

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тульский государственный университет»**

На правах рукописи



ПРОХОРОВ Дмитрий Олегович

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ ОСВОЕНИЯ И КОНСЕРВАЦИИ РЕСУРСОВ ТЕХНОГЕННЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА**

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

**Диссертация
на соискание учёной степени доктора технических наук**

**Научный консультант -
д-р техн. наук, профессор
Николай Михайлович Качурин**

Тула - 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 Типизация техногенных минеральных образований	14
1.1 Состояние проблемы техногенных минеральных образований в Российской Федерации	14
1.2 Техногенное воздействие минеральных образований на компоненты окружающей среды	20
1.3 Принципы типизации техногенных массивов	30
1.4 Потенциал породных отвалов угольных шахт как техногенных месторождений	41
Выводы	49
ГЛАВА 2 Аналитические исследования на основе натуральных наблюдений и лабораторных экспериментов	53
2.1 Физико-механические свойства породной массы техногенных минеральных образований	53
2.2 Физико-химические свойства породной массы техногенных минеральных образований	59
2.3 Водно-физические свойства породной массы техногенных минеральных образований	71
2.4 Загрязнение территорий, прилегающих к техногенным минеральным образованиям	82
2.5 Определение геометрических параметров техногенных минеральных образований	92
2.6 Исследование деформаций техногенных минеральных образований	101
Выводы	105
ГЛАВА 3 Моделирование воздействия потенциальных техногенных месторождений на окружающую среду	108

3.1	Краткая характеристика объектов исследования	108
3.2	Моделирование предельного состояния пород потенциальных техногенных месторождений	116
3.3	Моделирование последствий ветровой эрозии	139
3.4	Моделирование последствий водной эрозии	144
	Выводы	169
ГЛАВА 4	Оценка воздействия техногенных месторождений на окружающую среду	171
4.1	Общие положения	171
4.2	Концепция учета техногенных минеральных образований	176
4.3	Дистанционный мониторинг влияния техногенных месторождений на окружающую среду	196
4.4	Результаты оценки воздействия техногенных месторождений на окружающую среду по угледобывающим регионам	206
	Выводы	215
ГЛАВА 5	Разработка технологических решений по освоению и сохранению ресурсов техногенных месторождений	217
5.1	Общие положения	217
5.2	Определение наилучших доступных технологий для снижения или исключения техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду	225
5.3	Технология обработки техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт	233
5.4	Технология консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений	247
5.5	Выбор направления использования техногенных месторождений в масштабах угледобывающего региона	254
	Выводы	258

ГЛАВА 6	Обоснование выбора очередности и технологий освоения и сохранения техногенных месторождений в масштабах угледобывающего региона	260
6.1	Общие положения	260
6.2	Ранжирование техногенных месторождений по очередности освоения или сохранения их ресурсов	261
6.3	Оценка технологий отработки техногенных месторождений	276
6.4	Оценка технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений	289
	Выводы	302
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	303
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	305
	Приложение А	329
	Приложение Б	330
	Приложение В	331
	Приложение Г	332
	Приложение Д	333
	Приложение Е	334

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Объем и разнообразие минерально-сырьевых ресурсов – это существенное конкурентное преимущество Российской Федерации на мировой арене. Добывающая отрасль является важнейшей составляющей экономики государства. При этом добыча полезных ископаемых сопровождается накоплением большого объема отходов производства.

В самые сложные периоды истории – при реализации плана ГОЭЛРО, военные и послевоенные годы – увеличивались объемы добычи полезных ископаемых и создавалась энергетическая мощь страны. Технологии того времени не позволяли осуществлять комплексное освоение недр и сопровождались большими потерями основного полезного ископаемого. При реструктуризации угольной отрасли и последующей ликвидации угледобывающих предприятий в ряде угольных бассейнов мероприятия, направленные на охрану окружающей среды, не проводились или были осуществлены не в полной мере. В результате прошлой экономической деятельности было сформировано большое количество техногенных минеральных образований (ТМО), которые сейчас, при использовании возможностей современных технологий и экономической целесообразности извлечения полезных компонентов, необходимо рассматривать как техногенные месторождения (ТМ).

Для выбора приоритетных технологических решений, направленных на освоение и сохранение ресурсов техногенных месторождений, особое внимание должно быть уделено разработке научно обоснованных подходов к оценке их безопасности для окружающей среды. Очевидно, что достоверные способы такой оценки должны базироваться на результатах изучения взаимодействия техногенных месторождений с окружающей средой как элементов единой системы. Для обоснования технологических решений по освоению и сохранению ресурсов ТМ важно учитывать весь комплекс параметров, характеризующих техногенные месторождения, окружающую среду и их взаимное влияние. Это позволит в каждом угледобывающем регионе определить приоритетные

объекты как совокупность техногенных месторождений с прилегающими территориями и отдать предпочтение наиболее эффективным и безопасным технологиям их отработки и консервации. Поэтому исследования, посвященные обоснованию технологических решений для освоения и консервации ресурсов техногенных месторождений угледобывающего региона на основе оценки их воздействия на окружающую среду, являются актуальными.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в изучение проблем освоения техногенных месторождений и их воздействия на окружающую среду внесли такие ученые, как Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р., Галченко Ю.П., Чантурия В.А., Шадрюнова И.В., Малышев Ю.Н., Секисов А.Г., Пашкевич М.А., Мельник В.В., Зубова Л.Г., Соколов Э.М., Качурин Н.М., Левкин Н.Д., Гуменик И.Л., Борисович В.Т., Чайников В.В., Макаров А.Б., Хасанова Г.Г., Зелинская Е.В., Александрова Т.Н., Радченко Д.Н., Экс В.В., Усманова Т.В., Архипов А.В., Решетняк С.П. и др. Их исследования посвящены разработке классификаций техногенных минеральных образований и техногенных месторождений, выявлению особенностей учета и оценки техногенных месторождений, исследованию техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду, обоснованию технологических решений для формирования и рекультивации техногенных месторождений, извлечения и использования ценных минеральных компонентов.

Следует отметить, что в настоящее время при обосновании конкретных технологических решений для освоения и сохранения ресурсов ТМ в масштабах угледобывающего региона недостаточно внимания уделяется оценке их воздействия на окружающую среду, что обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований в этой области и является актуальным направлением развития горной науки.

Содержание диссертации **соответствует паспорту научной специальности 2.8.8. Геотехнология, горные машины по пунктам 9 и 13.**

Целью работы является научное обоснование технологических решений, обеспечивающих эффективность и безопасность освоения и консервации

ресурсов техногенных месторождений угледобывающего региона на основе оценки их воздействия на окружающую среду.

Идея работы заключается в том, что эффективность и безопасность технологических решений по освоению и сохранению ресурсов техногенных месторождений в масштабах угледобывающего региона достигается посредством создания новых технологий отработки и консервации, а также ранжирования указанных объектов по очередности их использования на основе оценки их воздействия на окружающую среду.

Современное состояние знаний по рассматриваемой проблеме обусловили необходимость постановки и решения следующих **задач исследований**:

1 Разработка и усовершенствование математических моделей оценки предельного равновесия массива техногенного месторождения, определения зон влияния переноса пыли и газовых загрязнителей с поверхности техногенных месторождений в приземном слое атмосферы, миграции токсичных компонентов в почву, инфильтрации стоков с поверхности техногенных месторождений на прилегающие территории.

2 Разработка методических положений комплексного мониторинга для оценки техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду и способов снижения такого воздействия с использованием зон влияния источника загрязнения в зависимости от основных влияющих факторов.

3 Разработка алгоритма выбора наилучших доступных технологий, обеспечивающих снижение или исключение воздействий техногенных минеральных образований на окружающую среду для определенных условий конкретного объекта.

4 Разработка технологических решений по освоению и сохранению техногенных месторождений угледобывающего региона на основе оценки их воздействия на окружающую среду.

5 Обоснование применения метода нечеткой кластеризации для ранжирования техногенных месторождений в масштабах угледобывающего региона, позволяющего определить очередность освоения данных объектов.

6 Осуществление выбора технологий отработки техногенных месторождений и консервации потенциальных техногенных месторождений на основе оценки их эффективности и безопасности.

Научная новизна:

1 Усовершенствованы математические модели определения зон влияния деформаций техногенных месторождений, переноса пыли и газовых загрязнителей с поверхности ТМ в приземном слое атмосферы, миграции токсичных компонентов в почву, инфильтрации стоков с поверхности ТМ на прилегающие территории.

2 На основе результатов натурных наблюдений, лабораторных и вычислительных экспериментов определены количество зон влияния техногенных месторождений на окружающую среду и их характерные размеры.

3 Разработаны методические положения и структурно-функциональная схема комплексного мониторинга зон влияния ТМО, позволяющие выполнить оценку степени воздействия техногенных минеральных образований на окружающую среду и способов снижения этого воздействия.

4 Получен расчётный коэффициент, используемый при определении производительности и основных параметров шнекобуровой отработки техногенных месторождений, учитывающий размеры свода естественного обрушения породы над скважиной.

5 Установлены закономерности изменения напряженного состояния межскважинных целиков от их размеров, отличающиеся учетом сцепления и угла внутреннего трения пород и позволяющие обосновать параметры бурошнековой выемки с заданным диаметром скважин на различной глубине при освоении техногенных месторождений.

6 Предложен алгоритм определения направления рекультивационных работ для сформированных прошлой экономической деятельностью ТМО

и ТМ в зависимости от преобладающей категории земельных участков, расположенных в зоне их влияния.

7 Обоснована необходимость реализации алгоритма нечеткой кластеризации для ранжирования техногенных месторождений по очередности освоения и сохранения их ресурсов.

8 Обоснован выбор технологических решений для освоения и сохранения ресурсов техногенных месторождений угледобывающего региона.

Теоретическая и практическая значимость работы определяются:

– усовершенствованными на основе уточненных закономерностей и с применением предложенного подхода по созданию цифровой модели техногенных минеральных образований с применением БПЛА математическими моделями определения зон влияния деформаций, переноса пыли и газовых загрязнителей с поверхности ТМ в приземном слое атмосферы, миграции токсичных компонентов в почву, инфильтрации стоков с поверхности ТМ на прилегающие территории, используемых для оценки воздействия на окружающую среду, предельного состояния пород техногенных месторождений и для разработки технологий освоения и сохранения их ресурсов;

– предложенной структурой и описанием функционала комплексного мониторинга влияния ТМО на окружающую среду;

– разработанным алгоритмом выбора направления использования техногенных минеральных образований с учетом конкретных особенностей угледобывающего региона;

– разработанной технологией разборки конических и хребтовых техногенных минеральных образований (Патент РФ на изобретение № 2773166);

– разработанной технологией консервации и изоляции промышленных отвалов (Патент РФ на изобретение № 2636174), основанной на гидроструйной цементации пород;

– предложенным способом выбора направления рекультивации техногенных минеральных образований и техногенных месторождений, сформированных в результате прошлой экономической деятельности, в зависимости от

преобладающей категории земельных участков, расположенных в зоне их влияния;

– ранжированием техногенных месторождений Подмосковского, Кузнецкого и Донецкого угольных бассейнов по очередности освоения и сохранения их ресурсов, произведенным на основе алгоритма их нечеткой кластеризации;

– выполненной экспертной оценкой технологий освоения и сохранения ресурсов техногенных месторождений.

Методология и методы исследования: комплексный системный анализ результатов натуральных наблюдений, лабораторных и вычислительных экспериментов при изучении техногенных минеральных образований в Кузнецком, Донецком и Подмосковном угольных бассейнах, представленных породными отвалами угольных шахт; современные теоретические достижения геомеханики, аэрогазодинамики и математической физики; численные решения задач теории упругости методом начальных параметров и методом конечных разностей; автоматизированные статистические методы обработки больших массивов цифровой информации; метод экспертных оценок; нечеткая кластеризация.

На защиту выносятся следующие научные положения:

1 Предложенная математическая модель, базирующаяся на совместном применении метода начальных параметров и метода конечных разностей, позволяет выполнить оценку предельного равновесия массива техногенных месторождений.

2 Оценку воздействия техногенных месторождений на окружающую среду необходимо проводить с учетом количества и размеров зон влияния их деформаций, ветровой и водной эрозии, фильтрации воды, определяемых на основе результатов натуральных наблюдений, лабораторных и вычислительных экспериментов.

3 Основным параметром для определения производительности буровых выемки при разработке техногенных месторождений является

суммарный объем пород из выемочной скважины и свода естественного обрушения над ней, определяемый с использованием полученного коэффициента извлечения.

4 Выбор технологических схем и определение параметров бурошнековой выемки необходимо производить на основе оценки предельного напряженного состояния межскважинных целиков, устойчивости пород и размеров техногенных месторождений.

5 Для ранжирования техногенных месторождений по условию очередности освоения и сохранения ресурсов необходимо использование нечеткой кластеризации, определяющей степень принадлежности объекта к каждому кластеру.

6 Эффективность и безопасность обработки техногенных месторождений с помощью бурошнековой выемки по сравнению с другими технологиями достигается использованием высокопроизводительной техники относительно непрерывного действия, исключением процесса вскрытия месторождения, возможностью селективной обработки, минимизацией новых породных обнажений, отсутствием переэкскавации породы, производством работ без использования оборудования и без присутствия людей на поверхности отвала.

7 Эффективность и безопасность консервации потенциальных техногенных месторождений гидроструйной цементацией пород по сравнению с другими технологиями достигается обеспечением изоляции объекта по подошве и поверхности породобетонным экраном, что позволяет исключить воздействие на окружающую среду и сохранить ресурсы.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректной постановкой задач исследований; обоснованным использованием методов и современных достижений геотехнологии, геомеханики, математической физики, физической химии, математической статистики и компьютерных технологий; репрезентативным объемом результатов лабораторных и вычислительных экспериментов, свидетельствующих об адекватности разработанных и усовершенствованных моделей.

Апробация работы. Научные положения и практические рекомендации диссертационной работы в целом и отдельные ее разделы докладывались и обсуждались на ежегодных научных семинарах института горного дела и строительства ТулГУ (г. Тула, 2017 – 2024 гг.), ежегодных научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава ТулГУ (г. Тула, 2018 – 2024 гг.), XVI Международной научно-практической конференции «Экономика и инжиниринг: от теории к практике» (г. Минск, 2020 г.), IX Международной научно-технической конференции «Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений» (г. Екатеринбург, 2020 г.), ежегодных Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (г. Москва, 2021 – 2022 г.), XV Международной конференции "Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах" (г. Санкт-Петербург, 2023 г.), ежегодных Международных конференциях по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики "Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики" (Тула-Минск-Донецк, 2016 – 2023 гг.).

Реализация работы. Теоретические результаты и технические решения включены в базовые учебные курсы по проектированию современных геотехнологий для студентов, обучающихся по специальности «Горное дело», а также использованы при выполнении договорных и госбюджетных НИР в Тульском государственном университете.

Личный вклад заключается в обосновании идеи работы и ее реализации путем постановки цели и задач исследования; в математической обработке результатов натурных наблюдений, лабораторных и вычислительных экспериментов; в усовершенствовании математических моделей предельного состояния пород техногенных месторождений, переноса пыли и газовых загрязнителей в приземном слое атмосферы, миграции токсичных компонентов в почву, инфильтрации стоков с техногенных месторождений на прилегающие территории для прогнозирования параметров зон влияния источника загрязнения;

разработке новых технологий освоения и сохранения техногенных месторождений; в разработке алгоритмов ранжирования техногенных месторождений, оценки и выбора технологий.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликованы 35 научных работ, в том числе: 22 в изданиях, включенных в Международные реферативные базы данных Web of Science, Scopus, Перечень ВАК Минобрнауки РФ; 3 в изданиях, включенных в базу данных публикаций Russian Science Citation Index, 4 в научных сборниках и материалах конференций со всероссийским и международным участием и др.; получены два патента РФ на изобретение и 4 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 304 страницах машинописного текста, содержащего 20 таблиц, 159 рисунков, список литературы из 220 наименований и 6 приложений.

ГЛАВА 1 ТИПИЗАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

1.1 Состояние проблемы техногенных минеральных образований в Российской Федерации

Минерально-сырьевая база за счет большого *разнообразия* и объема запасов полезных ископаемых является донором российской экономики и естественным конкурентным преимуществом народного хозяйства и промышленного сектора Российской Федерации и обеспечивает ее развитие и переход на новый технологический уклад [53]. В Российской Федерации сосредоточен второй по величине объем запасов угля. Динамика запасов угля в России за последние 10 лет положительная (рисунок 1.1).

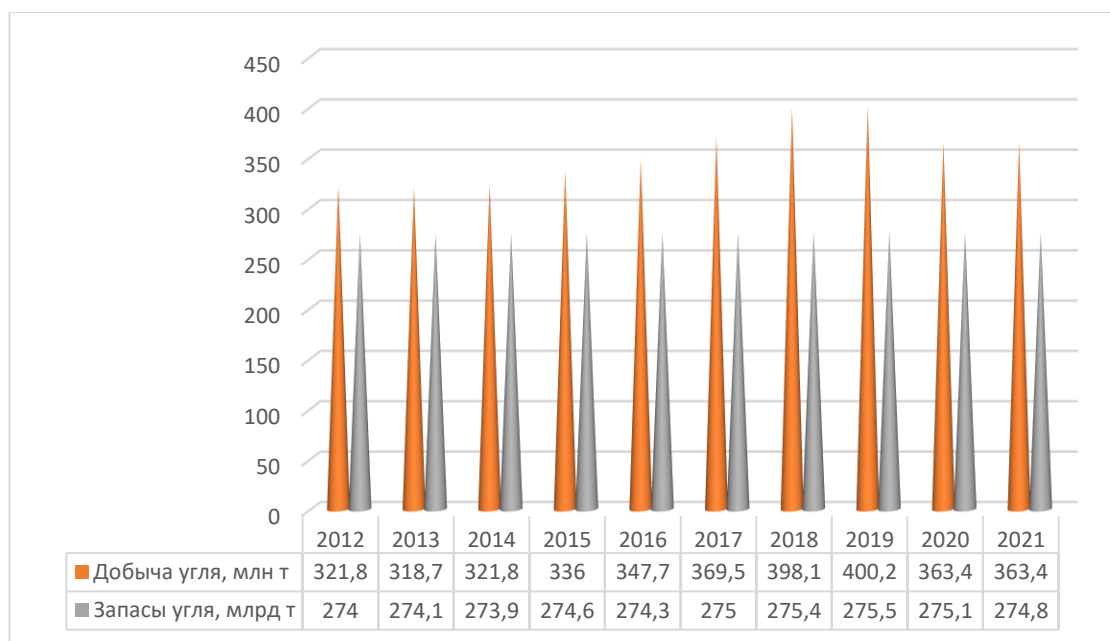


Рисунок 1.1 – Запасы и добыча угля

Более 60 видов полезных ископаемых добывается в Российской Федерации. По добыче угля Россия занимает 6-е место в мире. За последние 10 лет наблюдается умеренная динамика объема добычи угля (рисунок 1.1).

В 2021 году на территории Российской Федерации образовалось 8448,6 млн т отходов производства и потребления, что на 21,5 % выше уровня 2020

года и на 9 % выше уровня 2019 года. За период с 2012 года по 2021 год совокупная масса отходов, образованных в Российской Федерации, увеличилась в 1,7 раза [53].

Общий объем отходов суммируется по следующим видам экономической деятельности: сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство; добыча полезных ископаемых; обрабатывающие производства; обеспечение электроэнергией, газом и паром, кондиционирование воздуха; водоснабжение, водоотведение, организация сбора и утилизации отходов; строительство, прочие виды экономической деятельности.

Источником наибольшей массы отходов в 2016–2021 годах стала добывающая промышленность (рисунок 1.2). Динамика данного показателя по доле отрасли добычи полезных ископаемых показывает устойчивый рост.



Рисунок 1.2 – Отходы по видам экономической деятельности, тыс. т

Масса отходов по отрасли добычи полезных ископаемых складывается из масс по добыче угля, сырой нефти и природного газа, металлических руд, прочих полезных ископаемых и предоставления услуг в области добычи по-

лезных ископаемых. Из массы отходов, образованной в процессе добычи полезных ископаемых, самая большая доля приходится на отходы, образованные при добыче угля (рисунок 1.3).

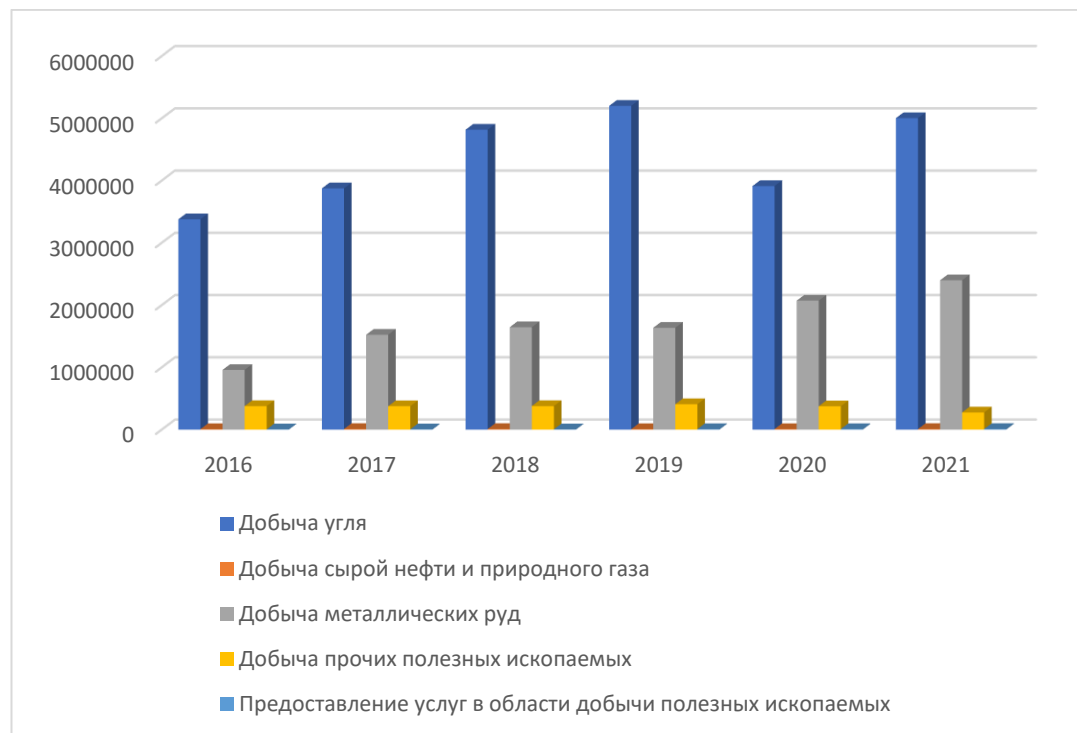


Рисунок 1.3 – Образование отходов при добыче полезных ископаемых, тыс. т

Большая работа в Российской Федерации проводится по утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления. Общее количество отходов в стране в 2021 году (3937,2 млн т) составило 46,6 % от общей массы образованных отходов. Это на 14,8 % больше, чем в 2020 году, и на 1,4 % больше, чем в 2019 году. Основная доля обезвреженных и утилизированных отходов в общей массе приходится на отрасль добычи полезных ископаемых (рисунок 1.4) [53].

При добыче полезных ископаемых самая большая доля утилизированных и обезвреженных отходов приходится на угольную отрасль. В 2021 году масса утилизированных и обезвреженных отходов угольной отрасли увеличилась по сравнению с 2020 годом, но уменьшилась по сравнению с 2016, 2018 и 2019 годами (рисунок 1.5).

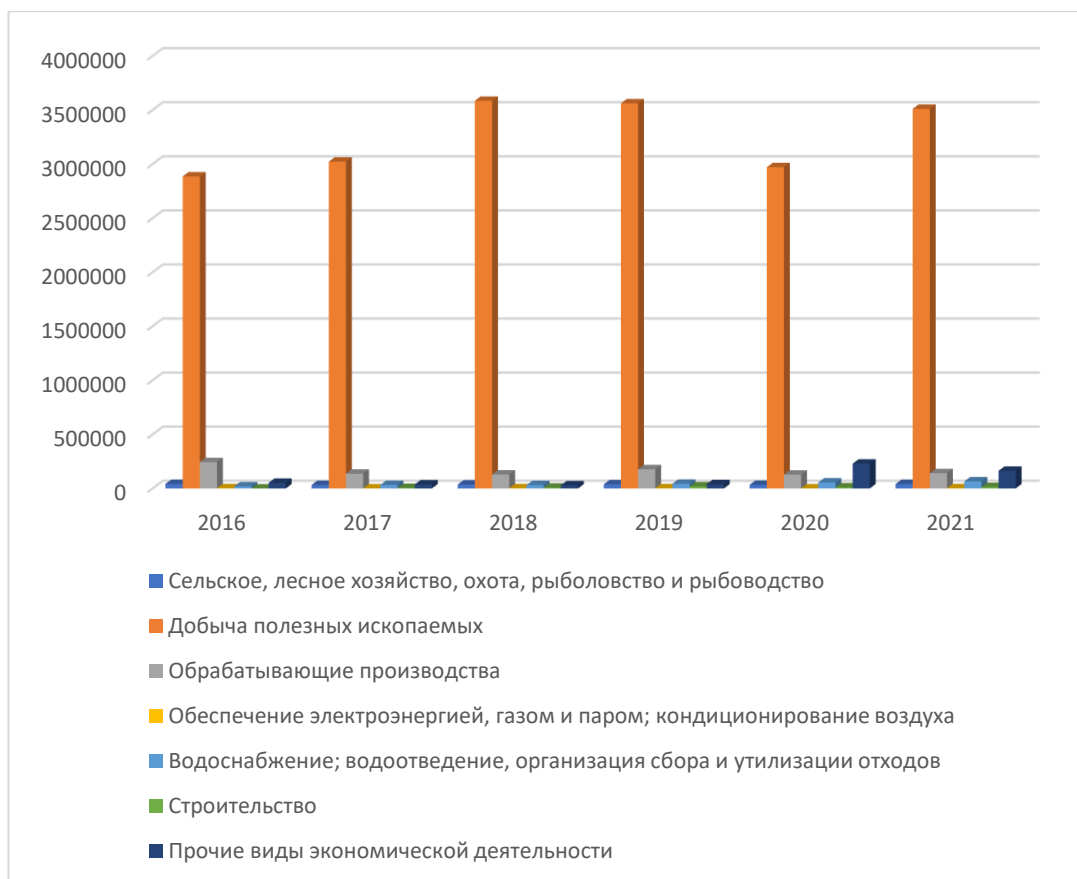


Рисунок 1.4 – Утилизированные и обезвреженные отходы по видам экономической деятельности, тыс. т

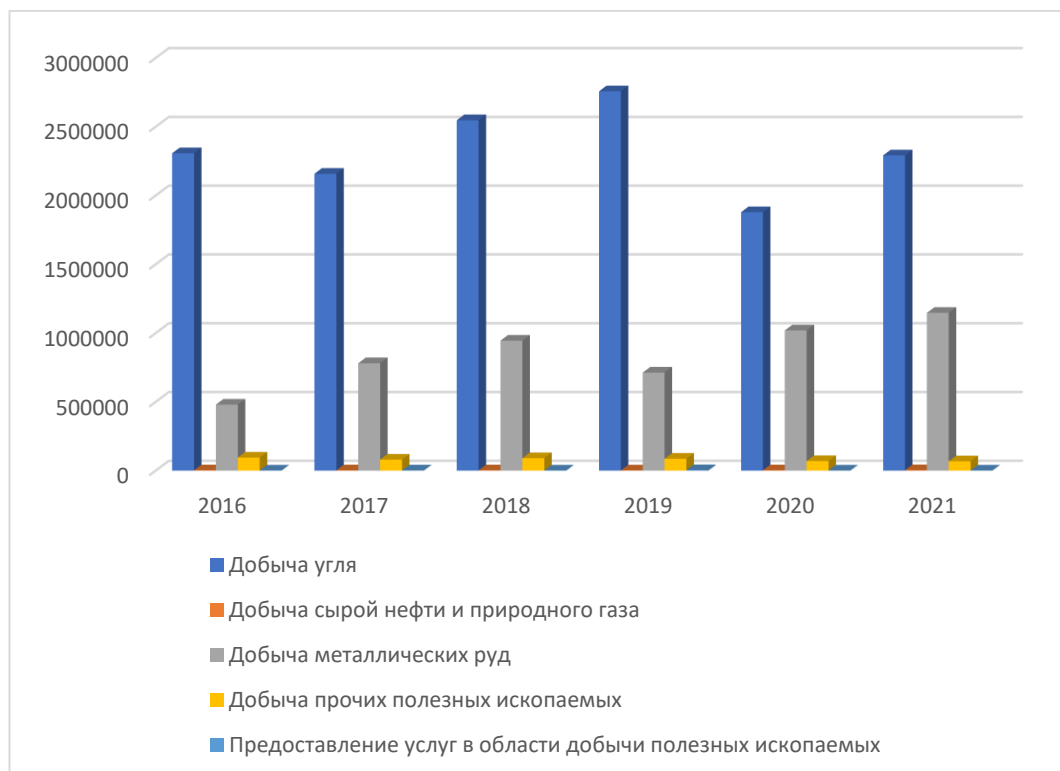


Рисунок 1.5 – Утилизированные и обезвреженные отходы при добыче полезных ископаемых, тыс. т

Диаграммы, отображающие массы утилизированных и обезвреженных отходов по видам экономической деятельности и при добыче полезных ископаемых, могут ввести в заблуждение. Истинное состояние проблемы отходов показывает диаграмма, отражающая процент неутилизированных и необезвреженных отходов при добыче угля (рисунок 1.6). Процент таких отходов с каждым годом растет, отходы все больше и больше накапливаются на поверхности и занимают большие площади земель. В 2021 году площадь нарушенных земель составляет 1091,9 тыс. га (рисунок 1.7), а площадь рекультивированных земель — 158,9 тыс. га (рисунок 1.8) [53]. Т. е. работы по рекультивации произведены на 12,7 % нарушенных земель. Среди нарушенных земель преобладают земли промышленного и иного назначения, земли лесного фонда, земли сельскохозяйственного назначения, земли запаса и земли населенных пунктов. Из рисунка 1.8 видно, что основным направлением рекультивации нарушенных земель является лесное направление.

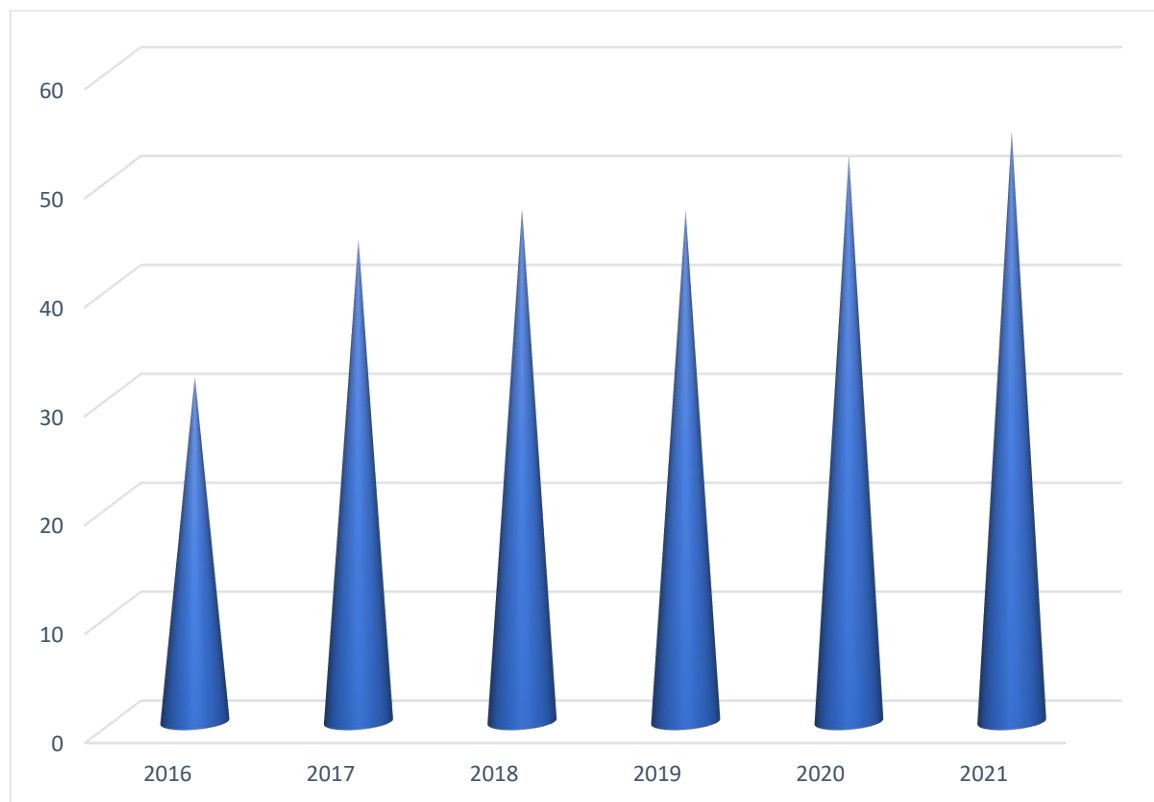


Рисунок 1.6 – Неутилизированные и необезвреженные отходы при добыче угля, %

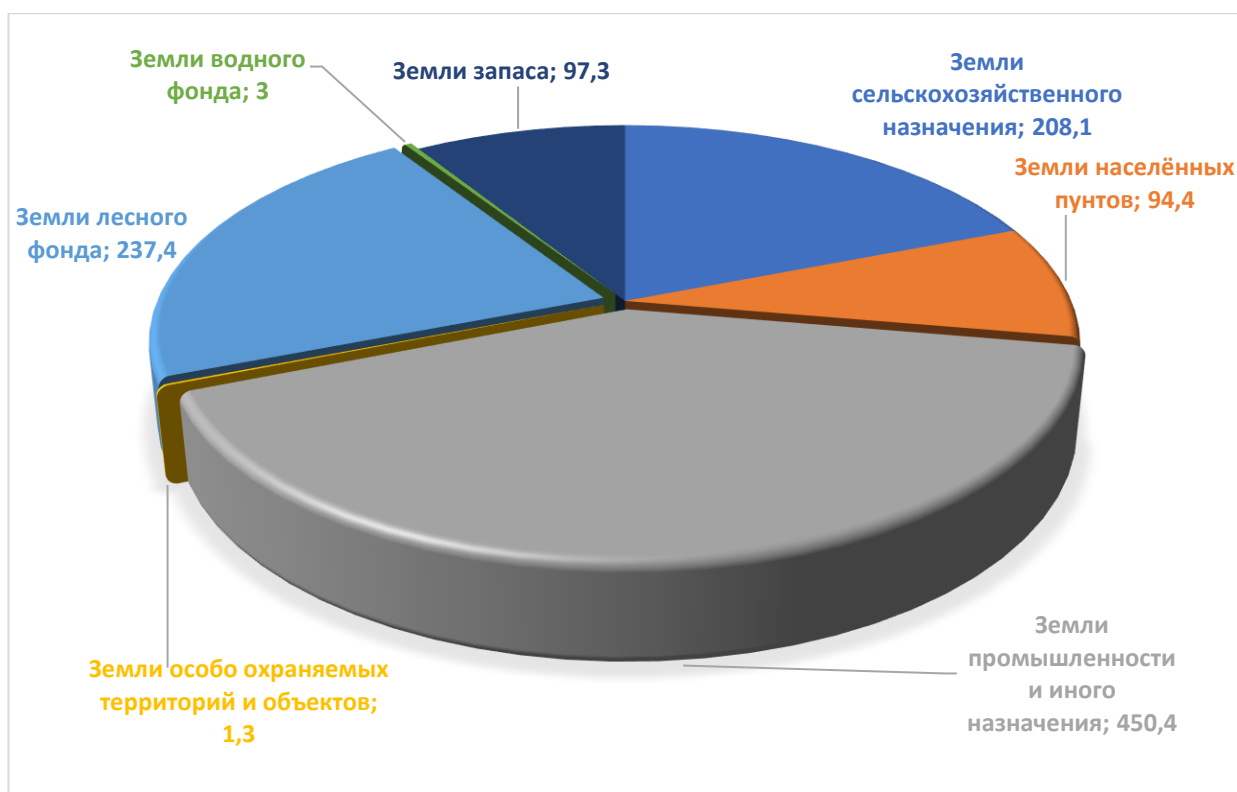


Рисунок 1.7 – Распределение нарушенных земель по категориям земель по состоянию на конец 2021 года, тыс. га

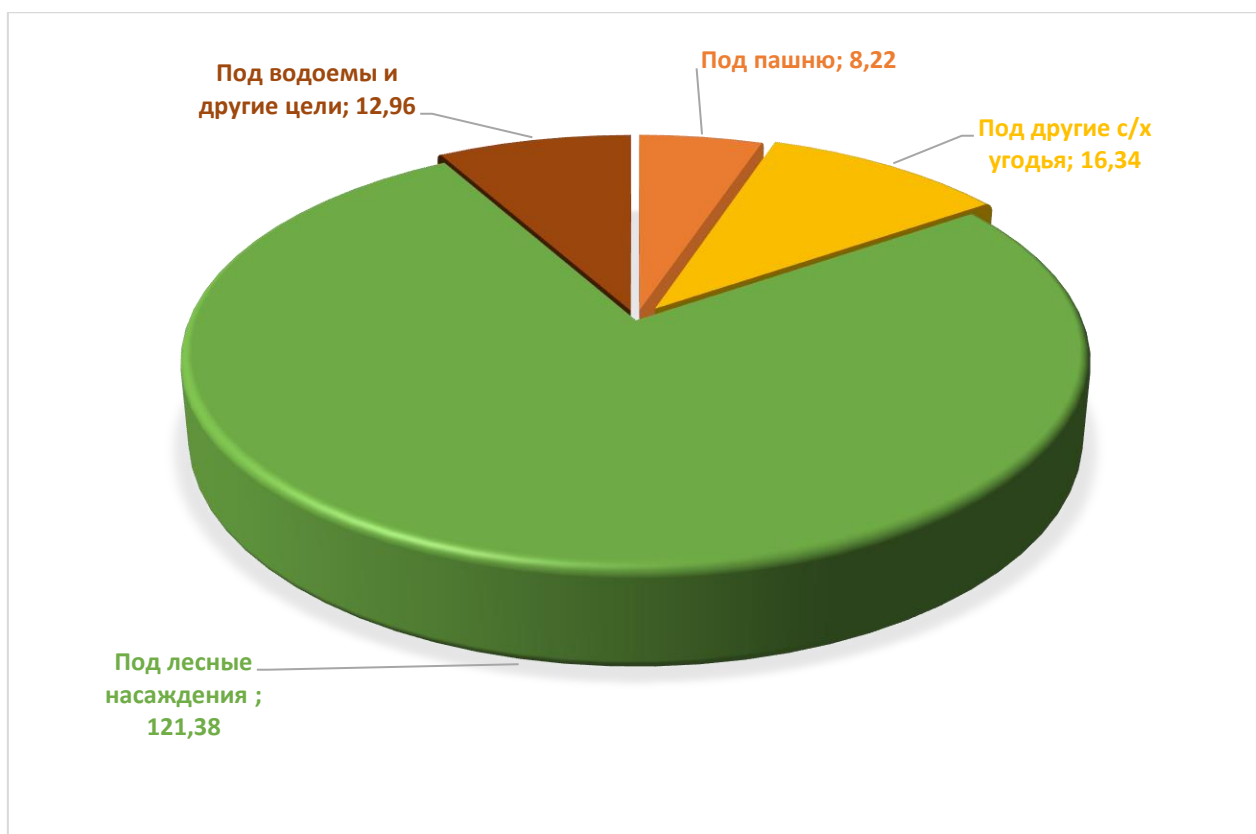


Рисунок 1.8 – Площадь рекультивированных земель, тыс. га

На протяжении большого периода времени промышленность СССР, а затем и Российской Федерации не уделяла необходимого внимания охране окружающей среды и ее восстановлению. В настоящее время в результате такого подхода существует большое количество объектов накопленного вреда окружающей среде (объекты НВОС): свалки, полигоны, хвостохранилища, пруды-отстойники, шламонакопители, породные отвалы и иные объекты. Учет объектов НВОС осуществляется посредством включения их в государственный реестр объектов накопленного вреда окружающей среде (ГРОНВОС).

