C(h)}{C_1} = \left[ 1 + A\beta \ln \frac{h}{h_1} \right]^{-1/\beta}, \quad (3.12)$$



где  $\beta = V^2$ ;  $A = \frac{\overline{w_g}}{\kappa v_* \alpha_T} = 1,85 \frac{\overline{w_g}}{v_*}$ ;  $\alpha_T$  - величина, обратная турбулентному числу Прандтля.

В целях обеспечения применимости получаемых результатов в процессе корректировки расчетных выражений Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий [ОНД-86] для коэффициентов уравнения атмосферной диффузии были приняты следующие параметры модели:

$$W(h) = u_1 \frac{\ln \frac{h+h_0}{h_0}}{\frac{h_1+h_0}{h_0}}, \quad (3.13)$$

$$D_{th}(h) = K_1 ([h]_\varepsilon + h_0), \quad (3.14)$$

где  $u_1$  и  $K_1$  - скорость ветра (м/с) и коэффициент турбулентного обмена (г/см ·сек) на уровне  $h = h_1$ , соответственно;  $h_0$  - параметр шероховатости,  $\varepsilon$  - толщина приземного слоя воздуха, м. Выбор  $[h]_\varepsilon$  величины  $h$  значением  $\varepsilon$  определяется следующими формулами:

$$[h]_\varepsilon = h \quad \text{при} \quad h \leq \varepsilon. \quad (3.15)$$

$$[h]_\varepsilon = \varepsilon \quad \text{при} \quad h > \varepsilon. \quad (3.16)$$

Начальные (по маршевой переменной  $x$ ) условия в задаче об одиночном источнике задаются следующим образом:

$$C|_{x=0} = \frac{M}{W(h)} \delta(h - H_{ист}), \quad (3.17)$$

где  $H_{ист}$  - высота источника загрязнения, м. Масштабы для рассматриваемых переменных:  $x = X\bar{x}$ ,  $h = H\bar{h}$ ,  $c = C\bar{c}$ , определяемые по формулам:

$$X = \frac{W_{x_1} \varepsilon}{D_{t_1} \ln \frac{h_1+h_0}{h_0}}, \quad (3.18)$$

$$H = \varepsilon, \quad (3.19)$$

$$C = \frac{M \ln \frac{h_1+h_0}{h_0}}{\varepsilon u_1}. \quad (3.20)$$

В таком случае при переходе к безразмерным переменным, уравнение атмосферной диффузии будет решаться следующим образом:

$$\ln \frac{\bar{h} + \bar{h}_0}{\bar{h}_0} \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{h}} - \bar{W} \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{h}} = \frac{\partial}{\partial \bar{h}} ([\bar{h}]_1 + \bar{h}_0) \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{h}}, \quad (3.21)$$

$$\bar{C}|_{x=0} = \frac{\delta(\bar{h} - \bar{H})}{\ln \frac{\bar{h} + \bar{h}_0}{\bar{h}_0}}, \quad (3.22)$$

$$\left\{ ([h]_1 + h_0) \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{h}} - \bar{V} c \right\} |_{\bar{h}=0} = 0, \quad (3.23)$$

$$\bar{C}|_{\bar{h} \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad (3.24)$$

где  $\bar{W} = W_g/D_{t_1}$ ,  $\bar{V} = \omega_d/D_{t_1}$ ,  $\bar{H} = H/\varepsilon$ ,  $\bar{h}_0 = h_0/\varepsilon$ .

Уравнение атмосферной диффузии в безразмерных переменных умножалось на функцию:

$$f = \exp \left( - \int_0^{\bar{h}} \frac{\bar{W}}{[\bar{h}]_1 + \bar{h}_0} d\bar{h} \right) \quad (3.25)$$

и преобразовывалось к дивергентному по  $h$  виду. Итоговая задача моделирования выпадения загрязняющего вещества на рельеф местности может быть решена численно методом конечных разностей с использованием чисто неявной разностной схемы, а полученная разностная задача – с применением алгоритма Томаса.

Диапазоны вариации безразмерных параметров, которые определяют моделирование выпадения загрязняющего вещества на подстилающую поверхность представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Диапазоны вариации определяющих моделирование параметров

	Параметр			
	$\bar{H}$	$\bar{W}$	$\bar{V}$	$\bar{h}_0$
Нижняя граница	10	0	0	0,00005
Верхняя граница	100	20	3	0,05
Число градаций	10	22	10	10

Данные, представленные в таблице 3.4 показывают, что было проведено более 20 000 вариантов численных расчетов, результаты которых позволили составить таблицы распределения приземных концентраций загрязняющих веществ  $C|_{z=0}$  и суммарный поток примеси  $P$  на рельеф

местности. Дополнительно было определено расстояние  $L$  от источника выбросов, на котором все (с заданной степенью вероятности) загрязняющее вещество, выброшенное из источника, выпадало на рельеф местности.

Дополнительный анализ позволил выявить возможности построения аналитических аппроксимаций масштаба распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и суммарный поток осаждающихся на рельеф местности примесей, что позволяет упростить вычислительные алгоритмы инженерных расчетов и соответствует общему подходу построения инженерных моделей расчета загрязнения атмосферы, лежащему в основе ОНД-86.

**Задача о выпадении загрязняющего вещества на рельеф как пример учета пространственной неоднородности воздушного потока.** Выражения для атмосферных потоков на определенный участок рельефа местности, обусловленного гравитационным и сухим осаждением, были получены в процессе интегрирования по указанному участку функций  $w_g C|_{h=0}$  и  $\omega_a C|_{h=0}$  соответственно. В целях измерения параметров потоков атмосферной примеси могут быть использованы планшеты, которые должны быть размещены горизонтально на определенном уровне над поверхностью рельефа местности и находиться в воздушном потоке. В таком случае, воздушный поток изменяет направление и интенсивность движения, что обуславливается наличием обтекаемого препятствия (рельефа местности), что приводит к дополнительным погрешностям при измерении потоков примеси.

Для моделирования процесса осаждения атмосферных примесей на планшет с учетом изменения структуры воздушного потока, вызванного рельефом местности, была использована система дифференциальных уравнений в частных производных:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial h} = \frac{\partial}{\partial h} K \frac{\partial u}{\partial h}, \quad (3.26)$$

$$u \frac{\partial b}{\partial x} + w \frac{\partial b}{\partial h} = \alpha_b \frac{\partial}{\partial h} K \frac{\partial b}{\partial h} + K \left( \frac{\partial u}{\partial h} \right)^2 - \frac{C_0 b^2}{K}, \quad (3.27)$$

$$u \frac{\partial c}{\partial x} + (w - w_g) \frac{\partial c}{\partial h} = \alpha_c \frac{\partial}{\partial h} K \frac{\partial c}{\partial h}, \quad (3.28)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial h} = 0, \quad (3.29)$$

$$\frac{\partial K}{\partial h} - \frac{K}{b} \frac{\partial b}{\partial h} = \kappa C_0^{1/4} \sqrt{b}, \quad (3.30)$$

где ось  $x$  локальной системы координат направлена вдоль основного направления розы ветров, м; ось  $y$  - по нормали к рельефу местности, м;  $u$  и  $w$  - компоненты средней скорости воздушного потока вдоль осей  $x$  и  $y$ , соответственно, м/с;  $b$  - кинетическая энергия турбулентных пульсаций, Дж;  $C$  - массовая концентрация рассматриваемого компонента, мг/м<sup>3</sup>;  $\alpha_b$  и  $\alpha_c$  - константы, которые принимаются равными  $\alpha_T$ ;  $C_0 = 0,046$ .

Для решения поставленной задачи, указанная система дифференциальных уравнений должна быть дополнена краевыми условиями:

$$\text{при } x = 0: u = U_0; b = B_0; c = C_0; \quad (3.31)$$

$$\text{при } h = 0: u = 0; w = 0; \frac{\partial b}{\partial h} = 0; K = \kappa C_0^{1/4} h_0 \sqrt{b}; \alpha_c K \frac{\partial c}{\partial h} = v_d C; \quad (3.32)$$

$$\text{при } h \rightarrow \infty: u \rightarrow U_0; b \rightarrow B_0; c \rightarrow C_0. \quad (3.33)$$

Для повышения оперативности процесса моделирования седиментационного осаждения атмосферных примесей на планшет и с учетом указанных ранее краевых условий, был предложен ряд допущений:

- пограничный слой, сформированный в процессе обтекания планшета воздушным потоком, является пренебрежимо тонким, в связи с этим изменениями характеристик набегающего потока по высоте можно пренебречь, а эффекты, связанные с термической стратификацией воздушного потока в рамках данной задачи можно не учитывать;

- при решении уравнения атмосферной диффузии необязательно учитывать возможные краевые эффекты, которые определяются конечными размерами планшета в направлении оси  $y$ .

Оптимизация расчетов обуславливает переход к безразмерным величинам в ходе решения поставленной задачи:

$$u = U_0 \bar{u}; b = B_0 \bar{b}; w = W \bar{w}; K = K_0 k; c = C_0 \bar{c}; x = L \bar{x}; h = H \bar{h}, \quad (3.34)$$

где  $L$  - длина планшета, м;  $U_0$ ,  $B_0$  и  $C_0$  - значения скорости ветра (м/с), энергии турбулентности (Дж) и концентрации загрязняющего вещества (мг/м<sup>3</sup>) в набегающем потоке (в условиях рассматриваемого процесса могут быть приняты постоянными по высоте). Для задания остальных масштабов используются формулы, представленные ниже:

$$K_0 = B_0 \frac{L}{U_0}, \quad (3.35)$$

$$Z = \sqrt{B_0} \frac{L}{U_0}, \quad (3.36)$$

$$W = \sqrt{B_0}. \quad (3.37)$$

После перехода к безразмерным величинам, задача выпадения атмосферной примеси на планшет принимает вид:

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{h}} = \frac{\partial}{\partial \bar{h}} k \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{h}}, \quad (3.38)$$

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{b}}{\partial \bar{x}} + \bar{w} \frac{\partial \bar{b}}{\partial \bar{h}} = \alpha_b \frac{\partial}{\partial \bar{h}} k \frac{\partial \bar{b}}{\partial \bar{h}} + \mu k \left( \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{h}} \right)^2 - \frac{C_0 \bar{b}^2}{k}, \quad (3.39)$$

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{x}} + (\bar{w} - \bar{w}_g) \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{h}} = \alpha_c \frac{\partial}{\partial \bar{h}} k \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{h}}, \quad (3.40)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{h}} = 0, \quad (3.41)$$

$$\frac{\partial k}{\partial \bar{h}} - \frac{k}{\bar{b}} \frac{\partial \bar{b}}{\partial \bar{h}} = k^4 \sqrt{C_0} \left( \sqrt{\bar{b}} \right), \quad (3.42)$$

где:

$$\mu = \frac{U_0^2}{B_0}. \quad (3.43)$$

При этом обязательным условием является выполнение следующих краевых условий:

$$\text{при } \bar{x} = 0: \bar{u} = 1; \bar{b} = 1; \bar{c} = 1, \quad (3.44)$$

$$\text{при } \bar{h} = 0: \bar{u} = 0; \bar{w} = 0; \frac{\partial \bar{b}}{\partial \bar{h}} = 0; k = \kappa^4 \sqrt{C_0} \bar{h}_0 \left( \sqrt{\bar{b}} \right); \alpha_c k \frac{\partial \bar{c}}{\partial \bar{h}} = \bar{w}_d \bar{c}, \quad (3.45)$$

$$\text{при } h \rightarrow \infty: \bar{u} \rightarrow 1; \bar{b} \rightarrow 1; \bar{c} \rightarrow 1, \quad (3.46)$$

где:

$$\bar{w}_g = \frac{w_g}{\sqrt{B_0}} = \sqrt{\mu} \frac{w_g}{U_0} = \tau \sqrt{\mu}, \quad (3.47)$$

$$\bar{\omega}_d = \frac{\omega_d}{\sqrt{B_0}} = \sqrt{\mu} \frac{\omega_d}{U_0} = \xi \sqrt{\mu}, \quad (3.48)$$

$$\tau = \frac{w_g}{U_0}; \quad \xi = \frac{\omega_d}{U_0}. \quad (3.49)$$

Таким образом, решение поставленной задачи в безразмерных величинах, зависит от четырех безразмерных параметров:  $\mu$ ,  $\tau$ ,  $\xi$  и  $\bar{h}_0$ , а также от двух безразмерных аргументов:  $\bar{x}$  и  $\bar{h}$ . При этом суммарный поток примеси  $P$  на планшет длиной  $L$  и единичной шириной  $S$  будет определяться по формуле:

$$P = (w_g + \omega_d)S \int_0^L C|_{h=0} dx. \quad (3.50)$$

Отсюда:

$$P = C_0 U_0 L S (\xi + \tau) \sqrt{\mu} Q, \quad (3.51)$$

где:

$$Q = \int_0^1 \bar{c}|_{\bar{h}=0} dx. \quad (3.52)$$

Решения приведенной системы как функции безразмерных координат и параметров  $\mu$ ,  $\tau$ ,  $\xi$  и  $\bar{h}_0$ , а также соответствующие им значения  $Q$  были найдены численно. Характер изменения с безразмерной высотой над планшетом безразмерной концентрации примеси приведен на рис. 3, который соответствует значениям  $\bar{w}_g = 0,005$ ;  $\omega_d = 0,005$ ;  $\bar{x} = 0,02$ .

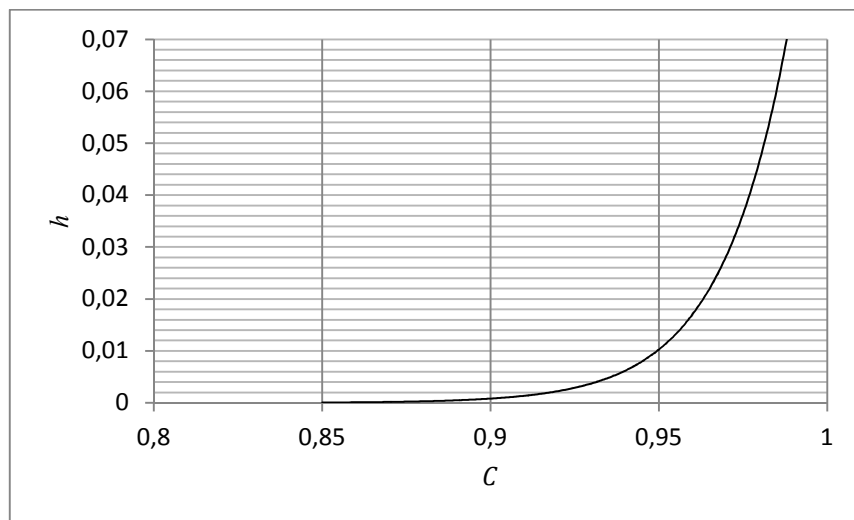


Рисунок 3.5 – Пример расчетного вертикального распределения безразмерной концентрации примеси ( $C$ ) над планшетом

### **3.4.2 Оценка неопределенности в методике дистанционного экологического мониторинга**

При выполнении инструментальных измерений для получения легитимных результатов требуется соответствующее методическое и метрологическое обеспечение измерительных комплексов на базе беспилотных воздушных судов. Установленные измерительные приборы должны входить в государственный реестр средств измерений и иметь следующую документацию: Сертификат об утверждении типа средства измерения (выдается Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии); Описание типа (приложение к сертификату), где указываются все метрологические характеристики, которые присвоены средству измерений данного типа; Методику поверки средства измерения данного типа; Методику измерений, аттестованную согласно ГОСТ Р 8.563-2009 «ГСИ. Методики (методы) измерений»; Свидетельство о поверке средства измерений.

При компоновке мониторингового комплекса была применена модульная архитектура с унифицированными разъемами для бортового аналого-цифрового преобразователя, что позволяет при необходимости оперативно менять состав аппаратуры полезной нагрузки и перевозить мониторинговый комплекс в разобранном виде [115-117].

В состав блок-модулей системы были включены следующие средства измерений: газоанализатор многокомпонентный «Полар-2» (регистрационный номер в ФИФ 43923-11), предназначенный для измерений содержания кислорода, оксида углерода, диоксида углерода, оксида азота, диоксида азота, диоксида серы, сероводорода, аммиака, метана, пропана (или гексана) в атмосферном воздухе. Метрологические характеристики аппаратуры целевой нагрузки беспилотного воздушного судна представлены в таблице 3.5. Несмотря на использование в составе аппаратуры целевой нагрузки приборов, включенных в государственный реестр средств

измерений, основной проблемой при выполнении исследований и обработке результатов измерений является отсутствие методического обеспечения выполнения измерений (аттестованных методик выполнения измерений), учитывающего новые условия эксплуатации средств измерений. Существует определённая специфика в применении измерительных приборов в составе беспилотной авиационной системы, предназначенных для выполнения измерений в статических условиях. Несмотря на применение в качестве базового беспилотного воздушного судна малогабаритного вертолёта, в процессе измерений технически не может быть обеспечено получение показаний в одной и той же точке пространства, что объясняется движением воздушных масс (движение воздушного потока в вертикальном направлении), показателями точности системы позиционирования, запаздыванием в подаче сигналов автопилотом и выполнении сигналов управления и пр. В частности при газоаналитических измерениях методически производится усреднение 5-10 показаний. Таким образом, методика выполнения измерений должна учитывать факторы постоянного движения беспилотного воздушного судна, движения воздушных масс и обеспечивать получение результата измерения для заданной области в пространстве.

Опыт эксплуатации измерительной системы на базе беспилотного воздушного судна накопленный при написании диссертационного исследования и при решении научно-исследовательских задач на производственных объектах таких компаний как ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», ЗАО «Прионежский габбро-диабаз», АО «Апатит», АО «Челябинская угольная компания», АО «Русская медная компания» показал, что базовое беспилотное воздушное судно характеризуется хорошей управляемостью, позволяет работать с ограниченных площадок и обеспечивает эксплуатацию мониторингового комплекса в широком диапазоне вариации параметров окружающей среды [118-120].



Проведенные испытания комплекса показали, что существенные различия в условиях проведения измерений для средств измерений, включенных в состав блок-модулей аппаратуры целевой нагрузки, требуют переработки методик выполнения измерений, в большей степени это касается разделов «Условия проведения измерений» и «Обработка результатов измерений». Кроме того, метрологические характеристики, заявленные в описаниях типа средств измерений блок-модулей аппаратуры целевой нагрузки, должны быть всесторонне проверены в новых условиях их эксплуатации в составе мониторингового комплекса на базе беспилотного воздушного судна.

Поскольку в настоящий момент с учетом практически полного отсутствия средств измерений, использование которых возможно в составе малогабаритных беспилотных измерительных комплексов, целесообразно для каждого измерительного комплекса в отдельности проводить процедуру утверждения типа средства измерений. По мере развития приборной базы в направлении создания унифицированных средств измерений, предназначенных для применения на малогабаритных беспилотных воздушных судах, станет возможной свободная компоновка подобных измерительных комплексов и систем.

С учетом вышесказанного, описанное в работе беспилотное воздушное судно вертолетного типа проходит процедуру утверждения типа как измерительная система для мониторинговых исследований на базе беспилотного воздушного судна. Сотрудниками ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» проведены испытания в целях утверждения типа измерительного комплекса в комплекте с блок-модулями целевой нагрузки. В ходе проведенных испытаний были подтверждены метрологические характеристики комплекса, что отражено в протоколах испытаний.

В настоящее время методика поверки измерительной системы основывается на поверке блок-модуля, базовым средством измерений для которого является газоанализатор «Поляр-2». Таким образом, измерительная

система с подтвержденными метрологическими характеристиками может использоваться только при мониторинге атмосферного воздуха.

Таблица 3.5 – Характеристики средств измерений из состава аппаратуры целевой нагрузки БВС

№ п/п	Контролируемые параметры	Диапазон показаний содержания определяемого компонента	Диапазон измерений содержания определяемого компонента	Пределы допускаемой погрешности	
				Абсолютной	Относительной, %
1	Кислород (O <sub>2</sub> )	От 0 до 25 %	От 0 до 25 %	±0,2 % об.д.	-
2	Оксид углерода (CO)	От 0 до 200 мг/м <sup>3</sup>	От 0 до 20 мг/м <sup>3</sup> включ. Св. 20 до 200 мг/м <sup>3</sup>	±1 мг/м <sup>3</sup>	±5
3	Оксид азота (NO)	От 0 до 50 мг/м <sup>3</sup>	От 0 до 5 мг/м <sup>3</sup> включ. Св. 5 до 50 мг/м <sup>3</sup>	±0,5 мг/м <sup>3</sup>	±10
4	Диоксид азота (NO <sub>2</sub> )	От 0 до 20 мг/м <sup>3</sup>	От 0 до 2 мг/м <sup>3</sup> включ. Св. 2 до 20 мг/м <sup>3</sup>	±0,2 мг/м <sup>3</sup>	±10
5	Сернистый ангидрид (SO <sub>2</sub> )	От 0 до 100 мг/м <sup>3</sup>	От 0 до 10 мг/м <sup>3</sup> включ. Св. 10 до 100 мг/м <sup>3</sup>	±1 мг/м <sup>3</sup>	±10
6	Сероводород (H <sub>2</sub> S)	От 0 до 100 мг/м <sup>3</sup>	От 0 до 10 мг/м <sup>3</sup> включ. Св. 10 до 100 мг/м <sup>3</sup>	±1 мг/м <sup>3</sup>	±10
7	Аммиак (NH <sub>3</sub> )	от 0 до 100 мг/м <sup>3</sup>	От 0 до 20 мг/м <sup>3</sup> включ. Св. 20 до 100 мг/м <sup>3</sup>	±2 мг/м <sup>3</sup>	±10
7	Аммиак (NH <sub>3</sub> )	от 0 до 1000 мг/м <sup>3</sup>	От 0 до 200 мг/м <sup>3</sup> включ. Св. 200 до 1000 мг/м <sup>3</sup>	±20 мг/м <sup>3</sup>	±10
8	Диоксид углерода (CO <sub>2</sub> )	От 0 до 5 %	От 0 до 0,5 % включ. Св. 0,5 до 5 %	±0,05 % об.д.	±10
9	Углеводороды (по C <sub>Н</sub> 4)	от 0 до 5 %	От 0 до 0,5 % включ. Св. 0,5 до 5 %	±0,05 % об.д.	±10
		от 0 до 100%	От 0 до 10 % включ. Св. 10 до 100 %	±1 % об.д.	±10
10	Углеводороды (по C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	От 0 до 1 %	От 0 до 0,2 % включ. Св. 0,2 до 1 %	±0,02 % об.д.	±10
11	Углеводороды (по C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	От 0 до 0,5 %	От 0 до 0,1 % включ. Св. 0,1 до 0,5 %	±0,01 % об.д.	±10

Известно, что при выполнении измерений концентрации загрязняющего вещества в атмосферном воздухе относительная погрешность не должна превышать ± 25 %. Таким образом, пригодной признают методику измерений, позволяющую проводить измерения с относительной расширенной неопределённостью (границами относительной суммарной погрешности) не более 25 % [121]. В условиях применения БВС вертолетного типа подтвердить соответствие этому требованию сложно, так как условия, в которых проводятся измерения, значительно отличаются от тех, в которых

определяется основная погрешность, как одна из нормированных метрологических характеристик, указанных в методике поверки. Именно поэтому необходима оценка неопределённости измерений, на основании информации об этих нормированных метрологических характеристиках средства измерений с учетом условий проведения измерений при его применении в составе измерительного комплекса на базе беспилотного воздушного судна.