На 30 ноября 2022 года в ГРОНВОС занесены сведения о четырех объектах, расположенных в Тульской области: 2 полигонах ТБО и 2 свалках твердых коммунальных отходов. Т. е. в ГРОНВОС не было сведений о породных отвалах угольных шахт, которые являются отходами добычи угля и представляют собой техногенные минеральные образования, сформированные в результате прошлой экономической деятельности.

1.2 Техногенное воздействие минеральных образований на компоненты окружающей среды

Результаты анализа работ ведущих ученых России по проблемам техногенного влияния горного производства на окружающую среду Трубецкого К.Н., Каплунова Д.Р., Галченко Ю.П., Чантурия В.А., Шадруновой И.В., Малышева Ю.Н., Пашкевич М.А., Мельника В.В., Зубовой Л.Г., Соколова Э.М., Качурина Н.М., Левкина Н.Д. и др. [44, 45, 84, 85, 87, 98, 111, 116, 117, 125, 149, 152, 156, 164, 165, 172] показали, насколько важны исследования по оценке техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду для обоснования технологических решений по освоению и сохранению ресурсов техногенных месторождений угледобывающих регионов. Особую актуальность эта проблема приобрела в настоящее время, так как в результате

прошлой экономической деятельности было сформировано большое количество техногенных минеральных образований в виде породных отвалов угольных шахт.

Систематизацией воздействий на геологическую среду начали активно заниматься в 50–60-е годы прошлого столетия. На сегодняшний день предложено большое количество классификаций воздействий: техногенные воздействия, воздействия по видам деятельности или воздействия определенных объектов, воздействия на геологическую, природную или окружающую среду [218].

Ф.В. Котлов в 1967 году [93] выделил категории техногенных воздействий по направленности, времени действия, площади и другим признакам. Впоследствии Ф.В. Котлов увязал типизацию техногенных воздействий с классификацией вызванных ими процессов, а в дальнейшем – с изменением природных физических полей. Схема М. Арну (1984) [20] близка к такой систематизации. В 1985 году А.Д. Жигалиным была предложена подробная классификация источников и типов техногенного воздействия [91]. Источники воздействия им классифицируются по типам, форме, размерам, периодичности, интенсивности, положению относительно объекта воздействия. Источники воздействия подразделяются на физические, химические, биологические и геологические.

Рядом авторов были предложены частные схемы типизации воздействий применительно к определенному виду деятельности. С учетом источника, характера и результатов воздействия были разработаны частные классификации техногенных воздействий для некоторых видов деятельности Г.А. Голодковской и Ю.Б. Елисеевым (1989). Применительно к горнодобывающей промышленности одна из первых классификаций воздействий была разработана Д. Г. Зилингом [66].

При разработке классификации техногенных воздействий на геологическую среду В.Т. Трофимов, В.А. Королев и А.С. Герасимова (1995) основывались на следующих методологических положениях [163] (рисунок 1.9):

1 Признаки типизации должны отражать основные черты техногенных воздействий на геологическую среду разной природы. Механизм воздействия должен быть отражен в его классе.

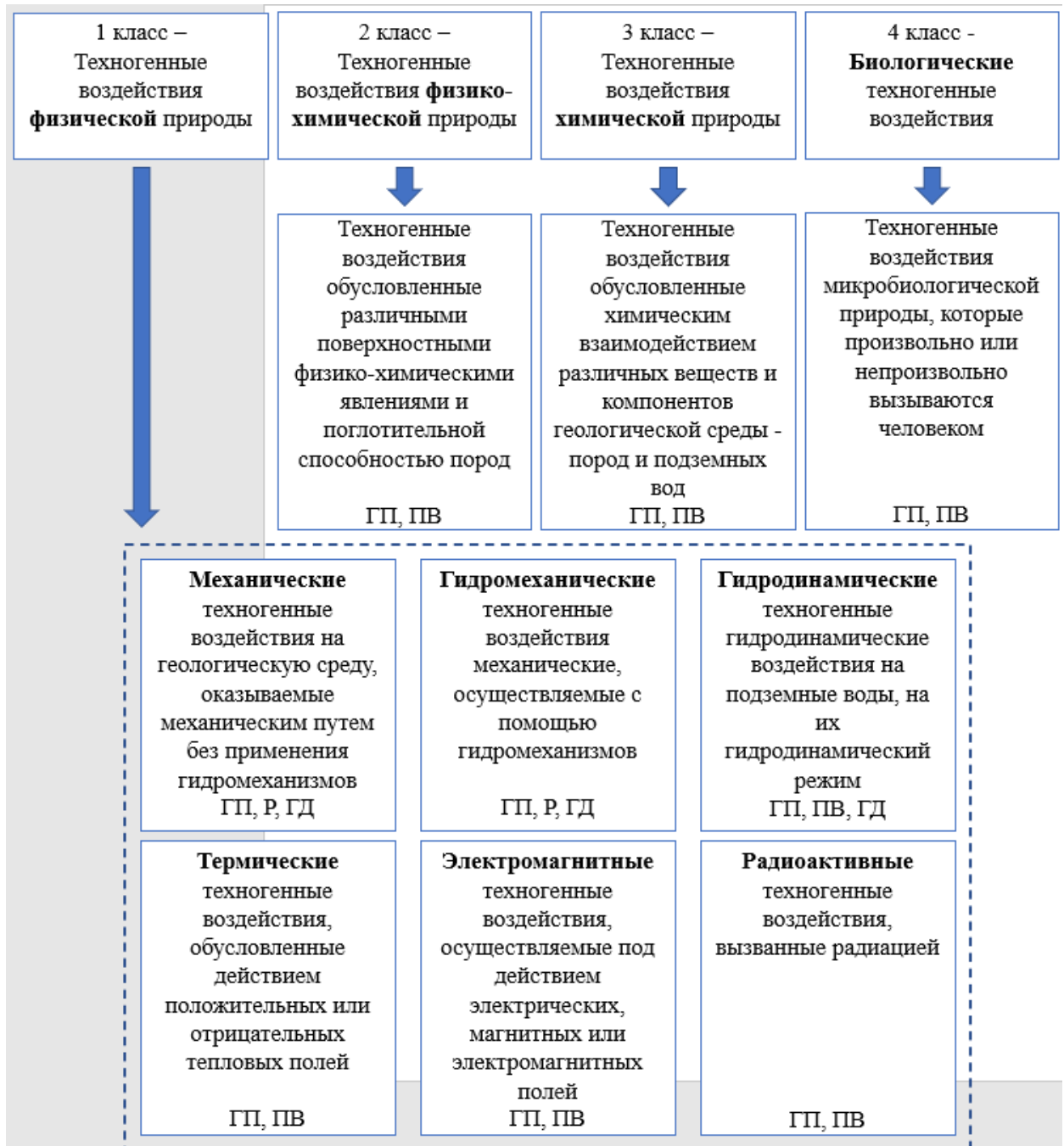


Рисунок 1.9 – Классификация техногенных воздействий на геологическую среду. Объекты влияния (компоненты геологической среды): ГП – горные породы, Р – рельеф, ГД – геодинамические процессы, ПВ – подземные воды

2 Целесообразно выделить класс (подкласс), тип, вид и разновидность воздействия. Класс – механизм воздействия, тип – характер воздействия, вид – конкретное техногенное влияние, разновидность – дополнительные частные признаки.

3 Выделяемые таксоны не должны зависеть от иерархического уровня рассмотрения геологической среды.

4 Выделяемый вид (разновидность) воздействия должен характеризоваться конкретными качественными параметрами, отражающими его особенности, а также однозначно соотноситься с источником, его вызывающим и обуславливающим. Он должен быть легко типизируемым для картографирования.

5 В типизации должны быть учтены лишь «первичные» техногенные воздействия, непосредственно влияющие на основные компоненты геологической среды.

6 Использование для типизации таких признаков деления, которые могут быть общими для всех типов воздействия, является нецелесообразным.

Таким образом, приведенная классификация объединяет все возможные виды техногенных воздействий на геологическую среду и может использоваться при эколого-геологических исследованиях и организации мониторинга геологической среды. Сами техногенные воздействия характеризуются различной природой, они действуют на разные компоненты геологической среды, и характер этого воздействия чрезвычайно разнообразен [91].

В работе [56] представлена типизация воздействий накопителей отходов рудообогащения на компоненты природной среды. Методика типизации основана на: типизации источников воздействия; типизации основных видов воздействия по природе и механизму происходящих процессов, по временному диапазону, направленности, периодичности, обратимости; типизации измененности основных элементов природной среды.

На первом этапе по техническим особенностям выделяются самостоятельные классы гидротехнических сооружений (равнинные, овражные, косогорные, намывные, наливные и другие), на втором – классы вызванных ими воздействий (нарушений и загрязнений).

Воздействие хвостохранилищ на природную среду рассматривается как результат следующих видов деятельности [56]:

- проектирование инженерных сооружений;
- строительство;
- эксплуатация сооружений, включая аварии и ликвидацию их последствий.

Каждое воздействие характеризуется одним или несколькими показателями, которые могут быть общими (одинаковыми для всех) и частными, отражающими особенности определенного вида воздействий. В соответствии с этими представлениями выделены следующие классы нарушений и загрязнений природной среды [56].

Геомеханические нарушения (изменение рельефа, температурного и естественного напряженно-деформированного состояния грунтов и т. д.) проявляются при строительстве плотин и дамб, планировочных работах, устройстве насыпей под трубопроводы и инспекторские дороги и т. д.

Гидродинамические (гидрологические, гидрогеологические) нарушения проявляются в виде изменения естественных условий питания и стока, повышения или понижения уровня поверхностных и подземных вод и т. д.

Аэродинамические нарушения связаны с изменением скорости и направления движения воздушных потоков и естественных условий снежных отложений.

Биоморфологические нарушения происходят в результате снятия или захоронения почвенно-растительного покрова, вырубки леса и др.

Воздействия физико-химической природы влияют на вещественный состав компонент природной среды и выражаются в следующих классах загрязнений [56].

Литосферное загрязнение является следствием утечек пульпы, складирования строительного мусора, металлолома и т. д., ареал распространения которого определяется условиями миграции загрязняющих веществ.

Гидросферное загрязнение: аварийное поступление промышленных вод и пульпы в поверхностные водоемы, сброс сточных вод, смыв атмосферными осадками загрязняющих веществ с откосов дамб и плотин, миграция загрязняющих веществ в подземные водоносные горизонты.

Аэровоздушное загрязнение: пыление сухих откосов и поверхностей хвостохранилищ, насыпей; ремонтные, погрузочные, транспортные работы и т.д.

Биологическое загрязнение проявляется в накоплении макро- и микрокомпонентов и выражается в появлении новых видов, болезнях и гибели растительности и животного мира.

Классы по характеру воздействия делятся на группы первичных и вторичных нарушений и загрязнений. Каждая группа по временному признаку делится на типы постоянных и временных воздействий, которые по возможности восстановления естественных функций природной среды подразделяются на виды обратимых и необратимых. К таксономической единице низшего уровня отнесены подвиды целенаправленных и стихийных воздействий [56].

Постоянное воздействие определяется периодом эксплуатации и консервации хвостохранилища и характеризуется изменениями с отдаленными экологическими последствиями. Временное воздействие характеризуется периодичностью действия.

Обратимое воздействие предусматривает возможность при нарушении элементов природной среды их самовосстановления и самоочищения либо проведение эффективных природоохранных мероприятий.

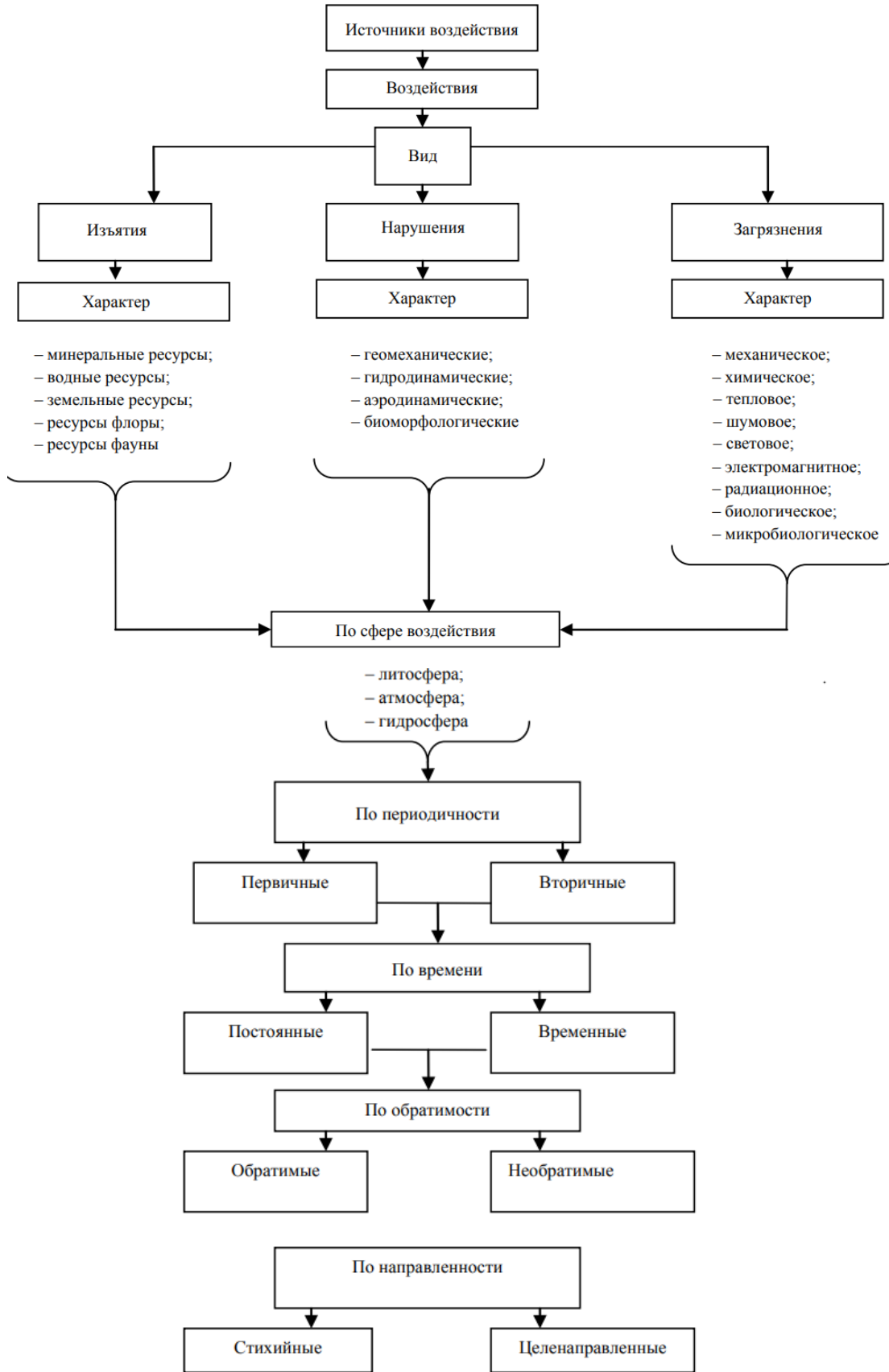


Рисунок 1.10 — Схема типизации воздействий, оказываемых на окружающую среду при разработке месторождений полезных ископаемых

Необратимое воздействие вызывает практически полное нарушение элементов природной среды с необратимыми последствиями для экосистем. Воздействия, заранее определенные проектными решениями возведения накопителя, рассматриваются как целенаправленные, а не предусмотренные проектом – как стихийные, обычно возникающие в процессе эксплуатации объекта.

В работе [92] приведена схема типизации воздействий (рисунок 1.10), оказываемых на окружающую среду при разработке месторождений полезных ископаемых, составленная на основании рекомендаций из [163, 56].

Минеральные ресурсы относятся к числу невозобновляемых, и их изъятие приводит к истощению минерально-сырьевой базы. Изъятие водных ресурсов, флоры должно сопровождаться их возобновлением естественным или искусственным путем. Изъятие земельных ресурсов нередко связано с изменением направления использования земли, но чаще всего после изъятия земля становится непригодной для использования и необходимо проводить рекультивационные работы для восстановления необходимых свойств и параметров [69].

Если говорить о нарушениях, то геомеханические нарушения – это нарушения рельефа, напряженно-деформированного состояния толщ, состояния грунтов и т.д. Гидродинамические нарушения проявляются через условия питания и стока и имеют отношение к подземным водам. Аэродинамические нарушения связаны с изменением скорости и направления воздушных потоков. Биоморфологические нарушения являются результатом вырубки лесов или смены почвенно-растительного покрова и т. д. [92].

Виды загрязнений достаточно полно описаны в работе [69] (таблица 1.1).

Таблица 1.1 — Виды загрязнения

Загрязнение	Определение
1	2
1 Механическое	Засорение среды агентами, оказывающими лишь механическое воздействие без химико-физических последствий (например, мусором)

1	2
2 Химическое	Изменение химических свойств среды, оказывающих отрицательное воздействие на экосистемы и технологические устройства
3 Физическое	Изменение физических параметров среды: температурно-энергетических, волновых, радиационных и т. п.
3.1 Тепловое (термальное)	Повышение температуры среды, главным образом в связи с промышленными выбросами нагретого воздуха, отходящих газов и воды, может возникать и как вторичный результат изменения химического состава среды
3.2 Световое	Нарушение естественной освещенности местности в результате действия искусственных источников света может приводить к аномалиям в жизни растений и животных
3.3 Шумовое	Увеличение интенсивности шума сверх природного уровня, у человека приводит к повышению утомляемости и при достижении 90-100 дБ к постепенной потере слуха
3.4 Электромагнитное	Изменение электромагнитных свойств среды приводит к глобальным и местным географическим аномалиям
4 Радиационное	Превышение естественного уровня содержания в среде радиоактивных веществ
5 Биологическое	Проникновение в экосистемы и технологические устройства видов животных и растений, чуждых данным сообществам и устройствам
5.1 Биотическое	Распространение определенных, как правило нежелательных с точки зрения людей, биогенных веществ (выделений, мертвых тел и др.) на территории, где они ранее не наблюдались
5.2 Микробиотическое	<p>Появление необычайно большого количества микроорганизмов, связанное с их массовым размножением на антропогенных субстратах или средах, измененных в ходе хозяйственной деятельности человека.</p> <p>Приобретение ранее безвредной формой микроорганизмов патогенных свойств или способности подавлять другие организмы в сообществах</p>

А.Н. Иванов и М.Н. Игнатьева в работе [69] приходят к выводу, что в настоящее время наиболее значимым является химическое загрязнение окружающей среды. Негативное воздействие на человеческие организмы, флору и фауну происходит благодаря миграции химических веществ (рисунок 1.11).

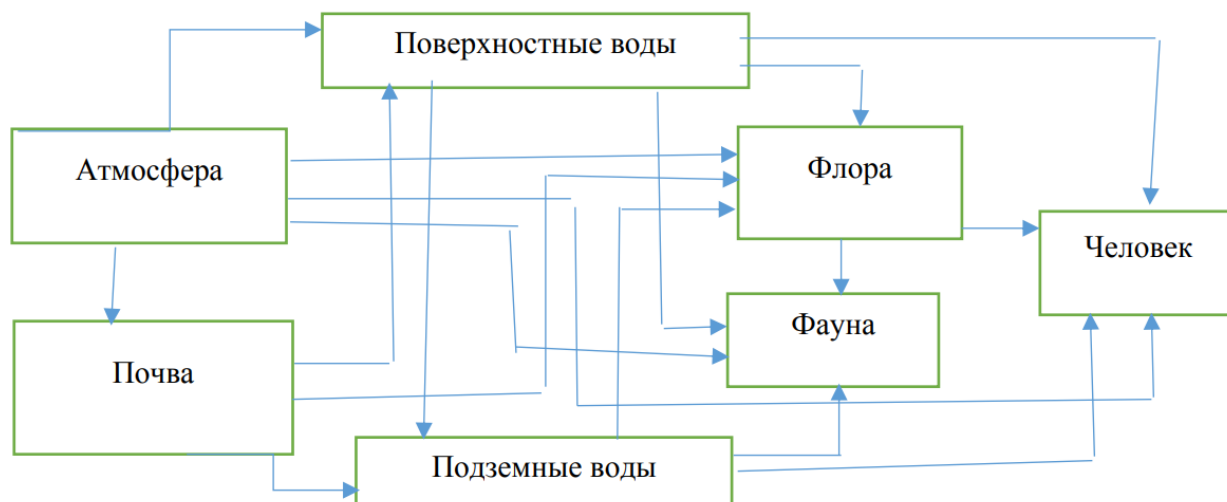


Рисунок 1.11 — Схема влияния загрязненных сфер на человека, флору и фауну [69]

О.В. Косолапов [92] на основании анализа литературных источников и систематизации практического материала результатов ОВОС в проектах по освоению ресурсов недр сформулировал основополагающие принципы типизации воздействий на окружающую среду при добыче полезных ископаемых. Среди них важно выделить принцип – обязательное включение в число источников воздействий техногенных минеральных образований.

При рассмотрении воздействия ТМО на основные компоненты геологической среды выделению подлежат почвы и искусственные грунты, горные породы, рельеф территории, подземные воды и геодинамические процессы. Для окружающей среды необходимо дополнительно рассматривать растительность и поверхностные воды.

Для оценки техногенного воздействия минеральных образований на компоненты окружающей среды целесообразно рассматривать факторы взаимодействия ТМО с окружающей средой:

- деформации ТМО;
- фильтрация воды сквозь тело ТМО;
- водная эрозия;
- ветровая эрозия.

Влияние этих факторов сопровождается техногенные минеральные образования все время их существования. Все эти факторы способствуют переносу вещества ТМО в окружающую среду [218].

1.3 Принципы типизации техногенных массивов

На настоящий момент создано большое количество классификаций отходов, техногенных месторождений, техногенных минеральных образований (ТМО) и объектов. Этим вопросам посвящено значительное количество работ различных исследователей (И.П. Жаворонкова, М.Э. Кябби, Б.Н. Ласкорин, Л.А. Барский, В.Э. Персиц, Г.В. Секисов, А.А. Таскаев, А.Г. Секисов, И.Л. Гуменик, А.С. Матвеев, А.И. Панасенко, М.П. Педан, В.С. Мищенко, К.Н. Трубецкой, В.Н. Уманец, М.Б. Никитин, В.Т. Борисович, В.В. Чайников, В.П. Коняев, Л.А. Крючкова, Е.С. Туманова, В.В. Шелагуров, Ю.Ф. Харитонов, АБ. Макаров, Г.Г. Хасанова, М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, В.В. Экс, Т.В. Усманова, Л.П. Рихванов, А.В. Архипов, С.П. Решетняк и многие другие).

Анализ классификаций, созданных в период с 1973 года по настоящее время, дает представление о масштабе проделанной исследователями работы, разнообразии подходов, достоинствах и недостатках рассмотренных классификаций.

И.П. Жаворонкова [64] выделяет три группы отходов:

1 Отходы, получаемые попутно в процессе добычи (извлечения) природных ресурсов и представляющие собой непретворенные природные вещества, выделенные из исходных природных структур и объектов.

2 Отходы переработки сырья и материалов в отраслях материального производства.

3 Отходы потребления.

В данной классификации выделяются две группы признаков, которые позволяют отразить отраслевую принадлежность отходов и место их сосредоточения. Эти группы могут содержать свои рубрики и группировочные признаки, которые могут дать достаточно полное представление об отходах.

По классификации И.П. Жаворонковой, отходы лучше всего подразделять:

- по технологическим стадиям их образования;
- по содержанию в них ценных компонентов;
- по степени ущерба окружающей среде;
- по возможности их вторичного вовлечения в производство.

В.В. Чайников [171] считает, что предлагаемая классификация представлена сравнительно широким перечнем группировочных признаков, в ней учитывается такой важный фактор, как степень ущерба, наносимого окружающей среде отходами горнопромышленного производства.

М.Э. Кяббис [95] предлагает классифицировать отходы горного производства для оценки их накопления и использования по следующим основным признакам:

- по месту образования в отраслях горнодобывающей промышленности;
- по стадиям производственного цикла;
- по времени накопления;
- по степени изученности;
- по направлениям использования;
- по эффективности использования.

Предложенная классификация по количеству группировочных признаков идентична предыдущей, но качественная характеристика признаков уже предусматривает данные по изученности отходов по эффективности их использования и по времени их накопления.

В.В. Чайников [171] отмечает, что существенным недостатком этой классификации является отсутствие такого весьма важного группировочного признака, как величина ущерба, наносимого здоровью человека и окружающей среде отходами горнопромышленного производства.

В соответствии с классификацией института "ДжезказганНИИцветмет" [79] все твердые отходы делятся на восемь групп по направлению их использования. В классификации показано, в каких производственных циклах могут быть использованы отходы, их виды и местонахождение отходов.

По мнению В.В. Чайникова [171], преимущество этой классификации заключается в ее простоте и практической направленности, а в качестве недостатка следует отметить слабую информационность и отсутствие таких важных признаков, как степень изученности отходов, эффективность их использования, степень отрицательного влияния на окружающую среду.

Ласкорин Б.Н., Барский Л.А., Персиц В.Э. [97] рассмотрели классификационные принципы, учитывающие экологические аспекты, изменение технологических свойств и проблемы складирования и хранения отходов.

В работе [144] рассмотрены техногенные минеральные объекты, которые подразделяются авторами на категории по следующим признакам:

- 1 Промышленно-экономическая природа.
- 2 Общегеографические условия размещения.
- 3 Динамика во времени и в пространстве.
- 4 Исторический аспект.

Для континентальных техногенных минеральных объектов определены принципы их подразделения на группы, подгруппы, классы, подклассы, типы, подтипы и виды.

Предложенные подходы весьма глобальные по своей сути, и разработка детальных классификаций техногенных минеральных объектов, по мнению авторов, представляет собой специальную, более сложную задачу, требующую высокого уровня ее решения.

Гуменик И.Л., Матвеев А.С., Панасенко А.И. разработали классификацию техногенных формирований при открытых горных работах [57], которая содержит признаки образования техногенных объектов и рекомендуемые способы их создания. Кроме того, в классификации определяются цели, достигаемые при соблюдении предложенных рекомендаций. В число выделенных авторами этой классификации «характерных» типов техногенных формирований, входят следующие: 1 – отвалы; 2 – хвостохранилища; 3 – площади в пределах горного отвода; 4 – выработанные пространства; 5 – зоны обрушений и просадок; 6 – естественные емкости; 7 – подземные выработки; 8 – земли, непригодные для использования.

Г.Г. Хасанова [170] при анализе предложенной классификации отмечает, что она главным образом характеризует техногенные нарушения земной поверхности, возникающие при открытых горных работах, и авторы классификации предлагают общие рекомендации, направленные на снижение воздействия «техногенных формирований» на окружающую среду. Г.Г. Хасанова [171] считает, что недостатком данной классификации является то, что она как раз практически не характеризует и не учитывает «сущность» техногенных формирований, то есть не учитывает характеристик ТМО, кроме способа их образования или места размещения.

В Днепропетровском горном институте была разработана классификация техногенных формирований при открытых горных работах [118]. Классификация охватывает основные классы техногенных формирований в соответствии с их назначением: минерально-сырьевым, ландшафтным, экологическим. В.В. Чайников [171] отмечает, что классификация отличается простотой, однако она тяготеет к систематизации техногенных нарушений и способов их ликвидации.

Значительный интерес представляет классификация техногенных месторождений, предложенная учеными ИПКОНа АН РФ и ИГД АН Казахстана [164]. Классификация построена с учетом иерархической значимости классификационных признаков. По признакам первого рода выделяются следующие таксономические единицы: группы, подгруппы, типы, классы и подклассы; по признакам второго рода – виды. При этом деление техногенных месторождений на группы осуществляется по происхождению техногенных ресурсов, на подгруппы – по источнику образования. Типы техногенных месторождений и объектов соответствуют исторически сложившимся названиям хранилищ отходов горно-обогатительного и металлургического производства. Деление ТМО на классы производится по признаку наличия полезного компонента в техногенном минеральном сырье, на подклассы – по направлению использования техногенных запасов. Выделение видов ТМ осуществляется по признакам, характеризующим техногенное месторождение с точки зрения возможной технологии его комплексного освоения. Предельные значения показателей для каждого признака приняты из анализа существующих ТМ и по аналогии с природными месторождениями.

В работе [171] Чайникова В.В. классификация оценивается следующим образом «Положительным моментом в данной классификации является технологическая характеристика месторождений как объекта будущего освоения, а в качестве недостатка следует отметить отсутствие в классификации таких признаков, как ресурсная ценность месторождений, степень влияния на окружающую среду, характеристику изученности и др.».

Исследователи ЦНИИцветмет экономики и информации [41] предлагают классификацию твердых техногенных образований осуществлять исходя из того, что они являются продуктами переработки руд природных месторождений определенных промышленных типов.

Классификация техногенных месторождений строится на основе увязанных между собой групп, характеризующих:

– природное минеральное сырье, промышленный тип природного месторождения, промышленные типы и сорта руд, перечень попутных полезных и вредных примесей;

– промышленно-технологические типы техногенных месторождений, технологический процесс, в ходе которого образовалось техногенное сырье, тип хранилища, степень изученности, инженерно-геологическое состояние фундамента, наименование техногенного сырья (отхода, горной породы, забалансовой руды), физико-химический состав, содержание полезных компонентов, степень окисленности минералов и руд, направление использования.

Основными классифицирующими признаками являются минеральный и химический состав отложений, текстурно-структурные особенности, физические свойства, зональность и другие характеристики, комплексное изучение которых позволяет отнести отходы к определенному промышленно-технологическому типу.

Недостаток предложенной классификации, по мнению В.В. Чайникова [171], заключается в том, что она распространяется лишь на продукты переработки руд, т. е. охватывает лишь отходы обогащения и металлургического передела, а вскрышные и вмещающие породы из классификации выпадают.

Борисович В.Г. и Чайников В.В. [29] предложили вариант классификации ТМО, базирующейся на 8 группировочных признаках, имеющих значение классификационных групп:

- место образования в отраслях промышленности;
- стадии производственного цикла (добыча, обогащение, металлургический передел);
- вид отхода (твердый, жидкий, газообразный);
- время накопления;
- степень ущерба, наносимого окружающей среде;
- направление использования;
- эффективность использования;
- степень изученности.

В 1994 г. исследователи АО «Роснедра» и ВНИИгеолнеруд [90] обобщили, систематизировали и разработали рекомендации по геологическому изучению техногенных объектов и ТЭО их промышленной ценности. Ими систематизированы техногенные ресурсы Северного, Северо-Западного и Уральского регионов по отраслям, предприятиям, месту образования в технологическом цикле, величине запасов, направлениям использования, наличию технологии переработки. Такая систематизация ориентирована прежде всего на потребителя (инвестора) и представляет для него практический интерес.

С информационной точки зрения, она нуждается в дополнении прежде всего за счет технологической, экологической и экономической характеристик использования отходов.

Вопросы изучения техногенных месторождений рассмотрены также в работах В.В. Шелагурова [173], который указывает на целесообразность классифицировать ТМО по следующим признакам:

- место образования в отраслях промышленности;
- технологические стадии их образования (т. е. отходы при добыче, обогащении, металлургической переработке сырья и т. д.);
- вид отходов (вскрышные и вмещающие породы, золы, хвосты, шламы и др.);
- степень ущерба, наносимого окружающей среде (загрязнение почв, подземных и поверхностных вод, воздуха вредными компонентами);
- направления использования (по отраслям промышленности);
- эффективность использования;
- время накопления;
- степень изученности.

В 1997 году в ЗабНИИ Ю.Ф. Харитоновым и др. разработана классификация, ориентированная на твердые техногенные минеральные образования горнопромышленного комплекса, отвечающая необходимым требованиям к составлению классификаций, с разбивкой на группы, классы, подклассы, виды. Анализ классификации представлен в работе [157]. По мнению авторов,

«она имеет практическую направленность по набору показателей, влияющих на выбор добычи, переработки техногенного сырья, экономичность освоения, снижения негативного влияния на окружающую среду. В ней предусмотрена взаимосвязь выделенных групп, подгрупп, классов и т. д. Эта классификация отражает существующую степень опасности для окружающей среды, определяет общие направления технологических исследований, способов и очередности вовлечения ТМО в хозяйственную деятельность по снижению негативного воздействия техногенных скоплений на окружающую среду и др.». Однако авторы отмечают [157], что для систематики уральских ТМО «эта классификация в той трактовке целого ряда основных признаков и группировочных показателей, в которой предлагают ее разработчики, оказалась неприемлемой». Отдельные положения этой классификации, по мнению авторов [157], «являются спорными, а предложенный в ней механизм ранжирования объектов по степени их экономической значимости и негативного воздействия на окружающую среду чрезмерно упрощенным, не обеспечивающим комплексное решение поставленных задач».

В 1999 году на основе обобщения, анализа, сохраняя преемственность имеющегося опыта, В.В. Чайников [171] предлагает классификацию отходов горнопромышленного производства. В данной классификации по признакам первого рода (месту образования) выделяются группы и подгруппы, по признакам второго рода (направлению использования с учетом технологических свойств) – типы и подтипы, по признакам третьего рода (степени изученности) – классы, а по признакам четвертого рода (возможности использования и влиянию на здоровье человека) – подклассы, по признаку пятого рода (ресурсной ценности) – виды.

В разработанном Г.Г. Хасановой варианте классификации ТМО Среднего Урала [170] охвачены все учтенные в регионе ТМО на тот момент, которые объединены в 5 основных групп, отражающих происхождение техногенно-минеральных образований в основных отраслях производства (горнодобывающей, обогатительной, металлургической, химической, энергетической)

и их принадлежность к определенным отходообразующим предприятиям. В каждой отдельной группе выделено от 1 до 7 подгрупп, соответствующих технологическому процессу добычи и переработки сырья.

Сведения, характеризующие скопления техногенных образований, отражаются в 9 классах (тип отходов, время накопления, их объем, характеристика хранилищ, самих отходов, химсостав, состояние изученности, воздействие на окружающую среду и перспективы использования). В каждом классе рассматриваются от 2 до 4 подклассов. Три первых класса объединяются в подгруппу «Общие сведения», остальные – в подгруппу «Прочие сведения». В работе даются пояснения всем классам и обоснование разделения их на подклассы и виды. Автор сознательно не учитывает в представленной классификации такой важный группировочный признак, как экономическая эффективность освоения техногенного сырья, ссылаясь на то, что по объектам Среднего Урала необходимые данные для такой оценки практически отсутствуют.

В основу классификации техногенно-минеральных месторождений А.Б. Макарова [103] положены условия их образования, отражающие, как следствие, минералого-петрографический и химический состав техногенно-минерального сырья. По этим признакам выделяется шесть главных типов ТММ, техногенно-минеральное сырье которых имеет различные направления использования. Подразделение ТММ на классы производится по определяющему виду техногенно-минерального сырья, а подклассы отражают определенные направления его использования.

Одной из вариаций региональной классификации ТМО, основанной на подходах Ю.Ф. Харитонова, является классификация хвостохранилищ Кыргызстана, предложенная У.М. Шамыркановым. Интересным с точки зрения безопасности в данной классификации является разделение хранилищ на группы по степени уязвимости по отношению к опасным природно-техногенным процессам, авариям (в том числе диверсионным и террористическим актам) и стихийным бедствиям, катастрофам, характерным для горных районов (землетрясениям, оползням, селям и т. п.).

В 2012 году М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, В.В. Экс при представлении классификации техногенных георесурсов [137] разделили георесурсы на три основные категории: природные (геогенные), техногенные и природно-техногенные. Техногенными георесурсами, по мнению авторов, являются запасы техногенного минерального сырья, содержащегося в отходах, а также техногенные полости и ландшафты. Природно-техногенные – запасы, оставленные в недрах в результате отработки природных месторождений в виде целиков, корок, выклинивающихся участков залежей, не отделенных от массива.

В 2013 году Т.В. Усманова, Л.П. Рихванов в работе [168] рассматривают в качестве классификационного признака техногенных месторождений условия образования скоплений ценных компонентов. Авторами предложено 8 возможных причин возникновения техногенных месторождений и приведены соответствующие примеры. Развитие данных исследований было продолжено в работе [169], где на основе имеющегося опыта Т.В. Усманова предложила классификацию техногенных минеральных ресурсов (ТМР) по причинам их накопления в отходах. По типам ТМР различаются на изученные и неизученные или недостаточно изученные. Изученные ТМР разделяются на два класса: не извлеченные из-за отсутствия или несовершенства технологии их извлечения компоненты, не извлеченные из-за нарушения технологии или требований к комплексному использованию. Неизученные или недостаточно изученные ТМР разделяются на три класса: ранее неизвестные компоненты, недоизученные в составе добываемого и перерабатываемого сырья компоненты, пустые породы. Каждому классу принадлежит одна или несколько групп ТМР по причинам их накопления в отходах. Приведены примеры образования и накопления ТМР.

Еще одна классификация с четким классификационным признаком рассмотрена в работе А.В. Архипова, С.П. Решетняка [22]. Авторы подошли к классификации техногенных месторождений с позиции дифференциации технологических способов и механизмов для их разработки. В таком случае опре-

деляющим признаком является структурно-техногенная характеристика техногенного сырья, а именно гранулометрический состав извлеченной из недр и переработанной горной массы. По этому признаку все техногенные месторождения, расположенные на дневной поверхности, авторы разделили на три основных класса, представленных отвалами горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Авторы считают, что для выбора технологии разработки, выбора горнотранспортного и выемочного оборудования при открытой разработке приведённая классификация является и необходимой, и достаточной.

Проблемами создания классификаций ТМО занимаются уже более 35 лет. Каждый исследователь предлагает новые классификационные признаки или ограничивает охват ТМО региональными или другими рамками. При этом все классификации основываются на иерархическом методе построения классификаций, который обладает рядом недостатков: негибкая структура, фиксированный порядок ступеней распределения, нет возможности для введения новых объектов и признаков.

Из вышесказанного видно, что недостатки иерархического метода долгое время не позволяют создать единую классификацию ТМО, которая бы всех устраивала и позволяла реагировать на изменения, связанные с новыми объектами, новыми характеристиками объектов, новыми запросами пользователей классификации, формирующими структуру классификации и новые классификационные признаки [214]. Решение такой сложной задачи может быть достигнуто при совместном применении систем классификации, когда на высоких уровнях детализации применяется фасетный метод, а на низших – иерархический метод. Фасет – набор значений отдельного признака классификации, все фасеты взаимно независимы. Применение фасетного метода позволяет придать классификации гибкость, дает возможность подразделять множество объектов, ограничивая их несколькими фасетами, представляющими интерес в данном конкретном случае, ограничивать количество признаков без утраты достаточности охвата объектов. Так, например, при определении очередности

и выборе направления снижения или исключения негативного воздействия на окружающую среду ТМО, образованные в результате добычи угля, можно классифицировать по объему горной массы, площади, занимаемой ТМО, площади поверхности ТМО, площади зоны влияния ТМО, площадям земельных участков разных категорий, входящих в зону влияния ТМО, и др. или применять нечеткую кластеризацию, позволяющую производить более «естественное» определение принадлежности объектов к кластерам с учетом указанных параметров.

1.4 Потенциал породных отвалов угольных шахт как техногенных месторождений

«В рамках доминирующей сегодня технологической парадигмы развития минерально-сырьевого комплекса, так же как и в большинстве других отраслей промышленности, система избавления от твёрдых отходов предусматривает образование из каждого вида отходов на земной поверхности искусственно сформированных геологических тел с весьма своеобразными экологическими свойствами. Конструкция этих техногенных новообразований обычно выбирается по условиям безопасности и эффективности добычи полезного ископаемого и не учитывает возможности их последующей утилизации в антропосфере или депонирования в биосфере» [44].

В специализированной литературе приведен ряд определений геологических объектов. Под геологическими объектами понимаются «разнообразные геологические тела», а геологическим телом является «ограниченное, оформленное геологическое вещество, обладающее определенным составом и структурой» [49]. Геологическое вещество обычно отождествляют с «породами, минералами, химическими элементами», то есть веществами, из которых состоят техногенные минеральные образования.

По определению Ю.А. Косыгина, «геологическое тело – часть статического геологического пространства, ограниченного геологической границей

внутри которой остаются постоянными или плавно меняются те свойства и их характеристики, по которым определены границы этого тела» [49]. Явные пространственные границы, относительно однородный состав и свойства позволяют под это определение подвести техногенные минеральные образования, сформированные при добычи полезных ископаемых.

Учитывая, что ТМО сложены геологическим веществом, и принимая во внимание неограниченную во времени длительность существования техногенных минеральных образований (если не происходит их ликвидация), можно заключить, что такие образования представляют собой геологические объекты, в составе которых присутствуют антропогенные и природные вещества. Степень техногенного воздействия таких минеральных образований во многом зависит от состава веществ, их слагающих.

Отличие антропогенных веществ от природных заключается в том, что благодаря деятельности человека [135] происходит преобразование химического состава и гранулометрических свойств природных веществ из-за извлечения одних элементов и обогащения другими элементами. Минеральные образования (отходы энергетического, металлургического и других производств), в составе которых преобладают антропогенные вещества, несут более серьезную нагрузку на окружающую среду по сравнению минеральными образованиями, состоящими из природного вещества (отвалы вскрышных и вмещающих пород).

В работе [155] рассматривается классификация производств и процессов, поставляющих в природу техногенные и условно техногенные минералы, предложенная в 1997 году В.Г. Фекличевым (таблица 1.2).

В.Г. Фекличев считает, что техногенные минералы – это минеральные фазы, полученные в производственных процессах, а условно техногенные – минералы, оторванные этими процессами от своего естественного положения.

Таблица 1.2 – Классификация производств и процессов, поставляющих в природу техногенные и условно техногенные минералы

№ п/п	Тип производства или процесса	Тип твердых минеральных продуктов	Общее количество минералов	Примеры вредных минералов
1	2	3	4	5
1	Металлургия и гидрометаллургия	Шлак, шламы, аэрозоли	>150	Сульфиды, металлы
2	Теплоэнергетика и теплотранспорт	Зола, шлак, аэрозоли	>20	Кварц, стекло
3	Отходы химических производств	Шламы, аэрозоли	>50	Фосфогипс, фториды
4	Разработка и обогащение полезных ископаемых	Грунт, шламы, аэрозоли	>200	Кварц, госларит, асбест
5	Металлообработка в машиностроении	Горелая земля, шламы, шлак	>50	Металлы, абразивы
6	Производство керамики, огнеупоров и стройматериалов	Шламы, аэрозоли, облики изделий	>50	Арканит, кварц
7	Ржавление металлов и сплавов	Пыль, шламы, пленки	>70	Атакамит, англезит
8	Выветривание и разрушение красок, материалов в быту, на свалках	Пыль, шламы, аэрозоли	>100	Галенит, ртуть, асбест
9	Отходы в легкой промышленности и сельском хозяйстве	Шламы, аэрозоли	>20	Сульфиды, хроматы, арсенаты

Окончание табл. 1.2

1	2	3	4	5
10	Потери на транспорте	Пыль, аэрозоли	>50	Асбест, сульфиды
11	Строительство	Грунт, пыль аэрозоли	>50	Сульфиды, кварц
12	Аварии на АЭС	Аэрозоли, пыль	>10	U-циркон
13	Военные действия	Грунт, пыль, аэрозоли	>50	Нитраты, металлы

Кроме того, техногенные минеральные образования находятся в тесном контакте с природными геологическими объектами. Взаимовлияние природных и антропогенных геологических объектов зависит от их характеристик. При оценке техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду надо учитывать как природные характеристики данной системы, так и технические.

Состав пород техногенных минеральных образований, сформированных при подземной разработке угольных месторождений, показывает высокий потенциал использования их как техногенных месторождений. Подтверждена возможность использования пород таких техногенных месторождений для получения строительных материалов, в качестве удобрений, сырья для металлургии, энергетического сырья. Химический состав пород ТМО Подмосквовного угольного бассейна представлен на рисунке 1.12 [149].

Сформированные при добыче угля техногенные минеральные образования Донбасса в среднем имеют следующий состав (рисунок 1.13) [123].

В процессе комплексной переработки породы ТМ необходимо разделить их на три составляющих: песчано-глинистую, угольную и тяжелую (рисунок 1.14).

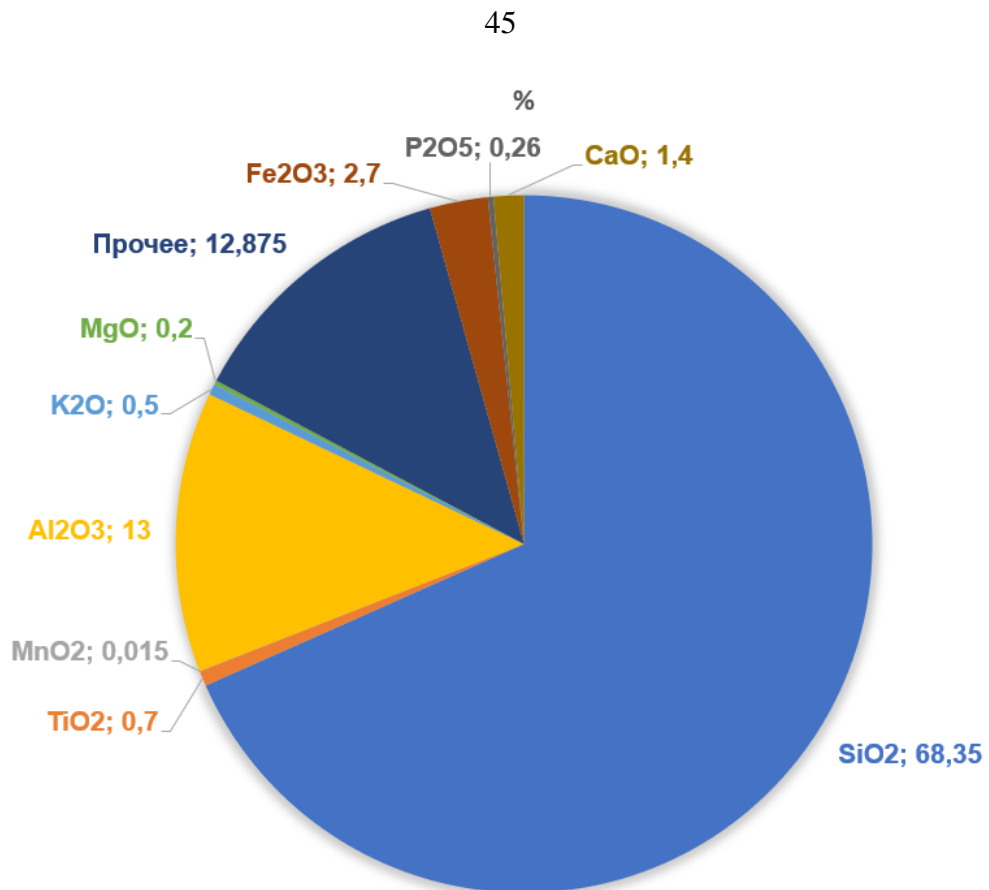


Рисунок 1.12 – Химический состав пород ТМО Подмосковского угольного бассейна

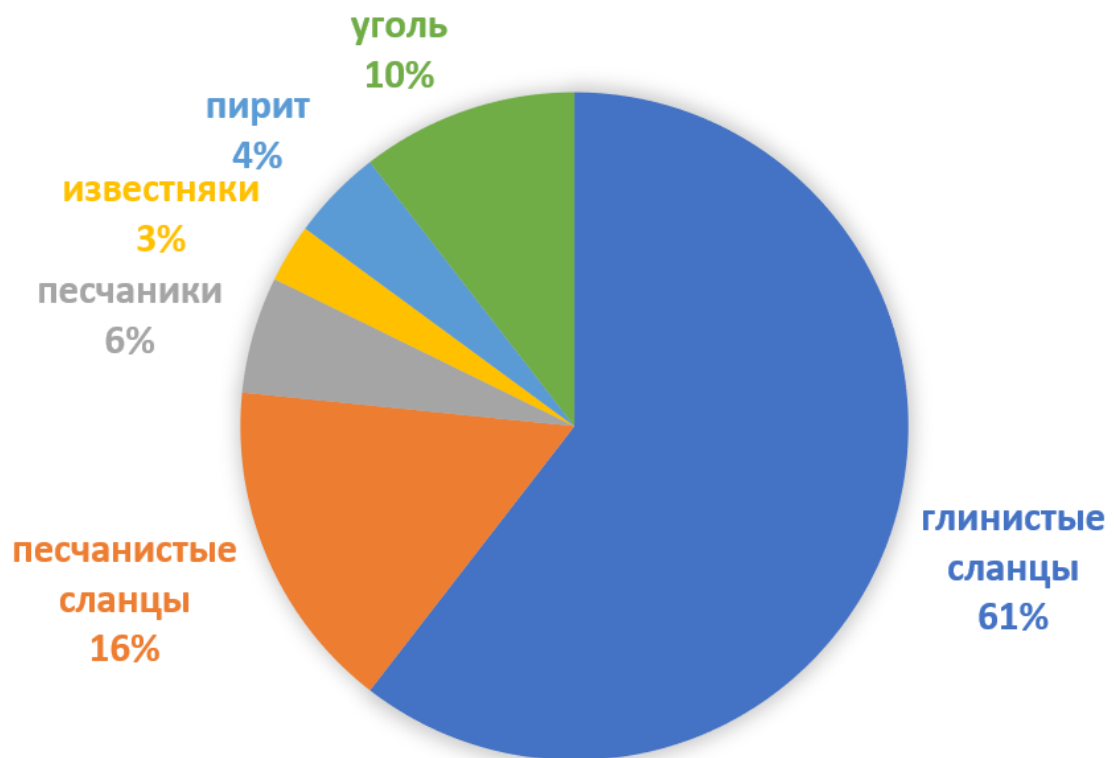


Рисунок 1.13 – Усредненный состав пород ТМО Донбасса

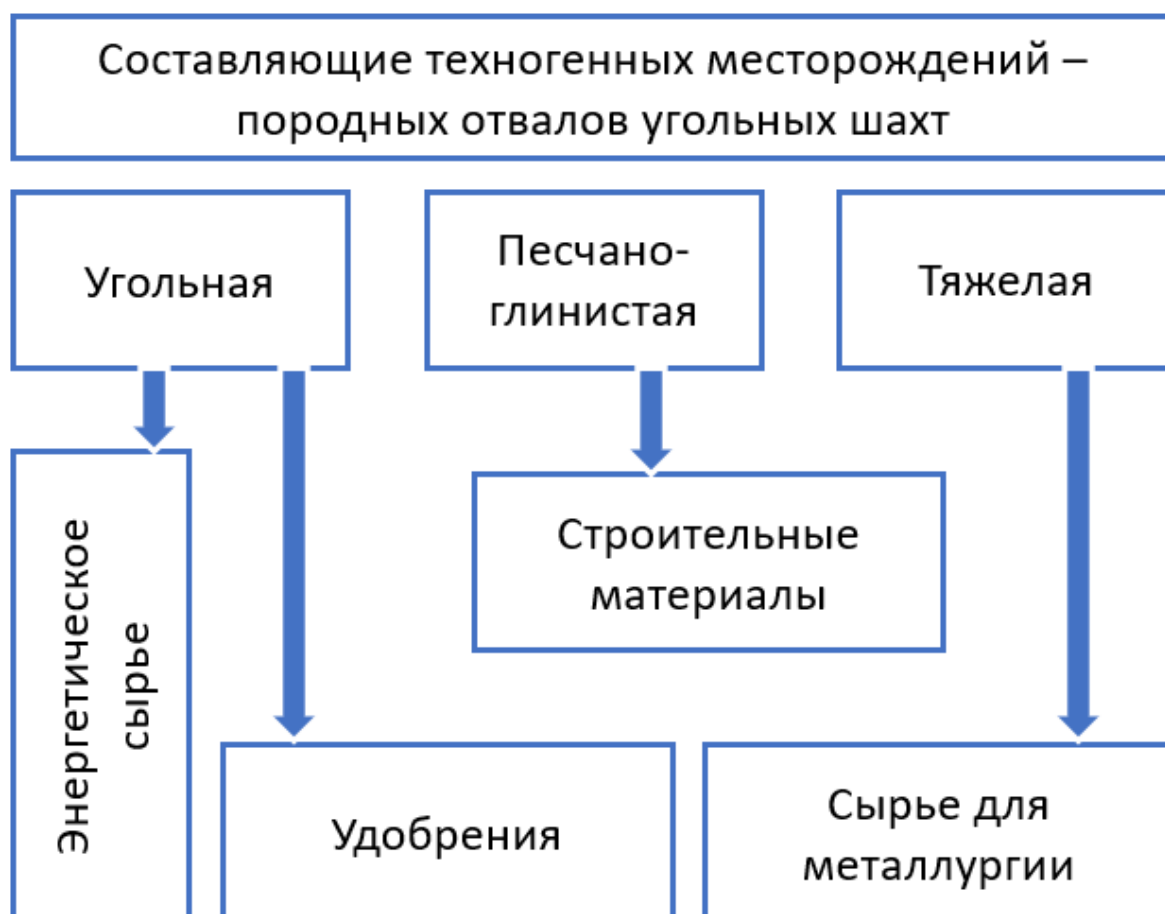


Рисунок 1.14 – Направления использования пород техногенных месторождений по составляющим

При высоком содержании в породах таких техногенных месторождений органического углерода одним из направлений утилизации может стать их использование в качестве низкокалорийного топлива для сжигания в топках «кипящего» (псевдосжиженного) слоя или в смеси с более калорийным топливом в тепловых агрегатах различных типов [94, 123, 134].

Из бурых углей можно получить гуминовые кислоты: это сложная смесь высокомолекулярных органических соединений – концентрат гумуса, лучшее питание для растений, кладезь микро- и макроэлементов, природный стимулятор роста. Гуминовые кислоты используются в сельском хозяйстве, медицине и других отраслях. Среди продуктов экстракции бурых углей можно получить бетулин и ситостерин, применяемые для изготовления лекарственных веществ. Бетулин повышает иммунитет растений, бетулиновая кислота обладает противоопухолевой активностью, а ситостерин – противовоспалительным

действием. Кроме того, из бурых углей можно экстрагировать горный воск, который применяется в точном литье по выплавляемым моделям в металлургии, полирующих и защитных композициях, бумажной, текстильной, кожевенной промышленности, косметике, бытовой химии и медицине. Стоимость одной тонны сырого горного воска составляет от 1 до 2 тысяч евро, а цена продуктов после очистки и этерификации увеличивается почти в 10 раз. Потребителями являются химические компании – производители удобрений и лекарственных препаратов, а также представители сельского хозяйства [123].

Песчано-глинистая составляющая пород техногенного месторождения в качестве строительных материалов используется в двух направлениях – для производства строительных материалов и для отсыпки строительных площадок, дамб и других земляных сооружений.

При производстве строительных материалов песчано-глинистая составляющая пород используется для производства: кирпича (как добавка в шихту или заполнитель (при производстве пустотелого кирпича)); искусственного пористого заполнителя для бетонов в виде щебня или гравия – аглопорита [123, 86].

Дефицит грунта для возведения земляных сооружений присутствует практически в каждом регионе. Большие объемы закладочного материала нужны при рекультивации открытых горных выработок. В горнопромышленных районах можно в необходимом объеме создавать резерв такого грунта из песчано-глинистой составляющей пород техногенных месторождений. Также резерв грунта необходим для нужд МЧС при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

В качестве сырья для металлургии тяжелая составляющая пород техногенных месторождений, сформированных в результате добычи угля, может быть использована как сырье для получения алюминия, галлия, германия, висмута и других ценных компонентов. Известны способы кислотного и биохимического выщелачивания алюминия из пород техногенных месторождений.

При биохимическом выщелачивании алюминия и флотации пород техногенного месторождения можно получить германий и галлий. Известны технологии биохимического кучного выщелачивание пород. При флотации сульфидов из пород ТМО можно извлечь висмут. Есть исследования по извлечению из пород отвалов угольных шахт железа и урана.

В работе [123] приводится схема комплексной переработки пород техногенных месторождений (рисунок 1.15).

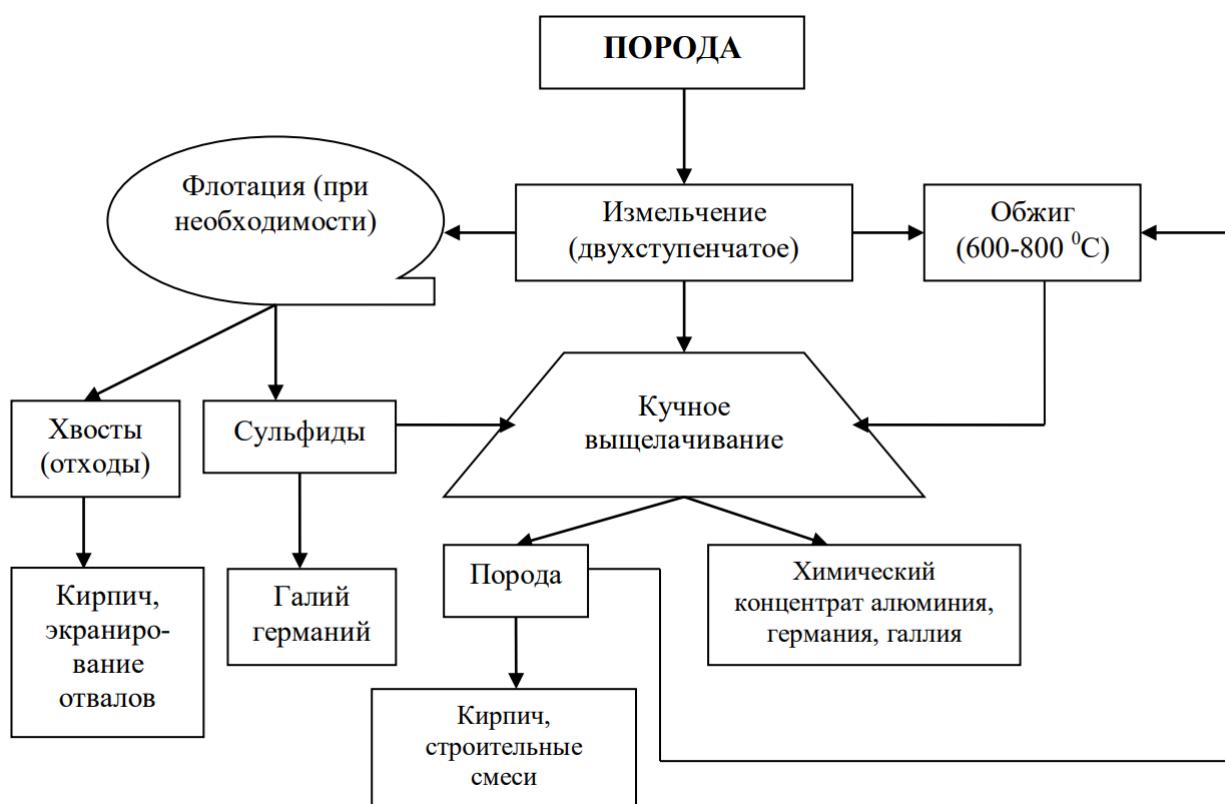


Рисунок 1.15 – Схема комплексной безопасной переработки пород техногенных месторождений [123]

Предполагается, что извлечение металлургического сырья при переработке породы по такой схеме составит до 15-20 кг алюминия, 5-10 кг галлия и 1,5-3 кг германия на тонну породы.

Существуют различные способы сепарации пород техногенных месторождений на составляющие, но при этом необходимо предусмотреть возможность селективной выемки таких пород при отработке техногенных месторож-

дений. Это может существенно сократить расходы на сепарацию, так как складирование пустых пород производится на различных стадиях строительства и функционирования угольных шахт и состав пород, поступающих в отвалы, сильно различается в зависимости от производственных процессов. Породы, поступающие в ТМО при проведении вскрышных, подготовительных и очистных выработок, отличаются по гранулометрическому, минералогическому и химическому составу. Так в породах, доставленных в отвал, после проходки стволов и полевых штреков преобладает песчано-глинистая составляющая. Угольная составляющая более распространена в отвальных породах, поступивших из очистных выработок.

Таким образом, техногенные минеральные образования, сформированные в результате добычи угля, являются потенциальными техногенными месторождениями, освоение и сохранение которых позволит не только получить дополнительные ресурсы, но и существенно снизить или исключить техногенную нагрузку на окружающую среду. Такие потенциальные техногенные месторождения сосредоточены в отдельных угледобывающих регионах, и технологические решения для их освоения и сохранения должны быть не только эффективными и безопасными, но и универсальными для применения на всех подобных объектах рассматриваемого региона.

Выводы

1 Анализ проблемы отходов производства и потребления в Российской Федерации показывает: основная доля отходов всех видов экономической деятельности приходится на добычу полезных ископаемых, большая часть которых образуется при добыче угля.

2 Площадь нарушенных земель увеличивается, масса неутраченных и необезвреженных отходов постоянно растет, становится больше объектов накопленного вреда окружающей среде.

3 При определении очередности и выборе направления снижения или исключения негативного воздействия ТМО на окружающую среду целесообразно применять нечеткую кластеризацию, позволяющую производить более «естественное» определение принадлежности объектов к кластерам с учетом параметров взаимовлияния ТМО и окружающей среды.

4 При рассмотрении воздействия ТМО на основные компоненты геологической среды выделению подлежат почвы и искусственные грунты, горные породы, рельеф территории, подземные воды и геодинамические процессы. Для окружающей среды необходимо дополнительно рассматривать растительность и поверхностные воды.

5 Для оценки техногенного воздействия минеральных образований на компоненты окружающей среды целесообразно рассматривать факторы взаимодействия техногенных минеральных образований с окружающей средой, такие как деформации ТМО, фильтрация воды сквозь тело ТМО, водная эрозия, ветровая эрозия.

6 Взаимовлияние природных и антропогенных геологических объектов зависит от их характеристик.

7 Техногенные минеральные образования, сформированные в результате добычи угля, являются потенциальными техногенными месторождениями, освоение и сохранение которых позволит не только получить дополнительные ресурсы, но и существенно снизить или исключить техногенную нагрузку на окружающую среду.

8 Потенциальные техногенные месторождения, представленные породными отвалами угольных шахт, сосредоточены в отдельных угледобывающих регионах, и технологические решения для их освоения и сохранения должны быть не только эффективными и безопасными, но и универсальными для применения на всех подобных объектах рассматриваемого региона.

Цель и идея работы. Постановка задач исследований

Целью работы является научное обоснование технологических решений, обеспечивающих эффективность и безопасность освоения и консервации ресурсов техногенных месторождений угледобывающего региона на основе оценки их воздействия на окружающую среду.

Идея работы заключается в том, что эффективность и безопасность технологических решений по освоению и сохранению ресурсов техногенных месторождений в масштабах угледобывающего региона достигается посредством создания новых технологий отработки и консервации, а также ранжирования указанных объектов по очередности их использования на основе оценки их воздействия на окружающую среду.

Современное состояние знаний по рассматриваемой проблеме обусловили необходимость постановки и решения следующих **задач исследований**:

1 Разработка и усовершенствование математических моделей оценки предельного равновесия массива техногенного месторождения, определения зон влияния переноса пыли и газовых загрязнителей с поверхности техногенных месторождений в приземном слое атмосферы, миграции токсичных компонентов в почву, инфильтрации стоков с поверхности техногенных месторождений на прилегающие территории.

2 Разработка методических положений комплексного мониторинга для оценки техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду и способов снижения такого воздействия с использованием зон влияния источника загрязнения в зависимости от основных влияющих факторов.

3 Разработка алгоритма выбора наилучших доступных технологий, обеспечивающих снижение или исключение воздействий техногенных минеральных образований на окружающую среду для определенных условий конкретного объекта.

4 Разработка технологических решений по освоению и сохранению техногенных месторождений угледобывающего региона на основе оценки их воздействия на окружающую среду.

5 Обоснование применения метода нечеткой кластеризации для ранжирования техногенных месторождений в масштабах угледобывающего региона, позволяющего определить очередность освоения данных объектов.

6 Осуществление выбора технологий отработки техногенных месторождений и консервации потенциальных техногенных месторождений на основе оценки их эффективности и безопасности.

ГЛАВА 2 АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ И ЛАБОРАТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

2.1 Физико-механические свойства породной массы техногенных минеральных образований

Физическое моделирование формирования насыпных техногенных минеральных образований разных типов [107] позволило выявить разделение пород, слагающих потенциальные техногенные месторождения, по гранулометрическому составу следующим образом: конические (рисунок 2.1 а), хребтовые (рисунок 2.1 б), плоские (рисунок 2.1 в).

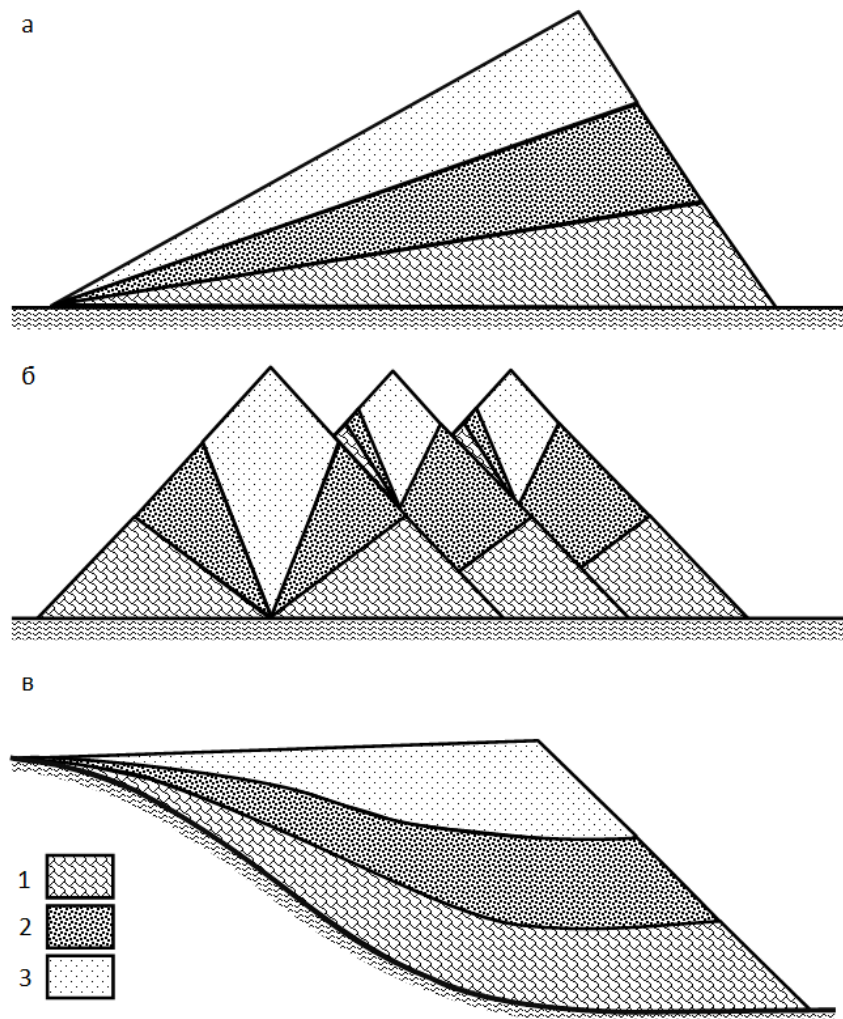


Рисунок 2.1 – Сечения моделей ТМО

Сечения всех насыпных ТМО показывают наличие трех различных областей (рисунок 2.1):

- 1) крупные отдельности;
- 2) отдельности средних размеров;
- 3) мелкие отдельности.