Следует выделить источники неопределённости для выбранного СИ из состава целевой нагрузки мониторингового комплекса (с указанием обозначений их стандартных неопределённостей): неопределенность, связанная с разбросом показаний (статистическая обработка данных) ( $U_{a1}$ ); неопределенность, связанная с основной погрешностью газоанализатора ( $U_{п1}$ ); возможная нестабильность показаний газоанализатора в период между корректировками ( $U_{к1}$ ); вариация выходного сигнала по измерительным каналам ( $U_{с1}$ ); влияние изменения температуры окружающей среды в рабочих условиях ( $U_{т1}$ ); влияние изменения атмосферного давления в рабочих условия ( $U_{д1}$ ); влияние изменения относительной влажности окружающей среды в рабочих условиях ( $U_{в1}$ ); влияние изменения содержания неизмеримых компонентов анализируемой газовой смеси ( $U_{н1}$ ); влияние изменения расхода анализируемого воздуха, проходящего через газоанализатор ( $U_{р1}$ ).

Разброс показаний подчиняется нормальному закону распределения вероятностей и оценивается как неопределенность типа А:

$$U_{ai} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2}{n \cdot (n-1)}}, \quad (3.53)$$

где  $n$  – количество значений в области измерений;  $Q_i$  – значение параметра, зарегистрированное газоанализатором, связанное с  $i$  - тым отсчетом;  $\bar{Q}_i$  – значение средней величины среди  $n$  –измерений.

Пределы допускаемой основной относительной погрешности СИ для каждого измеряемого компонента приведены в таблице 3.5. Выражения для

расчета составляющих неопределенности для одного контролируемого компонента приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Относительные неопределенности входных величин для СИ из состава мониторингового комплекса на базе БАС [122]

Расчетное выражение	Расшифровка
$U_{pi} = \tau \cdot \frac{\delta_0}{\sqrt{3}}$	$\delta_0$ - предел допускаемой основной относительной погрешности газоанализатора, %. Коэффициент $\sqrt{3}$ выбран из допущения равномерного закона распределения погрешности в интервале $(-\delta_0; +\delta_0)$ в период между корректировками показаний.
$U_{ki} = \tau \cdot \frac{0,3 \cdot \delta_0}{2\sqrt{3}}$	$0,3 \cdot \delta_0$ - предел допускаемого изменения показаний в период между корректировками. Относительная стандартная неопределённость вычисляется для середины интервала $(0; +0,3 \cdot \delta_0)$ .
$U_{ci} = \tau \cdot \frac{0,5 \cdot \delta_0}{\sqrt{3}}$	$0,5 \cdot \delta_0$ - предел допускаемой вариации выходного сигнала по измерительным каналам.
$U_{ti} = \tau \cdot \frac{0,5 \cdot \delta_0}{\sqrt{3}} \cdot \frac{(t_m - 20)}{10}$	$t_m$ – наибольшая температура окружающей среды, при которой могут быть проведены измерения, $0,5 \cdot \delta_0$ - предел допускаемой дополнительной погрешности от изменения температуры окружающей среды в рабочих условиях. 20 °С - температура определения основной погрешности, 10 °С – шаг изменения температуры.
$U_{di} = \tau \cdot \frac{0,2 \cdot \delta_0}{\sqrt{3}}$	$0,2 \cdot \delta_0$ – предел допускаемой дополнительной погрешности от влияния изменения атмосферного давления в рабочих условиях.
$U_{vi} = \tau \cdot \frac{\delta_0}{\sqrt{3}}$	$\delta_0$ - предел допускаемой дополнительной погрешности от изменения относительной влажности окружающей среды в рабочих условиях.
$U_{ni} = \tau \cdot \frac{\delta_0}{\sqrt{3}}$	$\delta_0$ - предел допускаемой суммарной дополнительной погрешности от изменения содержания неизмеримых компонентов анализируемой газовой смеси.
$U_{pi} = \tau \cdot \frac{0,5 \cdot \delta_0}{\sqrt{3}}$	$0,5 \cdot \delta_0$ – предел допускаемой дополнительной погрешности расхода анализируемого воздуха, проходящего через газоанализатор.

Примечание: распределение во всех случаях предполагается равномерным.  $\tau$  - коэффициент влияния условий окружающей среды на результат, определяемый на основе статистических данных, полученных при измерениях.

Суммарная стандартная неопределенность  $U_\Sigma$  определяется как:

$$U_\Sigma = \sqrt{\sum_{j=a}^p (U_{ji})^2}. \quad (3.54)$$

Расширенная неопределенность  $U$  получается путем умножения суммарной стандартной неопределенности на коэффициент охвата:

$$U = U_\Sigma \cdot k, \quad (3.55)$$

где для уровня доверия  $P = 0,95$  коэффициент охвата  $k$  будет равен 2, так как распределение принимается нормальным.

При расчете неопределенностей для других блок-модулей аппаратуры целевой нагрузки расчёты следует выполнять с применением аналогичного подхода с учетом пределов допусаемых погрешностей и статистических данных [123].

### **3.5 Апробация разработанной методики на территории горнопромышленной агломерации**

В соответствии с предлагаемой методикой контроля и оценки качества атмосферного воздуха на территориях горнопромышленных агломераций сбор и обработка информации в целях экологического мониторинга разделены на три последовательных этапа [124, 125].

На первом этапе мониторинговых исследований выполняется рекогносцировка района [126].

На втором этапе выполняются разработка полетных заданий для БВС с учетом метрологических характеристик средств измерений технических требований к БВС:

- на основе проведенных рекогносцировочных исследований осуществляется выбор направления исследований атмосферного воздуха с применением БВС и конечный перечень измеряемых параметров;
- производится разработка рациональных полетных заданий для БВС;
- осуществляется планирование операций технической поддержки наземных служб;
- производится согласование маршрутов движения БВС в районе мониторинга со службой организации воздушного движения.

Перед развертыванием мониторингового комплекса в рабочее положение проводится выбор и подготовка позиции для развертывания.

Удаление позиции для развертывания комплекса БАС от района, где предполагается осуществлять мониторинговые исследования, не должно превышать 10 км.

Позиция для развертывания состоит из взлетно-посадочной площадки (ВПП), места расположения наземной станции управления (НСУ), площадки для стоянки автомобиля. Вариант расположения МК на позиции представлен на рисунке 3.6.

К взлетно-посадочной площадке мониторингового комплекса с БВС предъявляются следующие требования:

- ровная площадка размерами 10x10 м с твердым покрытием и уклоном не более 3°;
- удаление ВПП от НСУ – 100...300 м;
- удаление источников радиоэлектронных помех (трансформаторов, электрических подстанций, линий электропередач) 300...500 м;
- наличие открытого пространства, отсутствие крон деревьев, строительных кранов, проводов и прочих объектов над ВПП, мешающих вертикальному взлету (посадке);
- отсутствие вблизи ВПП веток, мусора, проволоки, веревок и других посторонних предметов, способных нарушить работу несущего или рулевого винтов;
- наличие удобных путей подхода (подъезда) для доставки БВС к ВПП;
- удаление от источников открытого огня – 50 м.

Место расположения НСУ должно обеспечивать:

- удобство размещения элементов НСУ (цифровой приемопередающая системы радиолинии, электрогенератора, и ноутбука автоматизированного рабочего места внешнего пилота БВС),
- прямую видимость с площадкой, на которой будет находиться БВС при взлете и посадке и удаление от нее 100...300 м,

- удаление источников радиоэлектронных помех (трансформаторов, электрических подстанций, линий электропередач) 300...500 м,
- удаление от источников открытого огня – 50 м.

Наиболее подходящей площадкой для размещения ВПП на территории Коркинского угольного разреза, в соответствии с описанными требованиями, стала площадка погашенного восточного борта разреза.



Рисунок 3.6 – Размещение комплекса БАС, включая НСУ на восточном борту Коркинского угольного разреза

Проведенные аналитические исследования показали, что для получения объективной картины распределения загрязняющих компонентов в атмосферном воздухе на территории, подверженной воздействию процессов эндогенного горения в Коркинском угольном разрезе наиболее рациональным является облет территории согласно схеме, приведенной в п. 3.3 (рисунок 3.4).

Следует отметить, что применение БВС для мониторинга качества атмосферного воздуха не может полностью исключить выполнение наземных наблюдений, но позволяет минимизировать количество наземных постов и

использовать получаемые с них данные только для коррекции полетных заданий БВС.

Если для стационарных постов ограничений связанных с методами исследований качественных показателей атмосферного воздуха нет, то создание мониторингового комплекса на базе БВС сопряжено с применением аналитических методов исследования качества атмосферного воздуха, реализация которых возможна в ограниченных габаритах при общей массе средства измерений не более 1 кг (данное пороговое значение массы определено на основании сравнительной оценки существующих моделей БВС при анализе их применимости в разрабатываемой системе мониторинга по максимальной высоте и дальности полета).

Разработанный метод контроля и оценки качества компонентов окружающей среды на территориях горнопромышленных агломераций с применением беспилотных воздушных судов обеспечивает:

- более высокую точность при построении ореолов распространения загрязняющих веществ в атмосфере,
- измерение температуры окружающего воздуха с привязкой по высоте, что обеспечит идентификацию зон инверсии;
- автоматизацию измерений.

Более полная интерпретация движения загрязняющих веществ на различных горизонтальных уровнях и их распределение в зависимости от преобладающего направления ветра может быть обеспечено выбором преимущественного направления переноса загрязняющего вещества для каждого горизонтального уровня за центральную ось траектории облета каждого горизонтального уровня БВС, представляющей собой объемную спираль, лежащую на поверхности конуса из источника загрязнения с углом в вершине 90°.

Выявление всех возможных зон накопления загрязнений от изучаемого источника и его вклад в уровень загрязнений на территориях



горнопромышленных агломераций обеспечивается значительной дальностью полета БВС от объекта – источника загрязнения обеспечивает.

По результатам мониторинга осуществляется контроль концентрации загрязняющих веществ в приземных слоях атмосферы, и оценка суммарного вклада источников загрязнения. Мониторинг атмосферного воздуха осуществляется в зависимости от технических возможностей БВС.

Высокая устойчивость выбранных БВС обеспечивает проведение мониторинговых исследований в том числе в период действия неблагоприятных метеорологических условий. При разработке БВС была использована модульная архитектура, которая при необходимости позволяет оперативно менять состав аппаратуры полезной нагрузки и перевозить мониторинговый комплекс в разобранном виде.

Принимая во внимание форму карьерной выемки угольного разреза – близкую к правильной, было принято решение использовать ранее разработанную в Горном университете методику проведения экологического мониторинга с применением беспилотных воздушных судов [127], работающих по замкнутому спиралеобразному маршруту, начинающемуся в центре разреза и расширяющемуся к периферии (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Карта-схема исследуемой территории с наложенным маршрутом облетов беспилотных воздушных судов

В соответствии с разработанной методикой проведения исследований, облеты проводились на различных высотах от дневной поверхности – 50 и 100 м.

Среднее время проведения одного облета составило 33 – 36 мин.

Интерпретация полученных данных проводилась с применением разработанного математического аппарата, в специальном программном обеспечении, разработанном автором в Горном университете [128-131].

Ореолы распространения загрязняющих компонентов на высоте 100 м и 50 м представлены в Приложениях Д и Е соответственно.

Карта техногенного атмохимического ореола загрязнения диоксидом серы на высоте 100 м отсутствует, так как во время проведения исследований фиксировались содержания ниже диапазона обнаружения прибора.

Для сравнения результатов, полученных при исследовании качества приземного слоя атмосферного воздуха наземными методами экологического мониторинга и разработанным дистанционным методом, были построены карты распространения атмохимических аномалий (рисунок 3.8).

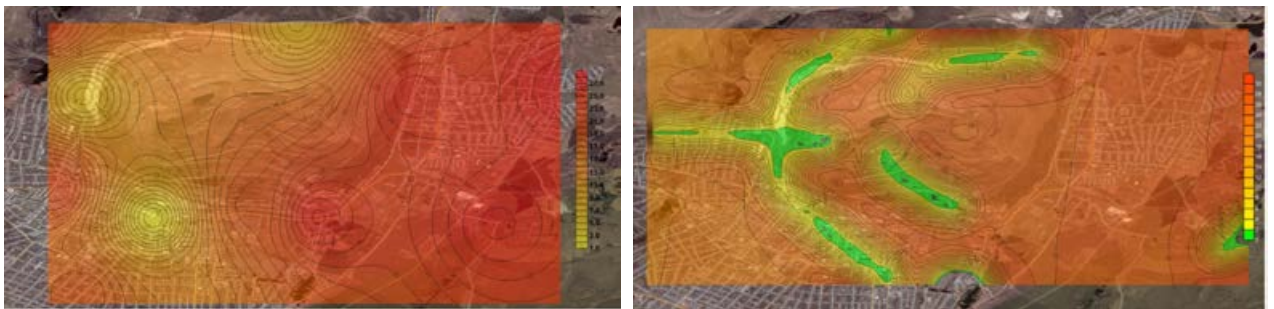


Рисунок 3.8 – Результаты графического моделирования распространения атмохимических аномалий на исследуемой территории по данным контактного (слева) и дистанционного (справа) экологического мониторинга

Полученные данные дистанционной оценки качества атмосферного воздуха, на примере атмохимического техногенного ореола загрязнения оксидом углерода, позволяют по косвенным признакам выделить очаги эндогенных пожаров, координаты которых соответствуют их местонахождению на рельефе местности.

Сравнение результатов, полученных с применением комплекса дистанционного экологического мониторинга (Приложение Ж) с данными маршрутных постов показали их высокую сходимость.

## **ВЫВОДЫ К ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ**

1. В ходе проведенных исследований была разработана методика проведения дистанционного мониторинга атмосферного воздуха с применением беспилотных авиационных систем (включая обоснование маршрутов, высот, периодичности облетов).

2. Выполненная оценка метрологических характеристик мониторингового комплекса на основе беспилотной авиационной системы, оборудованной специализированными средствами измерений, показала пригодность разработанной методики измерений с относительной расширенной неопределённостью (границами относительной суммарной погрешности) не более 25 %.

3. Создана динамическая картографическая модель распространения атмосферных аномалий на территории Южно-Уральской горнопромышленной агломерации.

4. Результаты апробации разработанной методики оценки качества атмосферного воздуха с применением беспилотных авиационных систем, проведенной на территории Южно-Уральской горнопромышленной агломерации показали высокую степень сходимости результатов дистанционного экологического мониторинга и результатов маршрутных постов.

5. Применение предложенного метода дистанционного экологического мониторинга позволило снизить временные затраты на проведение исследований более чем в 50 раз.

## **ГЛАВА 4 РИСК-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА РАБОТЫ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ОТКРЫТОЙ ТЕХНОЛОГИЕЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

### **4.1 Анализ структуры формирования экологических рисков на горнодобывающих предприятиях**

Систематика и анализ значительного количества проводимых в области оценки эколого-экономических рисков исследований, которые широко представлены в работах российских ученых [134-136], до настоящего времени не позволила сформировать единой методологии оценки рисков, в том числе эколого-экономических.

Оценка экологического риска заключается в анализе вероятности возникновения негативных последствий для компонентов окружающей среды, на всех уровнях, которые могут быть вызваны различными процессами природного и техногенного характера.

Таким образом, экологический риск можно классифицировать как вероятностную меру опасности нанесения вреда компонентам окружающей среды в виде вероятных потерь за определенный промежуток времени.

Результатом проявления подобной опасности, независимо от характера действия источника, является ущерб, наносимый здоровью населения и качеству компонентов окружающей среды.

Оценка экологического риска заключается в научно-обоснованной оценке вероятности развития изменений, как обратимых, так и необратимых, в биогеохимической структуре и в различных функциях биоэкосистем в результате природного или техногенного негативного воздействия. Порядок эколого-экономической оценки рисков развития неблагоприятных ситуаций изложен в нормативно-правовой документации служб и ведомств по охране

окружающей среды и обеспечению экологической безопасности различных стран мира, в том числе Российской Федерации [137-139]. Принципиально, блок-схема определения уровней экологических рисков состоит из нескольких этапов, которые представлены на рисунке 4.1.

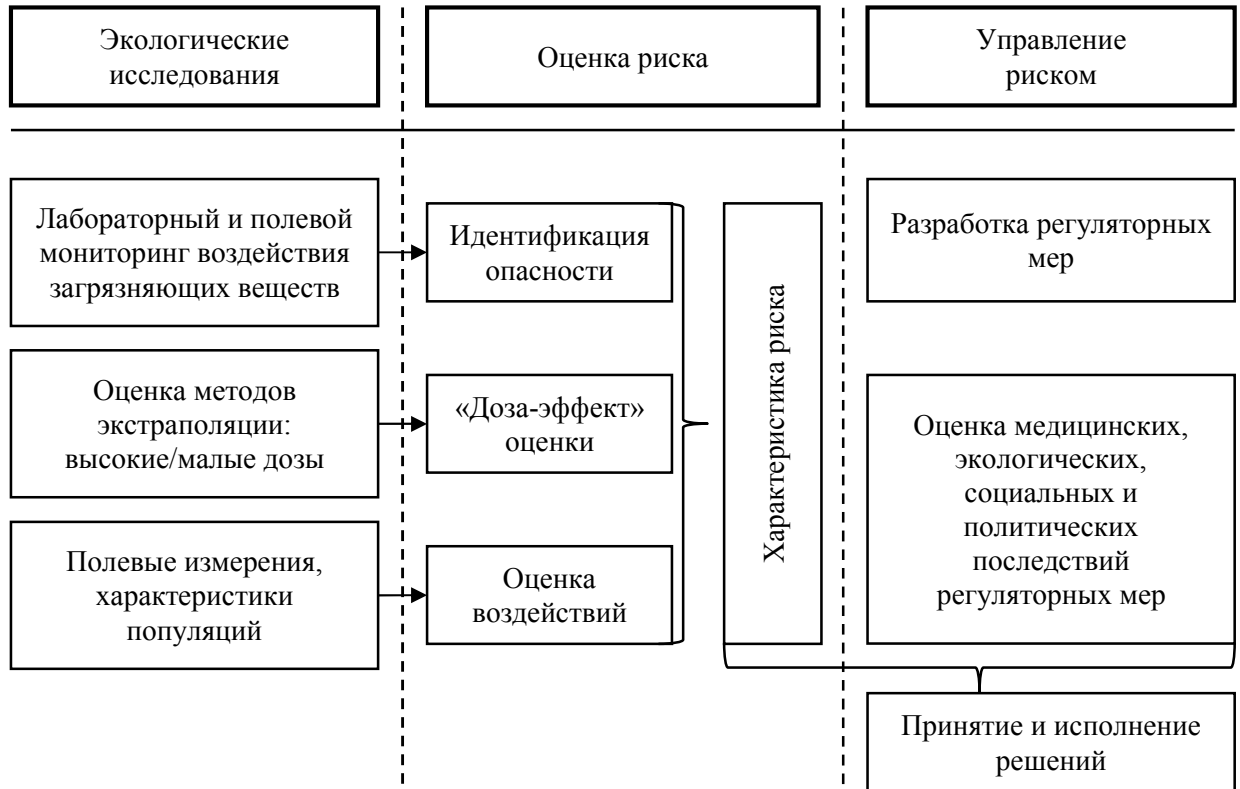


Рисунок 4.1 – Блок-схема структуры определения и оценки уровней эколого-экономических рисков

Анализ современной практики оценки рисков показал, что на сегодняшний день математический аппарат расчета эколого-экономических рисков обоснован и апробирован в достаточной мере [140, 141]. Таким образом, изучение опыта оценки рисков позволило выделить шесть основных типов оценки эколого-экономических рисков, базирующихся на анализе собственных им характеристик:

- оценка химического риска, который вызван воздействием неканцерогенных химических веществ;
- оценка беспорогового канцерогенного риска;
- оценка эпидемиологического риска;

- вероятностная оценка риска, которая используется в целях обеспечения экологической безопасности особо опасных и технически сложных производственных объектов;

- апостериорна оценка риска, предназначенная для определения уровней негативного воздействия как катастроф природного характера, так и сопряженных с опасным антропогенным воздействием.

Основой информационного обеспечения оценки эколого-экономических рисков являются статистические данные, которые могут быть представлены результатами экологического мониторинга качества компонентов окружающей природной среды, данными по оценке воздействия на окружающую среду, сведениями о результатах экологического аудита и экологической экспертизы различного уровня, информацией об экологической и санитарно-гигиенической паспортизации.

Негативные последствия реализации эколого-экономического риска заключаются в причинении экономического, социального, экологического и иного ущерба. В связи с этим, оценку эколого-экономических рисков необходимо сопоставлять с оценкой уровней причиненного ущерба. В этом случае очевидным является, что чем выше стоимостное исчисление ожидаемого ущерба, тем более значимым становится риск развития неблагоприятного события. В тоже время, значение эколого-экономический риск будет тем выше, чем больше вероятность возникновения соответствующей опасной ситуации.

В случае, когда ущерб рассчитывается в стоимостной форме, то говорят об эколого-экономическом риске. Эколого-экономический риск при эксплуатации особо-опасных и технически сложных объектов определяется средним ущербом в расчете на единицу времени, обычно за год.

В первом приближении эколого-экономический риск может быть рассчитан как произведение величины ожидаемых последствий (ущерба) негативного воздействия на компоненты окружающей среды на вероятность проявления опасности рассматриваемого события, явления или процесса.

$$R = P \cdot Q \quad (4.1)$$

где  $R$  – средний риск (количественная мера риска), выражаемый в тех же показателях, что и наносимый ущерб;  $P$  – вероятность проявления неблагоприятного события (группы событий), явления или процесса;  $Q$  – величина ожидаемого ущерба в стоимостном выражении.

Предложенный подход позволяет оценить степень риска от загрязнения компонентов окружающей среды, в зависимости от относительной частоты проявления данного риска и стоимостного выражения вероятного ущерба. Матрица данной зависимости представлена на рисунке 4.2.

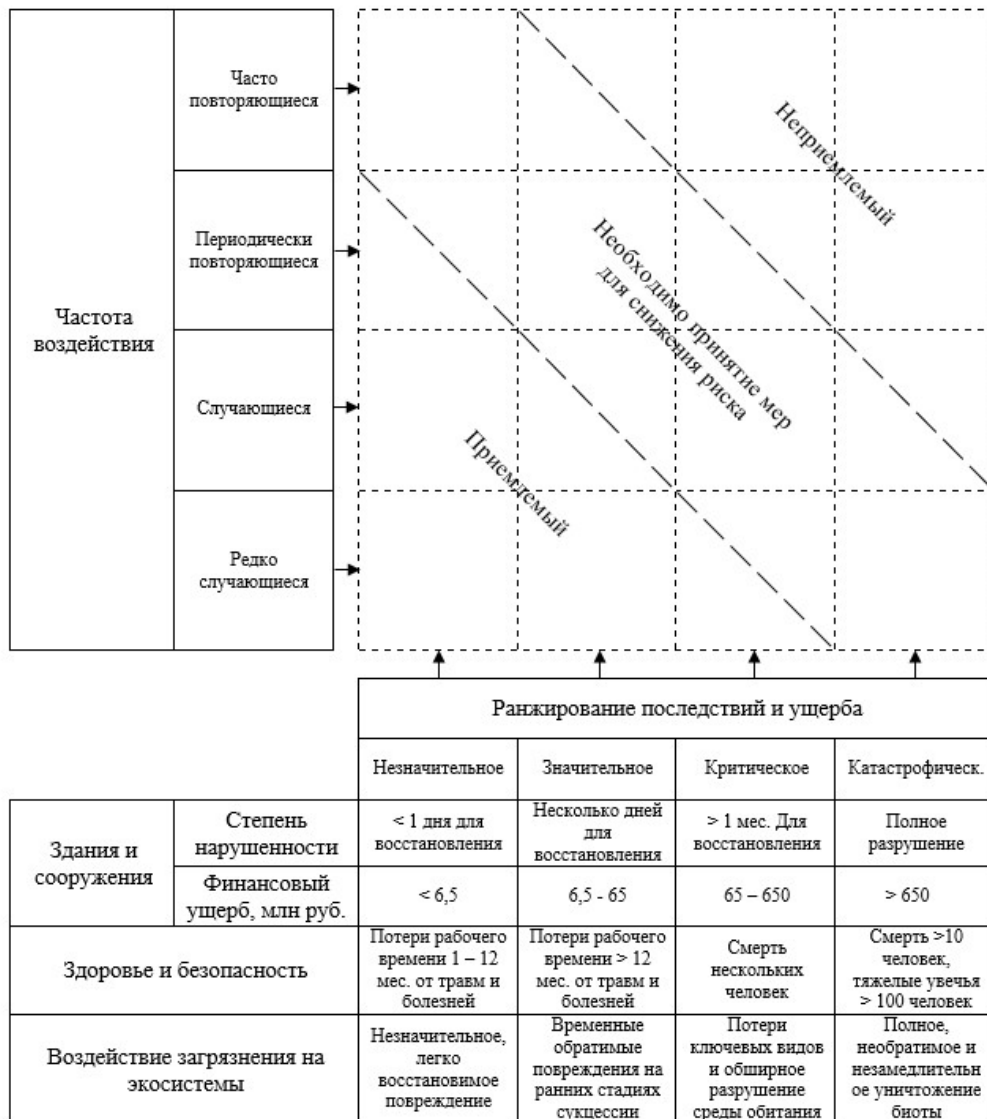


Рисунок 4.2 – Матрица зависимости степени риска от уровня загрязнения окружающей среды



В процессе реализации данного подхода оценки риска, уровень качества компонентов окружающей природной среды следует определять, применяя критерии оценки сложившейся экологической ситуации, которые, в частности, используются при выявлении территорий чрезвычайных ситуаций и зон экологического бедствия.

Основными показателям загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха, в рамках указанной концепции, характеризующим воздействие на состояние компонентов окружающей природной среды, являются критические уровни техногенной нагрузки, которые могут быть определены с использованием известного содержания загрязняющих веществ, которые в данный момент времени не приводят к негативным последствиям (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Критические уровни нарушенности атмосферного воздуха для наземной растительности

Вещества	Параметры		Норма	Время действия
	Экологическое бедствие	Экологическая чрезвычайная ситуация		
Критические уровни для наземной растительности, мкг/м <sup>3</sup>				
Диоксид серы	>200	100-200	<20	Среднегодовое
Диоксид азота	>300	200-300	<30	Среднегодовое
Критические уровни для наземной растительности, мкг/м <sup>3</sup>				
Водород фтористый	>20	10-20	<2-3	Долговременное
Озон	>1500	1000-1500	<150	Максимальная в течение часа

В целях определения территорий, относящихся к зонам экологического бедствия, необходимо применять критерий, заключающийся в десятикратном превышении критических уровней техногенной нагрузки. При этом, оценка уровня загрязнения воздушной среды исследуемого района может проводиться как непосредственно через контроль состояния приземного слоя атмосферного воздуха, так и через оценку устойчивости ландшафтов к негативным техногенным воздействиям косвенно оказываемым через загрязнение воздушного бассейна, применяя в данном случае сравнение

концентраций загрязняющих веществ с действующими санитарно-гигиеническими нормативами.

Проведенные исследования позволили выявить пять условных групп процессов, оказывающих негативное воздействие предприятий горнодобывающей промышленности на состояние компонентов окружающей среды исследуемого региона.

Первая группа процессов обусловлена непосредственно производственной деятельностью, то есть операциями по добыче угля. Наибольшее значение в данной группе имеет процесс изъятия полезного ископаемого из недр, который приводит к воздействию на недра и проявляется в виде проседание земной поверхности вследствие выемки угля. Кроме того, разработка месторождений угля открытым способом приводит к значительным нарушениям природных ландшафтов, в тех случаях, когда не проводятся адекватные воздействию мероприятия по рекультивации нарушенных территорий.

Вторая группа процессов, приводящих к снижению качества компонентов окружающей среды, связана с эмиссией загрязняющих веществ на земную поверхность (в виде сбросов шахтных и карьерных вод); в приземные слои атмосферного воздуха (твердые частицы в виде сажи и аэрозолей при добыче и транспорте полезного ископаемого, газообразные загрязняющие вещества, выделяемые при работе техники и оборудования) в период разработки месторождений, эксплуатации зданий и сооружений, а также на стадии ликвидации горнодобывающих предприятий, особенно при горении пластов угля и углесодержащих отвалов.

Третья группа процессов обусловлена человеческими и материальными потерями, происходящими в период эксплуатации горнодобывающих предприятий.

Четвертая группа процессов является следствием отчуждения значительных площадей территорий под добычу и переработку угля [142].

Пятая группа процессов обусловлена существующими и перспективными проблемами обращения с производственными отходами.

## **4.2 Оценка эколого-экономического ущерба в результате реализации риска возникновения эндогенных пожаров в угольном разрезе**

### **4.2.1 Определение скорости распространения эндогенных пожаров в угольных разрезах на основе данных космического мониторинга**

Анализ структуры формирования экологических рисков на стадии ликвидации Коркинского угольного разреза и ранее проведенные экспедиционные исследования показали, что в условиях отсутствия деятельности по добыче угля, основным источником риска развития неблагоприятной экологической обстановки на территории горнопромышленной агломерации является риск развития эндогенных пожаров.

Обзор современной нормативно-технической документации и открытых литературных источников показал, что в практике отсутствует расчетная методика определения скорости распространения эндогенных пожаров в угольных разрезах и аналогичных производственных объектах предприятий минерально-сырьевого комплекса. В то же время, в Инструкции по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов [143] отмечается необходимость проведения температурной съемки на недействующих объектах один раз в год. В связи с этим задачей проводимых исследований являлось определение линейной скорости распространения эндогенных пожаров в Коркинском угольном разрезе на основе интерпретации данных космического тепловизионного мониторинга.

В качестве исходных данных для определения скорости распространения эндогенных пожаров были выбраны сцены (снимки земной поверхности в ИК-диапазоне) программы Landsat – системы спутникового мониторинга земной поверхности Геологической службы США (Приложение 3).

Соотношение площадей очагов эндогенных пожаров к общей площади дна и бортов разреза определялось с использованием геоинформационных систем программного обеспечения MapInfo Professional. На первом этапе обработки информации, полученные результаты теплового мониторинга поверхности Коркинского угольного разреза, представленные в виде космических снимков в ИК-диапазоне были геотрансформированы в соответствии с географической системой координат в целях их дальнейшего масштабирования. На втором этапе, на каждом снимке была проведена полигональная векторизация разреза и очагов эндогенных пожаров и определена их площадь. На основании полученных данных была составлена результирующая формула, определяющая отношение площади очага техногенного пожара к общей площади разреза.

Для оценки скорости распространения эндогенных пожаров были построены пространственно-временные зависимости в системе координат площадь эндогенного пожара – время распространения. Было проанализировано две временные выборки: с 1989 по 1991 гг. и с 2016 по 2018 г. Выбор именно этих временных периодов связан с необходимостью сравнения процессов развития эндогенных пожаров в период эксплуатации Коркинского угольного разреза и на стадии его ликвидации (первый и второй периоды соответственно), а также повышения доверительной вероятности результата.

Полученные зависимости имеют линейный характер с усредненным угловым коэффициентом равным 0,0023 1/сут.

С учетом вышеизложенного скорость распространения эндогенных пожаров в условиях Коркинского угольного разреза может быть выражена линейной зависимостью:

$$S_{\tau} = 0,0023 \cdot S_0 \cdot \tau \quad (4.2)$$

где  $S_0$  - начальная площадь эндогенного пожара, м<sup>2</sup>;  $\tau$  - время распространения эндогенного пожара, сут.

#### 4.2.2 Оценка экологического ущерба, наносимого атмосферному воздуху в результате горения эндогенных пожаров

Исчисление размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды, в результате превышения организациями установленных нормативов выбросов в период действия неблагоприятных метеорологических условий (НМУ), производится по формуле:

$$V_{\text{днму}} = (K_{\text{э}} \cdot K_{\text{охр}} \cdot K_{\text{нп}}) \sum_{i=1}^n (H_i \cdot M_i \cdot K_{\text{гоу}} \cdot K_{\text{ин}} \cdot K_{\text{нму}}) \quad (4.3)$$

где:  $V_{\text{днму}}$  – размер вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды, в период действия НМУ, руб.;  $K_{\text{э}}$  – коэффициент, учитывающий экологический фактор (состояние атмосферного воздуха) для территорий (акваторий) Российской Федерации, на которых организациями осуществляется хозяйственная и иная деятельность. Для территории Челябинской области принимается равным 2.  $K_{\text{охр}}$  – коэффициент особой охраны принимается равным 1;  $K_{\text{ин}}$  – коэффициент, учитывающий фактическое изменение потребительских цен на товары (работы, услуги) в Российской Федерации;  $K_{\text{нп}}$  – коэффициент, учитывающий выбросы в населенных пунктах. При размещении объекта, оказывающего негативное воздействие на окружающую среду, полностью или частично расположенного в границах населенного пункта, принимается равным 1,2;  $H_i$  – такса для исчисления размера вреда при выбросе  $i$ -ого вещества, руб. за тонну (таблица 4.3).  $i$  – вещество, по которому исчисляется размер вреда;  $n$  – количество наименований веществ, по которым исчисляется размер вреда;  $M_i$  – масса выброса  $i$ -го вещества, тонн;  $K_{\text{гоу}}$  – коэффициент очистки.  $K_{\text{нму}}$  – коэффициент, учитывающий формирование повышенных уровней загрязнения атмосферного воздуха в период действия НМУ. Значения  $K_{\text{нму}}$  принимаются равными для стационарных источников с высотой менее 11 м – 3,5.

Таблица 4.3 – Таксы для исчисления размера вреда при выбросе некоторых веществ

Вещество	Оксид азота	Диоксид азота	Диоксид серы	Сероводород	Оксид углерода
Такса, руб./тонна	21 879,00	21 879,00	43 758,00	2 917 200,00	43 758,00

Масса выброса  $i$ -го вещества, учитываемая при исчислении размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды, производится по формуле:

$$M_i = O_{\text{ф}i} \cdot T_i \cdot 0,0036 \quad (4.4)$$

где:  $M_i$  – масса выброса  $i$ -го вещества, учитываемая при исчислении размера вреда, причиненного атмосферному воздуху как компоненту природной среды, тонн;  $O_{\text{ф}i}$  – фактическая величина  $i$ -го выброса по результатам производственного экологического контроля и (или) установленная в ходе государственного экологического надзора, г/сек;  $T_i$  – продолжительность  $i$ -го выброса, с момента обнаружения выброса и до его прекращения, часы; 0,0036 – коэффициент пересчета граммов в тонны и секунд в часы.

Результаты проведенного расчета показали, что за период между облетами (9 дней) ущерб, наносимый атмосферному воздуху как объекту охраны окружающей среды достигает суммы 6 755 135 руб.

#### 4.2.3 Предотвращенный ущерб здоровью населения Коркинского муниципального района

Наиболее распространенный метод стоимостного исчисления предотвращенного эколого-экономического ущерба здоровью населения, наносимого в результате загрязнения атмосферного воздуха предприятиями промышленности заключается в сравнении ряда показателей, отражающих уровень здоровья населения на фоновой территории и на территории подверженной негативному техногенному воздействию. Высокий уровень заболеваемости и смертности населения, проживающего на территориях горнопромышленных агломераций, является одной из основных причин

значительного экономического ущерба, который состоит преимущественно из:

- расходов местных бюджетов на амбулаторное и стационарное лечение, в том числе при хронических заболеваниях;
- снижения налоговых поступлений и социальных выплат в местные бюджеты, вызванные временной или постоянной утратой трудоспособности взрослого населения;
- ущерба, вызванного снижением, вплоть до полного разрушения, репродуктивных функций;
- снижения доходной части местных бюджетов, вызванным высоким уровнем смертности трудоспособного населения.

Сумма компонентов, составляющих основную часть экономического ущерба здоровью населения, наносимого в результате негативного техногенного воздействия горной промышленности на атмосферный воздух может быть рассчитана по формуле:

$$\text{ЭУЗ} = \text{ЭУЗ}_{\text{леч}} + \text{ЭУЗ}_{\text{см}} \quad (4.5)$$

где:  $\text{ЭУЗ}_{\text{леч}}$  - предотвращенный экономический ущерб, связанный с повышенным уровнем заболеваемости трудоспособного взрослого населения и подростков, руб./год;  $\text{ЭУЗ}_{\text{см}}$  - экономический ущерб, связанный с повышенным уровнем смертности взрослого и детского населения, руб./год.

В процессе оценки эколого-экономического ущерба следует учитывать характер нарушения здоровья: постоянный или временный; в связи с этим данный вид ущерба необходимо рассчитывать на весь ожидаемый период проявления неблагоприятного эффекта, а в случае возникновения необратимых изменений организма – на всю ожидаемую среднестатистическую продолжительность жизни.

Основными статьями потерь, составляющих общую сумму расходов при причинении группам населения эколого-экономического ущерба, являются:

- затраты на амбулаторное и стационарное лечение, в том числе при хронических заболеваниях;
- компенсационные затраты листов нетрудоспособности, изымаемые из фондов социального страхования в пользу заболевших или лиц, признанных временно нетрудоспособными в связи с уходом за болеющими членами семьи;
- затраты местных бюджетов на специальное пенсионное обеспечение при назначении пенсии по болезни;
- снижение объема налоговых поступлений в местные бюджеты и прочих социальных отчислений во внебюджетные фонды, связанных со временной или постоянной потерей трудоспособности взрослого населения.

В данной методике, затраты на амбулаторное и стационарное лечение рассчитываются для всех возрастных групп населения, остальные три статьи затрат оцениваются в основном при заболеваниях трудоспособного взрослого населения.

В общем виде, предотвращенный эколого-экономический ущерб, обусловленный ростом заболеваемости населения, может быть определен по формуле:

$$\text{ЭУЗ}_{\text{леч}} = (Z_{\text{АПО}} \cdot Ч_{\text{АПО}} + Z_{\text{СТ}} \cdot D_{\text{СТ}}) \cdot (П_1 - П_2) \cdot \frac{Ч}{10000} \quad (4.6)$$

где:  $Z_{\text{АПО}}$  – усредненные затраты, вызванные посещением амбулаторно-поликлинического отделения, руб/чел. Для взрослых категорий населения  $Z_{\text{АПО}} = 270$  руб., для детей и подростков  $Z_{\text{АПО}} = 135$  руб.;  $Ч_{\text{АПО}}$  – средняя периодичность посещений амбулаторно-поликлинического отделения в год. Для взрослых категорий населения  $Ч_{\text{АПО}} = 5,72$ , для детей и подростков  $Ч_{\text{АПО}} = 4,98$ ;  $Z_{\text{СТ}}$  – усредненные затраты на лечение и содержание в стационарных условиях в расчете на 1 сутки, руб/сут. взрослых категорий населения  $Z_{\text{СТ}} = 1090$  руб., для детей и подростков  $Z_{\text{СТ}} = 680$  руб.;  $D_{\text{СТ}}$  – число дней нахождения в условиях оказания стационарной медицинской помощи, в среднем составляет 10 дней для всех возрастных категорий.  $П_1$  и



$P_2$  – усредненные годовые стандартизованные показатели заболеваемости исследуемой и контрольной групп населения, случаев на 1000 человек. взрослых категорий населения  $(P_1 - P_2) = 31$ , для детей и подростков  $(P_1 - P_2) = 22$ ;  $Ч$  - численность оцениваемой группы населения, чел. взрослых категорий населения  $Ч = 38787$  чел., для детей и подростков  $Ч = 8877$  чел.

Самым неблагоприятным последствием негативного техногенного воздействия, оказываемого горнодобывающими предприятиями на атмосферный воздух исследуемого региона, для здоровья населения является повышенный уровень смертности. В связи с этим, при расчете предотвращенного эколого-экономического ущерба здоровью населения от повышенного уровня смертности следует учитывать:

- средний размера налогооблагаемой базы, создаваемой одним трудоспособным человеком, поступающей в местный бюджет, руб./год;
- объем отчислений в социальные фонды на одного трудоспособного человека, руб./год;
- долю продукта (товара, услуги), создаваемого в среднем одним трудоспособным человеком за единицу времени (календарный год);
- среднестатистический период дожития (средняя продолжительность предстоящей жизни), лет;

Стоимостное исчисление предотвращенного эколого-экономический ущерб, обусловленного преждевременной смертью трудоспособного населения, может быть определено по формулам:

- для случаев смертности в детском и подростковом возрасте:

$$\text{ЭУЗ}_{см} = 40 \cdot \left( H - \frac{V \cdot b}{B} \right) \cdot (C_1 - C_2) \cdot \frac{Ч}{10000} \quad (4.7)$$

- для случаев смертности взрослых категорий населения:

$$\text{ЭУЗ}_{см} = \left[ 40 \cdot H - \left( (H + V) \cdot a - \frac{40 \cdot V \cdot a}{b} \right) \right] \cdot (C_1 - C_2) \cdot \frac{Ч}{10000} \quad (4.8)$$

где:  $H$  – часть дохода, приносимого в среднем одним трудоспособным человеком, поступающая в виде налогооблагаемой базы в местный бюджет, руб/год. Для территории Челябинской области  $H = 4550$  руб/год.  $V$  – долю продукта (товара, услуги), создаваемого в среднем одним трудоспособным человеком за единицу времени (календарный год), руб.  $V = 1800$  руб/год.;  $b$  – средний возраст умерших, лет. Для случаев смертности взрослых категорий населения  $b = 57$  лет, для случаев детской и подростковой смертности  $b=5$  лет;  $a$  – среднее число проработанных лет умершими трудоспособными гражданами, лет.  $a = 35$  лет;  $B$  - средняя продолжительность предстоящей жизни групп населения, лет. Для взрослых категорий населения  $B=12$  лет, для детей и подростков  $B=64$  года;  $C_1$  и  $C_2$  – показатели смертности категорий граждан в соответствующих возрастных группах в исследуемом и фоновом районах, случаев на 1000 чел. Для взрослых категорий населения  $(C_1 - C_2) = 12$ , для детей и подростков  $(C_1 - C_2) = 9$ .