Исследования, приведенные в работе [107], показывают, что независимо от формы ТМО присутствуют закономерности перемещения мелких отдельностей в области отдельностей средних размеров, а иногда и в область крупных отдельностей. Натурные наблюдения при формировании ТМО, результаты гранулометрических и фракционных анализов породы, поступающей в отвалы и отбираемой с их откосов, а также исследование моделей ТМО различной формы дают представление о структуре ТМО в зависимости от технологической схемы складирования пород.

Подмосковный угольный бассейн

Анализ разнообразия загрязнителей и факторов, приводящих к их поступлению из ТМО, сформированных в результате добычи угля, в окружающую среду, позволяет утверждать, что ТМО представляют собой комплексные источники загрязнения. К загрязнению окружающей среды техногенными минеральными образованиями приводят вертикальная фильтрация воды, интенсивные воздушная и водная эрозии, которые являются транспортом для тяжелых металлов. Из-за переноса пыли на территориях вокруг ТМО происходит подкисление почв и увеличивается распространение тяжелых металлов. Это не зависит от стадии существования ТМО [156].

Горение еще более усложняет процесс воздействия ТМО на окружающие территории. Горение состоящих из отходов угледобычи ТМО – продолжительный процесс. Процесс горения начинается еще при эксплуатации отвалов и продолжается долгие годы. В результате горения и остывания ТМО изменяется их структура, фракционный, гранулометрический и вещественный состав [110, 31, 46].

Преобразования ТМО в результате горения в большой степени зависят от технологии их формирования, исходного фракционного состава пород и условий конкретного месторождения [130].

Технологии формирования техногенных минеральных образований служат причиной их слоистого строения. Свойства слоев породной массы в ТМО (влажность, крупность отдельностей пород, их состав) зависят от процессов подземной добычи угля, в результате которых образовались эти породы (проходка капитальных и подготовительных выработок, потери при очистных работах и т. д.). В отвалы поступала порода основной и непосредственной кровли угольного пласта, вмещающие породы с углем в виде разных по размеру отдельностей, а также деревянный и металлический технический мусор.

Наиболее активно процесс горения развивался в слоях с большой крупностью отдельностей и наличием угольной составляющей. Более рыхлые слои пород горели менее активно из-за пониженной аэрации. При интенсивном горении слои породы могли спекаться в пласты. При небольшой степени обжига сохранялось большее количество мелких и пылевидных частиц пород.

В области вертикальной осевой плоскости внутри ТМО нередко встречаются сильно прокаленные четко отграниченные блоки без доступа кислорода – участки непрогоревших пород. Это персистенты наиболее мелкообломочных, обогащенных глиной масс вершинной и хребтовой частей отвалов. Такие блоки чаще расположены с подветренной стороны ТМО, так как их тление с наветренной стороны более интенсивно. На естественной поверхности склонов ТМО, выше их середины по высоте, встречаются пологие углубления, заполненные рыхлым материалом, являющиеся источниками интенсивного пыления [136].

Важными факторами, влияющими на устойчивость откосов ТМО и интенсивность ветровой эрозии, являются дисперсный состав и влажность пород. На интенсивность ветровой эрозии также существенно влияют скорость и направление ветра.

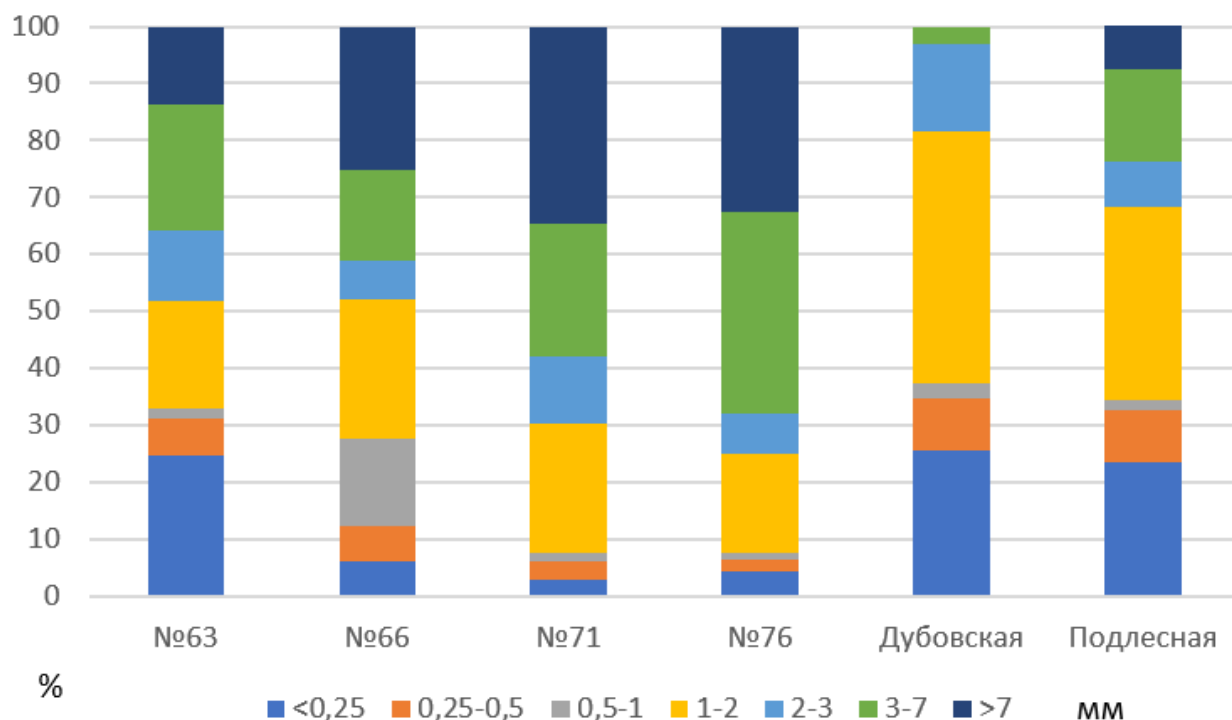


Рисунок 2.2 – Фракционный состав пород ТМО

Зависимость фракционного состава пород ТМО от условий месторождения, в процессе разработки которого оно было сформировано, можно проследить на рисунке 2.2 [98].

Донецкий угольный бассейн

В работе [156] приведены данные о лабораторно-полевых исследованиях объемной плотности породы ТМО № 1 шахты пос. Сутоган Лутугинского района Луганской области.

Пробы были отобраны в 30 точках в следующих частях ТМО:

- южный откос – тело оползня, контрольный участок оползня;
- северный откос – тело оползня, поверхность отрыва, контрольный участок оползня.

Кроме определения величин объемной плотности, на основе полученных данных была проанализирована степень уплотнения почв. Результаты исследований приведены на рисунке 2.3 [156].

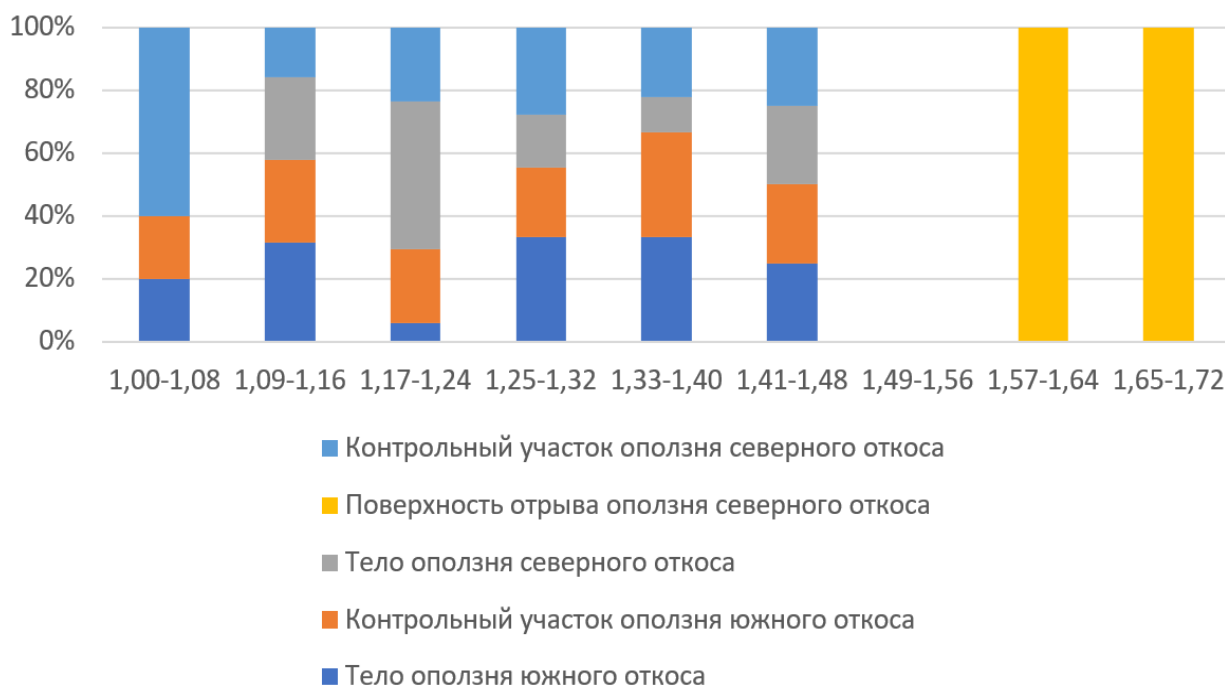


Рисунок 2.3 – Данные измерения объемной плотности на ТМО № 1 шахты пос. Сутоган

Как видно из рисунка 2.3, объемная плотность породы на рассматриваемом ТМО изменяется от 1,0 до 1,72 г/см³. По поверхности отрыва оползневой зоны северного откоса зафиксированы наиболее большие значения величины объемной плотности – 1,57-1,72 г/см³. Эти породы можно отнести к сильно уплотненным [156].

Большой интерес представляют результаты анализа механического состава пород ТМО № 1 шахты пос. Сутоган. На рисунке 2.4 представлены результаты анализа механического состава пород в виде процентного содержания фракций по экспозициям [156].

Был проведен анализ состава образцов пород по отдельным фракциям. Чтобы получить коэффициент структурности исследованы фракции:

- более 3 мм (камни);
- от 1 до 3 мм (гравий);
- от 0,25 до 1 мм.

Фракции в таких пределах разным образом влияют на свойства пород.

Согласно полученным данным в исследуемых образцах породы, отобранных на участках в теле северного и южного откосов, зафиксированы максимальные значения содержания фракции гравия. Содержание фракции гравия в пробах изменяется от 10,0 % (юго-восточный откос) до 21,8 % (северо-восточный откос).

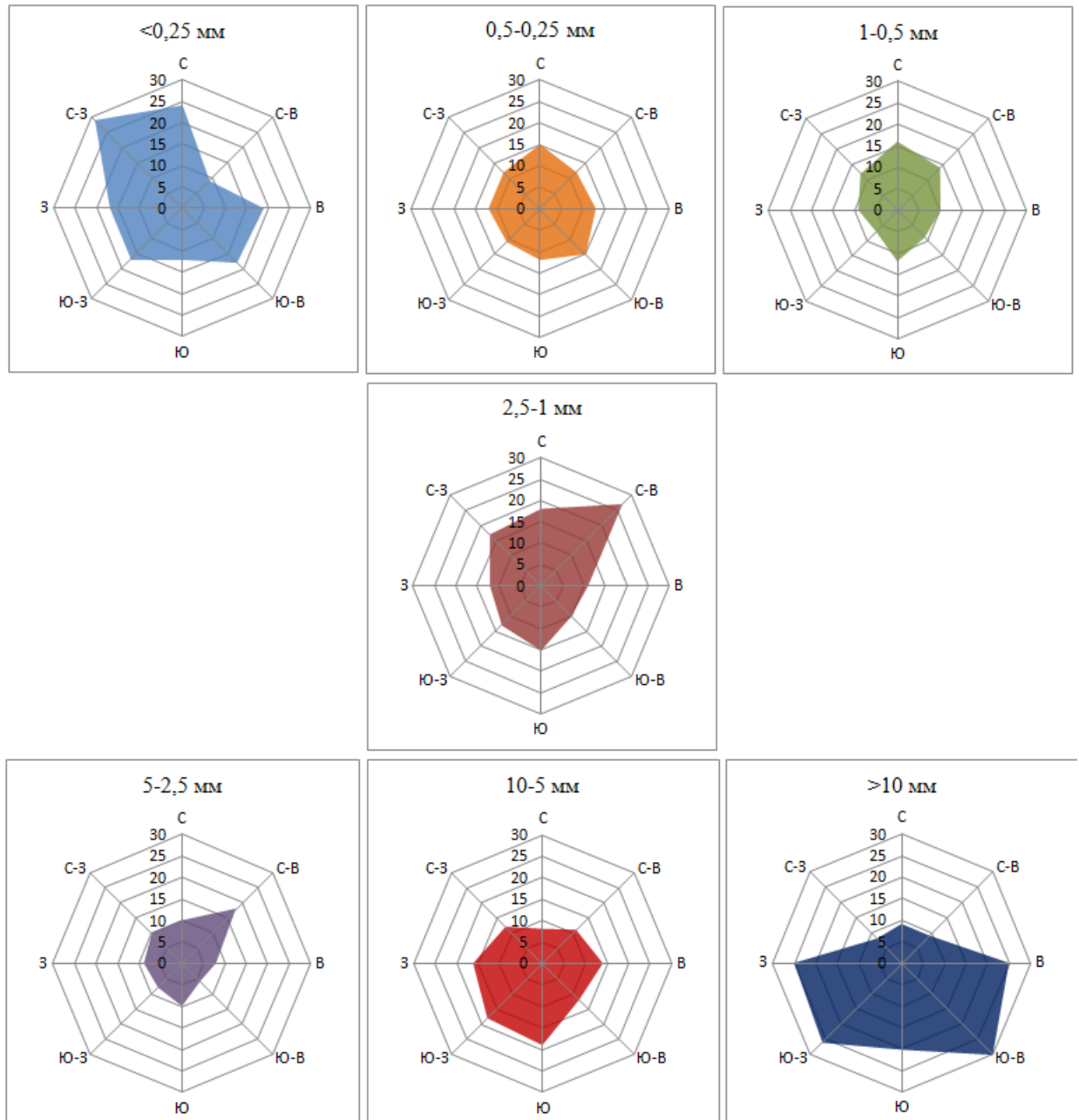


Рисунок 2.4 – Процентное содержание определенных фракций
ПО ЭКСПОЗИЦИЯМ

Проанализировав данные по экспозициям, получили следующий результат: максимальный показатель каменистости отмечен на юго-западном и западном откосе - 50 %; минимальный на северном откосе – 27,6 %. В процессе анализа было установлено, что максимальные значения каменистости наблюдаются по линии отрыва северного откоса и на участках в теле оползня южного и северного откосов, минимальные – в точках отбора проб под травянистой растительностью на контрольном участке северного откоса [156]. Грунт является сильно каменистым при содержании частиц диаметром >3 мм более 10 % (классификация грунтов по Н.А. Качинскому [112]).

2.2 Физико-химические свойства породной массы техногенных минеральных образований

В результате формирования ТМО породная масса измельчается и перемешивается, при этом в присутствии кислорода воздуха происходит активизация физико-химических процессов.

Многие исследователи обращали пристальное внимание на проблему выделения пыли с поверхности ТМО [31, 98, 26, 138, 141, 154]. В данных работах высказывается мнение о том, что процесс пылевыведения с поверхности ТМО не имеет серьезного негативного воздействия на окружающие территории из-за невысокой интенсивности выделения пыли и ее низкой токсичности.

В составе пород, слагающих ТМО, содержатся [98]:

- сера – 5 и более %;
- пирит – до 10%;
- уголь – 5-20 %.

Наличие серы в составе пород ТМО способствует возникновению следующих соединений (таблица 2.1): диоксида серы, сернистой кислоты, серной кислоты.

Интенсивное горение отвала в процессе работы предприятия происходит осенью и весной. Горение отвала продолжается в течение 5-7 лет после

закрытия шахты. Образование серной кислоты не прекращается и после окончания горения.

Таблица 2.1 – Образование соединений из находящейся в составе пород ТМО серы

№	Соединение	Формула	Причина образования
1	Диоксид серы	$S + O_2 = SO_2$	Окисление серы при высокой температуре
2	Сернистая кислота	$SO_2 + H_2O = H_2SO_3$	Взаимодействие диоксида серы с атмосферными осадками
3	Серная кислота	$2H_2SO_3 + O_2 = 2H_2SO_4$	Поглощение раствором сернистой кислоты кислорода из воздуха

Возникновению диоксида серы, сернистой и серной кислот также способствует наличие пирита в составе пород ТМО (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Образование соединений из находящегося в составе пород ТМО пирита

№	Соединение	Формула	Причина образования
1	Диоксид серы	$4FeS_2 + 11O_2 + 6H_2O = 4Fe(OH)_3 + 8SO_2$	Холодное окисление пирита
2	Сернистая кислота	$SO_2 + H_2O = H_2SO_3$	Взаимодействие диоксида серы с атмосферными осадками
3	Серная кислота	$2H_2SO_3 + O_2 = 2H_2SO_4$	Поглощение раствором сернистой кислоты кислорода из воздуха

Сернистая кислота - непрочное соединение, которое существует только в водных растворах.

Оценить роль серной кислоты, образуемой в техногенном минеральном образовании, в процессах воздействия ТМО на окружающие территории можно рассмотрев схему, представленную на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Роль серной кислоты ТМО в процессах воздействия на окружающие территории

В связи с этим можно утверждать, что образование серной кислоты в ТМО, в свою очередь, запускает ряд процессов, определяющих интенсивность влияния ТМО на окружающие территории.

Подмосковный угольный бассейн

В разных районах Тульской области проводился рентгенофлуоресцентный анализ состава пород техногенных минеральных образований и показатель их кислотности [98]. Были исследованы ТМО разных форм, размеров и сроков существования. Результаты приведены на рисунке 2.6.

Шахта	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Fe	Co	Mn	Cr	pH
№1	30,2	32,4	12,4	31	16,5	0,92	11,8	67,4	55,8	1,8
№2	26	43,4	13,6	47,7	23,1	1,783	5,53	78,5	55,5	1,8
№20	49,6	69,6	16,8	24	20,2	3,523	0	25,7	60,7	1,7
№21	80	50,6	16,8	34,8	15,6	5,8	1,4	17,7	113	
№22	65,6	107	25,2	23,3	12,9	3,161	0	29,2	60,1	1,4
№24	66,8	73,1	20,1	41,8	23,4	6,396	0	0	79,8	2,9
№25	39,6	55,6	16,9	28,8	19,2	3,503	0	25,3	66,2	2,75
№27	46,3	63,08	17,99	15,45	18,35	4,521	0	12,84	81,11	3
№2	46,2	22	9,6	32,4	13,2	1,695	6	99,5	53,2	6,7
№5	48,9	61,1	21	90,8	63,2	5,494	34,8	286,5	98	4,8
№6	88,3	75,8	19,1	49,3	37,6	8,44	0	0	61,9	1,75
Рассошинская 2	86,12	52	14,96	41,9	19,6	3,32	0,49	31,4	63,9	1,2
Партизан	34,78	14,71	9,406	20,75	21,75	1,273	8,361	58,37	68,63	3,5
Бибиковская 1	79,7	57,2	16,9	86,3	34,6	3,57	2,9	49,7	91,3	4,7
Бибиковская 2	44,9	76,76	18,13	26,79	22,04	2,509	0	128,1	65,38	3,28
№67	48	53,8	14,4	0	6,2	1,47	9,25	52,1	58	2
№68	25,8	146,1	24,8	15,3	16,6	3	0	55,7	80	

Рисунок 2.6 – Показатель кислотности и содержание тяжелых металлов в породах ТМО Тульской области

Пределы изменения показателя кислотности и содержание тяжелых металлов как в породной массе ТМО, эксплуатация которых прекращена более 50-70 лет назад, так и в исходном массиве пород показаны на рисунках 2.7 и 2.8. Представленные данные говорят о высокой кислотности породной массы, которая провоцирует подвижность содержащихся в ней тяжелых металлов.

О наличии длительных физико-химических процессов и многообразии факторов, влияющих на их протекание в теле ТМО, свидетельствует тот факт, что при статистическом анализе результатов отборов проб на ТМО, образованных в ранний и более поздний период, связь между концентрацией серной

кислоты и наличием тяжелых металлов подтверждается только для старых ТМО. При этом в породах ТМО, сформированных недавно, концентрация марганца ниже, чем в массиве пород месторождения. Это говорит о том, что марганец из ТМО активно перемещается в окружающую среду. Негативное влияние марганца на здоровье человека достаточно изучено. Предельные концентрации марганца в поверхностных водах, в атмосферном воздухе и в почве известны [98].

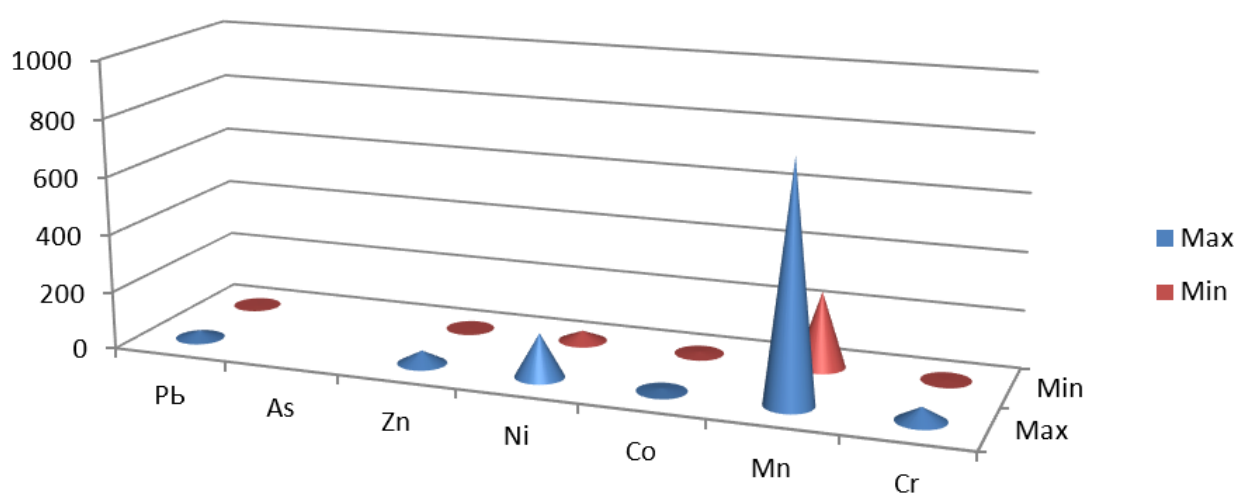


Рисунок 2.7 – Концентрация металлов в исходном массиве пород

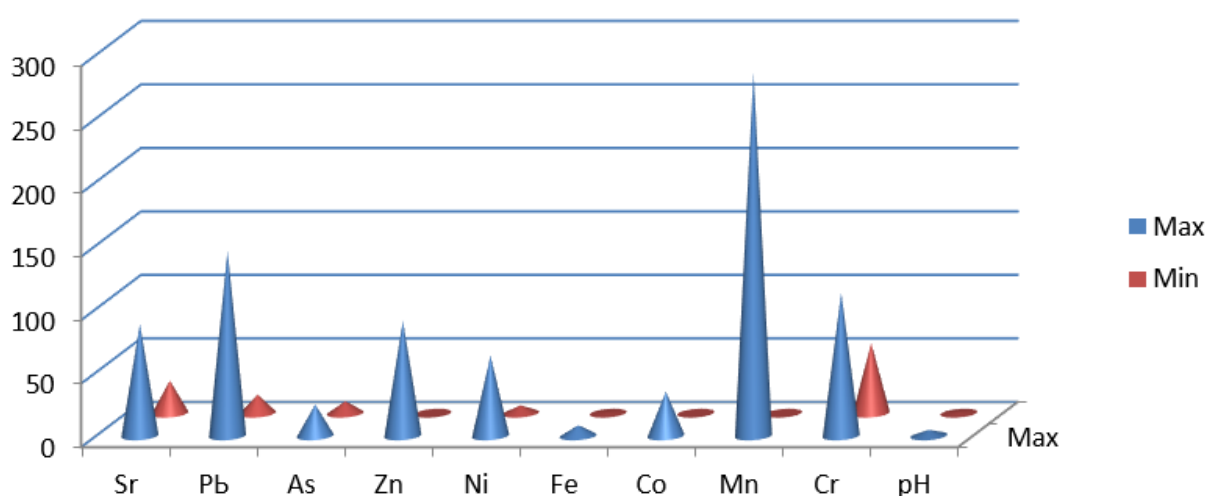


Рисунок 2.8 – Концентрация металлов в ТМО

Растворимость солей тяжелых металлов в фильтрате ТМО обуславливается уровнем его рН и лимитирует интенсивность поступления в окружающую среду тяжелых металлов из ТМО [121, 161, 80].

Исследование экстракции тяжелых металлов и пород ТМО при различной концентрации серной кислоты показало, что существенной экстракции свинца, мышьяка, цинка и железа при концентрации серной кислоты 10 и 1 % не наблюдается. Никель, марганец и хром экстрагируются при любой концентрации серной кислоты, но при концентрации 50 % их подвижность растет (рисунки 2.9 – 2.11).

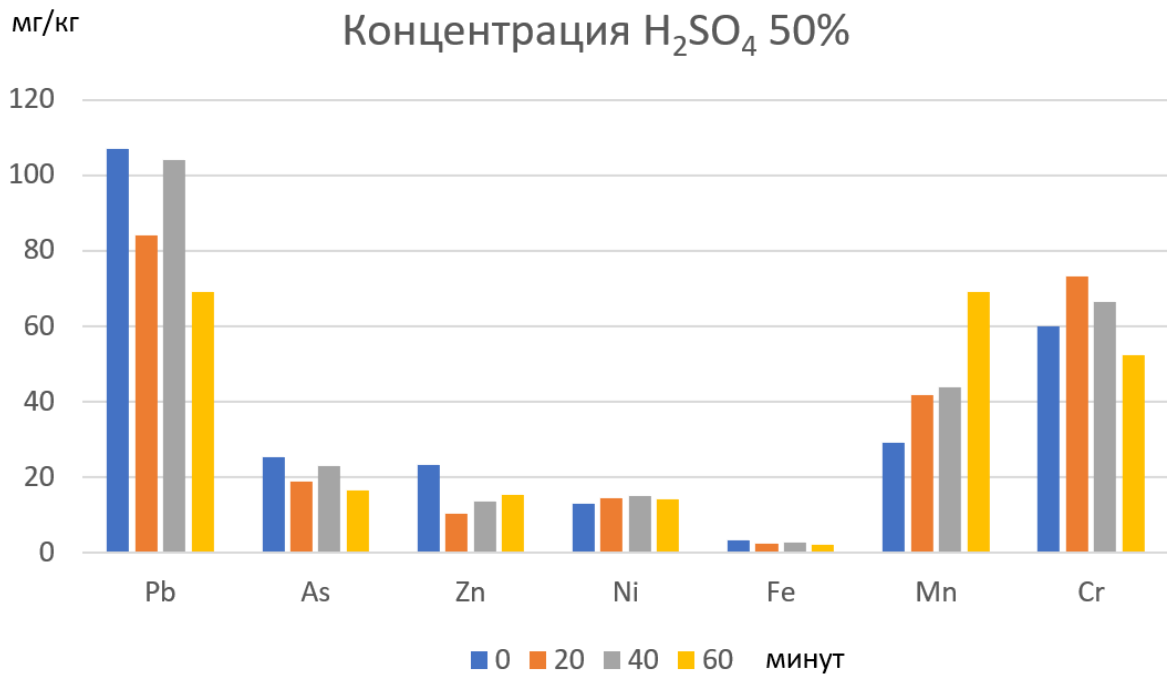


Рисунок 2.9 – Экстракция тяжелых металлов из пород ТМО серной кислотой (концентрация 50 %)

Следовательно, техногенные минеральные образования, сформированные в результате добычи угля в Подмосковном угольном бассейне, являются источниками поступления на окружающие территории породы, кислотных растворов и следующих элементов: никель, марганец, хром. Чем выше кислотность в ТМО, тем активнее перечисленные элементы будут экстрагироваться [98].

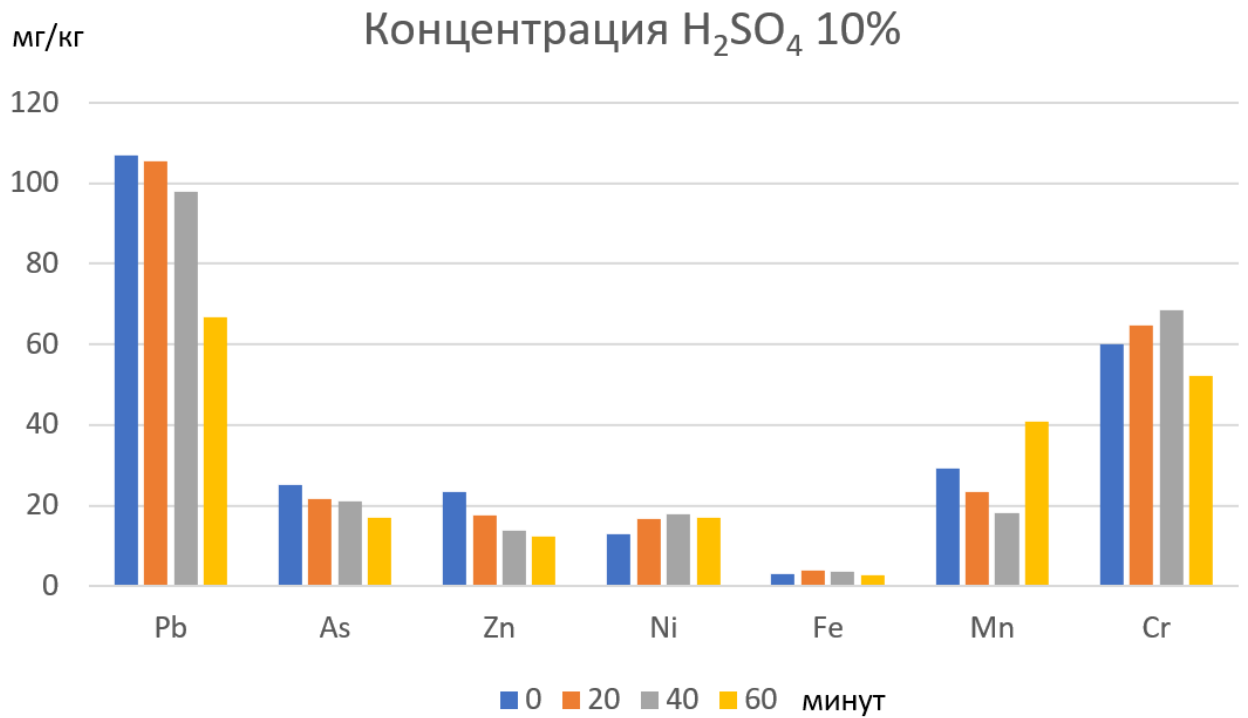


Рисунок 2.10 – Экстракция тяжелых металлов из пород ТМО серной кислотой (концентрация 10 %)

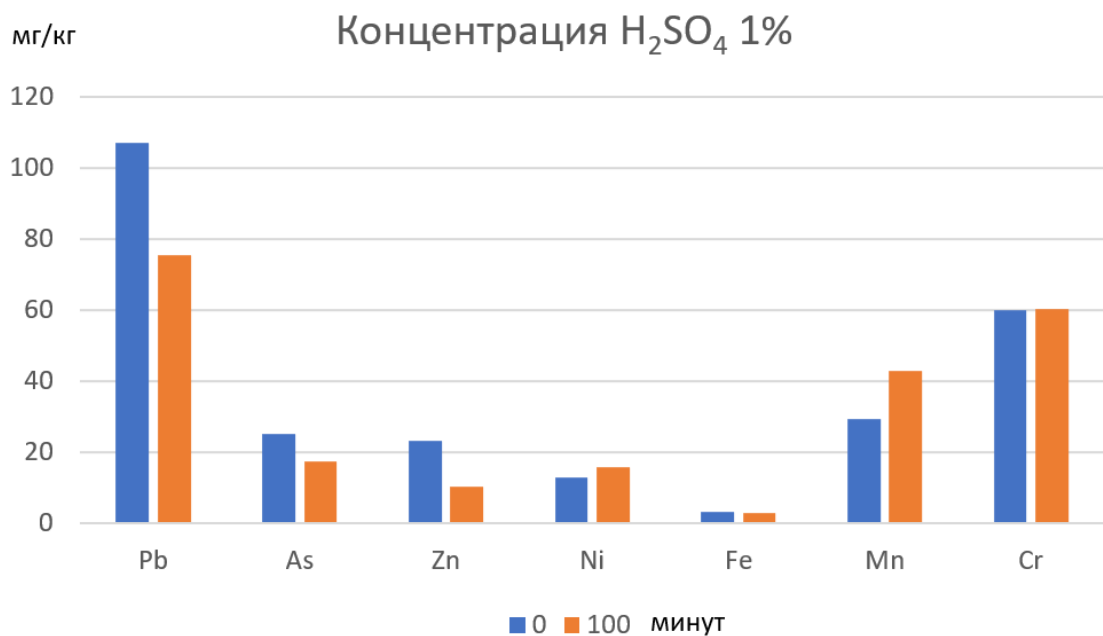


Рисунок 2.11 – Экстракция тяжелых металлов из пород ТМО серной кислотой (концентрация 1 %)

Очень интересны результаты лабораторного эксперимента по выявлению закономерностей изменения показателя рН из-за диффузии серной кислоты в массиве породы [98]. Эксперимент проводился в три этапа. На первом этапе экспериментальная емкость наполнялась снизу породой с уровнем кислотности, равным 2, а верхняя – с уровнем кислотности, равным 6,5 (рисунок 2.12).

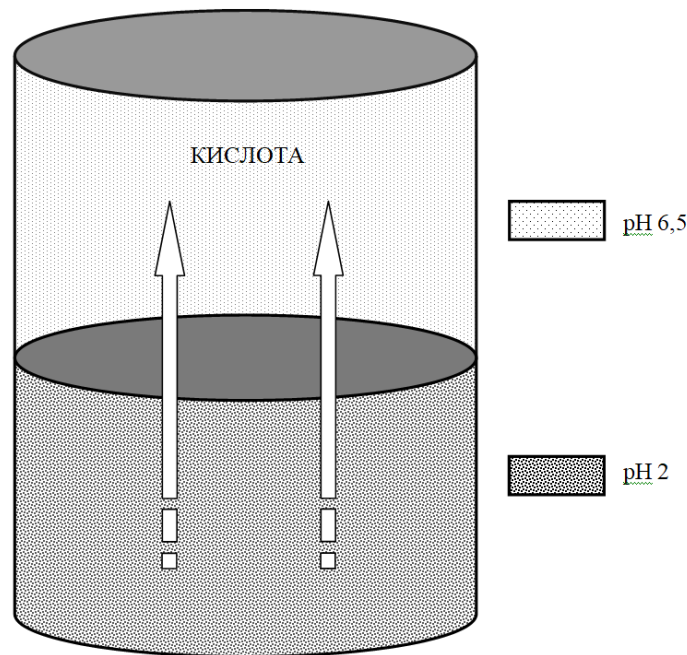


Рисунок 2.12 – Схема эксперимента

На втором этапе экспериментальная емкость наполнялась снизу породой с уровнем кислотности, равным 1,4, а верхняя – с уровнем кислотности, равным 2,5. На третьем этапе слои породы менялись местами, т. е. нижний слой имел уровень кислотности 2,5, а верхний – 1,5.

Результаты использовались для создания модели, описывающей изменения уровня кислотности в зависимости от глубины.

$$P_h(t) = a_0^{(h)} + a_1^{(h)}t + a_2^{(h)}t^2, \quad (2.1)$$

где $P_h(t)$ – уровень кислотности на глубине h через время t .

Это уравнение можно представить в матричной форме следующим образом:

$$P_h(t) = A_h^T \times T, \quad (2.2)$$

где A_h – вектор показателей модели, а $T^T = \begin{bmatrix} 1 & t & t^2 \end{bmatrix}$.

Показатели модели A_h определяются следующим образом:

$$A_h^T = \left[\Theta^T \times \Theta \right]^{-1} \Theta^T \times P_h^*, \quad (2.3)$$

где P_h^* – вектор значений исходной табличной функции, Θ – матрица времени:

$$\Theta = \begin{bmatrix} 1 & t_0^* & t_0^{*2} \\ 1 & t_1^* & t_1^{*2} \\ 1 & t_2^* & t_2^{*2} \end{bmatrix}, \quad (2.4)$$

где t_i^* – значения времени, для которых построена исходная табличная функция $P_h^*(t)$.

По результатам первого этапа эксперимента была построена диаграмма (рисунок 2.13).

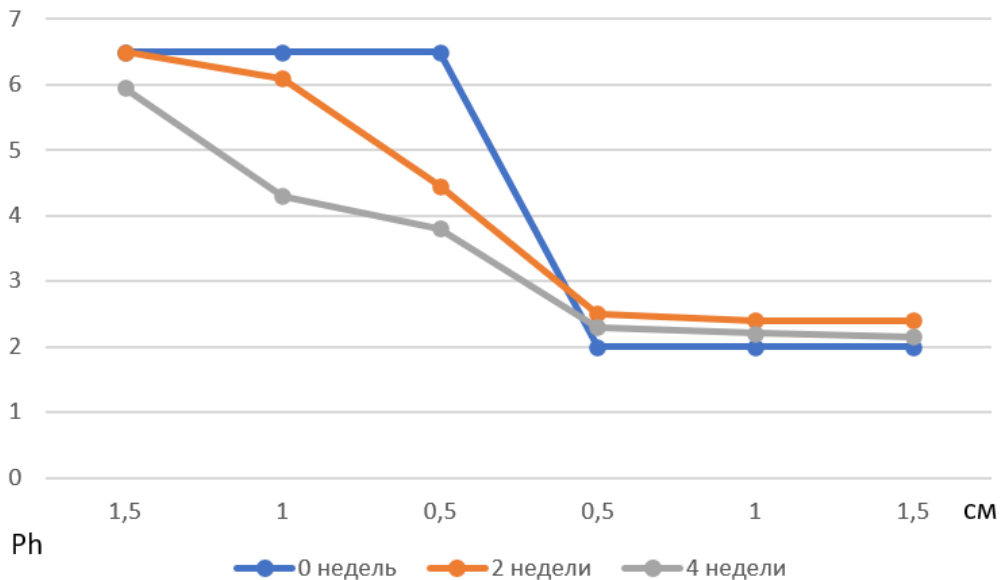


Рисунок 2.13 – Изменение уровня кислотности по глубине образца

Анализ показал, что скорость диффузии $2H_2SO_4$ в породе составляет

1,5 см в месяц. Второй и третий этапы эксперимента подтвердили этот результат. Из этого можно сделать следующий вывод: несмотря на то, что уровень кислотности на поверхности ТМО может понижаться из-за атмосферных осадков, через некоторое время он восстановится из-за диффузии серной кислоты из тела ТМО. Т. е. пыль с поверхности ТМО обладает кислотными свойствами и может рассматриваться как один из элементов загрязнения территорий, прилегающих к ТМО [98].

Донецкий угольный бассейн

В работе [156] приведены результаты исследования физико-химических свойств пород техногенного минерального образования, сформированного в результате работы шахты № 1 в пос. Сутоган. Визуальный осмотр и отбор проб производился систематизированно по сторонам света и по отдельным характерным участкам оползня ТМО (рисунки 2.14 – 2.17).

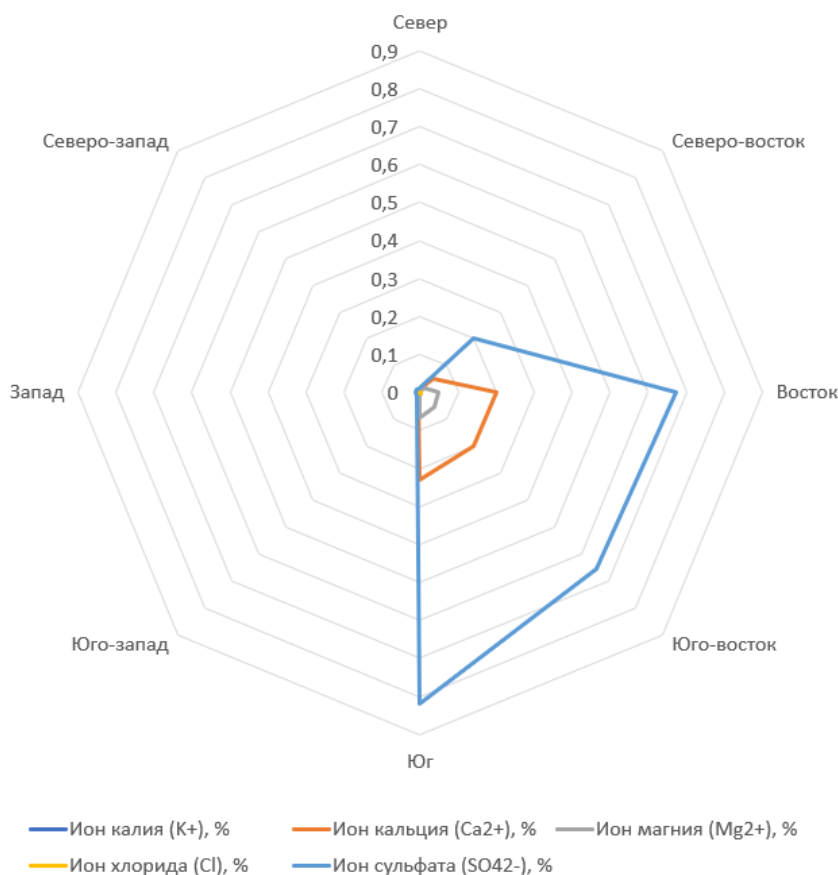


Рисунок 2.14 – Процент водорастворимых солей в породах ТМО по сторонам света

В результате визуального осмотра было выявлено различие северного и южного откоса ТМО по цвету пород и наличию белого налета, говорящего о сульфатной минерализации южного откоса. Анализ проб породы подтвердил отличие процента водорастворимых солей и уровня кислотности в пробах различных откосов и характерных участков.



Рисунок 2.15 – Уровень кислотности пород ТМО по сторонам света

Относительно высокий процент водорастворимых солей в пробах породы, отобранных с северо-восточного, восточного, юго-восточного и южного откосов ТМО, а также в породах оползней в южной и северной частях ТМО. Повышенный уровень кислотности в пробах породы, отобранных с восточного, юго-восточного и южного откосов ТМО, а также в породах оползня [156].

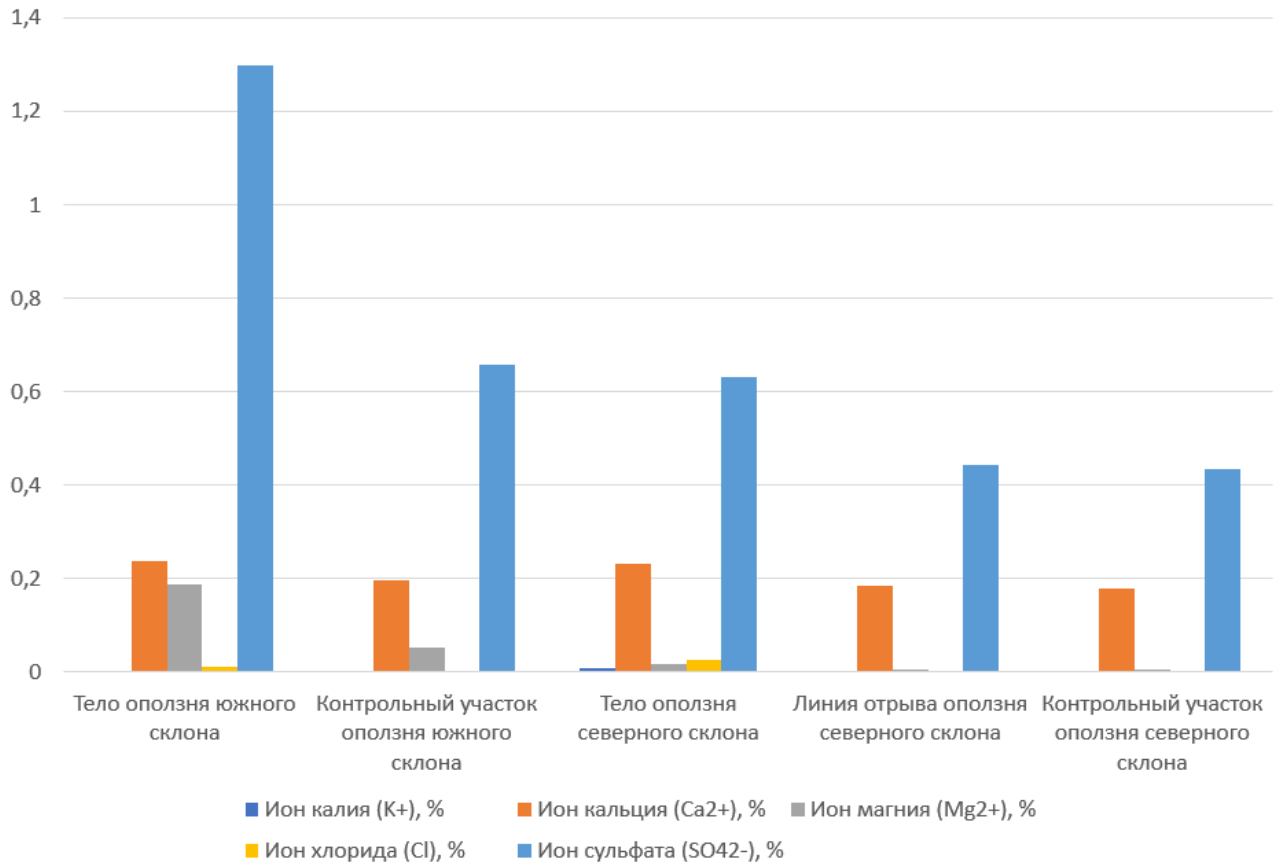


Рисунок 2.16 – Процент водорастворимых солей в породах ТМО по характерным участкам оползня

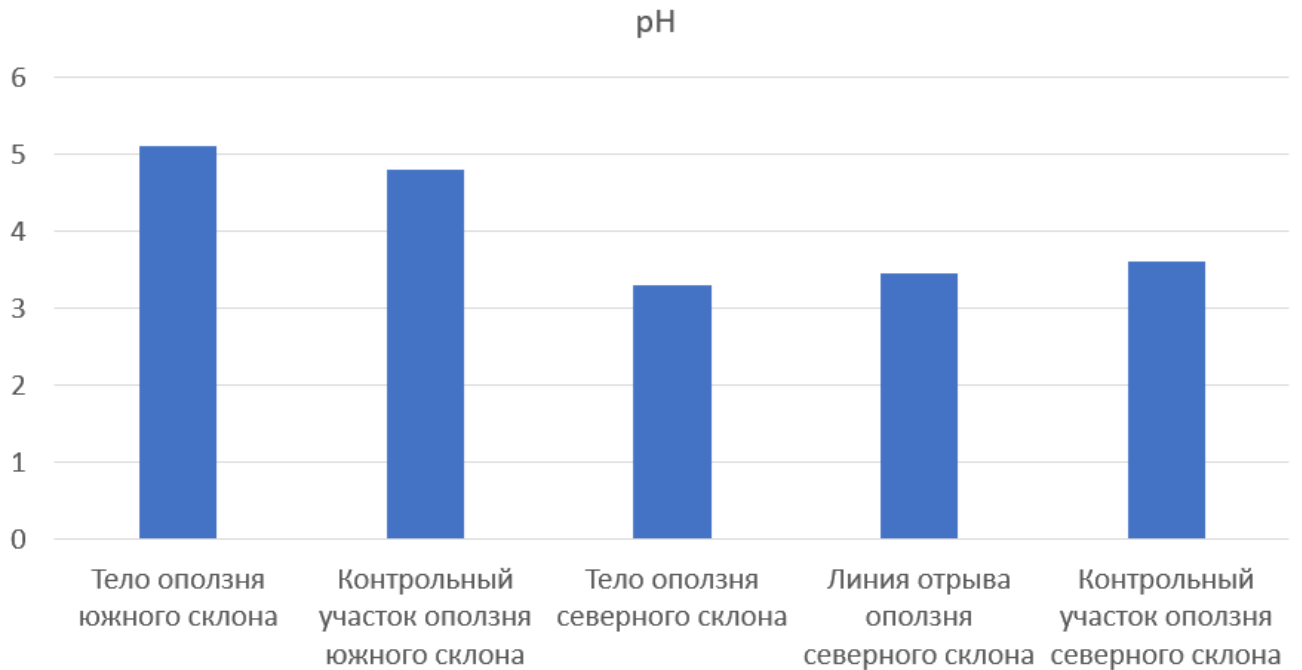


Рисунок 2.17 – Уровень кислотности пород ТМО по характерным участкам оползня

Данное исследование показывает, что и в Донецком угольном бассейне физико-химические свойства пород техногенных минеральных образований способствуют загрязнению территорий тяжелыми металлами и пылью с высокой степенью кислотности.

2.3 Водно-физические свойства породной массы техногенных минеральных образований

Подмосковный угольный бассейн

На интенсивность ветровой эрозии и деформации техногенных минеральных образований большое влияние оказывает влажность пород. Увеличение процента влажности пород влечет за собой снижение интенсивности ветровой эрозии и повышение вероятности возникновения деформаций.

По данным климатических наблюдений и прогнозирования, диапазон преобладающих в Тульской области скоростей ветра составляет 2-7 м/с.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в таком интервале скоростей ветра независимо от процента влажности породы при постоянном и пульсирующем потоке воздуха интенсивность пыления ТМО для определенного размера частичек породы сильно возрастает при превышающей 5 м/с скорости воздуха [18].

Данные о влажности породной массы и зависимости от нее интенсивности пылевыведения приведены на рисунке 2.18.

В ходе эксперимента было установлено, что при увлажнении ТМО до 10-12 % пыление начинается через 20-40 минут в зависимости от скорости ветра и температуры. Влажность верхнего слоя ТМО снижается с 10-12 % до 5-6 % при обдувании его поверхности воздушным потоком со скоростью 2-5 м/с.

Интенсивность пылевыведения пылеобразующей поверхности зависит от влажности следующим образом: адгезионное взаимодействие усиливается при смачивании пыли и приводит к слипанию частиц, которое препятствует

их переходу в аэрозоль.

Когда твердая частица соприкасается с водой, появляются электростатические силы взаимодействия, притягивающие к поверхности частицы диполи воды. Количество молекул воды, находящихся в связанном состоянии, напрямую зависит от удельной поверхности частиц. Чем больше связанных молекул воды, тем меньше пылевыведение с поверхности ТМО (рисунок 2.18).

Перераспределение влаги в ТМО происходит постоянно в зависимости от изменения погодных условий, что приводит к изменению потенциала пыления ТМО.

Уровень кислотности пыли также зависит от изменения процента влажности пород техногенных минеральных образований.

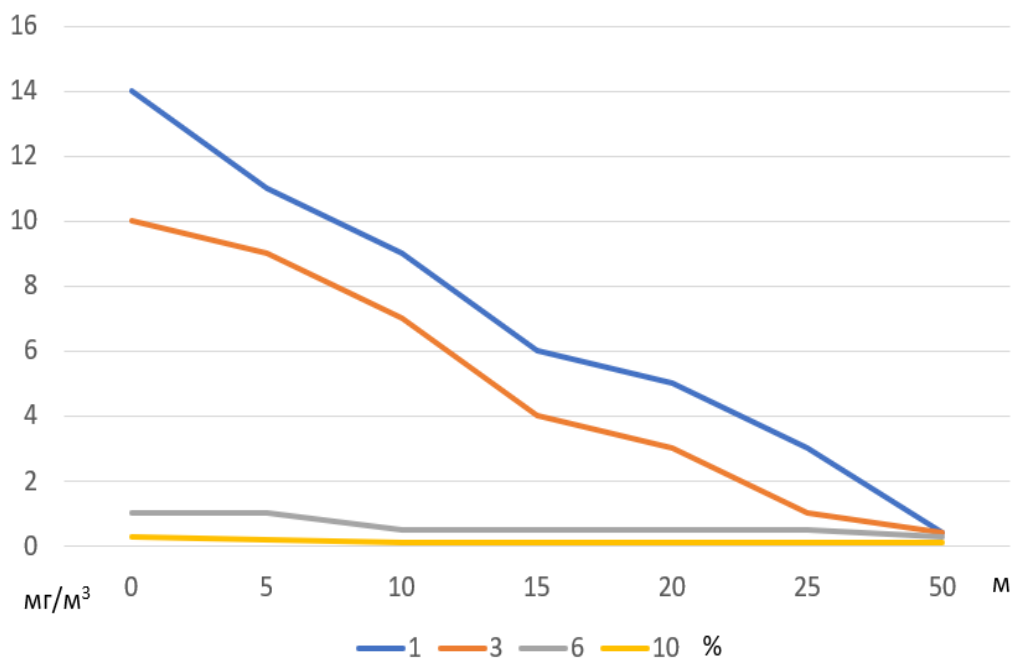


Рисунок 2.18 – Изменение запыленности воздуха при различной влажности материала на удалении от ТМО

Миграции кислотных соединений и, как фактор пылеобразования, процессы сушки и смачивания породной массы до глубины 1,5 м были исследованы в процессе натуральных наблюдений, проведенных на ТМО шахты «Подлесная» (отсыпка ТМО закончена в 1992 году) и на ТМО шахты № 6 треста «Скуратовоуголь» (разработка завершилась в 1954 году). Исследования позволили получить зависимости, представленные на рисунках 2.19 – 2.22.

ТМО шахты Скуратовская

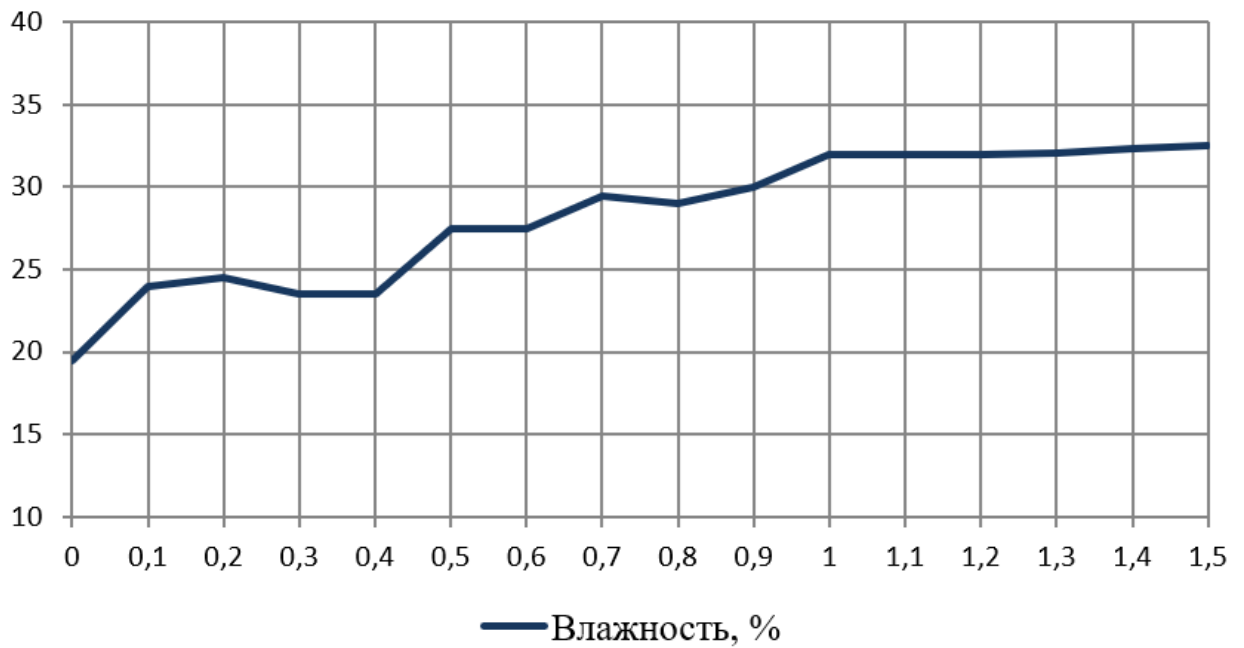


Рисунок 2.19 – Распределение влажности (%) породной массы ТМО шахты «Скуратовская» по глубине (м)

ТМО шахты Скуратовская

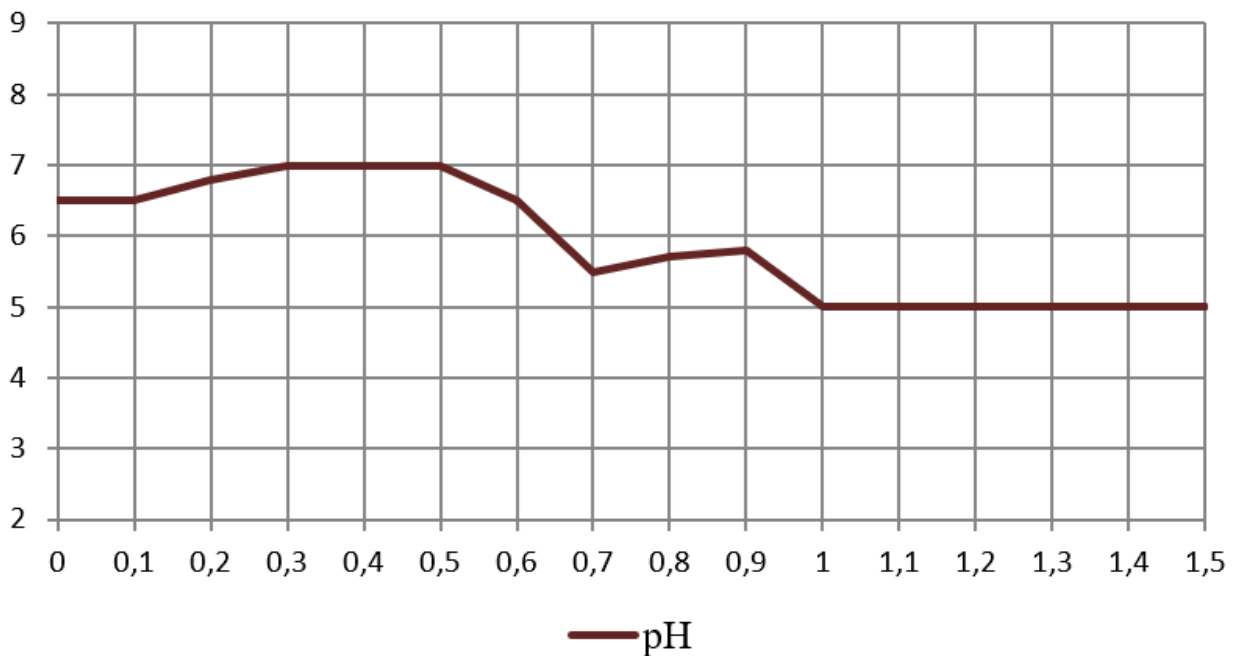


Рисунок 2.20 – Распределение показателя pH породной массы ТМО шахты «Скуратовская» по глубине (м)

ТМО шахты №27

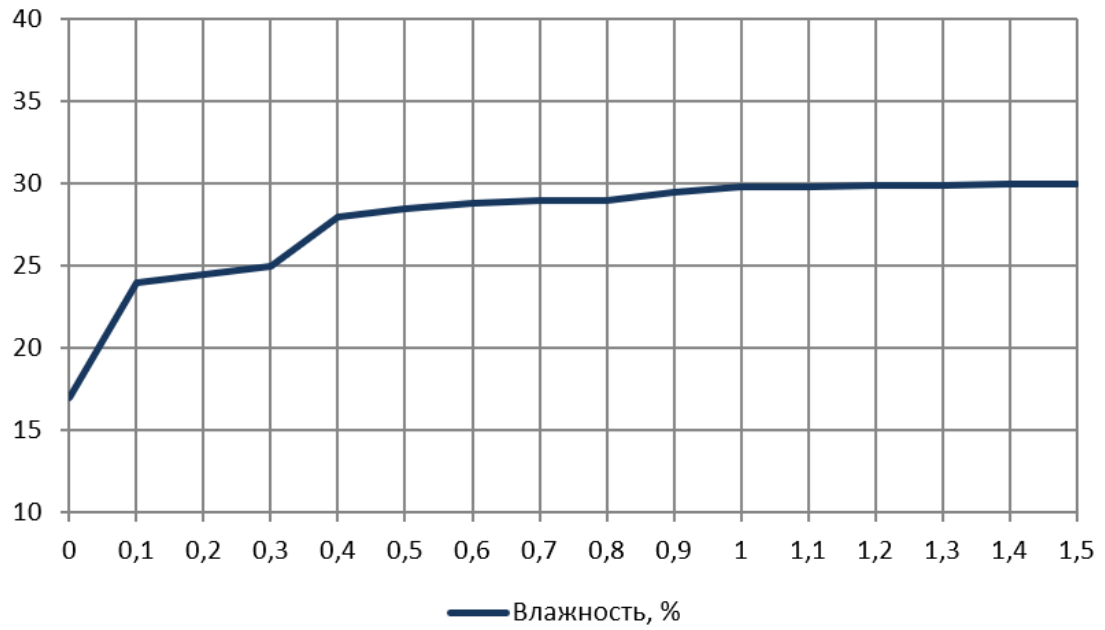


Рисунок 2.21 – Распределение влажности (%) породной массы ТМО шахты № 27 по глубине (м)

ТМО шахты №27

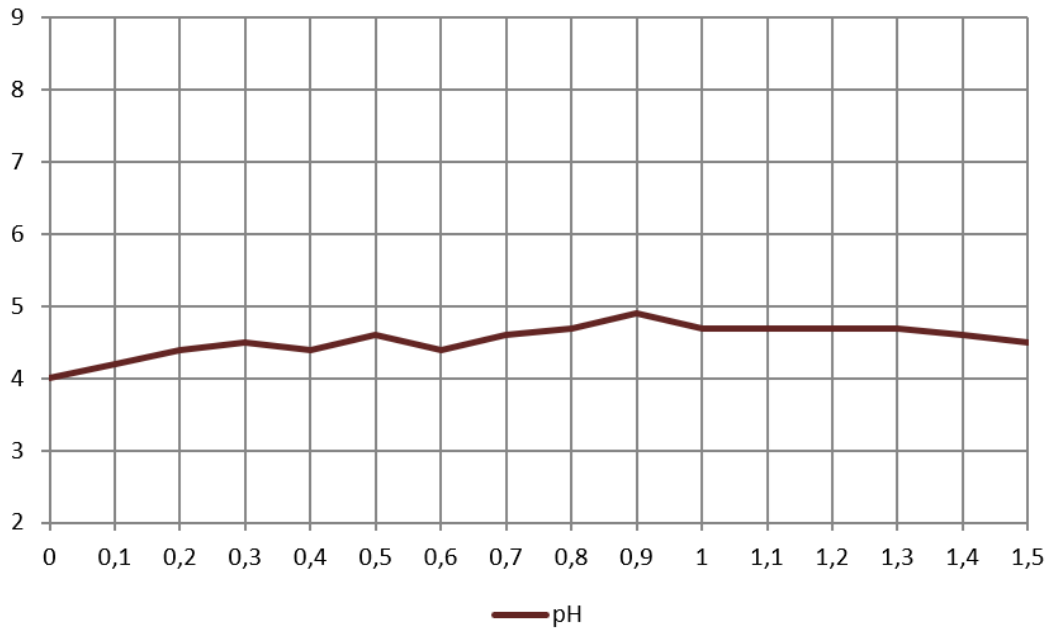


Рисунок 2.22 – Распределение показателя pH породной массы ТМО шахты № 27 по глубине (м)

Процесс увлажнения породной массы был изучен при лабораторных исследованиях, проведенных на керны высотой 1 м и диаметром 100 мм. Полученные зависимости приведены на рисунках 2.23, 2.24. В керны со скоростями, равными характерным для Тульской области интенсивности осадков (1, 3, 5 и 10 мм/мин) подавалась дистиллированная вода. Была произведена имитация дождей. Максимальный объем воды соответствовал выпадению 200 мм осадков. Отслеживать динамику увлажнения породной массы в процессе эксперимента позволял систематический анализ влажности породы на различной глубине от поверхности. Систематически производился контроль влажности породной массы, что в ходе эксперимента позволило анализировать изменения увлажнения породы.

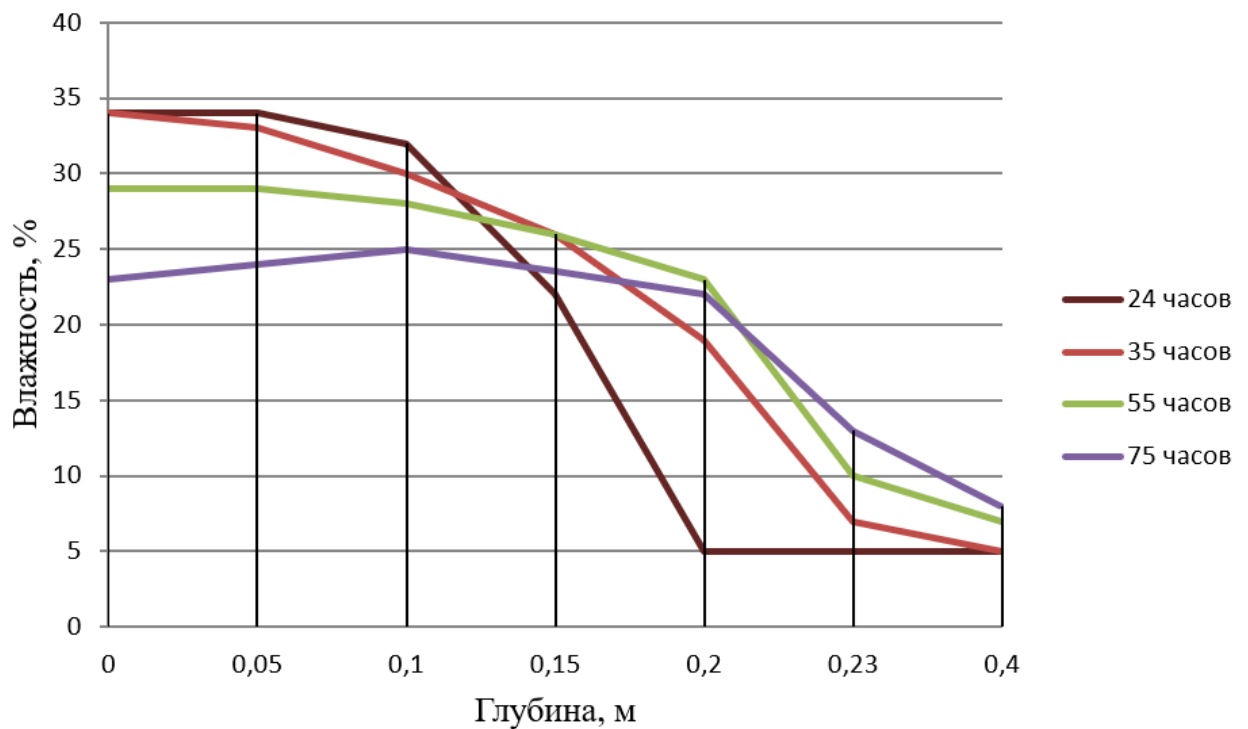


Рисунок 2.23 – Распределение влаги по глубине

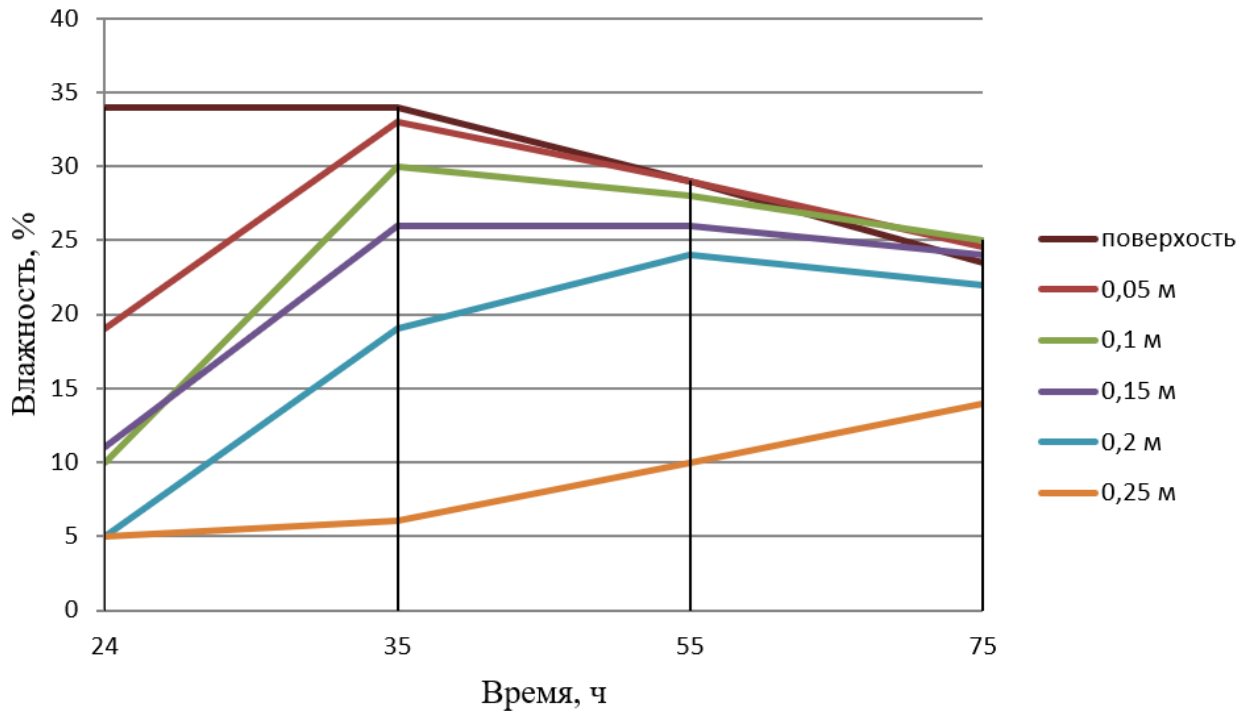


Рисунок 2.24 – Изменение влажности во времени на различной глубине

Исследования [98] показывают, что максимальная глубина смачивания ТМО в условиях Подмосковского бассейна может достигать порядка 0,5 м, что определенным образом ведет к выравниванию кислотности в породной массе ТМО.

В то же время данные о замерах уровня кислотности пород 40 техногенных минеральных образований Тульской области говорят о том, что рН пород на поверхности ТМО приблизительно равен 3, а максимальное значение приближается к единице. Это означает, что пыль, находящаяся на поверхности техногенных минеральных образований и переносимая на окружающие ТМО территории, оказывает негативное влияние на почвы (подкисление и снижение плодородности) и поверхностные воды (увеличение кислотности).

Результаты исследований насыщения серной кислотой породной массы показывают (рисунок 2.25):

- буферная емкость практически несвойственна породной массе;
- изменение кислотности породной массы зависит от насыщения ее водой;

– безопасный уровень кислотности равный 5 единицам может быть достигнут при добавлении в породу 900 весовых частей воды.