Результаты расчета эколого-экономического ущерба здоровью населения от загрязнения атмосферного воздуха города Коркино представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчета эколого-экономического ущерба здоровью населения города Коркино от загрязнения атмосферного воздуха

ЭУЗ <sub>леч</sub> (для взрослых), млн руб.	ЭУЗ <sub>леч</sub> (для детей), млн руб.	ЭУЗ <sub>см</sub> (для взрослых), млн руб.	ЭУЗ <sub>см</sub> (для детей), млн руб.	ПЭУ, млн руб.
1,50	0,15	7,90	0,94	10,49

## **ВЫВОДЫ К ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ**

1. Проведенный расчет показал, что эколого-экономический ущерб здоровью населения в результате эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух горнопромышленной агломерации составляет более 10 млн рублей ежегодно.

2. Анализ многолетней динамики распространения очагов эндогенных пожаров позволил предложить подход к определению скорости распространения эндогенных пожаров в типичных условиях буроугольных месторождений (на примере Коркинского угольного разреза).

3. Согласно проведенной оценке, стоимостное исчисление вреда, наносимого атмосферному воздуху как объекту охраны окружающей среды, в результате несвоевременного обнаружения очага эндогенного пожара, может достигать 300 млн рублей ежегодно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится новое решение актуальной научно-производственной задачи: обеспечение экологической безопасности на территориях горнопромышленных агломераций, основанное на повышении оперативности функционирования и достоверности результатов системы экологического мониторинга.

Основные научные и практические выводы:

1. На основании комплекса многолетних натуральных наблюдений за состоянием атмосферного воздуха установлены закономерности формирования техногенных атмохимических ореолов в районе воздействия Коркинского угольного разреза, позволяющие определить спектр основных загрязняющих веществ.

2. Предложена структура комплекса технических средств измерений для дистанционного мониторинга окружающей среды, основанная на применении беспилотных авиационных систем, оборудованных газоаналитическим и специальным пробоотборным оборудованием.

3. Создана динамическая картографическая модель распространения атмохимических аномалий на территории Южно-Уральской горнопромышленной агломерации.

4. Теоретически обоснована методика проведения дистанционного мониторинга атмосферного воздуха с применением беспилотных авиационных систем (включая обоснование маршрутов, высот, периодичности облетов) и выполнена оценка метрологических характеристик мониторингового комплекса.

5. Ретроспективная оценка данных дистанционного тепловизионного мониторинга позволила установить кинетику эндогенных пожаров в условиях Коркинского угольного разреза, включая получение линейных

эмпирических зависимостей по скорости увеличения площади с угловым коэффициентом 0,0023.

6. Разработана стратегия управления экологической безопасностью Коркинского угольного разреза на стадии его ликвидации, которая базируется на среднесрочном прогнозировании состояния атмосферного воздуха, обеспеченном дистанционной системой аналитического контроля.

7. Эколого-экономическими расчетами определен ежегодный ущерб, наносимый атмосферному воздуху как объекту охраны окружающей среды, составляющий порядка 300 млн руб.; а также ущерб, наносимый здоровью населения в результате загрязнения атмосферного воздуха, составляющий более 10 млн руб.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». – М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2018. – 888 с.

2. Данилов А.С. Оценка техногенных массивов как источников экологической опасности / М.А. Пашкевич, В.А. Матвеева, А.С. Данилов // Мир русского слова. – 2017. – №2. – С. 126-131.

3. Данилов А.С. Исследование миграции загрязняющих веществ с территории техногенных массивов / М.А. Пашкевич, В.А. Матвеева, А.С. Данилов // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование: тезисы докладов международной научно-практической конференции, посвященной 185-летию кафедры «Горное искусство». – С-Пб. – 2017. – С. 121-122.

4. Данилов А.С. Исследование миграции загрязняющих веществ с территорий техногенных массивов Кольского полуострова / М.А. Пашкевич, В.А. Матвеева, А.С. Данилов // Горный журнал. – 2019. – №1. – С. 17-21.

5. Данилов А.С. Использование БЛА в управлении экологической безопасностью объектов МСК / А.С. Данилов // Проблемы недропользования: сборник научных трудов форума-конкурса молодых ученых. – СПб. – 2015. – С. 85.

6. Волошин В.И. От оценки состояния природной среды методами дистанционного зондирования Земли к обеспечению устойчивого развития общества / В.И. Волошин, Е.И. Бушуев, А.Г. Шапарь, Н.А. Емец и др. // Космические науки и технологии. – 2006. – Том 12. – № 2/3. – С. 70-78.

7. Герасимов И.П. 1975. Научные основы современного мониторинга окружающей среды / И.П. Герасимов // Известия АН СССР. – 1975. – №3. – С. 13-25.

8. Герасимов И.П. Принципы и методы геосистемного мониторинга / И.П. Герасимов // Известия АН СССР. – 1982. – №2. – С. 5-11.

9. Израэль Ю.А. Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменения окружающей среды. Основы мониторинга / Ю.А. Израэль // Метеорология и гидрология. – 1974. – № 7. – С. 3-8.
10. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю.А. Израэль. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 375 с.
11. Об охране окружающей среды: Федеральный закон от 10.01.2002 №7-ФЗ (ред. от 29.07.2018) // Собрание законодательства. – 2002. – №2, (14 янв.). – Ст. 133.
12. Пашкевич М.А. Экологический мониторинг / М.А. Пашкевич, В.Ф. Шуйский. – СПб.: Изд-во СПГГИ (ТУ), 2002. – 129 с.
13. Голицин А.Н. Промышленная экология и мониторинг загрязнения природной среды / А.Н. Голицын. – М.: ОНИКС, 2007 – 336 с.
14. Об охране атмосферного воздуха: Федеральный закон от 04.05.1999 №96-ФЗ (ред. От 29.07.2018) // Собрание законодательства. – 1999. – №18, (3 мая). – Ст. 2222.
15. Glushakova O.V. Public management of the processes of ensuring quality of life in the socio-economic systems / O.V. Glushakova. – Novosibirsk: Siberian Academy of Finance and Banking, 2012. – 454 p.
16. Тронин А.А. Спектральные методы дистанционного зондирования в геологии. Обзор / А.А. Тронин, В.И. Горный, С.Г. Крицук, И.Ш. Латыпов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т.8. – №4. – С. 36-45.
17. Горный В.И. Термодинамический подход для дистанционного картографирования нарушенности экосистем. // В.И. Горный, С.Г. Крицук, И.Ш. Латыпов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. – Т.8. – №2. – С. 179-194.
18. Горный В.И. Минерагенические закономерности как результат движения плит и мантийной конвекции (по космическим материалам) / В.И. Горный // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2005. – Т.2. – №2. – С. 182-197.

19. Гонин Г.Б. Космическая фотосъемка для изучения природных ресурсов / Г.Б. Гонин. Л.: Недра, 1980. – 320 с.
20. Кондратьев К.Я. Метеорологические спутники / К.Я. Кондратьев. Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 311 с.
21. Кондратьев К.Я. Новые зарубежные метеорологические спутники / К.Я. Кондратьев. Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 38 с.
22. Madden R. A technique for real time quantitative display of APT scanning radiometer data / R. Madden, C. Parsons // J. Appl. Meteorol. – 1973. – Vol. 12. – № 2. – P. 381-385.
23. Зуев В.Е. Обратные задачи лазерного зондирования атмосферы / В.Е. Зуев, П.Э. Наац. – Новосибирск: Наука, 1982. – 241 с.
24. Зуев В.Е. Вопросы лидарного зондирования из космоса водяного пара в стратосфере и тропосфере на линиях поглощения  $H_2O$  в области 3 мкм / В.Е. Зуев, С.А. Романовский // Исследование Земли из космоса. – 1986. – №5. – С. 9-17.
25. Кароль И.Л. Газовые примеси в атмосфере / И.Л. Кароль, В.В. Розанов, Ю.М. Тимофеев. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 192 с.
26. Лазерный контроль атмосферы / ред. Е.Д. Уинкли. – М.: Мир, 1979. – 416 с.
27. Krueger A.J. Satellite ozone measurements / A.J. Kruger, B. Guenther, A.J. Fleig et al. // Phil. Trans. Roy. Soc. London. – 1980. – Vol. A296. – №1. – P. 191–204.
28. Schnapf Ed. Monitoring Earth's ocean, land, and atmosphere from spacesensors, systems, and applications / Ed. Schnapf // A. Progress in Astronautics and Aeronautics. – 1985. – Vol. 97. – 830 p.
29. Кондратьев К.Я., Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса / К.Я. Кондратьев, Ю.М. Тимофеев. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 280 с.



30. Тимофеев Ю.М. Малые газовые составляющие и их мониторинг / Ю.М. Тимофеев // Возможности исследования природных ресурсов дистанционными методами. – Л., 1987. – С. 21-35.
31. Venkaterwaran S.V. Determination of the vertical distribution of ozone by satellite photometry / S.V. Venkaterwaran, J.G. Moore, A.S. Krueger // JGR. – 1961. – Vol. 66. – № 7. – P. 1751-1771.
32. Rawcliffe R.D. Latitudinal distribution of ozone at high altitudes deduced from a satellite measurement of earth's radiance at 2840 Å / R.D. Rawcliffe, D.D. Eliot // JGR. – 1966. – Vol. 71. – №11. – P. 5077-5089.
33. Atmospheric ozone. Assessment of our understanding of the processes controlling its present distribution and change // WMO. – 1986. – №16. – 817 p.
34. The Stratosphere. Theory and Measurements // WMO. – 1992. – №11. – 516 p.
35. Korpela S. GOMOS. Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars / S. Korpela et al. – Virginia: 1992. – 695 p.
36. Carbary J.F. Ultraviolet and visible imaging and spectrographic imaging instrument / J.F. Carbary, E.H. Darlington, T.J. Harris, P.J. McEvaddy, M.J. Mayr, K. Peacock // Appl. Opt. – 1994. – Vol. 33. – №19. – P. 4201–4213.
37. Кондратьев К.Я. Измерения отношения смеси атмосферного водяного пара в стратосфере и мезосфере с помощью спектральной аппаратуры, установленной на орбитальной станции «Салют-4» / К.Я. Кондратьев, А.А. Бузников, Г.М. Гречко и др. // Доклады АН СССР. – 1976. – Т. 266. – №3. – С. 563–565.
38. Тронин А.А. Энергетический подход к оценке уровня экологической безопасности / А.А. Тронин // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10. – №1. – С. 9-17.
39. Mother J.C. Michelson interferometer with separated inputs and outputs, double pass, and compensation / J.C. Mother, D.E. Fennings // Appl. Optics. – 1985. – Vol. 24. – № 21. – P. 3437–3438.

40. Aviation Week & Space Technology. – 1995. – №4, №6, №10.

41. Forecast International / DMS, January. – 1995.

42. Исследование по обоснованию состава и характеристик аппаратуры экологического контроля для самолётов наблюдения «Открытого неба». Отчёт экологического мониторинга за состоянием окружающей природной среды на базе самолётов Ту-154М и Ан-3ОБ в рамках договора «Открытое небо». Отчёт о НИР. – ГМИ. – 1994. – 52 с.

43. Разработка концепции авиационного экологического мониторинга на базе самолета Ан-3ОБ в рамках Договора по «Открытому небу» Отчет о НИР. – НПА «ЭСКОС». – 1994. – 48 с.

44. Разработка и обоснование концепции создания подсистемы авиационного мониторинга за состоянием окружающей природной среды на базе самолетов Ту-154М и Ан-3ОБ в рамках договора «Открытое небо». Отчет о НИР. – ГосНИИАС. – 1994. – 87 с.

45. Справка о состоянии проблемы авиационного мониторинга окружающей среды. – ГУЭБ Минприроды России. – 1994. – 5 с.

46. Экологическая доктрина Российской Федерации: Распоряжение правительства Российской Федерации от 31.08.2002 № 1225-р. // Собрание законодательства. – 2002. – №2, (14 янв.). – Ст. 144.

46. Данилов А.С. Система экологического мониторинга окружающей среды с использованием малогабаритных беспилотных летательных аппаратов / А.С. Данилов // Экология и промышленность России. – 2013. – №9. – С. 4-8.

47. Данилов А.С. Оценка качества окружающей среды с использованием МБЛА / М.А. Пашкевич, Ю.Д. Смирнов, А.С. Данилов // Записки Горного института. – 2013. – Т.204. – С.269-271.

48. Данилов А.С. Система дистанционного контроля качества компонентов окружающей среды / А.С. Данилов // Проблемы недропользования: сборник научных трудов форума-конкурса молодых ученых. – СПб., 2014. – С. 190.

49. ГОСТ Р 57258-2016 Системы беспилотные авиационные. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 22 с.

50. Федоров С.И., Классификация БПЛА и системы их интеллектуального управления / С.И. Федоров, А.В. Хаустов, Т.М. Крамаренко, В.С. Долгих // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2016. – №74. – С. 12-21.

51. Глобальная эксплуатационная концепция ОрВД: ICAO Doc 9854 AN/458 ИКАО. – Монреаль, Канада: ИКАО, 2005. – 100 с.

52. Организация воздушного движения: ICAO. DOC 4444 ATM/501/ИКАО. – Монреаль, Канада: ИКАО, 2007. – 474 с.

53. Поправка № 3 18/11/10 к DOC 4444. ICAO. – Монреаль, Канада: ИКАО, 2010.

54. Беспилотные авиационные системы (БАС): ICAO CIR 328 AN/190 ИКАО. – Монреаль, Канада: ИКАО. 2011. – 66 с.

55. Операции беспилотных летательных аппаратов в общей системе воздушного пространства / A.Urbahs; V.Petrovs; K.Savkovs // Space and Global Security of Humanity Riga, 2010. – 21 с.

56. Ростопчин В.В. Современная классификация беспилотных авиационных систем военного назначения / В.В. Ростопчин // UAV.RU: Беспилотная авиация. – Электрон. дан. – 2003.

57. Ростопчин В.В. Беспилотные авиационные системы: Основные понятия / В.В. Ростопчин, И.Е. Бурдун / ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2009. – №4. – С. 82-88.

58. Зинченко О.Н. Беспилотные летательные аппараты: Применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 1) / О.Н. Зинченко // Ракурс: Программные решения в области геоинформатики, цифровой фотограмметрии и дистанционного зондирования. – Электрон. дан. – М., Россия: Компания «Ракурс», 2011.

59. Павлушенко М. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития /

М. Павлушенко, Г. Евстафьев, И. Макаренко // Научные записки ПИР Центра: национальная и глобальная безопасность. –М.: Изд.-во «Права человека», 2005. – 612 с.

60. Современные информационные технологии в задачах навигации и наведения беспилотных маневренных летательных аппаратов / К.К Веремеенко; ред. М.Н. Красильщиков, Г.Г. Себряков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 554 с.

61. Reg A. Unmanned Aircraft systems. UAVS Design, Development and Deployment / Austin Reg. – A John Wiley and Sons, Ltd. Publication, 2010. – 332 p.

62. Arjomandi M. Classification of Unmanned Aerial Vehicles / Maziar Arjomandi. – Australia: The University of Adelaide, 2011. – 49 p.

53. Unmanned Aircraft and Rocket Operations: Civil Aviation Safety Authority // Australia. –2003. (January). – 56 p.

64. Manuel de Sousa Unmanned Aerial Vehicles for Rapid Environmental Assessment and Mine Countermeasures / Manuel de Sousa. – Adelaide, Australia: Defence Science and Technology Organisation "Maritime Operations Division", 2005. – 18 p.

65. Unmanned Aerial Vehicles: Issues paper / Civil Aviation Authority of New Zealand. – 22 January 2007. – 21 p.

66. Advancing Unmanned Systems in Canada 2007-2010 / Canadian Centre for Unmanned Vehicle Systems -2010. – 36 p.

67. Unmanned Air Vehicle Working Group Final Report: Draft / Transport Canada Civil Aviation Working Group, Inc. – Electronic data. - Transport Canada Civil Aviation Working Group, September 2007.

68. Safety Considerations for operation of Unmanned Aerial Vehicles in the National Airspace System: Report No.ICAT-2005-1/ Roland E. Weibel and R. John Hansman; MIT International Center for Air Transportation Department of Aeronautics & Astronautics Massachusetts Institute of Technology Cambridge. - MA 02139 USA, March 2005. – 107p.

69. Chris J. Hodson. Civil Airworthiness for a UAV Control Station: This report is submitted to satisfy the project requirements of the Master of Science in Safety Critical Systems Engineering at the Department of Computer Science/Chris J. Hodson. - September 2008. - 119 p.

70. Unmanned Aircraft System Operations in UK. Airspace - Guidance: CAP 722 - Civil Aviation Authority - 6 April 2010. – 96p.

71. Unmanned Aerial Vehicles Systems Airworthiness Requirements (USAR): STANAG 4671, NSA/0976 (2009)-JAIS/4671, Edition 1. - NSA - 9 may 2007. – 214 p.

72. Danilov A.S.. The System of the Ecological Monitoring of Environment which is Based on the Usage of UAV / A.S. Danilov, Y.D. Smirnov, M.A. Pashkevich // Russian Journal of Ecology. – 2015. – Vol. 46. – №1. – P. 14–19.

73. Unmanned Aircraft System Operations in UK. Airspace: CAP 722 Document: UAVS/001, Version 01. – Civil Aviation Authority – 7 April 2011. – 10 p.

74. Сотрудничество гражданских и военных органов при организации воздушного движения: ICAO CIR 330 AN/189 ИКАО, утверждено Генеральным секретарём и опубликовано с его санкции. – Монреаль, Канада: ИКАО 2011. – 68 с.

75. Данилов А.С. Использование МБЛА в целях экологического мониторинга / А.С. Данилов, М.А. Пашкевич // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: материалы 9-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. – Минск. – 2013. – Т.2. – С.79-85.

76. Данилов А.С. Перспективный способ дистанционного экологического мониторинга объектов нефтегазовой отрасли России / А.С. Данилов, Ю.Д. Смирнов, Д.С. Корельский // Нефтяное хозяйство. – 2016. – №2. – С. 121-122.

77. Рынок дронов в России и в мире, 2017 г. (беспилотные летательные аппараты, БЛА, БПЛА): J'son & Partners Consulting. – 879 с.

78. Симакова М.С. От визуального дешифрирования аэрофотоснимков и полевого картографирования почв до автоматизированного дешифрирования и картографирования по космическим снимкам / М.С. Симакова // Бюллетень Почвенного института им В.В. Докучаева. – 2014. – Вып. 74. – С. 3-18.

79. Danilov A.S. The innovative monitoring methods for soil and plant quality assessment / A.S. Danilov, Y.D. Smirnov, D.S. Korelsky //SGEM2016 Conference Proceedings. – 2016. – Book 5. – Vol. 1. – P. 735-742.

80. Кисилев В.Н. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы) / В.Н. Кисилев, А.Д. Кузнецов. – С-Пб.: РГГМУ. – 2004. – 429 с.

81. Смоляков А.В. Анализ эффективности БЛА для мониторинга окружающей среды / А.В. Смоляков, Т.А. Куць, А.И. Рыженкою – Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» . – 2011. – 54 с.

82. Павлушенко М. Беспилотные летательные аппараты: история, применения, угроза распространения и перспективы развития / М. Павлушенко, Г. Евстафьев, И. Макаренко. // Национальная и глобальная безопасность. – 2004. – Вып. 2.

83. Бегичев Ю.И. Методология создания эргатического многоцелевого беспилотного авиационного комплекса аэрокосмического мониторинга окружающей среды / Ю.И. Бегичев, Ю.А. Михайленко, М.М. Сильвестров. – Москва: Техника, 2003. – 312 с.

84. Лебедев А.А. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов / А.А. Лебедев, Л.С. Чернобровкин. – М.: Машиностроение, 1973. – 613 с.

85. Лысенков С.Б. Опыт применения БЛА в целях мониторинга природной среды Арктики в ходе международной экспедиции в Шпицбергене / С.Б. Лысенков. – М.: Наука, 2010. – 54 с.

86. Зенченко С.В. Система интегральной оценки финансового потенциала региона и методика ее формирования / С.В. Зенченко, В.И. Бережной // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2010. – №2 (15) . – С. 22-30.

87. Ключникова Е.В. Методические подходы к расчету интегрального показателя, методы ранжирования / Е.В. Ключникова, Е.М. Шитова // ИнноЦентр. – 2016. – №1 (10) . – С. 4-18.

88. ГОСТ 17.8.1.02-88. Охрана природы. Ландшафты. Классификация. – Москва: Изд-во стандартов, 1989. – 26 с.

89. Глазырина М.А. Особенности формирования флоры и растительности в условиях отвалов и карьеров открытых угольных разработок (на примере Челябинского бурогоугольного бассейна). автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. биол. Наук / М.А. Глазырина. – Екатеринбург. – 2002.

90. Ячменева Н.В. Повторяемость инверсий и их влияние на уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Челябинске / Н.В. Ячменов, А.Ю. Гольвей // Вестник ЧелГУ. – 2011. – №5 (220). – С. 84-90.

91. Белан Б.Д. Распространение примесей в атмосфере и методы их контроля / Б.Д. Белан, Г.Г. Журавлев, Г.О. Задде, В.А. Попов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 342 с.

92. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 136 с.

93. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – Введ. 01.06.1989. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 615 с.

94. Безуглая Э.Ю. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере. Справочное пособие / Э.Ю. Безуглая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983.

95. Об утверждении Методики расчета водохозяйственных балансов водных объектов: Приказ МПР РФ от 30.11.2007 N 314.

96. ПД Техническое перевооружение разреза «Коркинский» с целью локализации эндогенных пожаров. Челябинск, 2017, 157 с.

97. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух / Санкт-Петербург. – 2015.

98. ГОСТ 17.2.3.01-86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 61 с.

99. ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. – М.: Издательство стандартов, 2017. – 65 с.