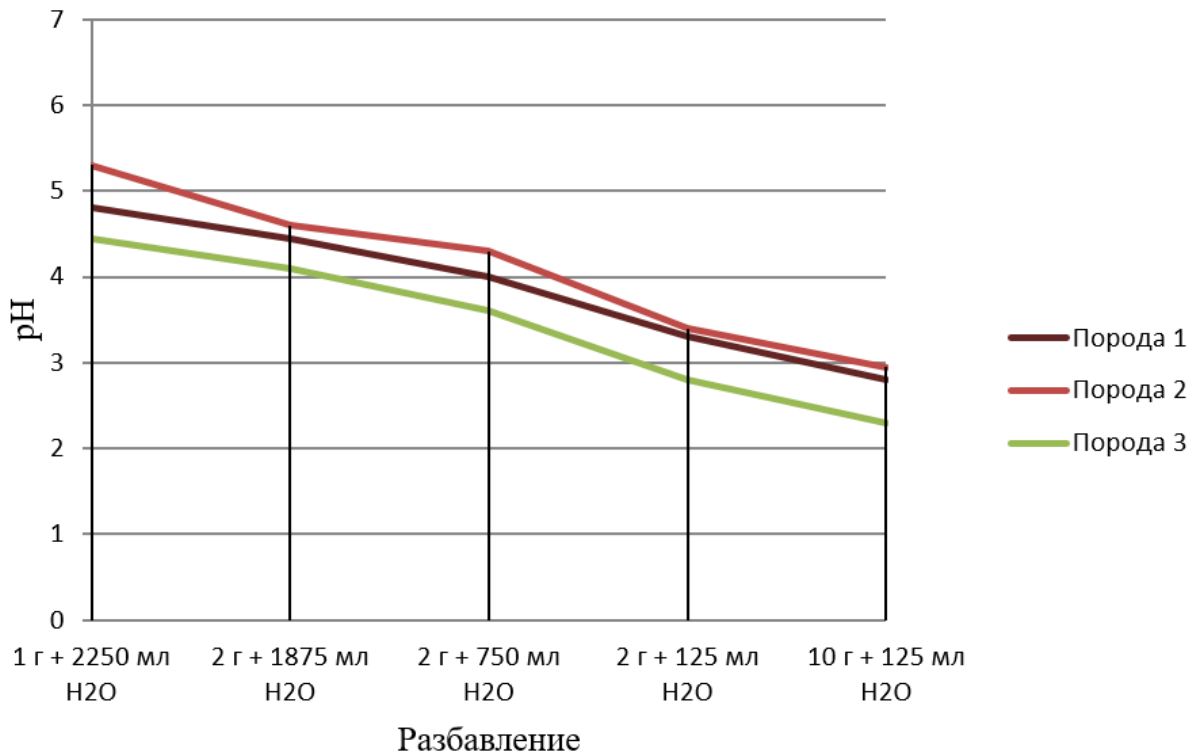


Рисунок 2.25 – Зависимость уровня pH от степени увлажнения

Из этого можно сделать вывод, что существенное влияние на состояние земель может оказать даже малое количество пыли с высоким уровнем кислотности [98].

Донецкий угольный бассейн

В работе [181, 156] отражены результаты исследований, в ходе которых изучались закономерности влияния атмосферных осадков и грунтовых вод на увлажнение породного массива ТМО. По итогам натурных наблюдений установлены следующие особенности:

- выхода подземных вод в откос ТМО не выявлено;
- признаки влияния водных объектов на увлажнение основания ТМО отсутствуют;
- на плоской вершине ТМО имеется уклон поверхности и следы стока

дождевой и снеговой воды (рисунок 2.26);



Рисунок 2.26 – Следы водостоков на плоской вершине ТМО

– уклон плоской вершины ТМО направлен в сторону северного откоса ТМО;

– наиболее явные следы водных стоков направлены в сторону промоины, расположенной с северной стороны (рисунок 2.27).



Рисунок 2.27 – Размывы в северной части ТМО

Из результатов натуральных наблюдений видно, что сток дождевой и снеговой воды, вызывающий избыточное увлажнение породной массы, способствует возникновению деформаций ТМО.

Известна большая роль водопроницаемости в сохранении почвенного плодородия и в жизни почв в целом. Впитывание влаги в породе после ливней

и таяния снега обеспечивается высокой водопроницаемостью. С другой стороны, возникновению и развитию оползневых деформаций ТМО способствует излишнее увлажнение породной массы. При этом эрозионные процессы и образование поверхностного стока возникают из-за низкой фильтрации породной массы ТМО.

Методика исследования водопроницаемости пород ТМО заключалась в следующем [156]:

- металлические трубки забивались в породу;
- в металлические трубки заливалась вода;
- данные по впитыванию воды фиксировались через 1, 5, 10, 20, 30, 60 минут;
- по этим данным рассчитывались средние значения водопроницаемости за 1, 10, 30 и 60 минут впитывания.

Водопроницаемость породной массы оценивалась с использованием шкалы Н.А. Качинского [112]. Результаты показаны на рисунках 2.28, 2.29.

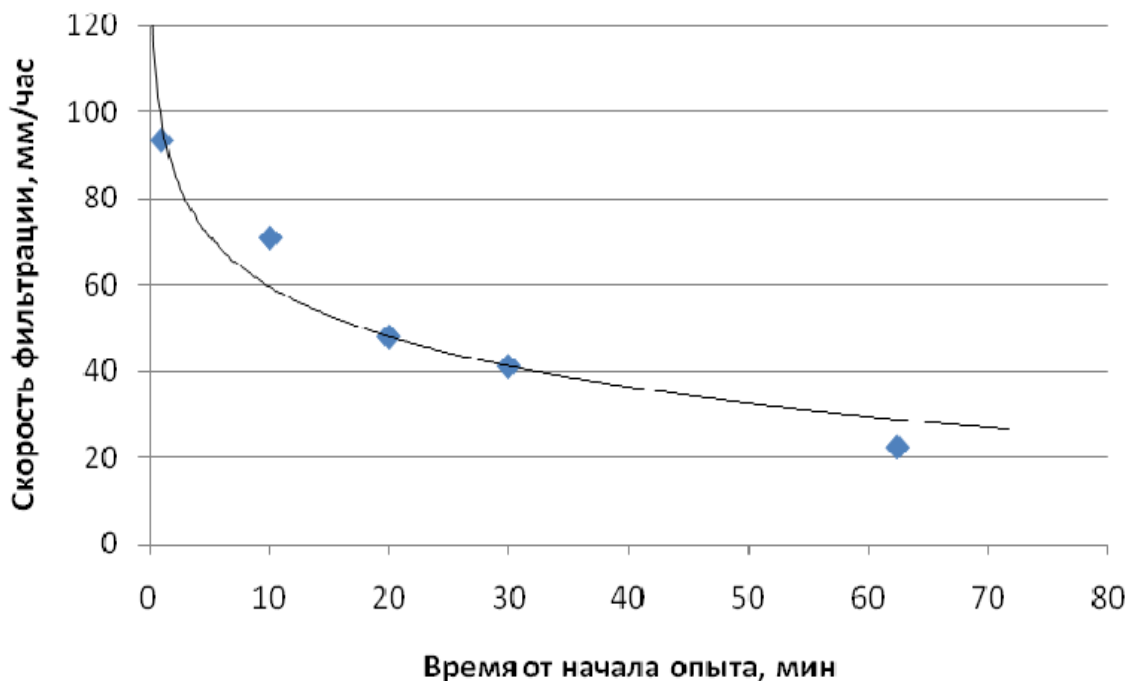


Рисунок 2.28 – Связь скорости фильтрации воды и ее длительности (линия отрыва оползня)

Из рисунка и таблицы видно, что на линии отрыва в первую минуту наблюдений водопроницаемость имеет максимальное значение, а потом резко падает и стабилизируется. Высокое значение коэффициента детерминации R^2 позволяет рассуждать о взаимосвязи между длительностью фильтрации воды и показателями водопроницаемости.

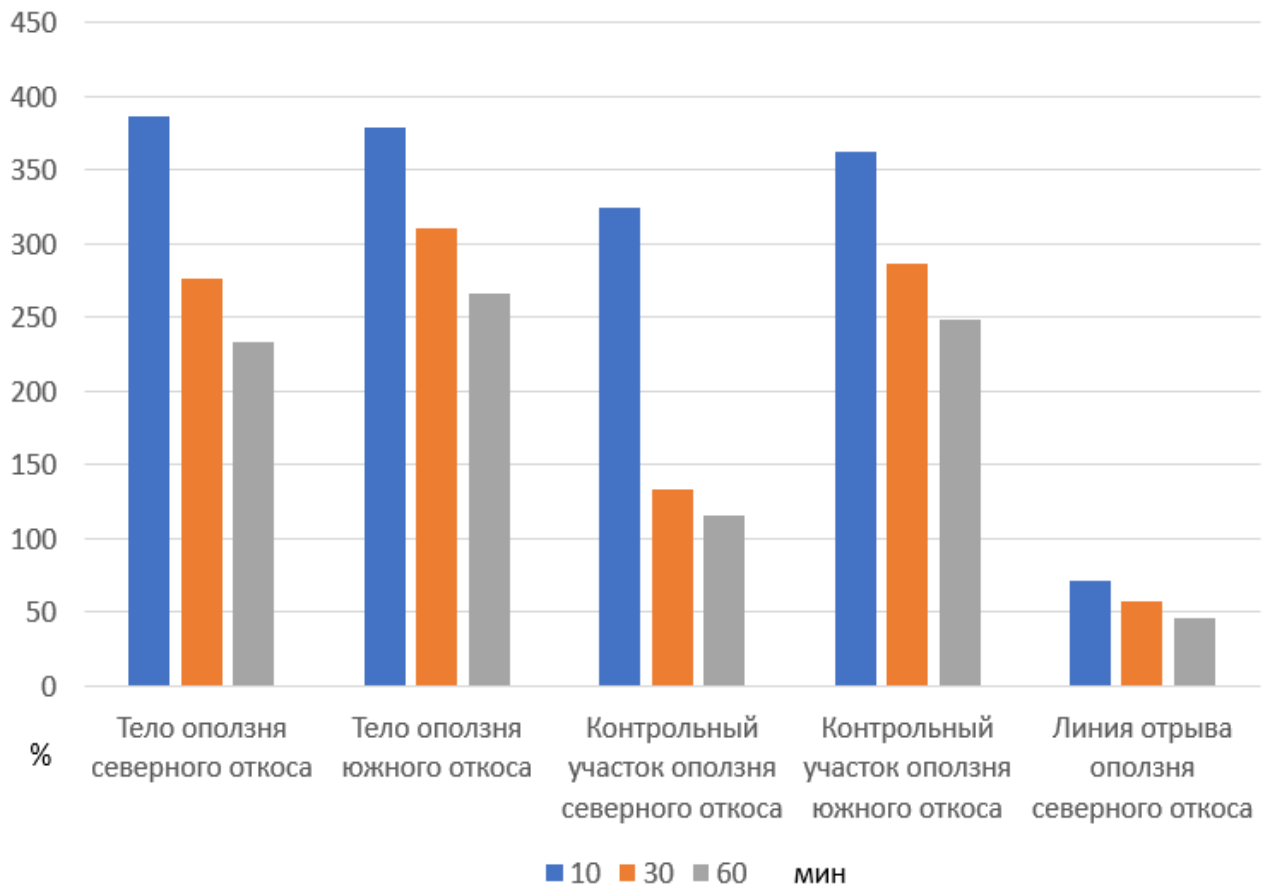


Рисунок 2.29 – Динамика водопроницаемости на исследуемых участках

Водопроницаемость играет определяющую роль в начальный момент времени во впитывании жидких осадков при их выпадении на сухую поверхность. Водопроницаемость включает в себя впитывание и фильтрацию. До того времени, пока поры не заполнятся водой, происходит впитывание.

Фильтрация начинается после их заполнения и образования сплошного потока жидкости. Если интенсивность впитывания ниже интенсивности выпадения осадков – возникает поверхностный сток воды, который в результате водной эрозии способствует разрушению откосов ТМО [156].

Исследование закономерностей изменения влажности породы

В исследованиях [156] влажность отвальных пород рассмотрена в двух аспектах. Во-первых, по ее значению для развития растительности на отвале, а во-вторых, с точки зрения ее влияния на свойства пород, поскольку их переувлажнение может стать причиной возникновения и развития оползневых деформаций породного комплекса.

С целью определения влажности породной массы ТМО были отобраны пробы на глубине 0 – 10, 10 – 20, 20 – 30 см в 30 точках:

- на контрольных участках вне оползневой зоны;
- в оползневой зоне южного и северного откосов (по линии отрыва и на площадках в теле оползня).

На рисунке 2.30 изображены средние величины влажности на участке оползня северного и южного откосов в точках отбора проб.

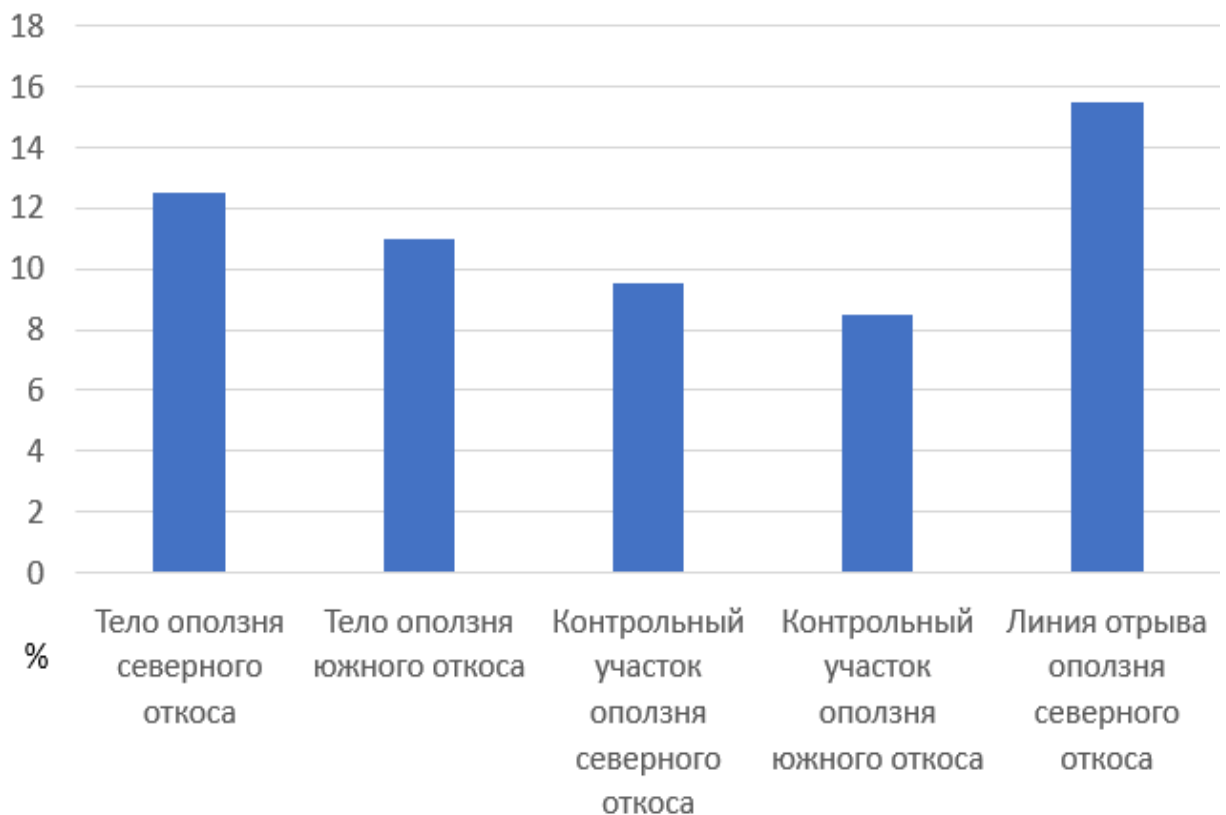


Рисунок 2.30 – Величины влажности в точках отбора проб

Из рисунка 2.31 видно, что во время измерений влажность пород на исследуемом ТМО находилась в пределах от 5,5 до 18,0 %.

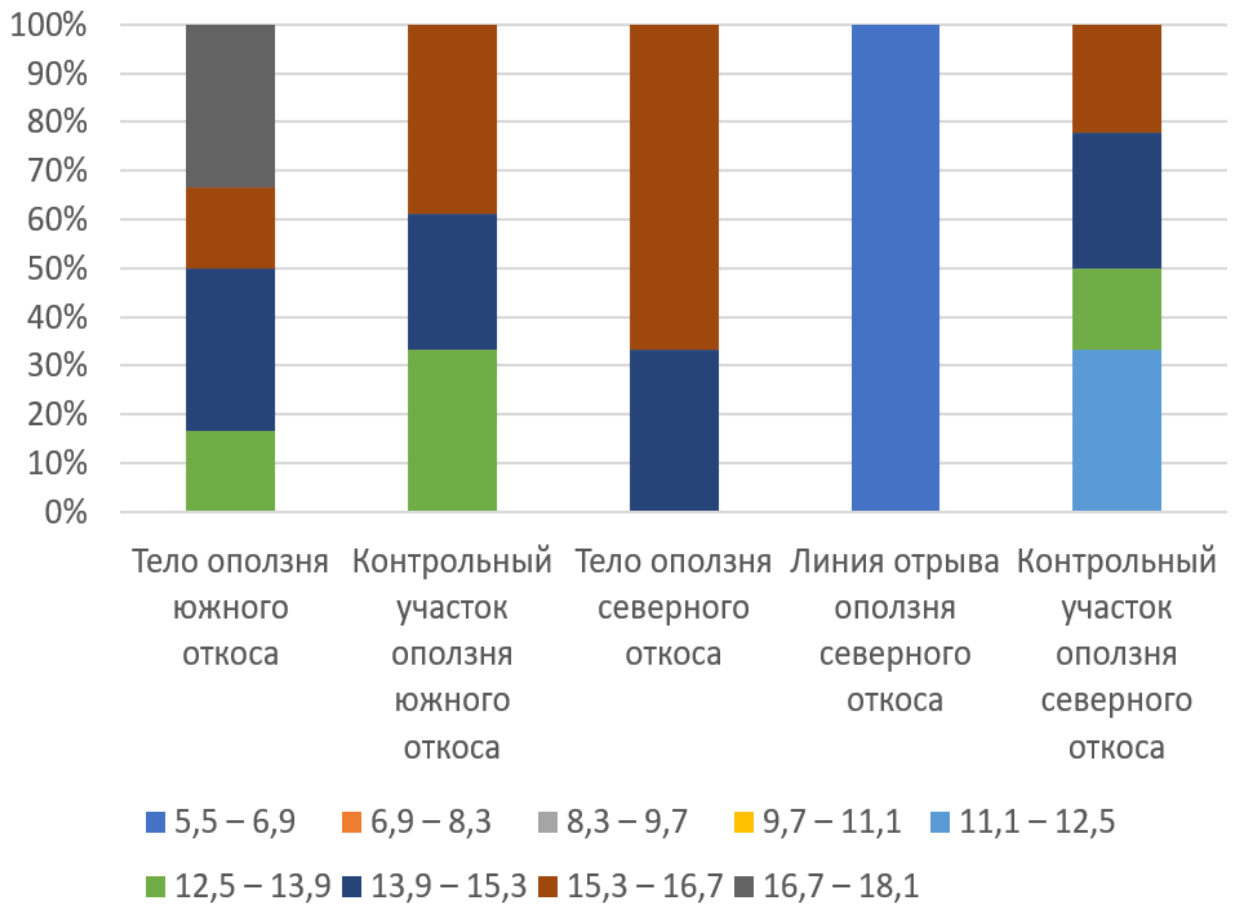


Рисунок 2.31 – Данные измерения влажности породы на ТМО

Для контрольного участка южного и северного откосов наиболее характерен диапазон влажности 12,5 – 16,7 %. Диапазон, наиболее характерный для породы для участка в теле оползня северного откоса, – 13,9 – 15,3 %, участка по линии отрыва – 5,5 – 6,9 %, участка в теле оползня южного откоса – в диапазоне 12,5 – 18,1 %.

2.4 Загрязнение территорий, прилегающих к техногенным минеральным образованиям

Донецкий угольный бассейн

В работе [126] приведены результаты исследований загрязнения прилегающих к ТМО территорий (площадь – 216 гектаров) в Донецком бассейне (рисунок 2.32).

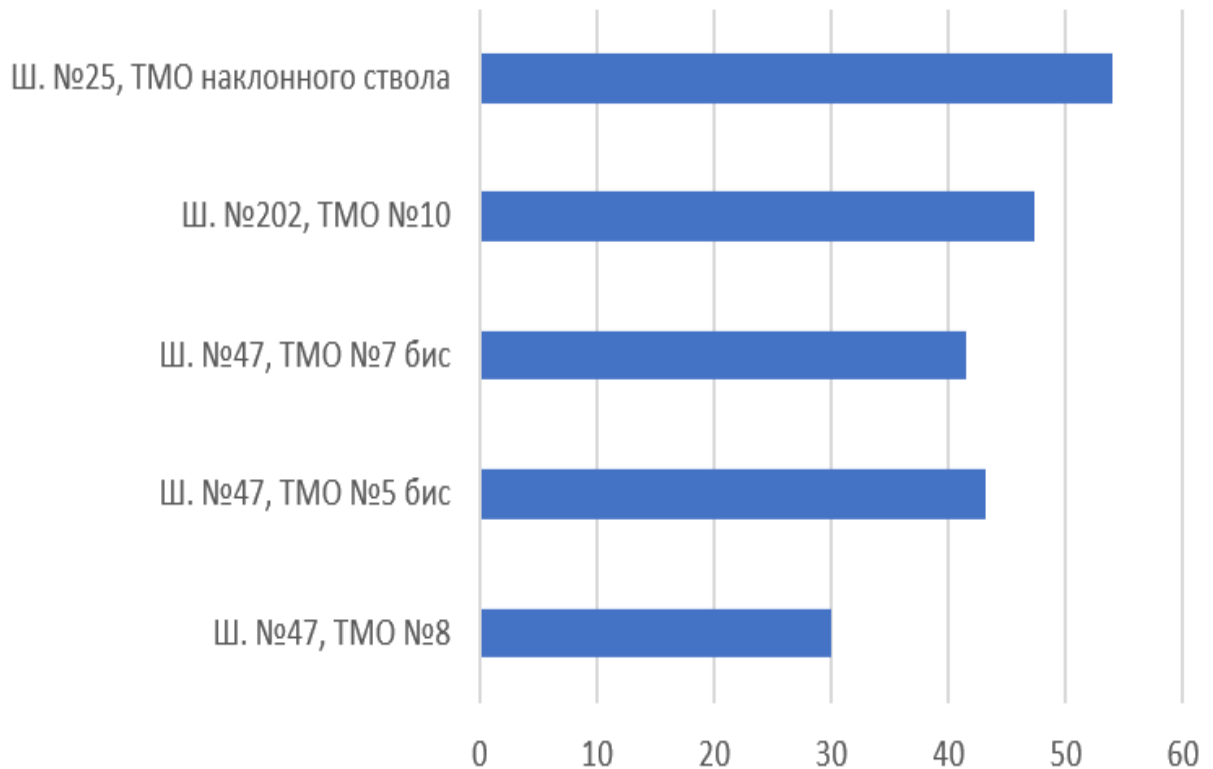


Рисунок 2.32 – Исследуемая площадь нарушенных земель, га

Были исследованы территории вокруг пяти ТМО на наличие подвижных форм Mn, Cu, Ni, V, Cd, Zn, Co, Pb, Ti, Cr. Отбор проб проводился в радиусе от 300 до 500 м от ТМО. Было сделано 176 заборов проб. По результатам исследования стало ясно, что вблизи двух из пяти техногенных минеральных образований сложилась опасная ситуация по загрязнению территорий в зонах влияния этих ТМО. Одно из двух создающих опасную по загрязнению территорий ситуацию техногенное минеральное образование находится в жилой зоне города Шахты.

На рисунке 2.33 приведена карта литохимического загрязнения почв в зоне влияния ТМО № 5 бис шахты № 47 шахтоуправления «Мирное», построенная по результатам опробования.

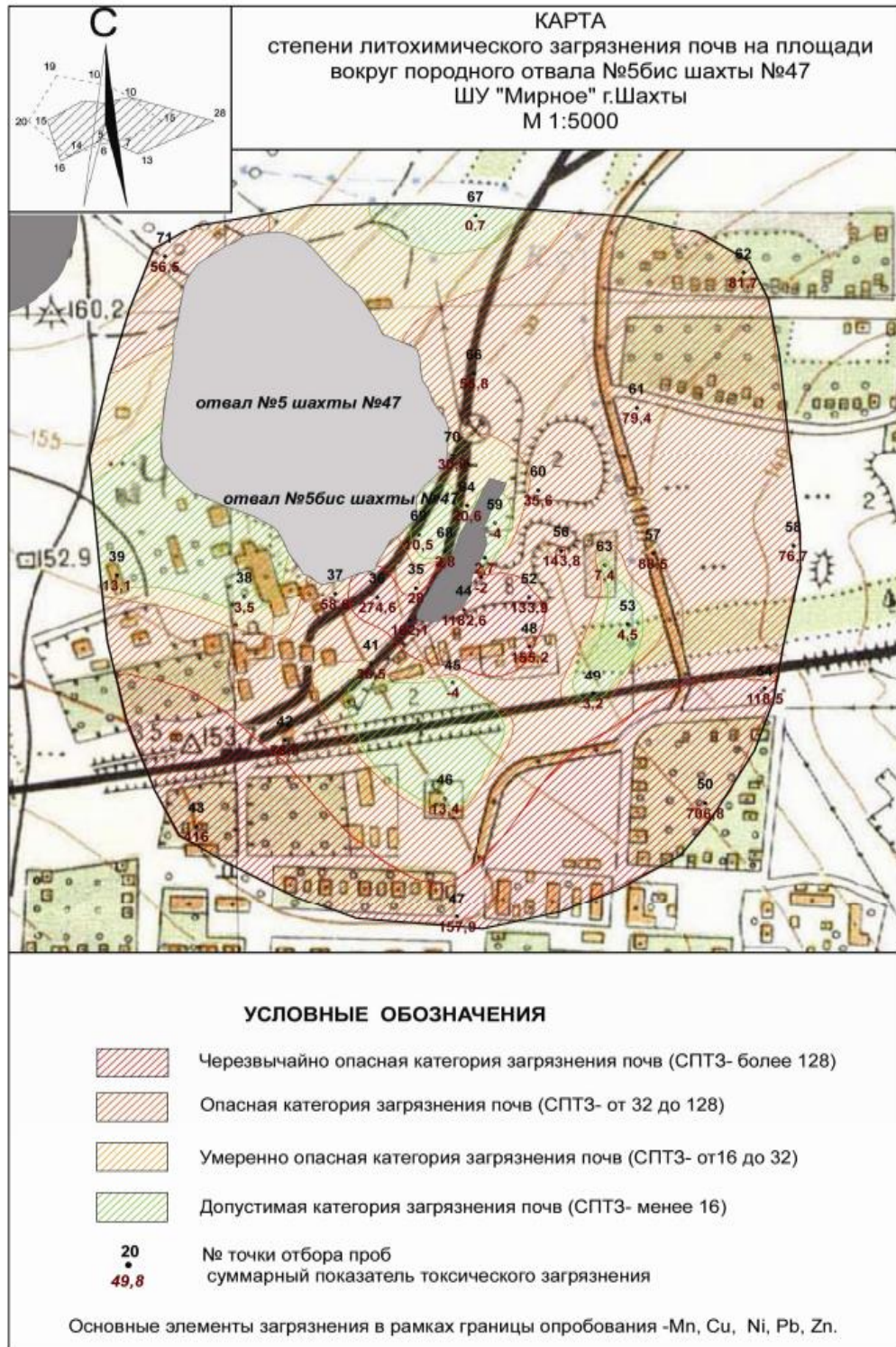


Рисунок 2.33 – Карта литохимического загрязнения почв в зоне влияния

ТМО № 5 бис шахты № 47 шахтоуправления «Мирное»

Основным источником загрязнений территории вокруг ТМО, как показывают исследования, являются строительный и бытовой мусор, породы карбонатных отложений. По форме ореол загрязнения близок к розе ветров данной местности [182].

Результаты оценки степени загрязнения почв и литохимического исследования показаны на рисунках 2.34, 2.35.

Кол-во анализов, превышающих ПДК

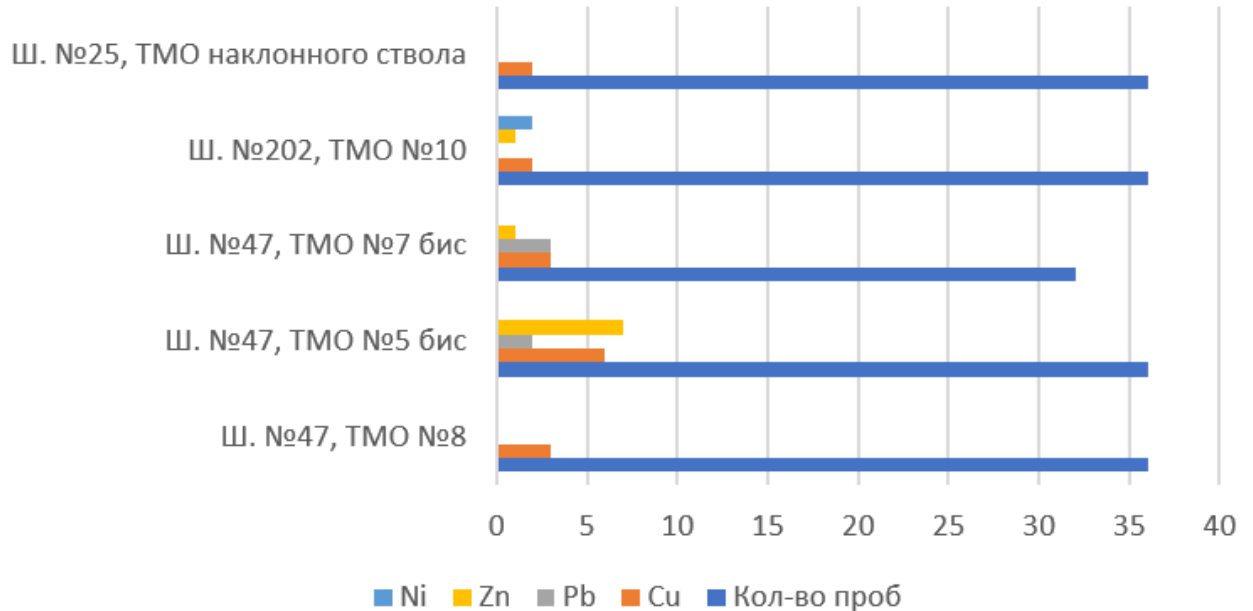


Рисунок 2.34 - Количество анализов, превышающих ПДК

% от общего количества анализов

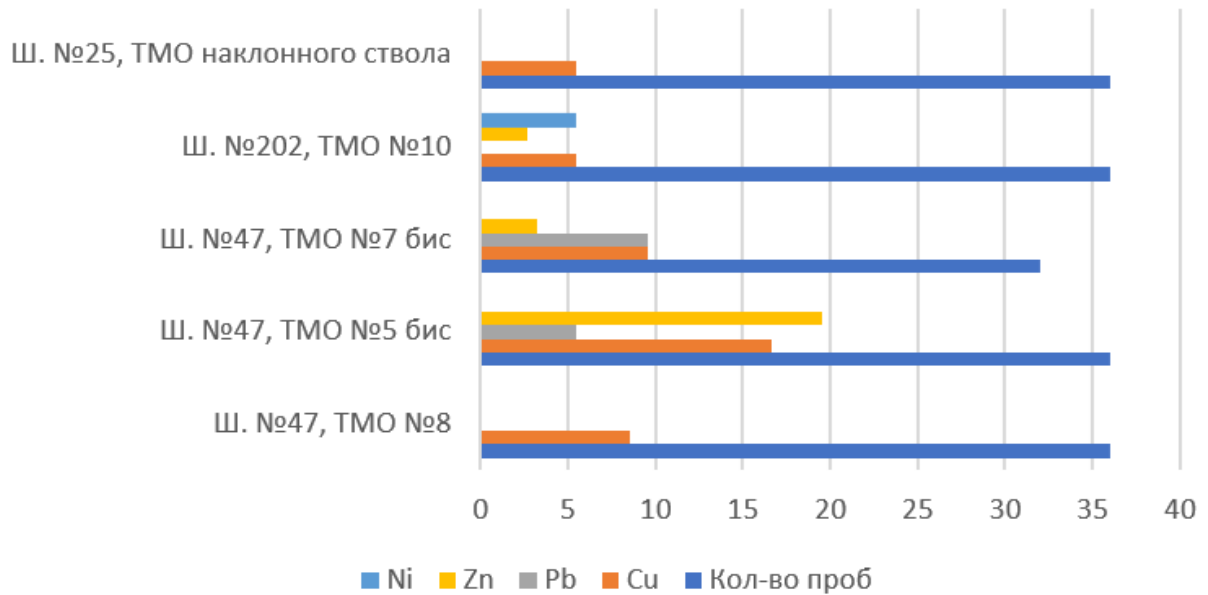


Рисунок 2.35 – Процент анализов, превышающих ПДК, от общего количества анализов

Исследования позволяют создавать литохимические карты зон влияния, которые способствуют выбору способов устранения или снижения негативного воздействия ТМО на окружающие территории.

Подмосковный угольный бассейн

Вокруг ТМО формируется техногенная пустыня, разрушается плодородие почв (рисунок 2.36) за счет попадания на окружающие территории выбросов с низким уровнем рН.



Рисунок 2.36 – Техногенная пустыня вокруг ТМО

Основными агрохимическими показателями почв являются кислотность, содержание подвижных форм калия и фосфора, гумуса. При оценке изменения свойств почв под воздействием ТМО эти показатели могут послужить в качестве интегрального показателя [38, 48, 52, 61, 63].

Одним из важнейших показателей, отражающим содержание протонов водорода в почве, является кислотность. Для произрастания большинства растений необходима слабокислая или нейтральная реакция почвы. Повышенная щелочность или кислотность почвы негативно сказывается на растениях [136]. Воздействие кислотности почвы на растения не ограничивается непосред-

ственным влиянием на корни растений токсичных ионов алюминия и протонов водорода. Кислотность почвы влияет еще и на характер поступления к растениям элементов питания. Сама почва также страдает от негативного воздействия низкой кислотности. Протоны водорода имеют свойство вытеснять катионы магния и кальция, которые стабилизируют структуру почвы, из почвенного поглощающего комплекса, что приводит к разрушению гранул почвы и потере ее плодородия.

На глубине в несколько десятков сантиметров прослеживается тенденция к снижению pH почвы. Процесс закисления почвы наиболее значительно проявляется в поверхностных горизонтах.

Калий редко ограничивает развитие и рост растений из-за своей доступности. Несмотря на это, волнистость листьев с продольным жилкованием и морщинистость – с сетчатым развиваются у растений наряду с пожелтением и отмиранием нижних листьев от недостатка калия в почве. Также может наблюдаться слабая устойчивость растений к болезням и полегание побегов.

Градации по содержанию подвижных форм калия в почве (обменного калия на 100 г почвы):

- высокое – более 17 мг;
- повышенное – 12-17 мг;
- среднее – 8-12 мг;
- низкое – 4-8 мг;
- очень низкое – до 4 мг.

Фосфор как менее доступный элемент является одним из важнейших для питания растений. Нужен растениям в больших количествах, т. е. относится к макроэлементам, поэтому залогом хорошего качества растений является своевременное возмещение фосфора в почве. Мельчание молодых листьев, ухудшение роста растения, изменение окраски листьев на голубоватую или сизую наблюдаются при фосфорном голодании. Фосфор, как и калий, играет важную роль в подготовке растений к успешной зимовке.

По обеспеченности почв подвижными фосфатами существует следующее разделение (мг фосфатов на 100 г почвы):

- высокая – более 15;
- средняя – 8-15 мг;
- низкая – менее 8 мг;
- очень низкая – менее 3 мг.

При необходимости повышения количества фосфора в почве это можно сделать с помощью мелиорантов и минеральных удобрений.

Еще один важнейший показатель обеспеченности растений азотным питанием и плодородия почв – гумус. Образование мелких листьев, слабый рост растений, изменение окраски листьев на желтоватую и бледно-зеленую является следствием недостаточной обеспеченности азотом. Пористая структура почвы – ценная с агрономической точки зрения - тоже обеспечивается гумусом. Влагоемкость и водопроницаемость, а также поглотительная способность почвы в какой-то мере зависят от наличия гумуса.

Дерново-подзолистые почвы по содержанию гумуса делятся на:

- высокогумусовые – более 4 %;
- среднегумусовые – 2-4 %;
- слабогумусовые – до 2 %.

Применение сидеральных культур, внесение торфокомпостов, низинного торфа или навоза, т. е. органических веществ, способствующих обогащению почвы, позволяют повысить содержание гумуса в почве до необходимого уровня.