100. Davis John C. Statistics and Data Analysis in Geology / Davis John C. – New York: John Wiley and Sons, 1986.

101. Данилов А.С. Разработка программного приложения для статистического анализа данных в экосистеме / А.С. Данилов, А.А. Власов, И.И. Пивоварова // Научный вестник Московского государственного горного университета. – 2012. – №8. – С. 11-13.

102. Danilov A.S Estimation of homogeneity of the spatial distributed data in an ecosystem / A.S. Danilov, I.I. Pivovarova // European Science and Technology: Materials of the III international research and practice conference. – Munich, 2012. – P. 225-228.

103. Franke R. Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods / R. Franke // Mathematics of computations. – 1982. – Vol. 33. – №157. – P. 181-200.

104. Об утверждении перечня измерений, относящихся к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений и выполняемых при осуществлении деятельности в области охраны окружающей среды, и обязательных метрологических требований к ним, в том числе показателей точности измерений: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 07.12.2012 №425.



105. Об обеспечении единства измерений: Федеральный закон №102-ФЗ от 26.06.2008.

106. ГОСТ Р 52350.29.1-2010 (МЭК 60079-29-1:2007) Взрывоопасные среды. Часть 29-1. Газоанализаторы. Общие технические требования и методы испытаний газоанализаторов горючих газов. – Москва: Изд-во Стандартов, 2011. – 94 с.

107. Временное руководство по профилактике и тушению эндогенных пожаров на разрезах. – Челябинск: НИИОГР. – 1982. – 92 с.

108. Воздушный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 19.03.1997 N 60-ФЗ (ред. от 03.08.2018) (с изм. и доп., вступ. в силу с 14.08.2018).

109. Fenger J. Urban air pollution – European aspects / J. Fenger, O. Hertel., F. Palmgren. – Kluwer Acad. Publ, 1998. – 482 p.

110. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 428 с.

111. Stout J.E. The effect of nonlinear drag on the motion and settling velocity of heavy particles / J.E. Stout, S.P. Arya, E.L. Genikhovich // J. Atm. Sci. – 1995. – Vol. 52. – №11. – P. 3836—3848.

112. Монин А.С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика / А.С. Монин, А.М. Яглом. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 693 с.

113. Баренблатт Г.И., Голицын Г. С. Локальная структура развитых пыльных бурь / Г.И. Баренблатт, Г.С. Голицын. – М.: Изд-во МГУ, 1973. – 44 с.

114. Goroch A. K. Stability effects on aerosol size and height distribution / A.K. Goroch, S. Burk, K.L. Davidson // Tellus. – 1980. – Vol. 32. – №3. – P. 245-250.

115. Danilov A.S. Using drones of preconstruction monitoring conducting in mining enterprise / A.S. Danilov, M.A. Pashkevich, T.A. Petrova, Y.D. Smirnov // International Journal of Ecology & Development. – 2015. – Vol. 30. №1. – P. 24-35.

116. Данилов А.С. Разработка системы контактного дистанционного мониторинга при добыче полезных ископаемых / А.С. Данилов // Студенческий научный форум: сборник тезисов VII Международной студенческой научной конференции. – Москва. – 2015. – С. 353-363.

117. Данилов А.С. Система оценки качества окружающей среды с применением малогабаритных беспилотных летательных аппаратов / А.С. Данилов, Ю.Д. Смирнов // Изобретатели в инновационном процессе России: материалы Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции – СПб. – 2014. – С. 252-254.

118. Данилов А.С. Перспективы применения БПЛА в области экологического мониторинга / А.С. Данилов // Экологические проблемы недропользования: материалы шестнадцатой международной научной конференции. – С-Пб. – 2016. – С. 221-222.

119. Данилов А.С. Оценка качества атмосферного воздуха в районах со сложными геоморфологическими условиями / А.С. Данилов // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. – Томск. – 2017. – С. 724-726.

120. Данилов А.С. Дроны в экологическом мониторинге. Современность и перспективы / А.С. Данилов // Науки о Земле. Современное состояние: Материалы IV Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции. – Новосибирск. – 2017. – С. 188-191.

121. ГОСТ Р 8.740-2011. Государственная система обеспечения единства (ГСИ). Расход и количество газа. Методика измерений с помощью турбинных, ротационных и вихревых расходомеров и счетчиков. – Введ. 01.01.2013. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – С. 88.

122. Мкртычян Н.Б. Оценивание неопределенности измерений, выполняемых автоматическим анализатором атмосферного воздуха /

Н.Б. Мкртычян, Г.Р. Нежиховский // Системы обработки информации. – 2014. – № 3. – С. 61-65.

123. Данилов А.С. Состояние метрологического обеспечения систем мониторинга на базе беспилотных воздушных судов / А.С. Данилов, Э.А. Кремчеев, Ю.Д. Смирнов // Записки Горного института. – 2019. – Т. 235. – С. 96-105.

124. Данилов А.С. Вопросы методики и результаты исследования загрязнения атмосферы с помощью беспилотных летательных аппаратов / А.С. Данилов // Неделя науки: Сборник тезисов V научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). – С-Пб. – 2015. – С. 205.

125. Danilov A.S. Environmental integrated monitoring system at reclamation of large open-cast coal mine / A.S. Danilov, M.A. Pashkevich, T.A. Petrova // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects: 11th conference of the Russian-German Raw Materials. – 2018. – P. 189-194.

126. Данилов А.С. Исследование миграции загрязняющих веществ с территорий техногенных массивов / А.С. Данилов, В.А. Матвеева, М.А. Пашкевич // Горный журнал. – 2019. – №1. – С. 17-21.

127. Автоматическое устройство для дистанционного мониторинга окружающей среды. Патент РФ № 173329. бюллетень полезные модели. №24, 2017.

128 Danilov A.S. Geostatistical analysis methods for estimation of environmental data homogeneity / A.S. Danilov, I.I. Pivovarova, S.U. Krotova // Scientific World Journal. – Vol. 2018. – №424818.

129. Данилов А.С. Моделирование загрязнения приземного слоя атмосферы на основе данных дистанционного (высотного) мониторинга / А.С. Данилов, В.А. Матвеева // Северная Пальмира: сборник научных трудов IX Молодежной экологической конференции. – Санкт-Петербург. – 2018. – С. 226-230.

130. Оценка однородности пространственно-распределенных данных в экосистеме. Патент РФ № 2017612750. бюллетень программ для ЭМВ. №3, 2017.

131. Программа для сбора и интерпретации данных производственного экологического. Патент РФ № 2017663636. бюллетень программ для ЭМВ. №12, 2017.

132. Rebrik I.I., The concept of transition to rationing of negative impact to environment on the basis of the best available technologies / I.I. Rebrik, A.Iu. Kocheshkov, I.A. Borisovskaia // Journal of Eko-byulleten INEKA. – 2009. – Vol. 134. – №3.

133. Харченко С. Ретроспектива международного опыта анализа рисков / С. Харченко, Р. Ананьева // Международная экономика. – 2008. – № 6. – С 61–69.

134. Дмитриев В.Г. Оценка экологического риска. Аналитический обзор публикаций / В.Г. Дмитриев // Арктика и север. – 2014. – №14. – С. 126–147.

135. Сугак Е.В. Расчет экологических рисков / Е.В. Сугак, Е.Н. Бельская // Международный Научный Институт «Educatio» . – 2014. – №4. – С. 124–127.

136. Шмаль А.Г. Факторы экологической опасности и экологические риски / А.Г. Шмаль. – Бронницы: МП «ИКЦ БНТВ», 2010. – 191 с.

137. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. – Москва: Издательство стандартов, 2012. – 39 с.

138. ГОСТ Р 51897-2002. Менеджмент риска. Термины и определения риска. – Москва: Издательство стандартов, 2014. – 78 с.

139. ГОСТ Р 2.1.10.1920-2004. Руководство по оценке риска в области экологического менеджмента. – Москва: Издательство стандартов, 2005. – 44 с.

140. Сугак Е.В. Информационные технологии управления социально-экологическим риском / Е.В. Сугак, Е.Н. Окладникова, Л.В. Ермолвева //

Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета. – 2008. – Вып. 4 (21) . – С. 87–91.

141. Тихомиров Н.П. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками / Н.П. Тихомиров. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 350 с.

142. Гуримский А.И., Рейшахрит А.Л. Сравнительная оценка видов экологического воздействия при добыче полезных ископаемых / А.И. Гуримский, А.Л. Рейшахрит // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – С. 259-262.

143. Об утверждении Инструкции по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов: приказ Ростехнадзора от 23.12.2011 N 738 (Зарегистрировано в Минюсте России 13.04.2012 N 23828).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Акт о внедрении результатов диссертационного исследования

УТВЕРЖДАЮ

Вице-президент по экологической и  
промышленной безопасности

АО «Русская медная компания»

Н.В. Гончар

2019 г.



Внедрения результатов диссертации

На соискание ученой степени кандидата технических наук

Данилова Александра Сергеевича

Комиссия рассмотрела результаты использования в производственной деятельности АО «Томинский ГОК» данных диссертационного исследования Данилова А.С. на тему «Разработка дистанционных методов оценки состояния атмосферного воздуха на территориях горнопромышленных агломераций», представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук, и установила следующее:

1. Разработанный автором метод оценки качества атмосферного воздуха с применением малогабаритных беспилотных авиационных систем использовался при проектировании мероприятий по «Техническому перевооружению разреза «Коркинский» с целью локализации эндогенных пожаров».

2. На основании практических результатов проведенных автором исследований разработан регламент производственного экологического контроля при проведении горно-экологического мониторинга процессов при осуществлении работ по ликвидации отработанной выработки Коркинского угольного разреза.

3. Результаты применения авторского математического алгоритма определения приземных концентраций загрязняющих веществ по данным высотного экологического мониторинга подтверждают корректность алгоритма оценки качества атмосферного воздуха на территориях, подверженных воздействию Коркинского угольного разреза;

Председатель комиссии:

Генеральный директор  
АО «Томинский ГОК»

В.М. Улановский

Члены комиссии:

Директор по горному производству  
АО «Русская медная компания»

подпись

А.И. Гордеев

Директор Управления экологической  
безопасности АО «Русская медная компания»

подпись

А.А. Воробьев

Начальник отдела  
охраны окружающей среды  
АО «Томинский ГОК»

подпись

Н.И. Хохрякова

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **173 329** <sup>(13)</sup> **U1**  
(51) МПК  
*G01N 35/10* (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2017109230, 20.03.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
20.03.2017Дата регистрации:  
22.08.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 20.03.2017

(45) Опубликовано: 22.08.2017 Бюл. № 24

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный  
университет", отдел интеллектуальной  
собственности и трансфера технологий (отдел  
ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Данилов Александр Сергеевич (RU),  
Сверчков Иван Павлович (RU),  
Смирнов Юрий Дмитриевич (RU),  
Корельский Денис Сергеевич (RU),  
Кремчеев Эльдар Абдоллович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский горный  
университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 81576 U1, 20.03.2009. RU 73482  
U1, 20.05.2008. RU 2022251 C1, 30.10.1994. US  
6809648 B1, 26.10.2004.(54) АВТОМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к средствам  
контроля атмосферы и мониторинга окружающей  
среды, в частности для контроля уровня газовых  
примесей в атмосфере городов, промышленных  
агломераций, на предприятиях минерально-  
сырьевого комплекса, транспортных магистралях  
и на территориях со сложными  
геоморфологическими условиями.

Устройство содержит химические сенсоры и  
метеодатчики, усилительно-преобразующие  
устройства, устройство сигнализации, систему

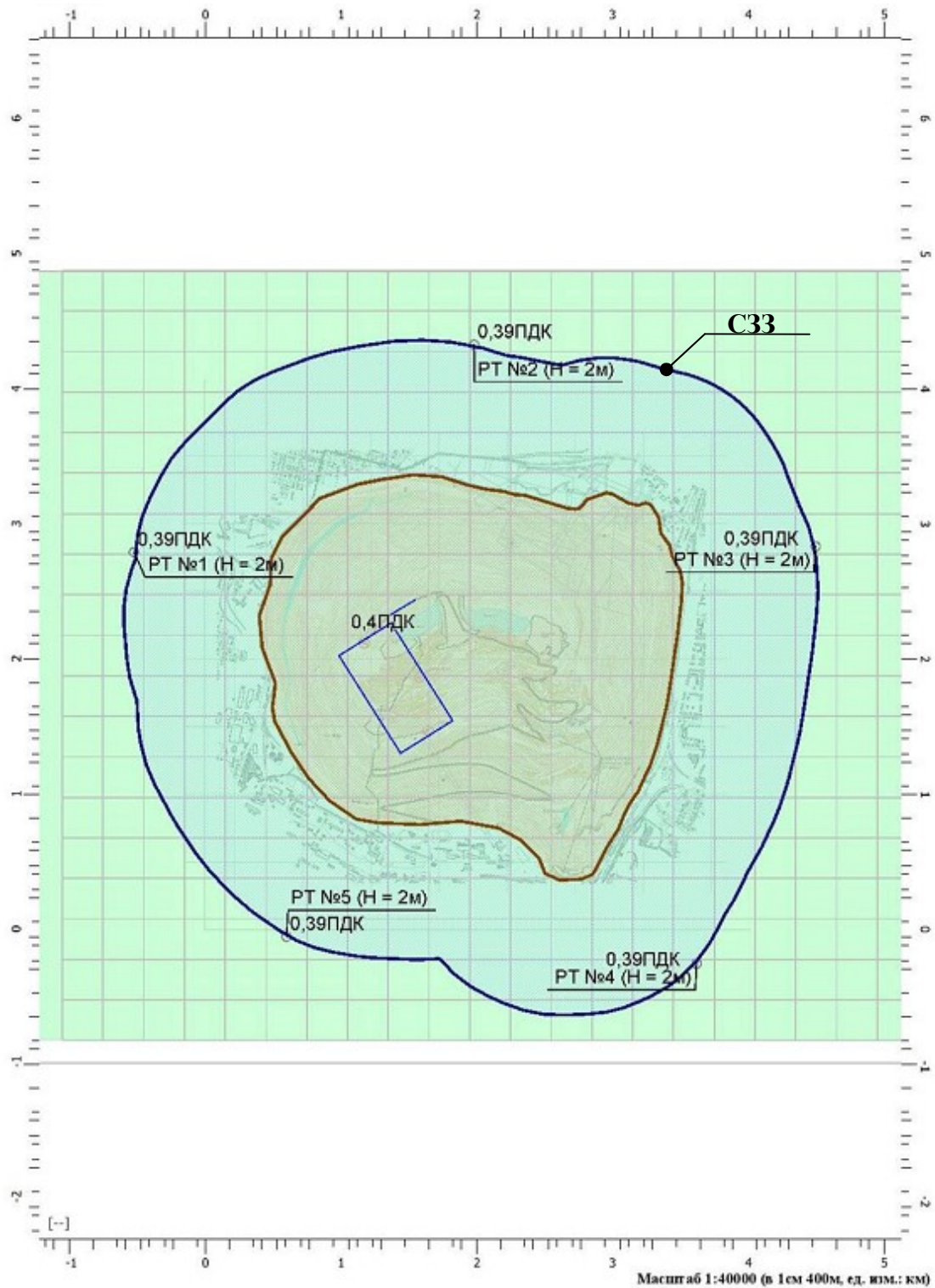
управления, блок координатометрирования,  
сорбционный пробоотборник, дополнительно  
содержит блок спускаемого зонда  
пробоотборника, выход которого соединен с  
блоком химических сенсоров, а вход через блок  
сервоприводов соединен с атмосферой вне зоны  
смешения воздушных масс.

Технический результат заключается в  
повышении точности определения содержания  
загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.  
2 ил.

RU 173329 U1

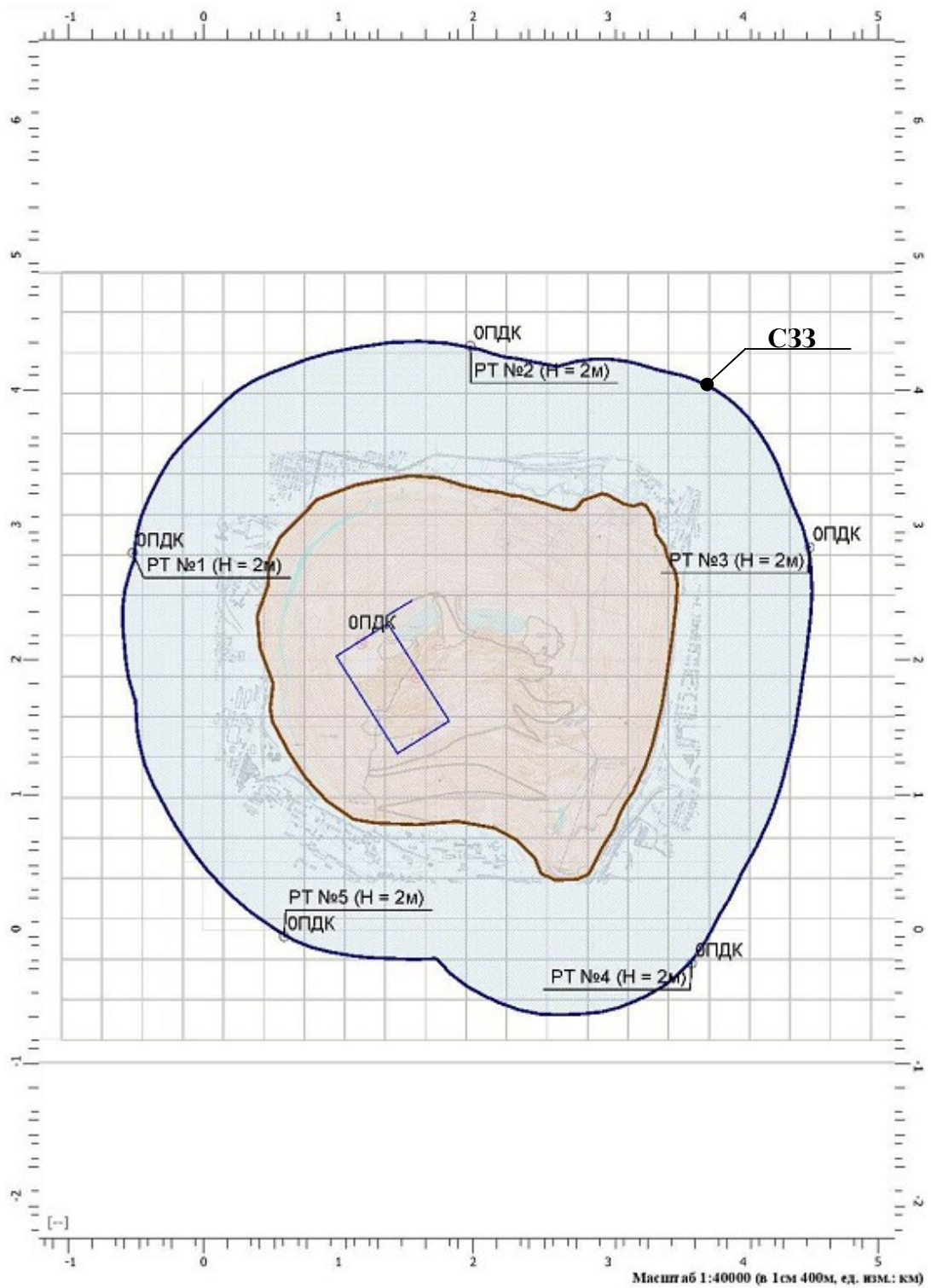
RU 173329 U1

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

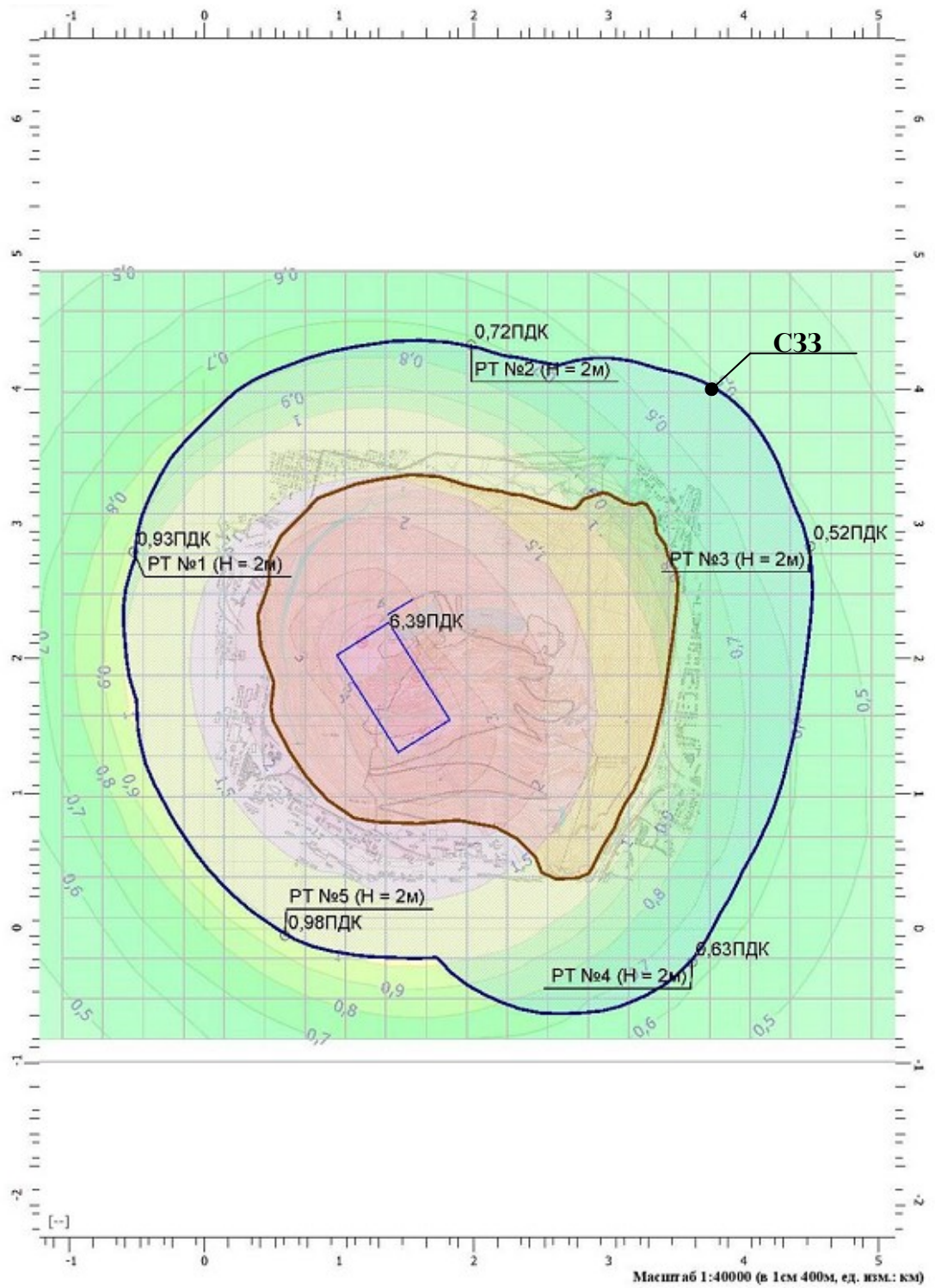


**Рисунок В.1 – Карта-схема распространения диоксида азота ( $\text{NO}_2$ ) в приземном слое атмосферы при горении эндогенных пожаров на территории угольного разреза «Коркинский»**