Проведенные исследования агрохимических показателей почв в зонах влияния ТМО для оценки их воздействия на прилегающие территории.

На рисунках 2.37, 2.38 приведены результаты анализов проб почв, отобранных на различном удалении от ТМО.

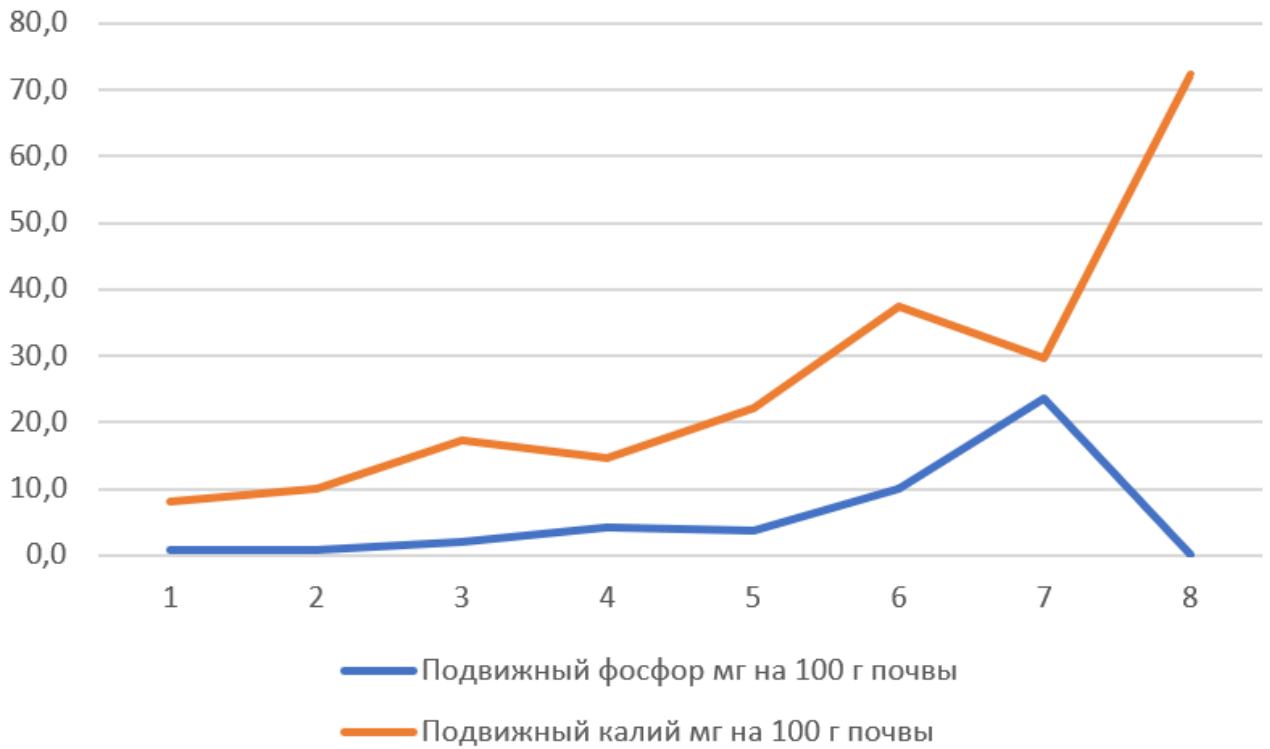


Рисунок 2.37 – Фосфор и калий в пробах почвы в зонах влияния ТМО

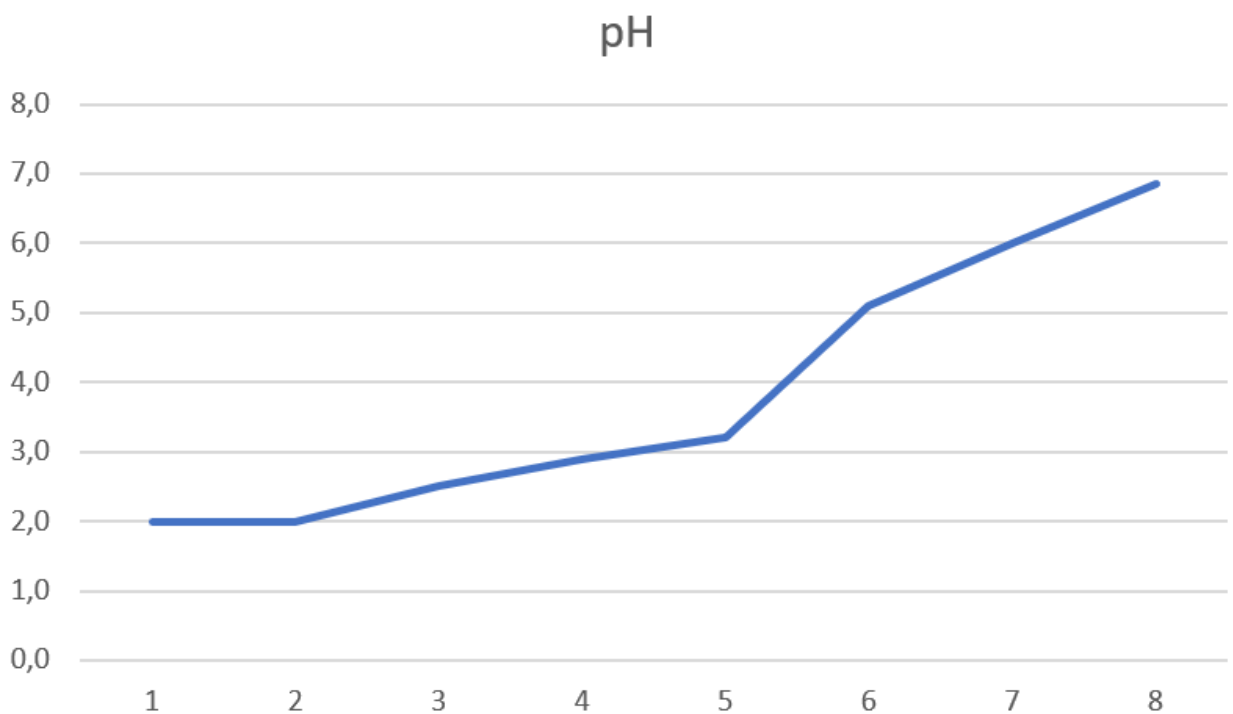


Рисунок 2.38 – Уровень кислотности почвы в зонах влияния ТМО

Графики показывают, что в зонах влияния ТМО минимальное содержание подвижного калия ниже фонового значения в 8,8, а фосфора – в 46 раз.

На рисунке 2.39 приведены данные об уровне кислотности почвы в зонах влияния ТМО шахты № 67.

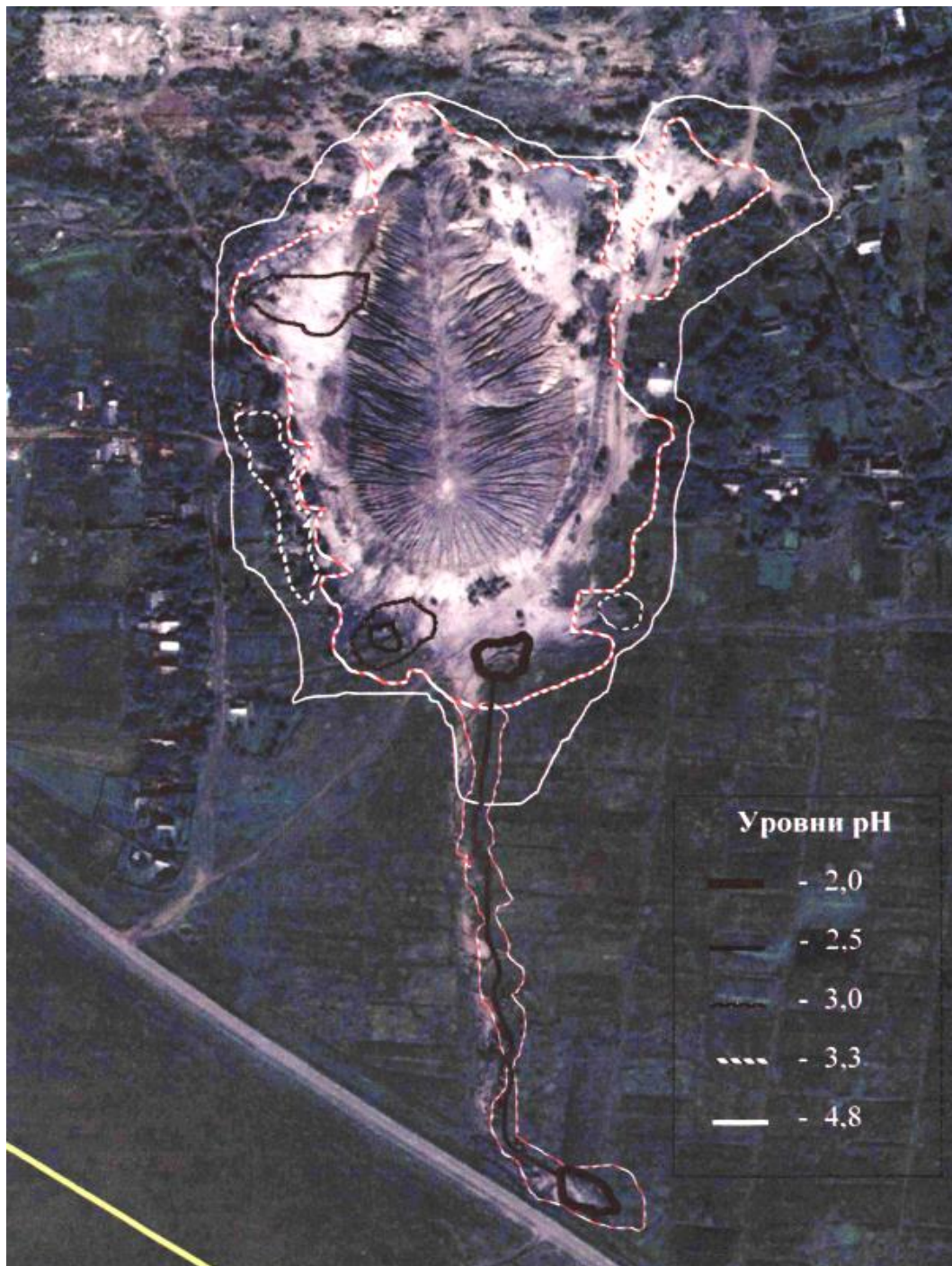


Рисунок 2.39 – Распределение уровня кислотности почвы в зонах влияния ТМО шахты № 67

Исследования полей уровня pH показывают, что за рабочую гипотезу можно принять то, что инфильтрация кислотных стоков является причиной их

вертикальной миграции, при этом интенсивность процесса определяется продолжительностью контакта подстилающей поверхности и кислотных стоков и фильтрационных характеристик грунта. Т. е. очень важно исследовать процессы формирования кислотных стоков для прогнозирования кислотности прилегающих к ТМО почв.

Стоки атмосферных осадков с исследуемого ТМО поступают на низинную горизонтальную часть ландшафта по руслу с переменным по длине уклоном длиной 350 м, которое формировалось на протяжении многих лет (рисунок 2.40).



Рисунок 2.40 – Сток с ТМО

Исследования, приведенные в работе [98], показывают, что в зонах влияния ТМО основными причинами негативного воздействия на близлежащие территории являются:

- образование в теле техногенного минерального образования серной кислоты;
- вертикальная фильтрация загрязнителей из тела отвала;
- транспортирование из ТМО на окружающие земельные участки раствора серной кислоты в результате водной эрозии [98].

2.5 Определение геометрических параметров техногенных минеральных образований

Проблема создания малозатратных и эффективных методов определения геометрических параметров ТМО связана с тем, что угольные шахты Подмосковского бассейна закрыты, а рекультивационные или консервационные мероприятия на ТМО не проведены. В каждом конкретном случае необходимо определять методы борьбы с негативным влиянием терриконов на окружающую среду (полная разборка, рекультивация или консервация террикона) или выбирать технологию разборки террикона, направления рекультивации или способ консервации, при этом надо основываться, прежде всего, на данных о геометрических характеристиках ТМО [199].

Основными направлениями рекультивации являются природоохранное и лесохозяйственное, реже сельскохозяйственное и рекреационное. При выборе направления рекультивации земель, занятых терриконами угольных шахт, руководствуются большим количеством исходных характеристик и свойств. Геометрические параметры в этом вопросе являются наиболее важными. Определение геометрических параметров терриконов угольных шахт также необходимо для разработки проектов охраны и восстановления земель, находящихся в зоне негативного влияния ТМО [149, 126, 128, 160].

Помимо экологии, проблемы ТМО, образованных отходами угольных шахт, занимают особое место в таких сферах, как землеустройство и кадастр (определение границ ТМО и нарушенных вокруг них земель, контроль изменений этих границ) [189], горная промышленность (в качестве потенциальных техногенных месторождений, использование пород ТМО в качестве закладочного материала для выработанного пространства карьеров при их рекультивации).

Определения углов откосов, высот, площадей и объемов ТМО недостаточно для комплексного подхода к оценке состояния проблемы, выбору технологий и методов борьбы с негативным влиянием породных отвалов угольных шахт на окружающую среду. Необходимо внедрять технологии, которые позволят создавать цифровые модели ТМО и прилегающих к ним территорий.

Еще одним аспектом создания технологий определения геометрических параметров ТМО, образованных отходами угольных шахт, является безопасность выполнения работ. На поверхности ТМО находиться крайне опасно и необходимо применять дистанционные способы получения информации. Использование аэросъемки с небольших беспилотных летательных аппаратов позволяет получить необходимую информацию об объекте без непосредственного нахождения на нем.

Создание цифровой модели ТМО можно разделить на несколько стадий (рисунок 2.41).

Подготовительные работы (рисунок 2.42) состоят из рекогносцировки на местности, определения маршрутов облетов, выявления характерных точек для последующей привязки объекта в местной системе координат. Важнейшей составляющей в работе с беспилотным летательным аппаратом для создания цифровой модели местности является выбор времени для полета. Основные условия: отсутствие сильного ветра; отсутствие дождя; выбор времени с достаточным для такой съемки освещением. Съемку лучше всего производить в пасмурный день около полудня, т. к. в это время самые короткие тени. Лучшие

сезоны для съемки – осень (от опадания листвы с деревьев до выпадения снега) и начало весны (после того как снег стаял и до появления листьев).



Рисунок 2.41 – Стадии создания цифровой модели породного отвала с использованием БПЛА



Рисунок 2.42 – Подготовительные работы на ТМО

Съемка

Для создания 3D-модели ТМО, которое представляет собой земляное сооружение с достаточно крутыми боковыми поверхностями, необходимо разбить съемку на несколько этапов [176]:

1 Облет ТМО с захватом изображений, снятых непосредственно сверху вниз. Для создания плана полета в данном случае использовалось бесплатное приложение DroneDeploy, в котором описывается область, по которой желаем произвести облет на карте базового слоя. Дрон после команды автоматически взлетает, пролетает по автоматизированной траектории полета, захватывая изображения, а затем приземляется.

2 Облет ТМО с захватом изображений, снятых под углом 45° , производится с той же высоты. Для этого в ручном режиме фиксируют наклон камеры под углом 45 градусов, и дрон облетает вокруг объекта по намеченному радиусу на той же высоте.

3 Облет ТМО с захватом изображений, снятых под углом 90° , производится высоты, уменьшенной примерно в 2 раза. Для этого в ручном режиме фиксируют наклон камеры под углом 80° .

4 В некоторых случаях, когда структура объекта более сложная, можно произвести еще один или несколько облетов с изменением высоты и угла камеры (рисунок 2.3).

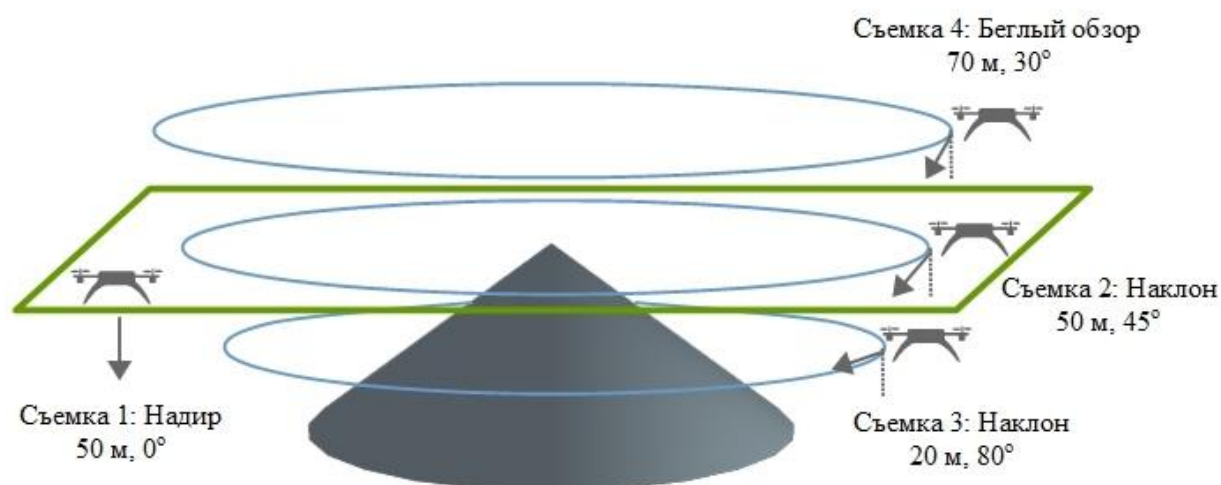


Рисунок 2.43 – Этапы съемки ТМО

При захвате изображений, снятых под углом, важно избегать попадания в кадр горизонта, для этого ряд снимков необходимо делать в ручном режиме или настраивать срабатывание затвора камеры в автоматическом режиме с определенным замедлением.

Обработка изображений для создания цифровой модели

После завершения полетов материалы, отснятые с помощью дрона во всех рейсах, отправляются на сайт DroneDeploy, где через несколько часов обработки данных на основе облачных вычислений все изображения сшиваются (рисунки 2.44, 2.45) и создается файл с расширением obj для формирования цифровой модели породного отвала. Файл obj содержит координаты и высоты точек объекта и связывает их с координатами изображений для наложения текстуры.

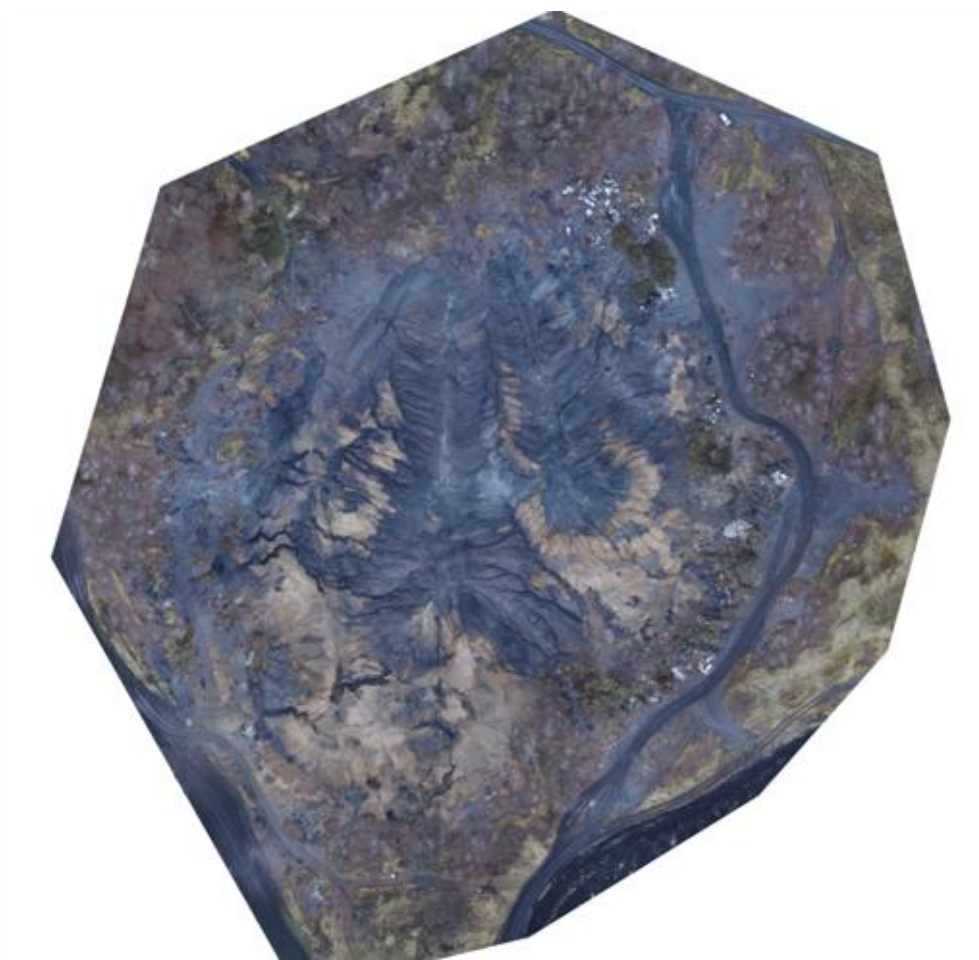


Рисунок 2.44 – Изображение ТМО, полученное с сайта DroneDeploy

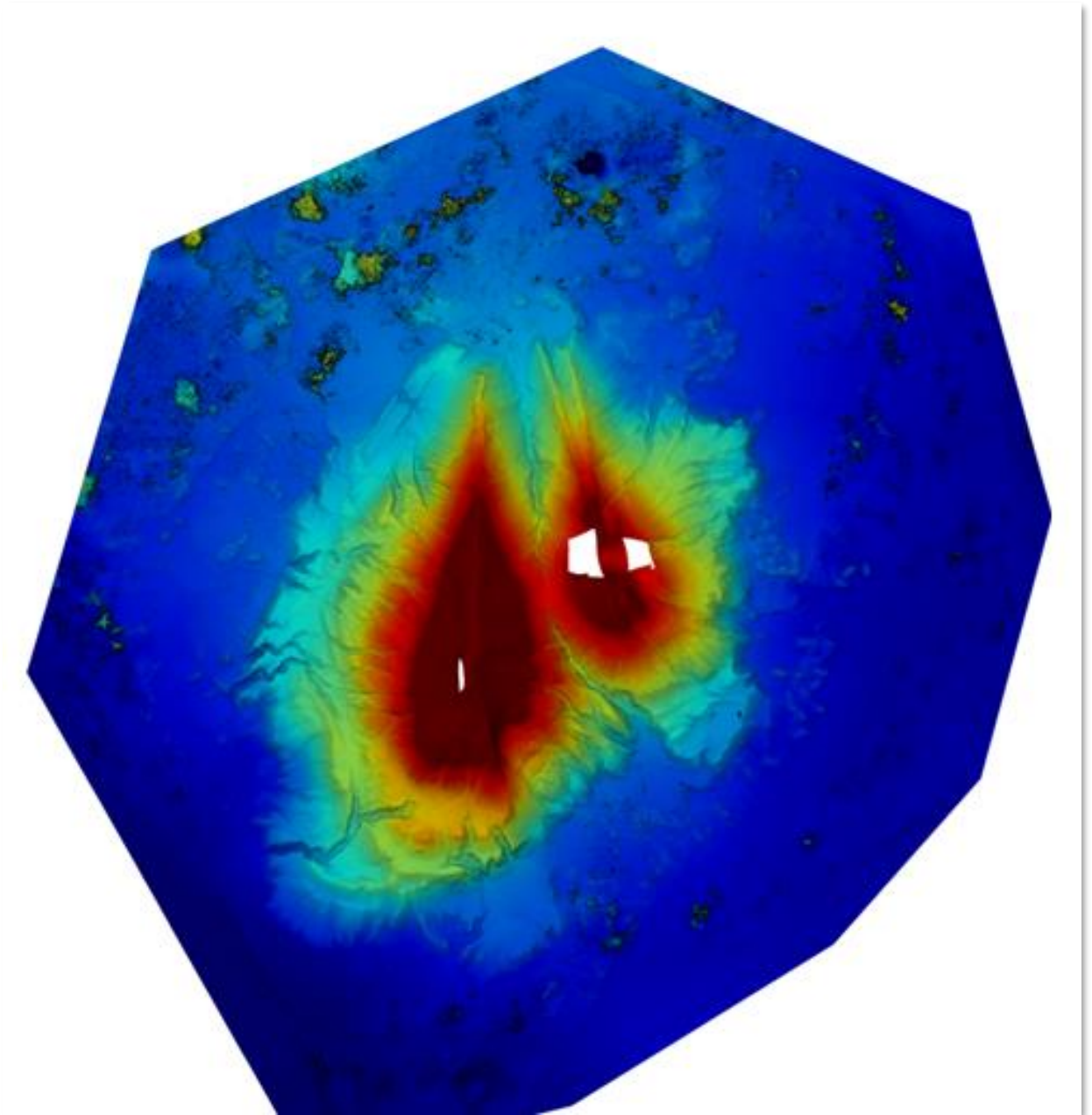


Рисунок 2.45 – Изображение ТМО с выделением высот цветом

Привязка изображения в местной системе координат

Для привязки объекта в местной системе координат МСК 71.1 производится топографическая съемка подножия террикона с помощью приемника RTK. Для привязки изображения к топографической съемке используются наземные контрольные точки (рисунок 2.46) [180].

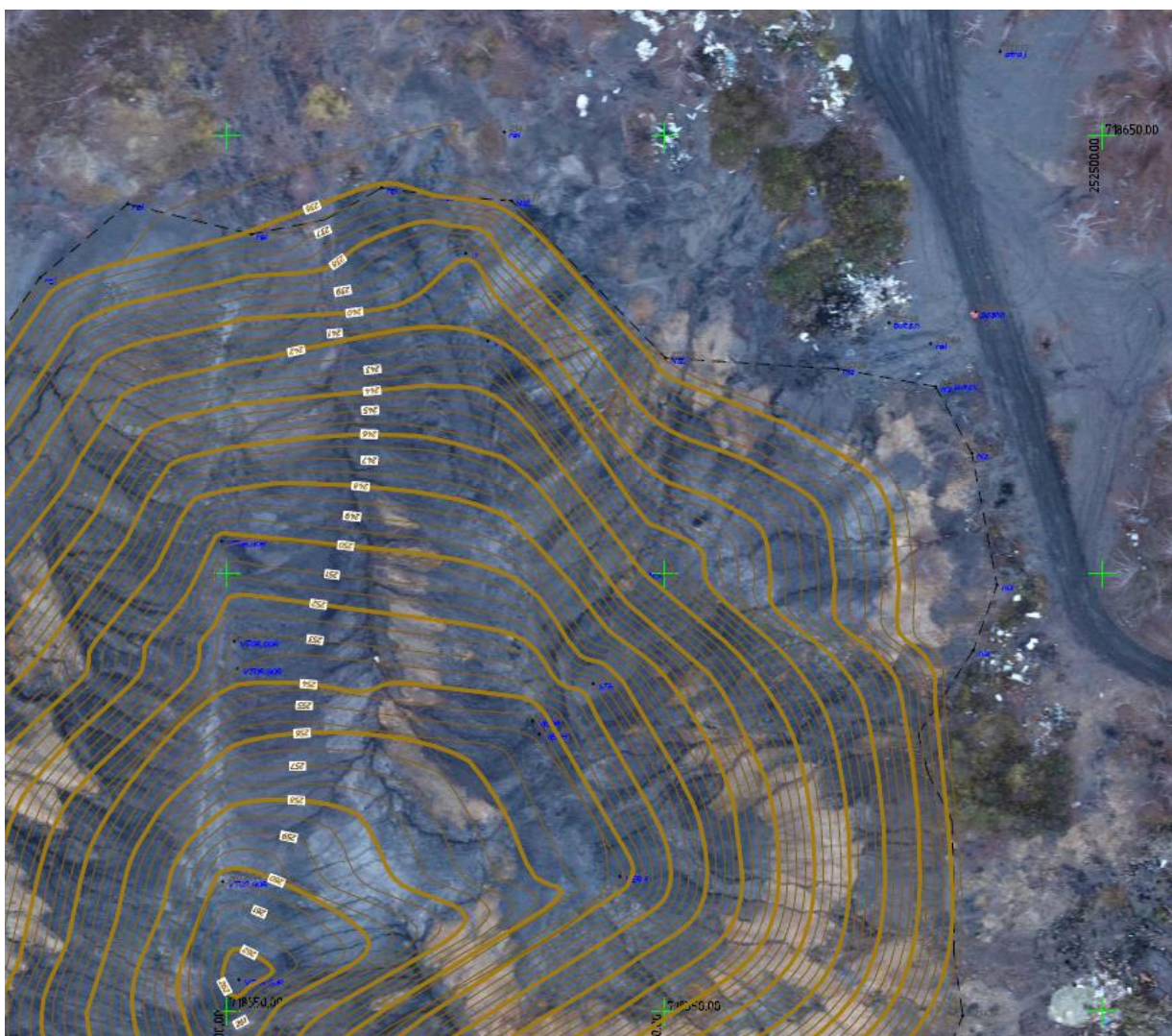


Рисунок 2.46 – Привязка изображения в местной системе координат

Создание цифровой модели ТМО

По имеющимся координатам и высотам точек объекта создать цифровую модель можно в любом программном продукте для 3D-моделирования, позволяющим работать с файлом obj. В данной работе файл obj преобразован в txt и цифровая модель сформирована в программе Surfer (рисунок 2.47). Для оценки необходимой точности построения цифровой модели террикона можно использовать подход, изложенный в [19], при этом необходимо заменить экономические критерии на экологические.

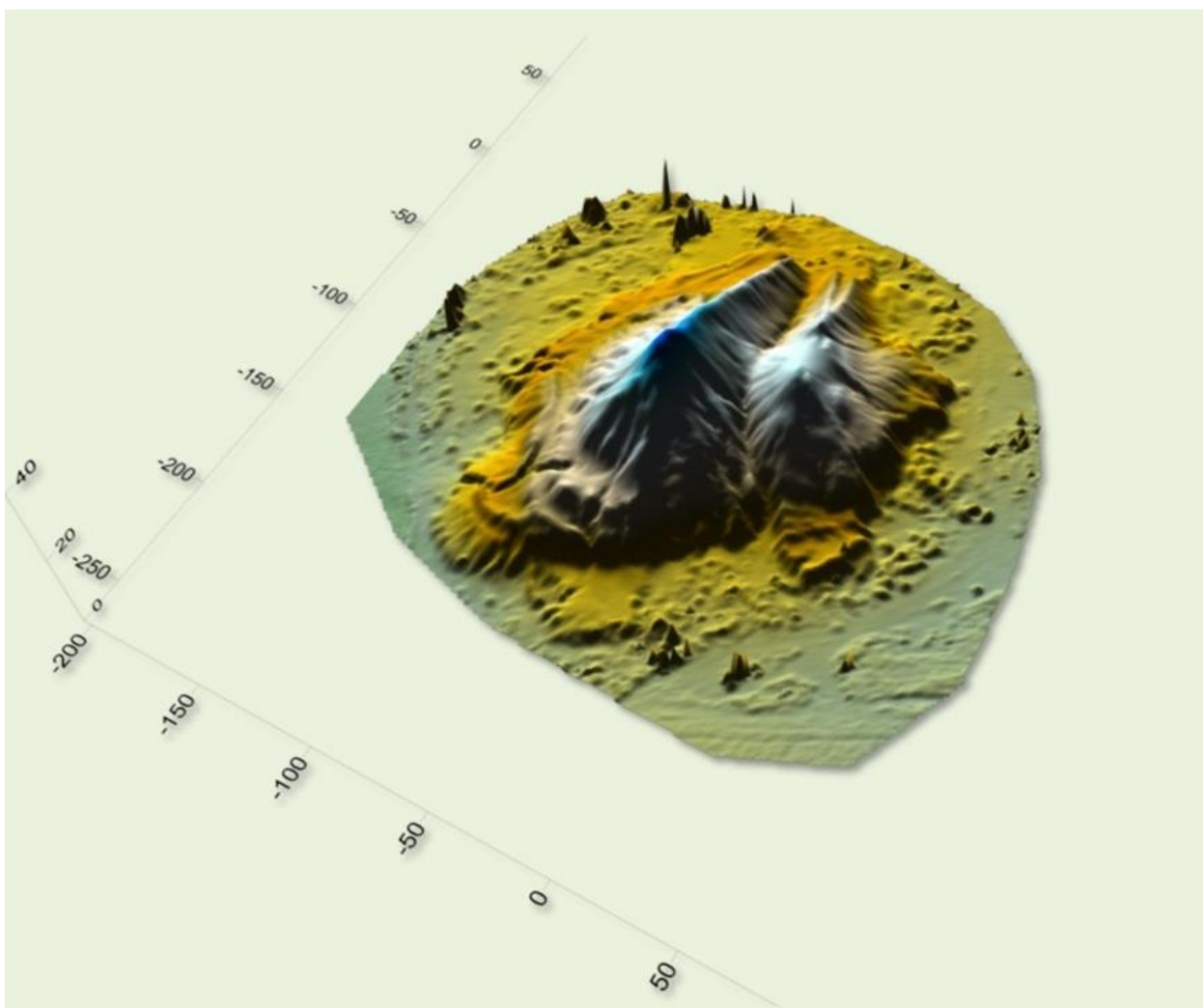


Рисунок 2.47 – Цифровая модель ТМО, образованного отходами шахты «Западно-Щекинская 17-бис»

Исследование цифровой модели породного отвала

По цифровой модели можно построить карты, разрезы и профили поверхности, получить информацию обо всех геометрических параметрах отвала – занимаемой площади, площади поверхности, объеме и т. д.

В данном случае, т. к. местность вокруг объекта достаточно пологая, для определения площадей и объема террикона в качестве нижней границы использовалась горизонталь, наиболее близко расположенная к его подножию. Данные представлены в отчете (рисунок 2.48).

ТМО	Западно-Щекинская 17 бис
Размер сетки:	527 строк x 485 столбцов
X Minimum:	-135.1039945327
X Maximum:	60.208834682425
X интервал:	0.40353890333704
Y Minimum:	-200.04054053157
Y Maximum:	12.148656017222
Y интервал:	0.40340151435132
Z Minimum:	8.1753228638305
Z Maximum:	41.492410783197
Объем ТМО	255633.39694782
Площадь по плоскости	22673.87369835
Площадь по поверхности	26289.879669603

Рисунок 2.48 – Отчет о вычислении площадей и объема ТМО

Такой подход позволяет получить данные для оценки негативного влияния ТМО угольных шахт на окружающую среду, для выбора способов устранения или снижения такого влияния, а также для проектирования рекультивации, разборки или консервации ТМО. Полученная таким образом информация необходима для оценки геомеханического состояния ТМО для проектирования рекультивационных мероприятий с целью выбора оптимальных технологий [196].

2.6 Исследование деформаций техногенных минеральных образований

Сдвиговые деформации особенно часто возникают на действующих и недействующих хребтовых отвалах и терриконах [100]. В работе [156] проведен анализ данных о зафиксированных случаях деформаций ТМО. Объектами исследований были выбраны ТМО с деформационными явлениями, типичными для Донбасса Луганской области. В работе использованы данные о состоянии ТМО, образованных деятельностью угольных предприятий Луганской области, составленные по материалам государственных инспекций охраны труда в угольной промышленности. Из всех ТМО, расположенных в Луганской области, были выбраны 49, на которых были зафиксированы оползневые явления. Результаты анализа приведены на рисунке 2.49.