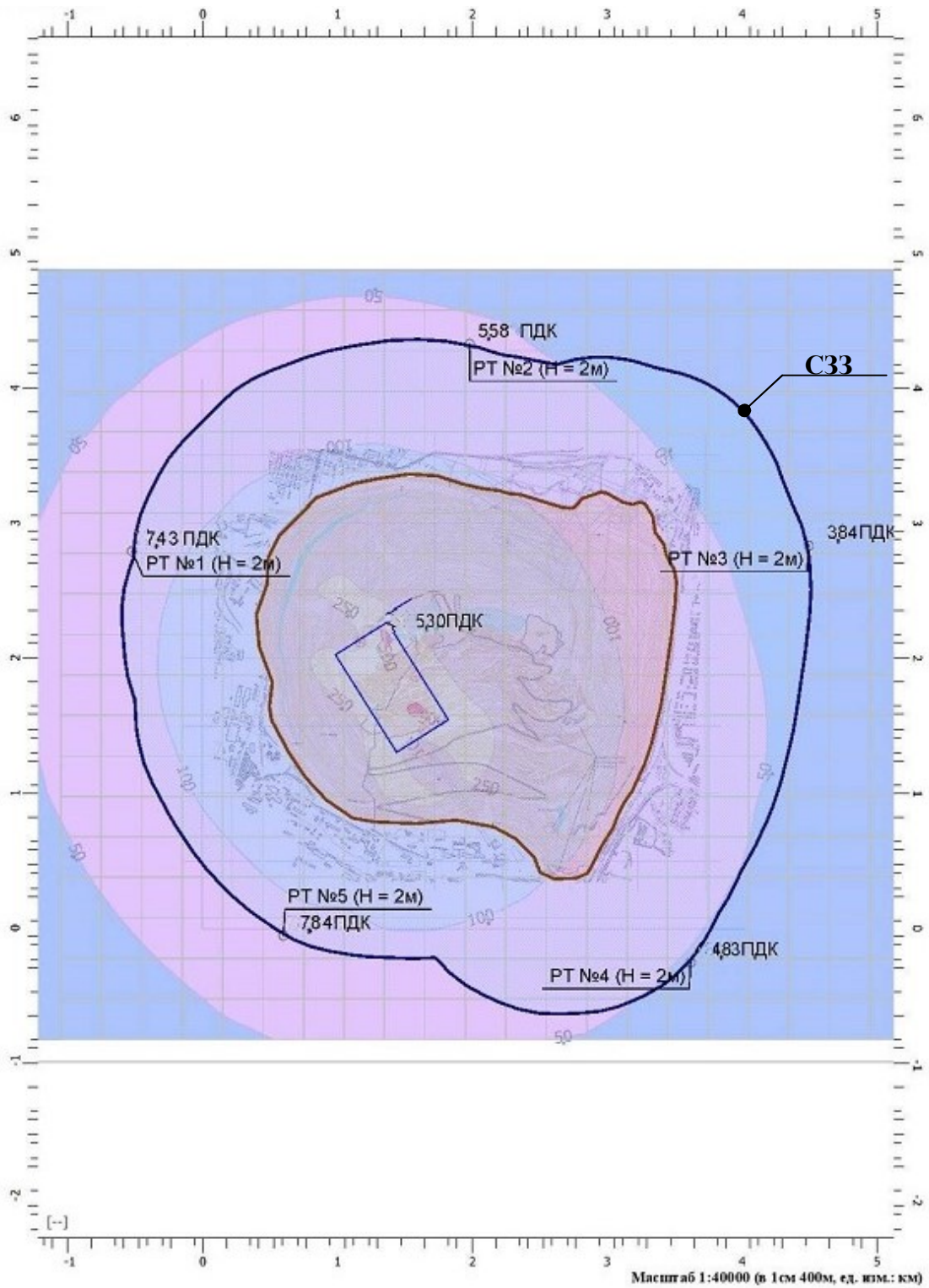




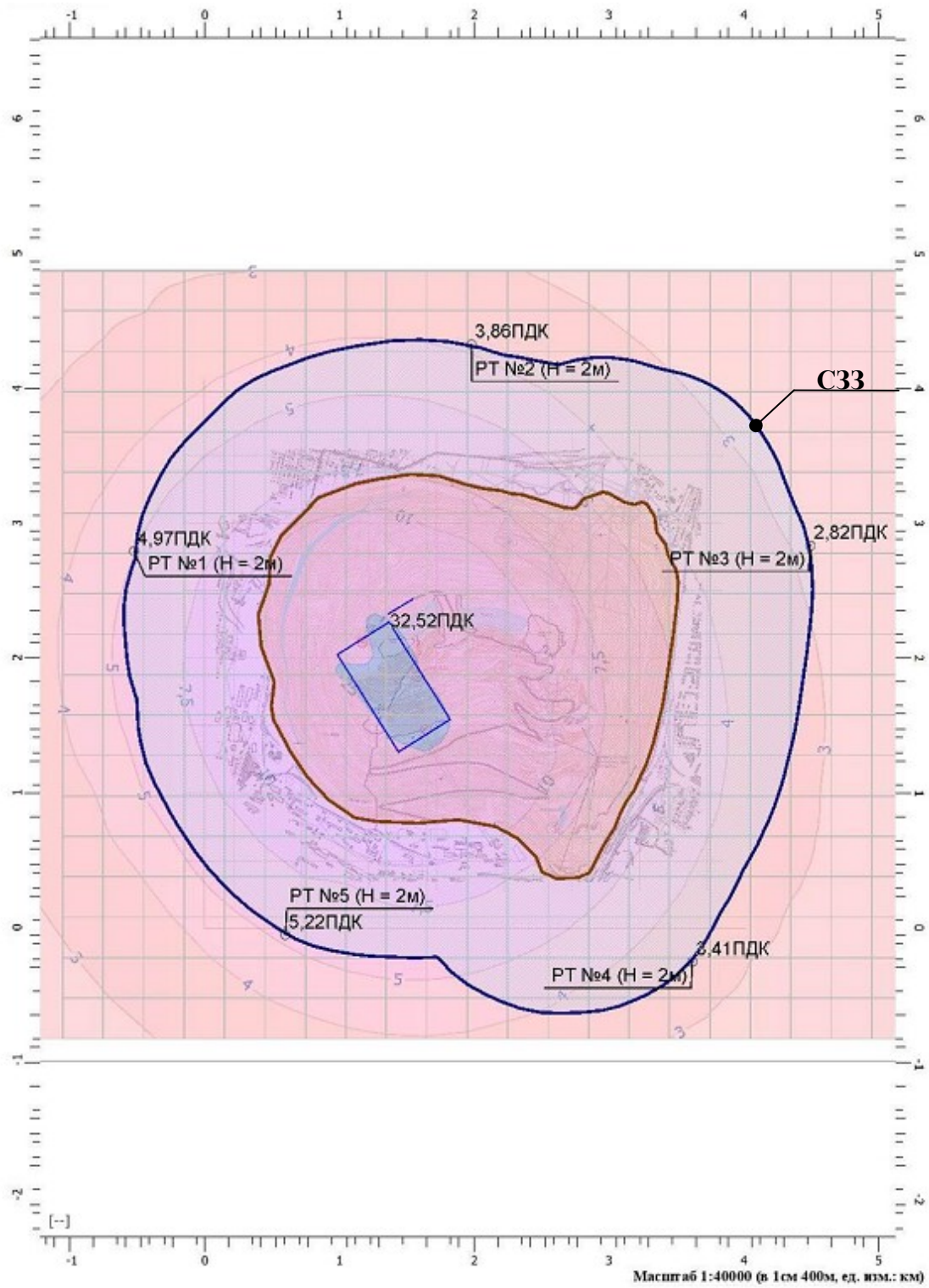
**Рисунок В.2 – Карта-схема распространения оксида азота (NO) в приземном слое атмосферы при горении эндогенных пожаров на территории угольного разреза «Коркинский»**



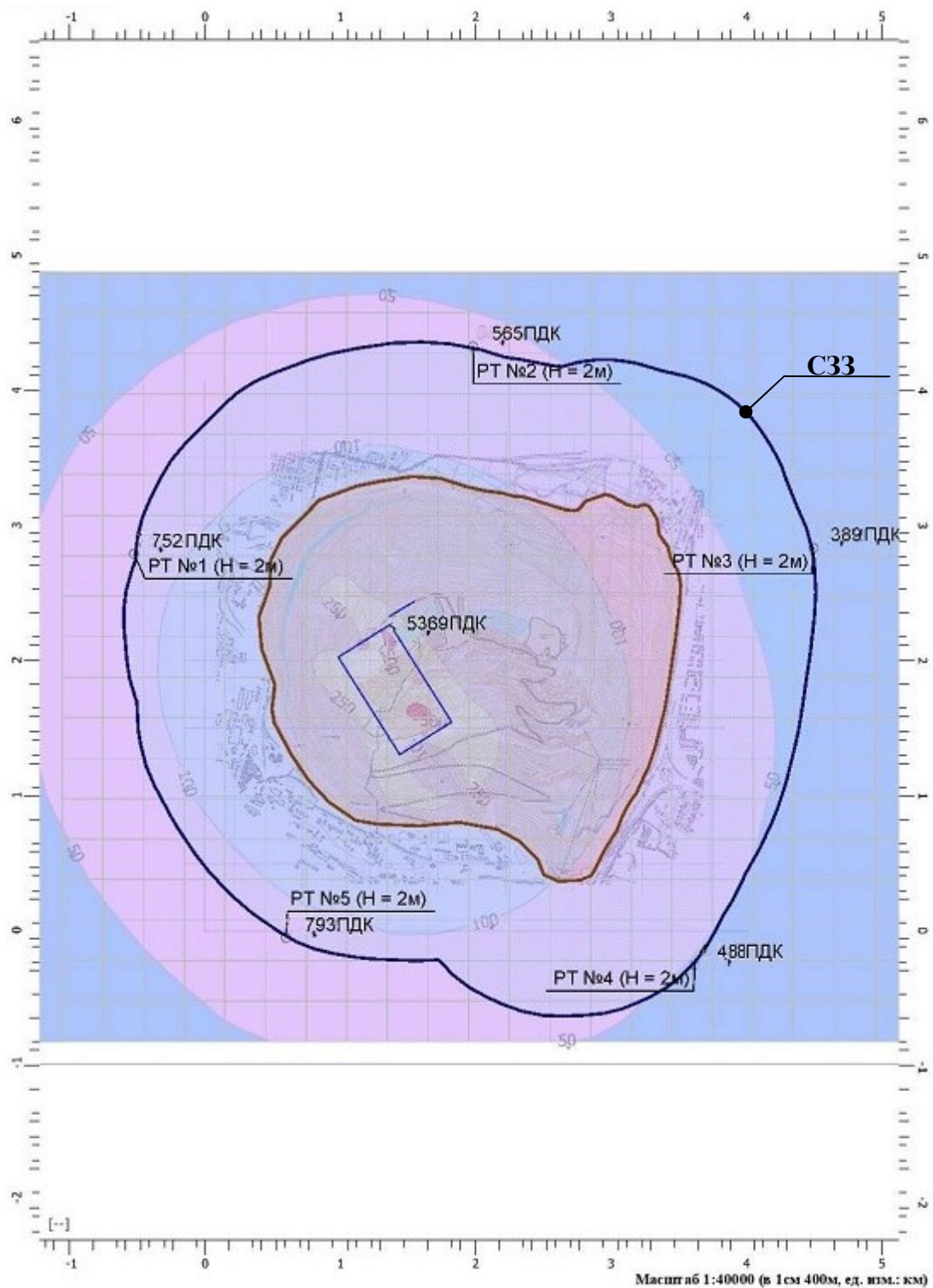
**Рисунок В.3 – Карта-схема распространения диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) в приземном слое атмосферы при горении эндогенных пожаров на территории угольного разреза «Коркинский»**



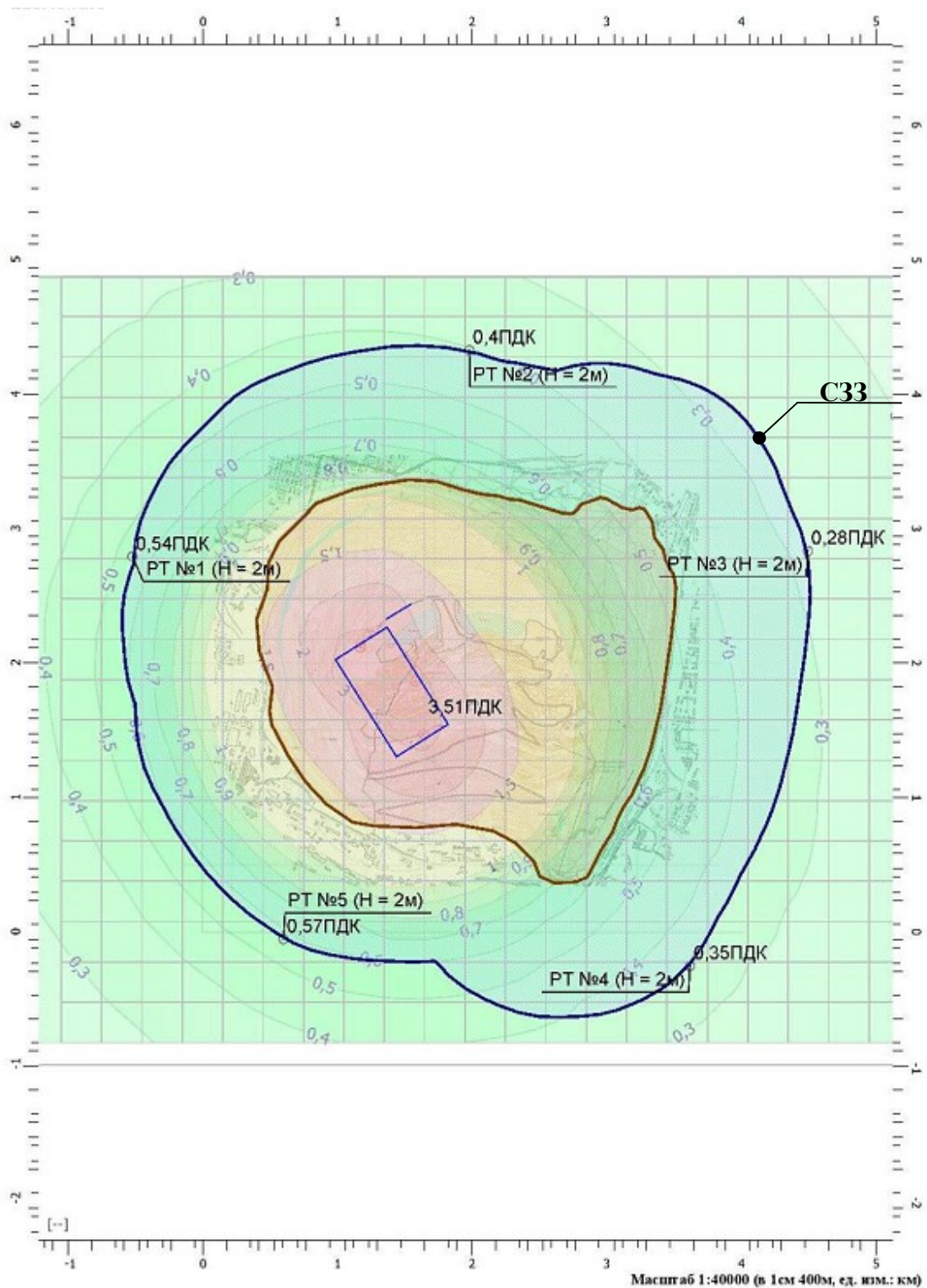
**Рисунок В.4 – Карта-схема распространения сероводорода ( $H_2S$ ) в приземном слое атмосферы при горении эндогенных пожаров на территории угольного разреза «Коркинский»**



**Рисунок В.5 – Карта-схема распространения оксида углерода (СО) в приземном слое атмосферы при горении эндогенных пожаров на территории угольного разреза «Коркинский»**



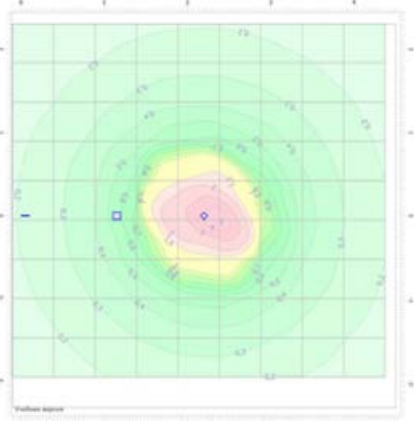
**Рисунок В.6 – Карта-схема распространения веществ, входящих в группу суммации негативного воздействия №41 (диоксид серы и сероводород) в приземном слое атмосферы при горении эндогенных пожаров на территории угольного разреза «Коркинский»**



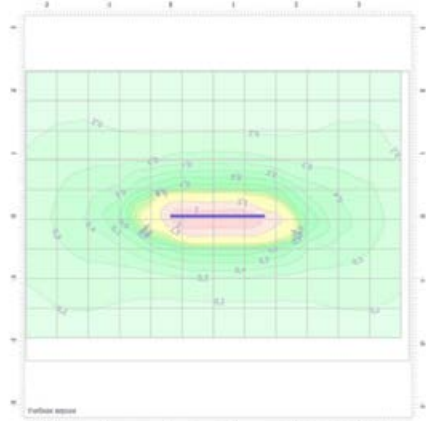
**Рисунок В.7 – Карта-схема распространения веществ, входящих в группу неполной суммы негативного воздействия №4 (диоксид серы и диоксид азота) в приземном слое атмосферы при горении эндогенных пожаров на территории угольного разреза «Коркинский»**

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

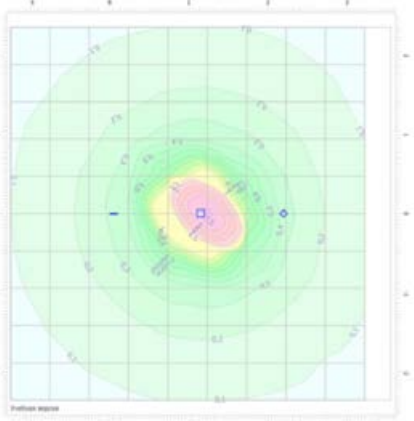
### Моделирование распространения загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы от группы источников



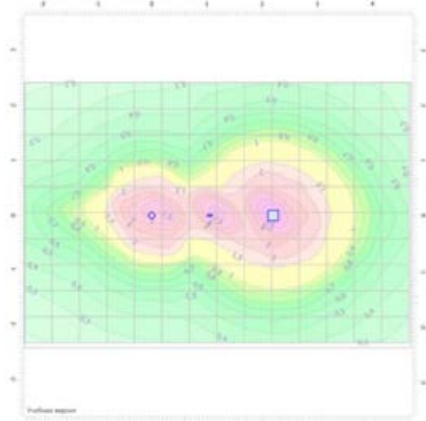
**Рисунок Г.1 – Распространение загрязняющего вещества от одиночного точечного источника**



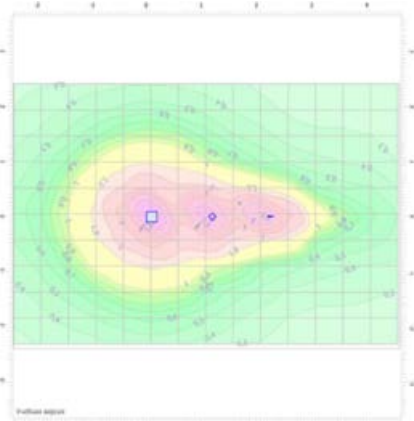
**Рисунок Г.2 – Распространение загрязняющего вещества от линейного источника**



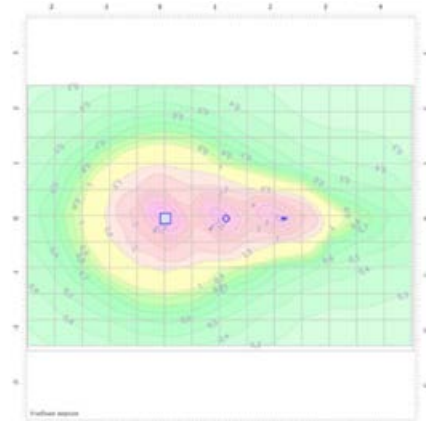
**Рисунок Г.3 – Распространение загрязняющего вещества от площадного источника**



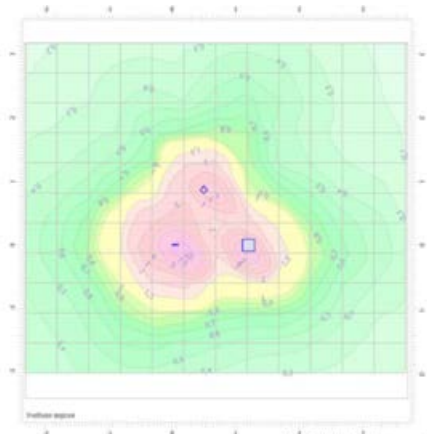
**Рисунок Г.4 – Распространение загрязняющего вещества от комбинации источников**



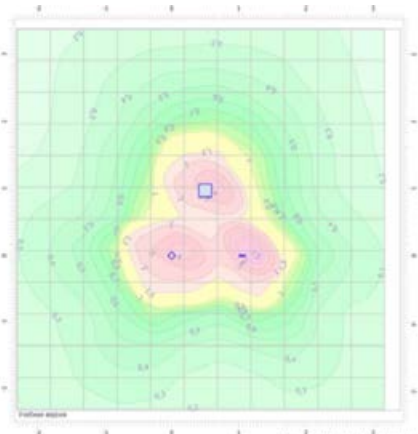
**Рисунок Г.5 – Распространение загрязняющего вещества от комбинации источников**



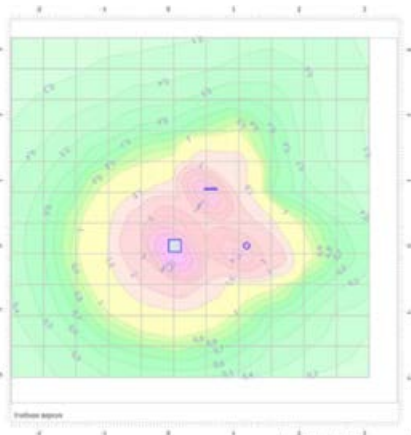
**Рисунок Г.6 – Распространение загрязняющего вещества от комбинации источников**



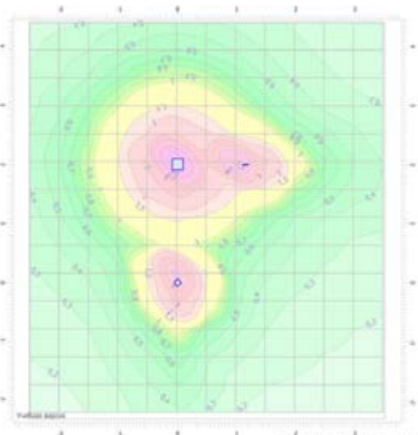
**Рисунок Г.7 – Распространение  
загрязняющего вещества от комбинации  
источников**



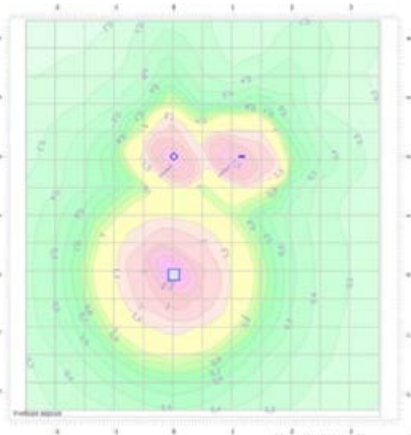
**Рисунок Г.8 – Распространение  
загрязняющего вещества от комбинации  
источников**



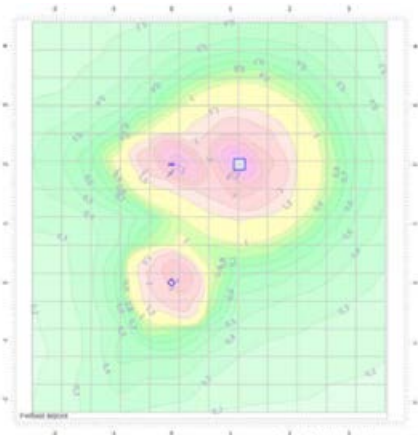
**Рисунок Г.9 – Распространение  
загрязняющего вещества от комбинации  
источников**



**Рисунок Г.10 – Распространение  
загрязняющего вещества от комбинации  
источников**



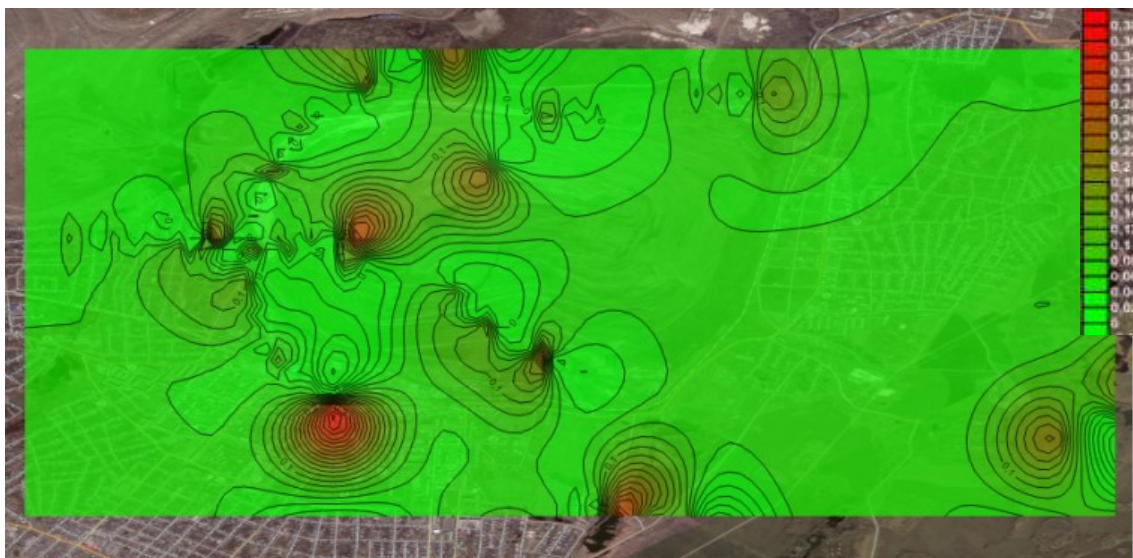
**Рисунок Г.11 – Распространение  
загрязняющего вещества от комбинации  
источников**



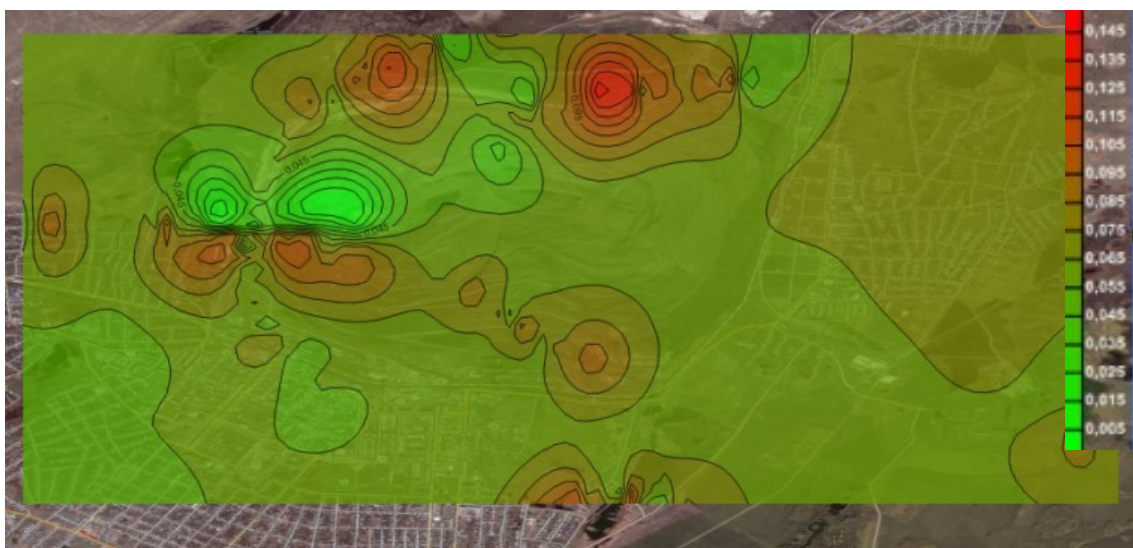
**Рисунок Г.12 – Распространение  
загрязняющего вещества от комбинации  
источников**



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д



**Рисунок Д.1 - Атмохимический ореол загрязнения оксидом азота на высоте 100 м от дневной поверхности**



**Рисунок Д.2 - Атмохимический ореол загрязнения диоксидом азота на высоте 100 м от дневной поверхности**

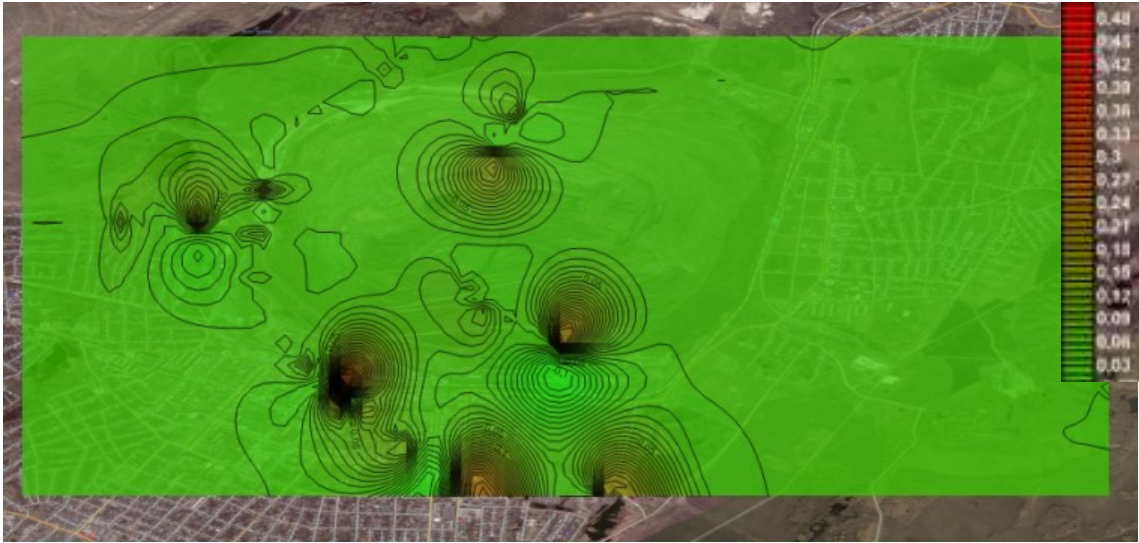


**Рисунок Д.3 - Атмохимический ореол загрязнения оксидом углерода на высоте 100 м от дневной поверхности**

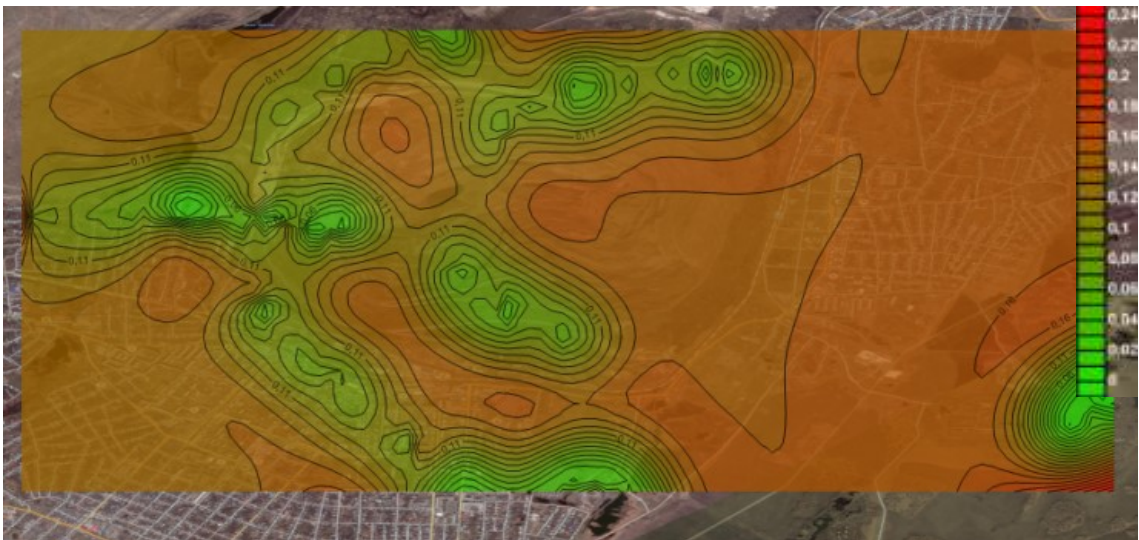


**Рисунок Д.4 - Атмохимический ореол загрязнения сероводородом на высоте 100 м от дневной поверхности**

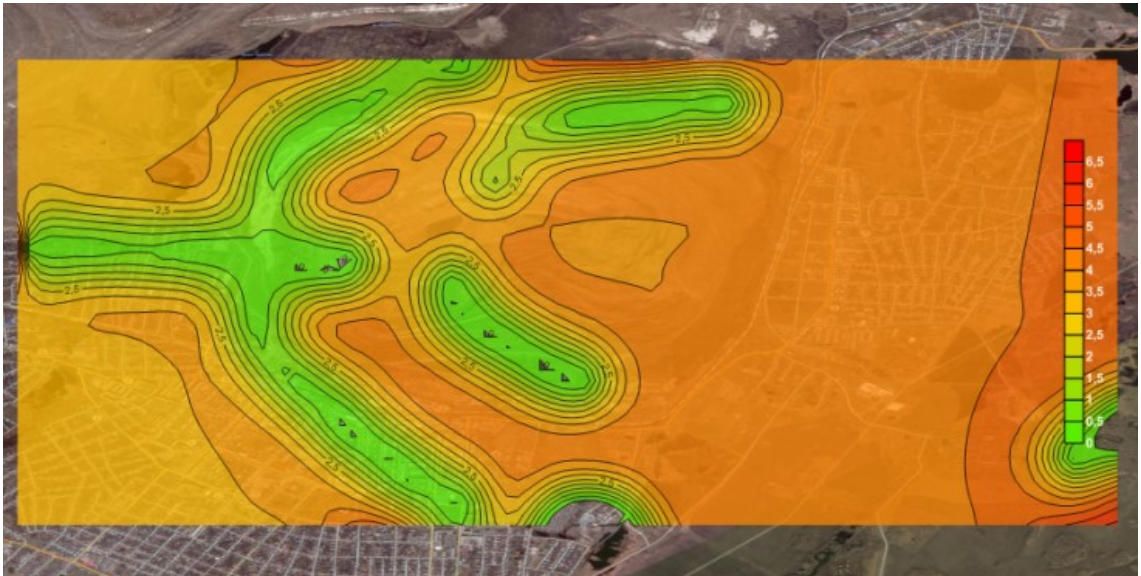
## ПРИЛОЖЕНИЕ Е



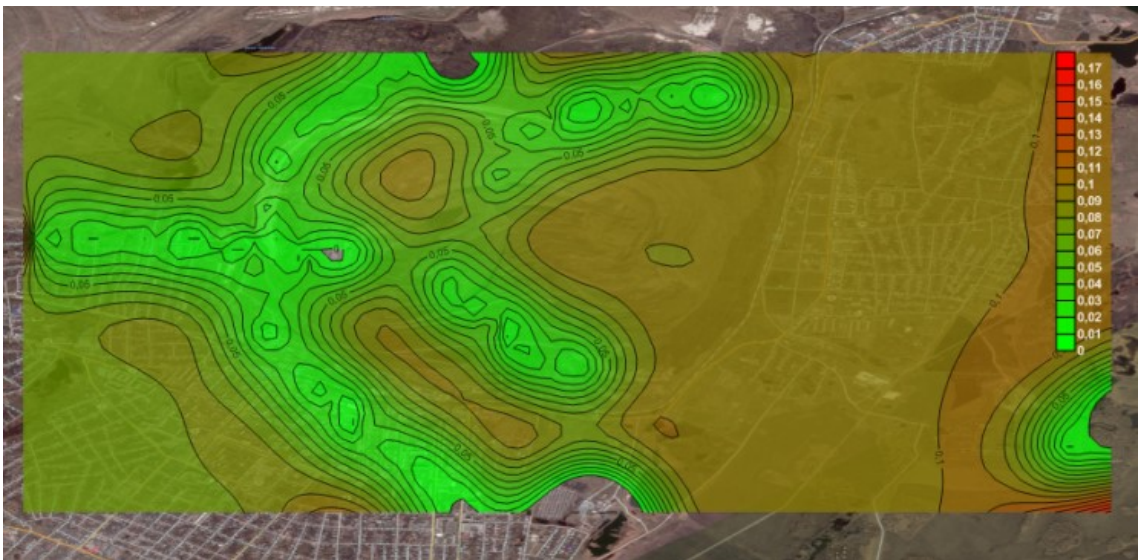
**Рисунок Е.1 - Атмохимический ореол загрязнения оксидом азота на высоте 50 м от дневной поверхности**



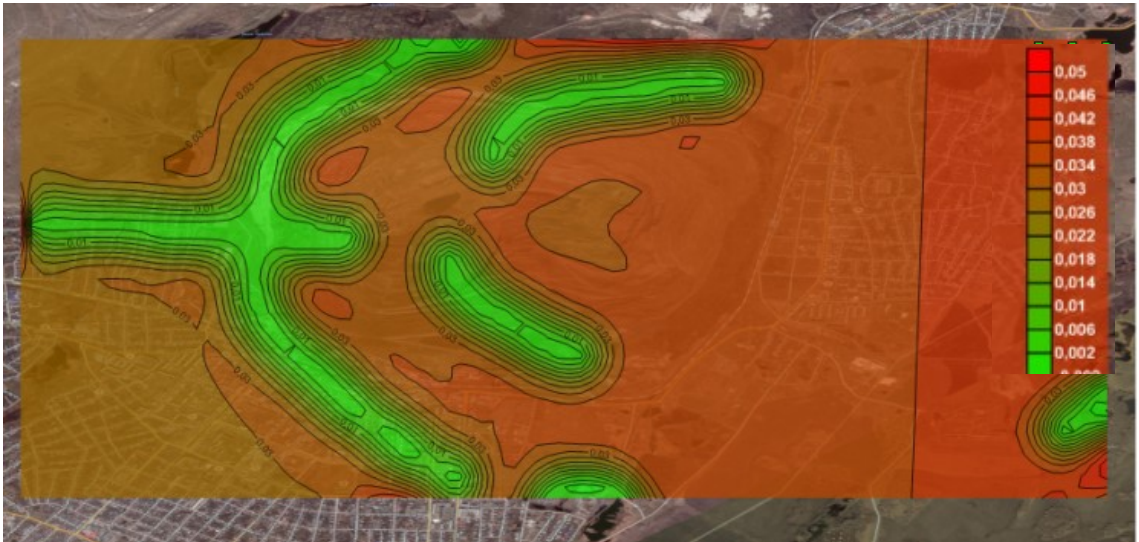
**Рисунок Е.2 - Атмохимический ореол загрязнения диоксидом азота на высоте 50 м от дневной поверхности**



**Рисунок Е.3 - Атмохимический ореол загрязнения оксидом углерода на высоте 50 м от дневной поверхности**

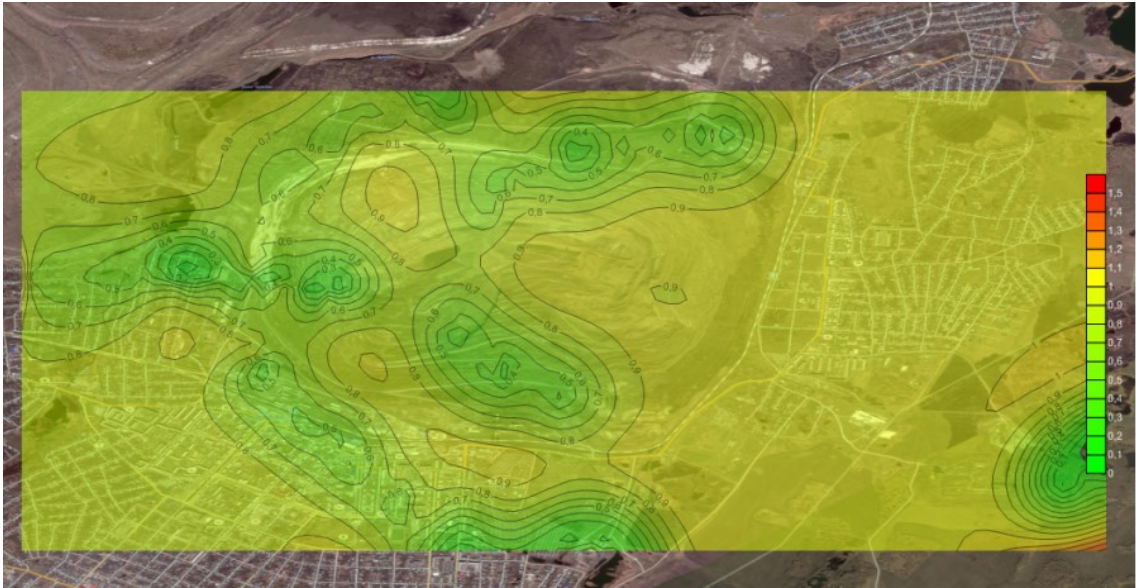


**Рисунок Е.4 - Атмохимический ореол загрязнения сероводородом на высоте 50 м от дневной поверхности**

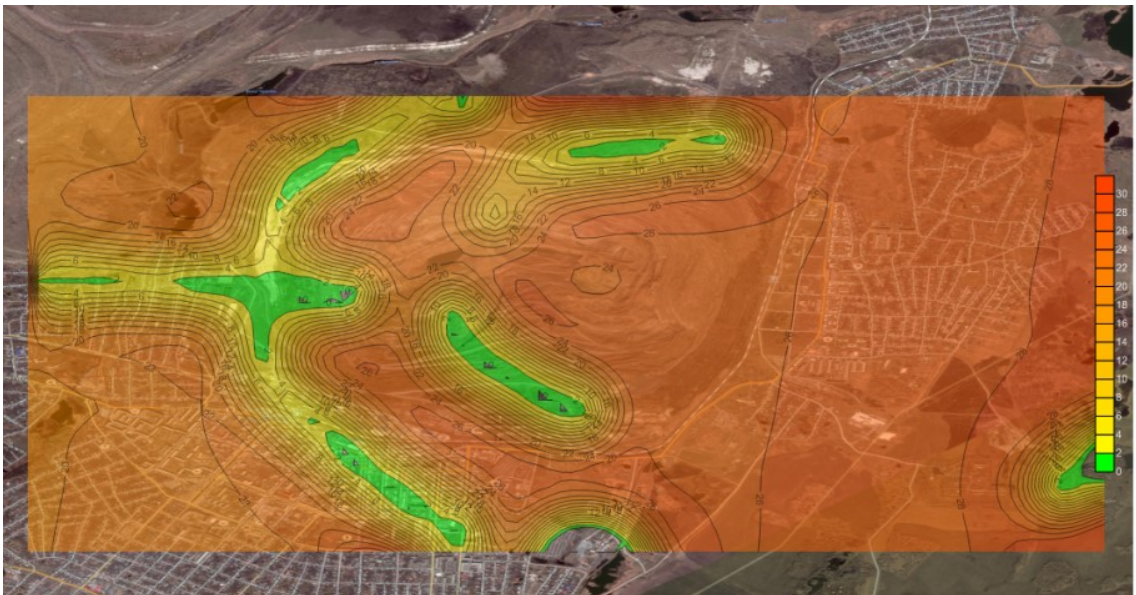


**Рисунок Е.5 - Атмохимический ореол загрязнения диоксидом серы на высоте 50 м от дневной поверхности**

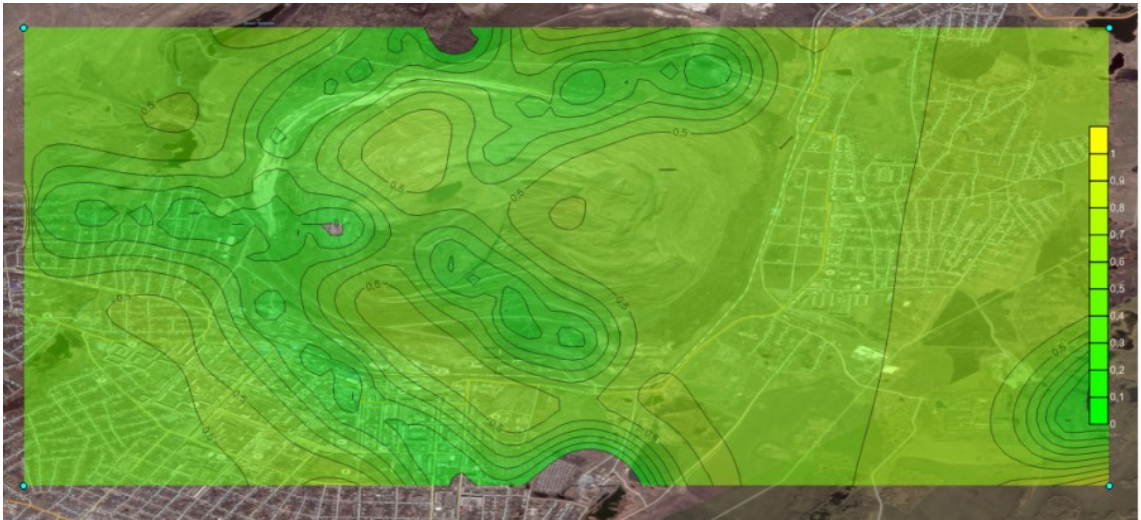
## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж



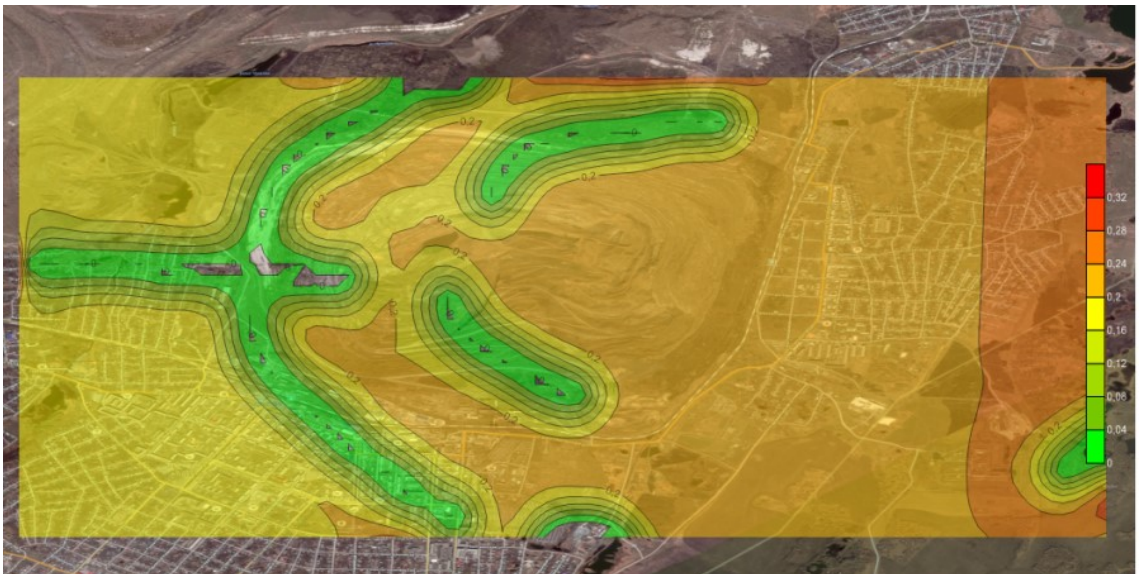
**Рисунок Ж.1 - Атмохимический ореол загрязнения оксидами азота на высоте 2 м от дневной поверхности**



**Рисунок Ж.2 - Атмохимический ореол загрязнения оксидом углерода на высоте 2 м от дневной поверхности**

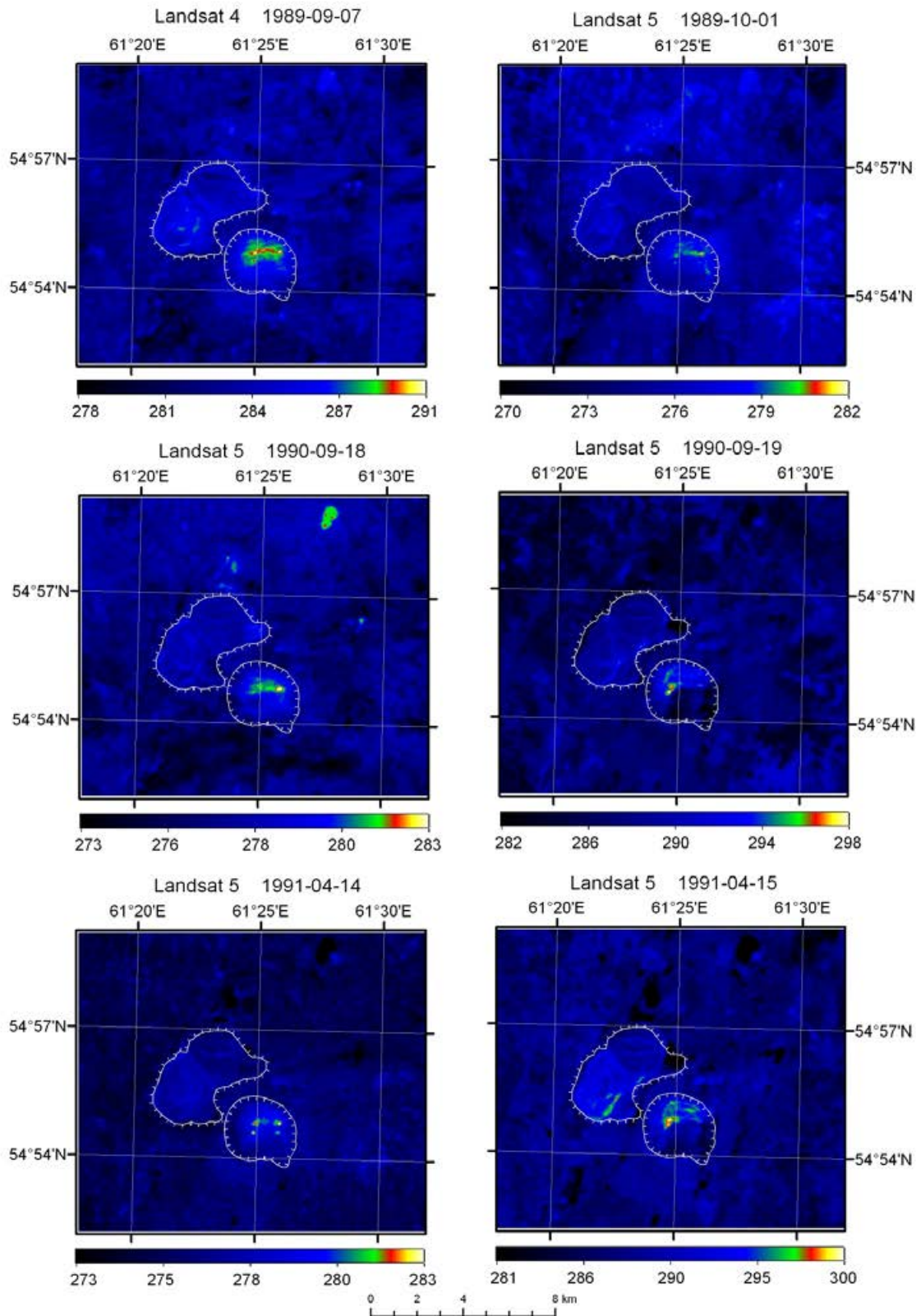


**Рисунок Ж.3 - Атмохимический ореол загрязнения сероводородом на высоте 2 м от дневной поверхности**

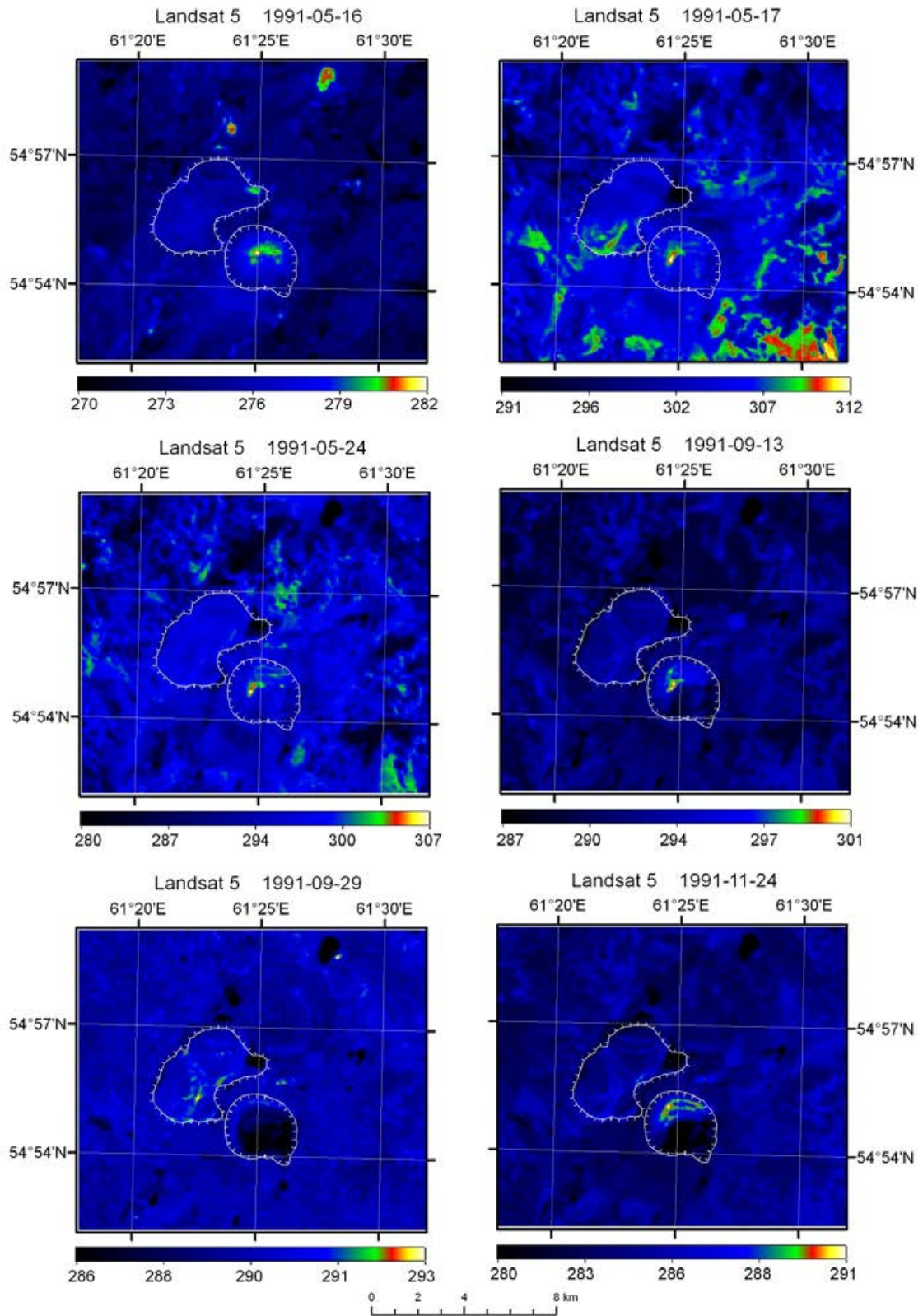


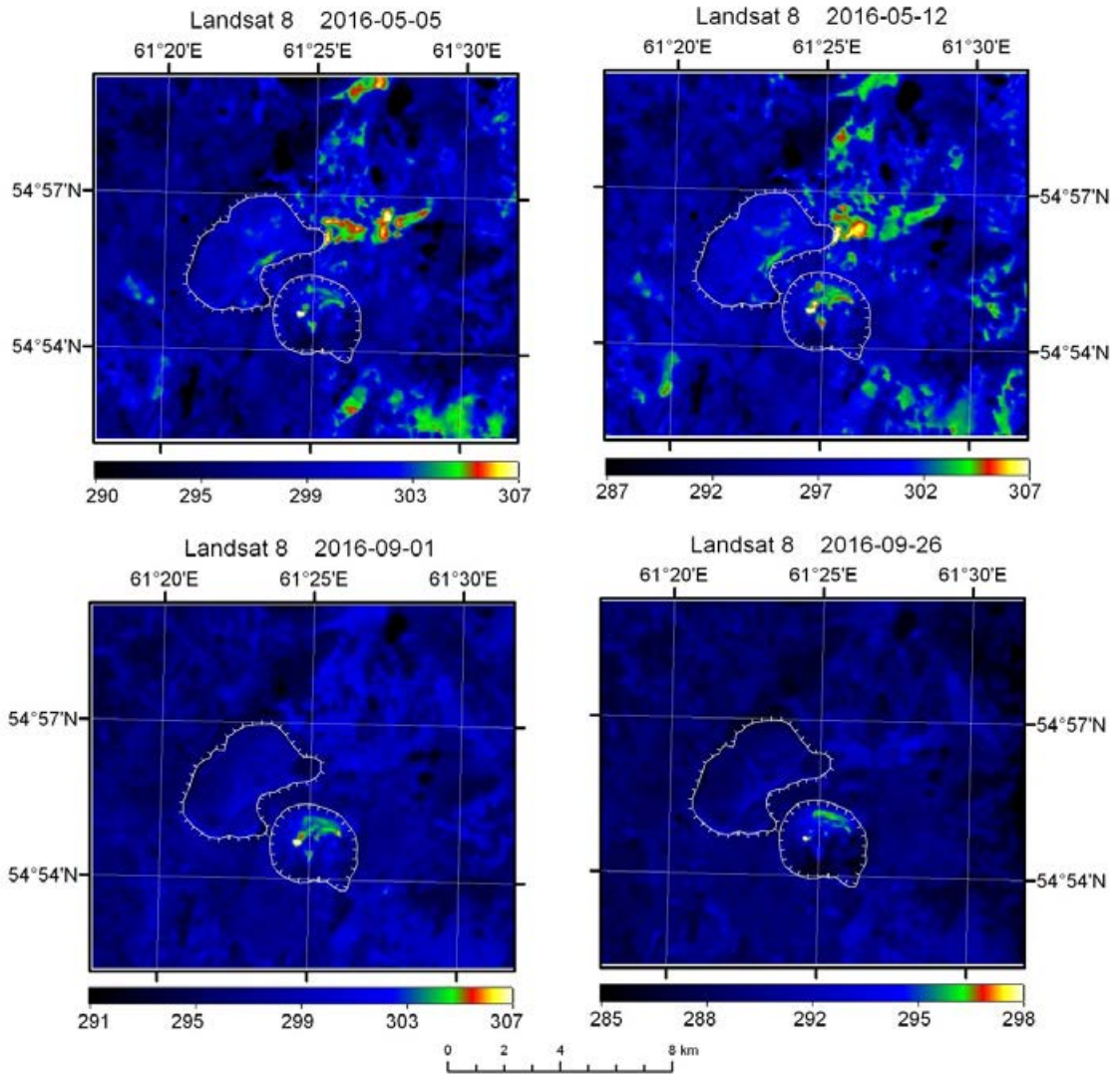
**Рисунок Ж.4 - Атмохимический ореол загрязнения диоксидом серы на высоте 2 м от дневной поверхности**

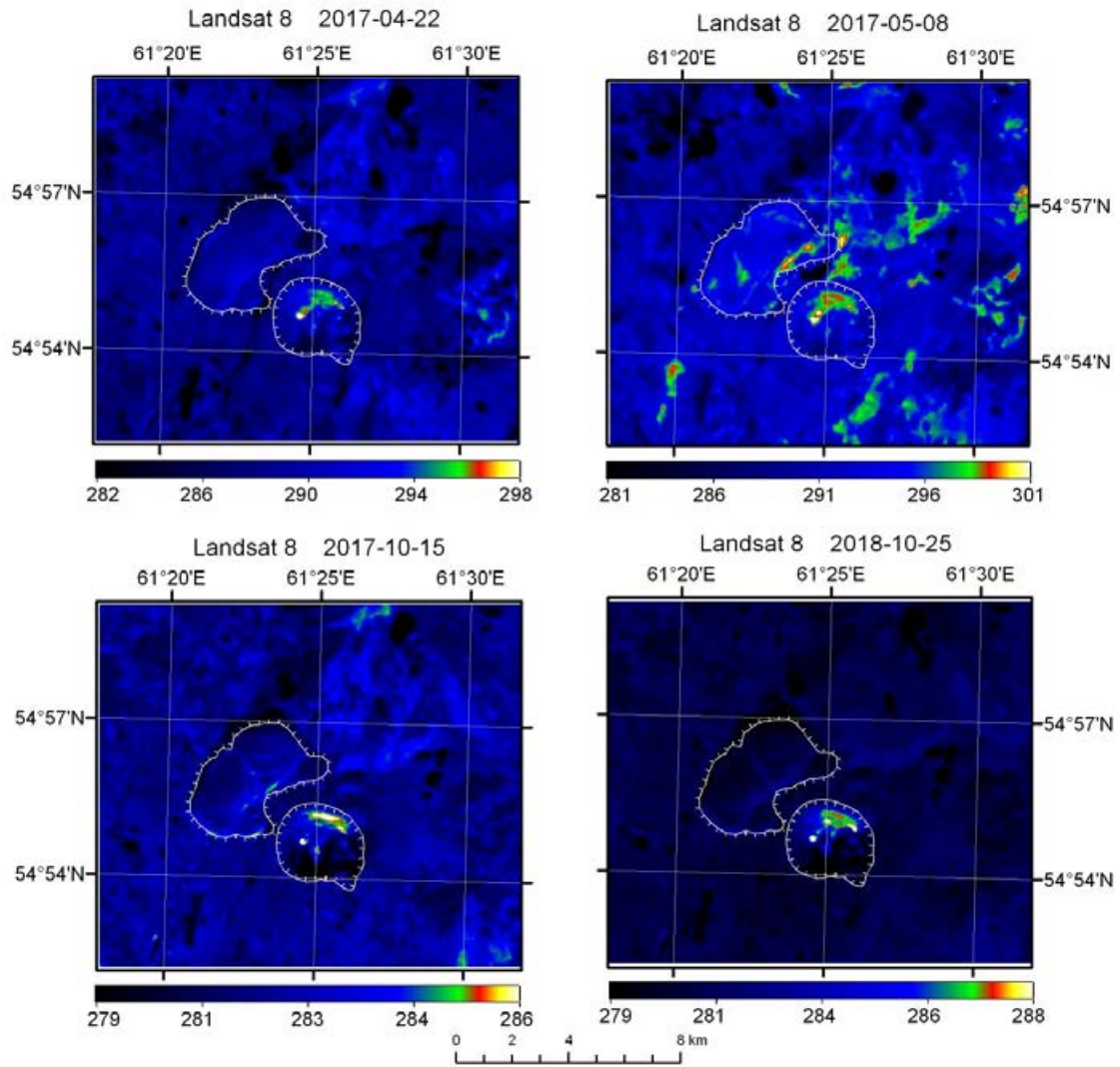
## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Результаты многолетнего тепловизионного мониторинга поверхности  
Коркинского угольного разреза (по данным Геологической службы  
США)










Условные обозначения

Границы:

 угольного разреза

 территории складирования вскрышных пород