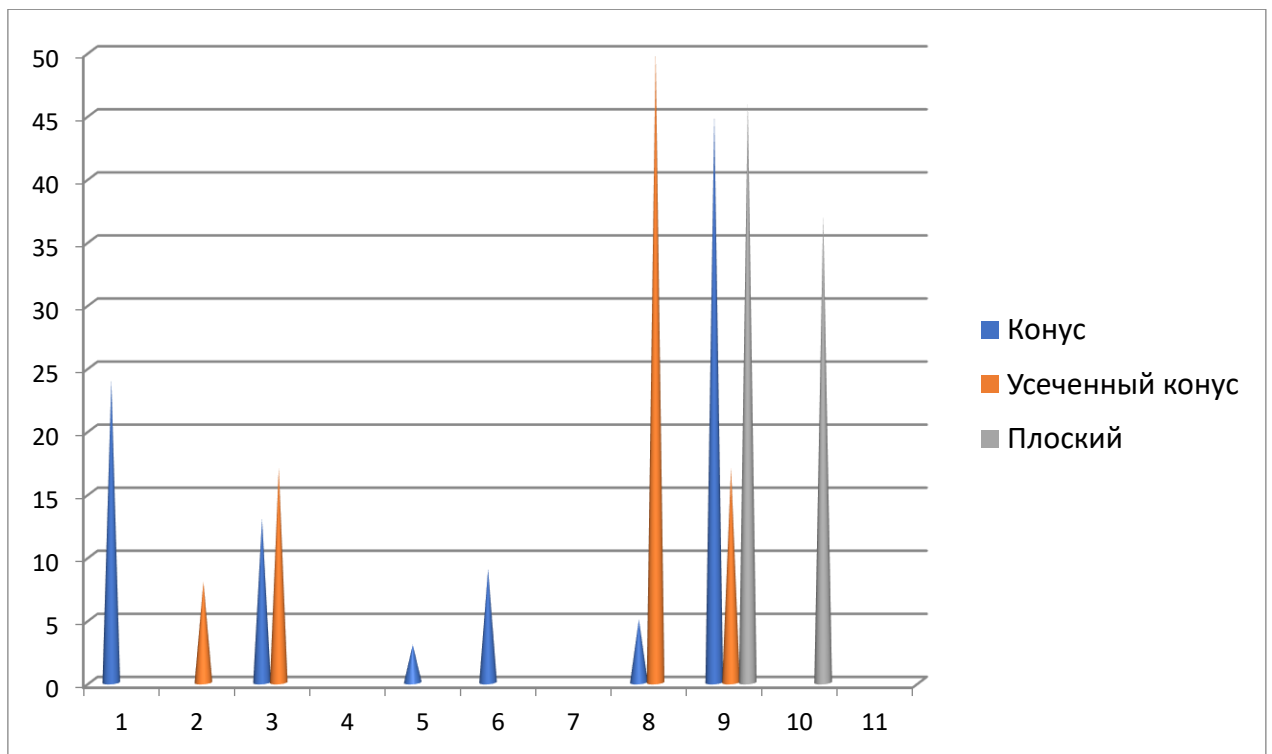


Рисунок 2.49 – Распределение количества ТМО с различными деформациями (%) от общего количества ТМО (Региональные объединения угольных шахт:

1 – «Лисичанскуголь», 2 – «Первомайскуголь», 3 – «Стахановуголь»,
 4 – «Краснодонуголь», 5 – «Ровенькиантрацит», 6 – «Свердловскантрацит»,
 7 – «Антрацит», 8 – «Донбассантрацит», 9 – «Луганскуголь»,
 10 – «Луганскуглеобогащение», 11 – «Антрацитуглеобогащение»)

На рисунке 2.49 видно, что деформации преобладают на ТМО конической формы и ТМО формы усеченного конуса. Наибольший процент ТМО с деформациями конической формы получен для регионального объединения «Донбассантрацит» (50,0 %), а для формы усеченного конуса и плоских ТМО – для объединения «Луганскуголь» (45,0 % и 45,8 % соответственно).

Таким образом, можно сделать вывод, что форма ТМО является одним из важнейших факторов, влияющих на возникновение и развитие деформаций поверхности ТМО. Основными величинами, которые характеризуют ТМО по форме, является высота породного отвала, площадь его основания и угол откоса склона отвала.

Из всего количества ТМО, расположенных на территории Луганской области, были выбраны 27 породных отвалов с оползневыми явлениями. Для характеристики ТМО с деформациями были выбраны следующие фактические параметры: высота террикона, площадь, которую он занимает, объем породы, складированной в ТМО. Основная информация об исследуемых ТМО приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Породные отвалы с оползневыми явлениями

№ п/п	Наименование предприятия	Наименование ТМО	Фактические параметры		
			высота, м	площадь, тыс. м ²	объем, млн м ³
1	2	3	4	5	6
1	ш. «Перевальская»	№ 10 ш/у «Дельта»	20,0	4,0	0,02
2	ш. «Перевальская»	№ 13 зап. Сбойка К6	17,0	10,0	0,08
3	ш. «Перевальская»	№ 4 у школы № 13	18,0	19,0	0,12
4	ш. «Перевальская»	№ 3 ш. «22»	21,0	21,0	0,14
5	ш. «Перевальская»	№ 7	39,0	20,2	0,24
6	ш. «Перевальская»	№ 6 ш. «25»	37,0	17,4	0,25

Окончание табл. 2.3.

№ п/п	Наименование предприятия	Наименование ТМО	Фактические параметры		
			высота, м	площадь, тыс. м ²	объем, млн м ³
8	ш. «Перевальская»	№ 9 ш/у «Дельта»	52,0	30,0	0,57
9	ш. «Перевальская»	№ 11	67,0	37,0	0,80
10	ш. «им. 19 съезда КПСС»	№ 1	40,0	32,0	0,51
11	ш. «Кременная»		70,0	58,0	1,40
12	ш. «Новодружеская»	ш. «Крупская»	40,0	57,0	0,71
13	ш. «Новодружеская»		98,0	147,0	8,00
14	ш. «Привольнянская»		98,0	185,0	6,50
15	ш. «Родина»	№ 1	30,0	40,0	1,20
16	ш. «Краснокутская»	№ 1	42,0	15,0	0,20
17	ш. «Краснолучская»	№ 3	71,4	29,8	0,90
18	ш. «Краснолучская»	№ 2	44,5	126,0	2,70
19	ш. «им. В.В. Вахрушева»	№ 2	100,8	92,0	2,55
20	ш. «Должанская-Капитальная»	ш/уч. № 66	35,0	71,0	1,38
21	ш. «Должанская-Капитальная»	ш/уч. № 67	55,0	19,0	3,50
22	ш. «77»	№ 3	60,4	39,4	0,77
23	ш. «5 Сталь»	№ 3	28,0	7,0	0,04
24	ш. «Брянковская»		72,0	110,0	3,70
25	ш. «Голубовская»	№ 2	17,0	88,8	1,30
26	ш. «Голубовская»	№ 1	40,0	56,8	1,60
27	ш. «Ломоватская»	№ 1	16,0	58,0	1,20

Исследование угла откоса склонов породных отвалов

Для исследования условий нарушения устойчивости исследуемого ТМО в работе [156] был изучен рабочий угол откоса, сформированный в процессе эксплуатации, и угол естественного откоса породы ТМО (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Данные измерения углов откоса по экспозициям на ТМО № 1 шахты пос. Сутоган [156].

Интервал измерения	Экспозиция			
	юг	запад	восток	север
23 – 25	4		3	
26 – 27	2	2	11	
28 – 29	1	11	16	
30 – 31	6	15	6	3
32 – 34	7	5		7
35 – 36	6			12
37 – 38	3			3
39 – 40	3			5
41 – 42	1			2

Исследование рабочего угла ТМО было проведено во время полевых исследований. Измерение угла откоса склонов проведено по сторонам горизонта в нижней, средней и верхней части ТМО, поскольку форма склонов породного отвала представляет собой местами выпукло-вогнутую и вогнуто-выпуклую с использованием интегрального акселерометра и эклиметра.

Из полученных в ходе работы [156] данных были сформированы четыре выборки, данные были разбиты на интервалы и обработаны с помощью методов статистического анализа. Полученные данные приведены в таблице 3.2 и на рисунке 2.50.

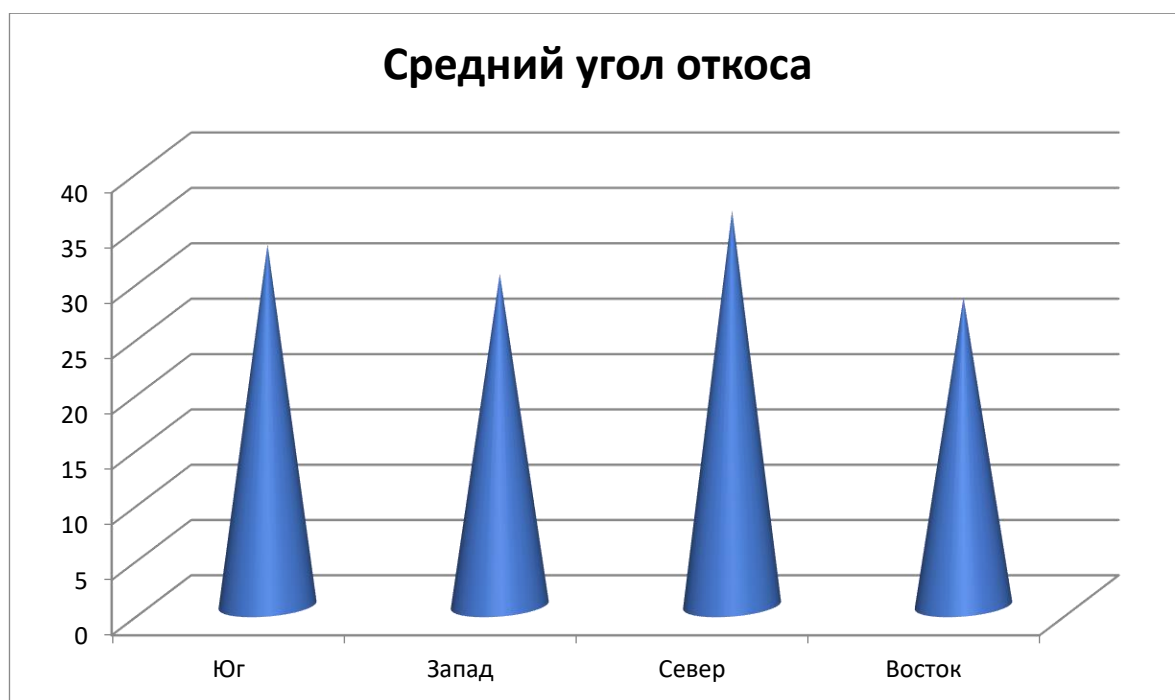


Рисунок 2.50 – Средние значения углов откоса по сторонам света на ТМО № 1 шахты пос. Сутоган

Согласно данным таблицы 2.4, значения величины угла откоса склонов ТМО находятся в интервале от 23 до 42°. Для южного и северного склонов наибольшее количество значений находится в интервале 30 – 36°. Для западного склона такой интервал составляет 28 – 34°, а для восточного – 26 – 31°. Таким образом, наибольшим углом откоса (35,8°) характеризуется северный склон ТМО, несколько меньшее среднее значение угла откоса получено для западного склона. На рисунке 2.50 приведены средние значения углов откоса по экспозициям.

Выводы

1 После таяния снега и ливней во впитывании влаги в породе ТМО большую роль играет водопроницаемость. При низкой фильтрации и интенсивности впитывания ниже интенсивности выпадения осадков возникает поверхностный сток воды, который в результате водной эрозии способствует

разрушению откосов ТМО и транспортированию загрязнителя на прилегающие территории.

2 Интенсивность пылевыведения и уровень кислотности пыли во многом зависят от влажности пород ТМО. В местах выпадения пыли активность химических элементов определяется кислотностью пыли. Вероятность оползневых деформаций ТМО повышается при переувлажнении пород.

3 Натурные наблюдения при формировании ТМО, результаты гранулометрических и фракционных анализов породы, поступающей в ТМО и отбираемой с их откосов, а также исследование моделей ТМО различной формы дают представление о структуре ТМО в зависимости от технологической схемы складирования пород. Фракционный состав пород влияет на интенсивность воздушной эрозии и устойчивость откосов ТМО.

4 Исследования кислотности поверхностного слоя пород показывают, что пыль, образующаяся на поверхности ТМО и поступающая в окружающую среду, оказывает негативное влияние на почвы (подкисление и снижение плодородности) и поверхностные воды (увеличение кислотности).

5 Уровень кислотности на поверхности ТМО может понижаться из-за атмосферных осадков, но через некоторое время восстановится из-за диффузии серной кислоты из тела ТМО.

6 Серная кислота, получающаяся в результате холодного окисления, содержащегося в ТМО пирита, при взаимодействии с породной массой обеспечивает возникновение большого числа химически активных водорастворимых соединений. С одной стороны, атмосферные осадки растворяют эти соединения, тем самым снижая устойчивость пород, слагающих ТМО. С другой стороны – при проникновении атмосферных осадков в тело ТМО они обогащаются химически активными водорастворимыми соединениями.

7 Подвижность тяжелых металлов, содержащихся в породной массе, увеличивается при ее высокой кислотности. Растворимость солей тяжелых металлов в фильтрате ТМО обуславливается уровнем его рН и лимитирует интенсивность поступления в окружающую среду тяжелых металлов из ТМО.

8 Предложенный подход по созданию цифровой модели ТМО с использованием БПЛА позволяет получать информацию для оценки негативного влияния ТМО на окружающую среду, для оценки предельного состояния пород ТМО и для разработки технологий освоения и сохранения техногенных месторождений.

9 Форма ТМО является одним из важнейших факторов, влияющих на возникновение и развитие деформаций поверхности ТМО.

ГЛАВА 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

3.1 Краткая характеристика объектов исследования

Интенсивность загрязнения окружающей среды зависит от аэродинамических свойств техногенных минеральных образований, их размеров и массы, механических и физико-химических свойств породной массы, возраста, механических и физико-химических свойств подстилающей поверхности, климатических, метеорологических и других факторов.

Наряду с рассмотренными выше факторами, интенсивность и распределение поллютантов, поступающих в окружающую среду, зависят от степени деформации ТМО.

В зависимости от способа транспортирования породной массы образуются потенциальные техногенные месторождения следующих типов: конические (терриконы), хребтовые (штабельные) и плоские, принимающие породу от отдельной шахты или группы шахт и обогатительных фабрик. На шахтах Подмосковского бассейна для транспортирования породы на отвал преимущественно использовались канатная откатка скипами или вагонетками по рельсовым путям или канатно-подвесные дороги. В первом случае образуются отвалы конической формы (терриконы).

В зависимости от требуемой производительности отвала схемы рельсовой откатки породы на конические отвалы могут быть однопутевые и двухпутевые.

В зависимости от длины и требуемой производительности, а также от конкретных условий промышленной площадки откатка породы на конические отвалы может быть осуществлена по нескольким схемам.

Канатные подвесные дороги, применяемые для транспортирования породы в отвалы, практически не зависят от рельефа местности, что позволяет транспортировать породу на значительные расстояния и образовывать отвалы большой емкости.

С целью уменьшения занимаемой площади при создании отвалов большой емкости мачты, поддерживающие несущий канат, принято возводить высотой 50 – 120 м. Пролет между опорами принимают равным 300 – 400 м, чтобы не засыпать мачты породой.

Породные отвалы, создаваемые канатно-подвесными дорогами, могут быть разделены на три основных типа: конусные, штабельные и секторные. При выборе схемы породного отвала исходят из заданной его емкости и местных топографических условий. Наиболее полное использование отведенной под отвал площади может быть достигнуто применением многолучевых схем, последовательно перемещаемых, подобно вееру, относительно погрузочной станции. При отсыпке породы в конические, хребтовые, а также плоские отвалы, формируемые отсыпкой под откос, происходит её сегрегация.

В настоящее время подавляющая часть породной массы в Подмосковном бассейне сосредоточена в потенциальных техногенных месторождениях в виде терриконов шахт емкостью 300 – 600 тыс. тонн, построенных в 40-е годы прошлого века, и хребтовых породных отвалах с проектной емкостью до 900 тыс. тонн, образованных на более современных шахтах с применением, как правило, двухпролетных подвесных канатных дорог с челночным движением сосудов.

В зоне влияния техногенных минеральных образований основными процессами, вызывающими загрязнение окружающей среды вредными веществами, являются [149, 126, 177, 128, 156]:

- ветровая эрозия пород;
- водная эрозия пород;
- фильтрация воды через тело ТМО;
- деформация.

Деформации потенциальных техногенных месторождений появляются в комплексе с водной и ветровой эрозией под действием гравитации. По внешнему проявлению деформации можно разделить на следующие виды [153, 178]:

– осыпи из отдельных частиц и кусков породы, сползают по откосу к подошве минеральных образований, могут возникать, когда их угол естественного откоса превышает угол внутреннего трения пород, слагающих такие образования;

– размывы, просадки и трещины (разломы) ТМО могут явиться следствием, как неустойчивости их оснований, так и горения ТМО отдельными ячейками;

– оползни - смещения (скольжения) массы пород, слагающих ТМО вниз по склону под влиянием силы тяжести. Оползни следует рассматривать как результат нарушения равновесия пород под воздействием выветривания или переувлажнения их атмосферными осадками или подземными водами, процесса горения пород ТМО, а также действия внешних сил (сейсмические толчки, увеличение нагрузки в верхней части склона и др.);

– обвалы – это отрывы и перемещения масс пород вниз по склону, их опрокидывание и дробление. Обвалы происходят в результате ослабления связности пород и действия силы тяжести.

Природные факторы, определяющие возможность деформаций ТМО, можно разделить на гидрогеологические, геологические и климатические.

Гидрогеологическими факторами являются наличие поверхностных вод и близкое расположение водоносных горизонтов. Геологические факторы разделяются на состав пород (механический, гранулометрический и минеральный) и свойства пород (механические, гидравлические и гравитационные) ТМО. Климатические факторы – температурный режим массива пород, режим ветров, температура воздуха и количество атмосферных осадков.

ТМО состоят из массы насыпных пород и основания. В период своего существования ТМО не остаются неизменными. Их поверхность и форма от различных причин изменяются.

Деформации ТМО, как правило, связаны с превышением несущей способности естественных оснований, которые в 80 % случаев представлены грунтами (песок, глины, суглинки, супеси, ил). Эти грунты имеют большую пористость и изменяют в больших пределах несущую способность в зависимости от влажности. При нагружении песчаных и глинистых оснований за счет отсыпки породы происходит их сжатие. Песчаный грунт при увеличении на него нагрузки сжимается в основном за счет разрушения острых ребер и углов у зерен и их перемещений в поры. Перемещение одних зерен вызывает смещение других, при этом пористость песчаного грунта уменьшается. Ввиду большой водопроницаемости песка процесс вытеснения из него воды не ограничен скоростью фильтрации [40], поэтому в слое песчаного грунта основная часть осадки происходит практически мгновенно после увеличения нагрузки на него.

В глинистом грунте процесс сжатия под действием нагрузки происходит по-иному, в основном не за счет разрушения его элементарных частиц, а вследствие перемещения глинистых частиц при частичном разрушении природной структуры грунта, его связей. Малая водопроницаемость глинистого грунта в основном определяет малую скорость его сжатия.

Суглинки и супеси по своей сжимаемости занимают промежуточное место между глиной и песком.

Во всех случаях абсолютная величина осадки зависит от сжимаемости грунта под ТМО и от нагрузки.

Прочность оснований под ТМО не рассчитывается, и, как правило, не проводятся мероприятия по увеличению их несущей способности, поэтому нагружение оснований идет до потери устойчивости и деформации отвалов.

По мере роста давления за счет увеличения высоты ТМО состояние грунта изменяется в три стадии: уплотнение, образование сдвигов и выпирание грунта из-под отвала.

На первой стадии (рисунок 3.1, а) характерно постепенное уплотнение грунта под ТМО при максимальной осадке в центре основания ТМО. С возрастанием нагрузки, когда касательные напряжения, возникающие в грунте под действием нормальной нагрузки от породы, становятся больше величины сопротивления грунта сдвигу, возникают боковые перемещения грунта – вторая стадия (рисунок 3.1, б). Этот момент отвечает началу пластических деформаций грунта. Осадка начинает возрастать быстрее, чем растет интенсивность нагрузки. Осадка начинает возрастать быстрее, чем растет интенсивность нагрузки.

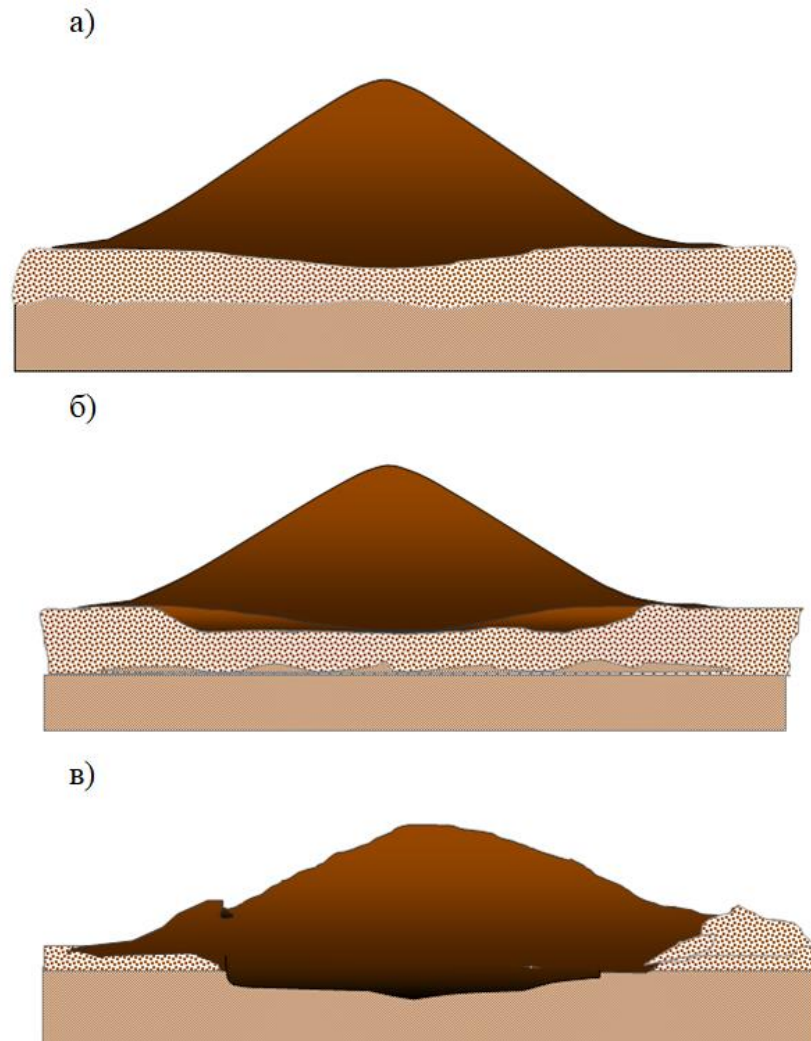


Рисунок 3.1 – Деформация насыпных ТМО:

а) первая стадия; б) вторая стадия; в) третья стадия

В дальнейшем с увеличением нагрузки клин уплотнения грунта под серединой основания, претерпевая осадку, стремится выдавить в сторону окружающий грунт, вследствие чего зона пластических деформаций расширяется. При этом возникает повышение поверхности грунта с боков основания, намечаются поверхности выпирания грунта (рисунок 3.1, в), и углубление периферийной части породы в основание начинает превышать углубление породы в центре основания.

Таким образом, химически активные водорастворимые соединения, образующиеся при фильтрации атмосферных осадков через тело ТМО, могут скапливаться в образовавшейся под ним глинистой непроницаемой мульдe, а в периоды интенсивных атмосферных осадков и снеготаяния, переполняя эту линзу, попадать в окружающие ТМО почвы и распространяться с грунтовыми водами.

Техногенные минеральные образования, сформированные из отходов добычи полезных ископаемых, являются постоянными источниками загрязнения окружающих территорий пылью, действующими на протяжении многих лет [215].

Интенсивность пылевыведения ТМО зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются – влагосодержание атмосферы, суточные колебания температуры, скорость и направление ветра. Данные факторы приводят к интенсификации массы или потока газа (пара) и появлению разности потенциалов на границе «ТМО – атмосфера». Процессы испарения и конденсации с вовлечением в этот процесс атмосферного воздуха (конвективные токи) сопровождаются фазовыми переходами воды «жидкость \Leftrightarrow пар». Изменение влажности поверхностного слоя ТМО влияет на взметывание пыли.

Источники поступления влаги в ТМО играют большую роль при исследовании эмиссии загрязняющих веществ образующимся в породной массе фильтратом. В основном такими источниками являются влага из атмосферного воздуха и атмосферные осадки.

Стоки с ТМО являются еще одним мощным фактором загрязнения окружающих территорий в угледобывающих регионах.

Поступление стоков на прилегающие территории в силу многообразия технологических, горнотехнических и других условий формирования и трансформации ТМО происходит вследствие:

- стекания обогащенных серной и угольной кислотами атмосферных осадков в овражно-балочную сеть и открытые водоемы;
- растекания и инфильтрации стоков на горизонтальных участках рельефа;
- скапливания стоков в низинах, что впоследствии приводит к заболачиванию территории.

Распространение стоков, независимо от путей их миграции, вызывает изменение окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий в почвах, что в большой степени определяется их буферной емкостью. Это способствует протеканию разнообразных химических реакций, которые приводят к увеличению функциональной подвижности токсичных веществ.

Вероятностью вовлечения поллютантов в пищевые цепи и их поступления непосредственно в организм человека определяется степень опасности происходящего для здоровья населения.

Из этого следует, что оценка интенсивности и масштаба загрязнения окружающих ТМО территорий является важнейшей задачей для предотвращения деградации почв и обеспечения безопасности населения, проживающего в зоне влияния ТМО [116, 117].

Основные составляющие загрязнения прилегающих территорий при взаимодействии пород ТМО и воды представлены на рисунке 3.2.

Для оценки физических параметров указанных процессов необходимо исследовать динамику распространения стоков и характеристики породной массы и вмещающих стоки почв, влияющих на многообразные химические превращения, происходящие в период воздействия ТМО на прилегающие территории.



Рисунок 3.2 – Загрязнение прилегающих территорий ТМО, связанные с водой

Потенциальные техногенные месторождения — это частный случай техногенных минеральных образований. Техногенные минеральные образования становятся техногенными месторождениями при появлении необходимых технологий и благоприятных экономических условий для их освоения. Учитывая анализ, изложенный в пункте 1.4, здесь и далее понятия «техногенное минеральное образование» и «техногенное месторождение» относятся к породным отвалам угольных шахт, обоснование технологических решений для освоения и сохранения ресурсов которых является основным направлением данного исследования.

3.2 Моделирование предельного состояния пород потенциальных техногенных месторождений

Все виды деформаций потенциальных техногенных месторождений не только усложняют их отработку, но и создают дополнительные поверхности для воздействия водной и ветровой эрозии, что, в свою очередь, значительно увеличивает интенсивность загрязнения окружающей среды в зоне влияния ТМ.

Для определения технологических параметров отработки потенциальных ТМ и оценки загрязнения окружающей среды в результате их деформаций необходимо произвести оценку предельного состояния пород.

Для оценки предельного состояния пород потенциальных ТМ предлагается использовать расчетную модель, основанную на совместном применении уравнений методов начальных параметров и конечных разностей. Такая комбинация методов была использована для прогнозирования геомеханических ситуаций в зоне влияния очистных работ при подземной разработке месторождений полезных ископаемых и в зоне влияния выемочно-погрузочных работ на открытых горных работах [201, 207, 203]. Такой подход позволяет использовать практически универсальные возможности метода начальных параметров для задания граничных условий [206] и определять искомые функции во внутренних точках исследуемого массива пород методом конечных разностей [209] (Приложение Г).

Предлагаемая комбинация методов позволяет выявлять закономерности формирования напряжений в исследуемой области породного массива и на основе теории предельного равновесия определять форму и размеры зон деформаций откосов потенциальных ТМ и прогнозировать размеры образуемых вследствие деформаций дополнительных поверхностей в зависимости от начальных напряжений в массиве и механических свойств пород [190].

Объектом исследования является часть массива пород техногенного месторождения, ограниченная: откосами ТМ от подошвы до вершины, подошвой

и нетронутым массивом под подошвой ТМ. Такая часть массива пород ТМ рассматривается как балка-стенка. Балки-стенки относятся к классу пластин, нагруженных в своей плоскости. Предполагается, что толщина пластины очень велика, а нагрузка по толщине – однообразная. Этот случай плоской задачи называется плоским напряженным состоянием [38].

Определение функций напряжений для оценки предельного состояния пород потенциальных ТМ предлагается производить на основе уравнений в полярной системе координат. Такой подход дает возможность наиболее полно учитывать геометрические характеристики потенциальных ТМ.

Если спроектировать все силы на направление радиуса и перпендикулярное к нему направление s , то после отбрасывания бесконечно малых высших порядков получим следующие уравнения равновесия:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} + R = 0,$$

где R – объемная сила, действующая в радиальном направлении; $\tau_{r\theta} = \tau_{\theta r}$.

Установим соотношения между напряжениями и функцией напряжения $\varphi(r, \theta)$. В случае отсутствия объемных сил

$$\sigma_\theta = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2}, \tau_{r\theta} = -\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial \theta} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta}, \sigma_r = \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2}.$$

При переходе от площадки ad к площадке bc меняется не только величина напряжения, но и на величину Δds размер площадки (рисунок 3.3). С учетом этого обстоятельства и того, что $ds = r d\theta$

$$\sigma_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2}.$$

Учитывая, что уравнение совместности деформаций в напряжениях в полярной системе координат можно записать в виде

$$\nabla^2 (\sigma_\theta + \sigma_r) = 0,$$

то гармонический оператор Лапласа в полярной системе координат

$$\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial \theta^2}.$$

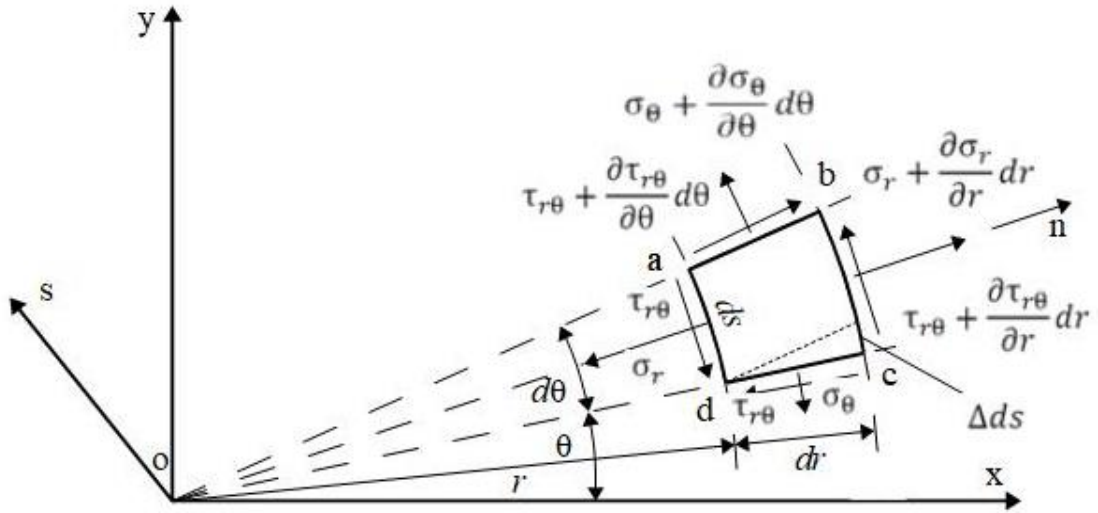


Рисунок 3.3 – Малый элемент в полярных координатах

Расчетная схема для определения функций напряжений показана на рисунке 3.4.

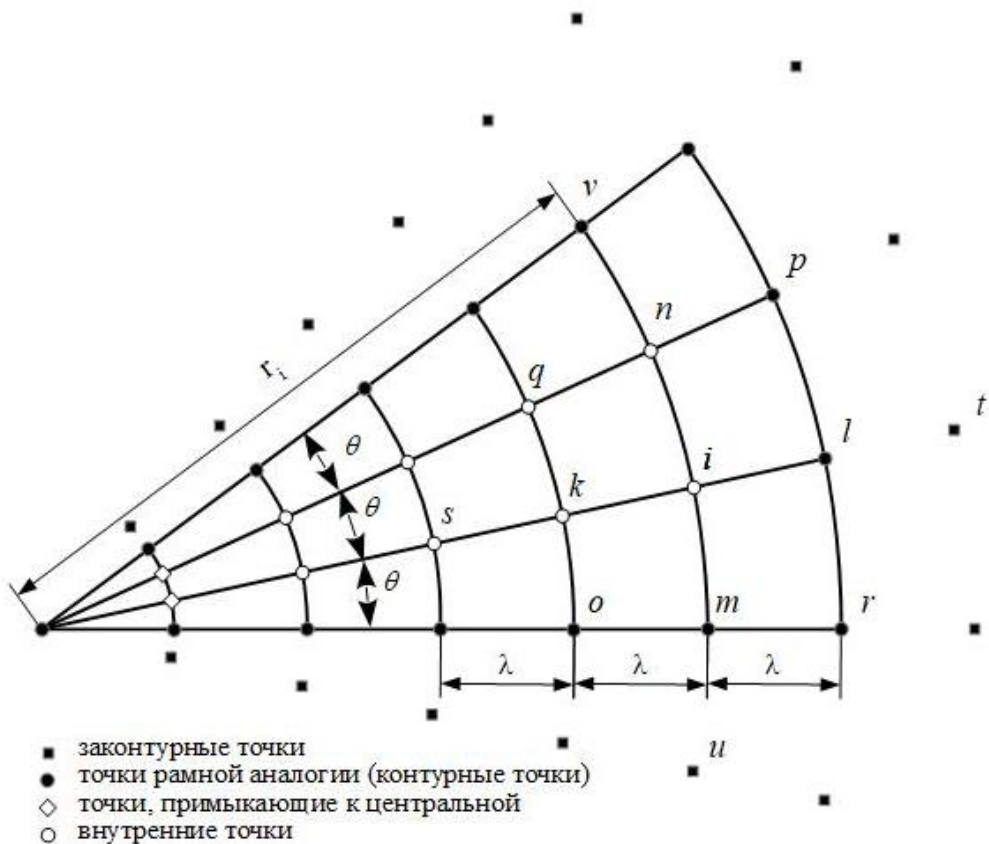


Рисунок 3.4 – Расчетная схема для определения функций напряжений в массиве пород потенциальных ТМ

Из расчетной схемы видно, что массив пород аппроксимируется полярной сеткой. Для получения функции напряжений на границах исследуемой области массива пород необходимо произвести расчет рам-аналогов контура области. Точки рамной аналогии лежат на прямолинейных и криволинейном элементах рамной аналогии. Для расчета рам-аналогов используем модель, базирующуюся на уравнениях метода начальных параметров, позволяющую наиболее полно учитывать граничные условия. Данная модель подробно описана в научных трудах [36, 81]. Функции напряжений в точках рамной аналогии определяются в результате ее расчета как моменты в точках деления элементов на участки.

Применению метода конечных разностей в теории упругости способствовали многочисленные работы отечественных и зарубежных исследователей: Г. Маркуса, П.М. Варвака, Л.И. Дятловицкого, М.И. Длугача и других [36, 34, 35, 60]. Именно П.М. Варваку принадлежит плодотворная идея сочетания метода сеток с рамной аналогией, что оказалось весьма эффективным при решении классов задач по расчету плит, пластинок и балок-стенок. Однако широкое применение такого подхода сдерживалось неуниверсальностью аналитического описания напряженного состояния условных рам. Эти трудности связаны с необходимостью применения для расчета рам-аналогов канонических уравнений метода сил, составление которых в каждом конкретном случае требует особого подхода. Аналогичные недостатки присущи и методу перемещений. Кроме того, при применении этих классических методов не представляется возможным осуществлять расчет систем, взаимодействующих с упругой средой. Практика показала, что применительно к решению задач горной геомеханики усовершенствованный метод начальных параметров является альтернативой классическим методам. Он универсально применим для расчета любых типов рамных аналогий, при этом нет необходимости подразделять их на статически определимые и неопределимые.

Общие уравнения метода начальных параметров для определения

силовых и кинематических факторов в сечениях произвольно нагруженных типовых прямолинейных конечных элементов с учетом их переменной жесткости описаны в работах В.Н. Каретникова, В.Б. Клейменова, М.Н. Гелескул, Е.Л. Переяславцева и В.А. Бреднева [81, 82, 30, 47, 119].

Рассмотрим уравнения начальных параметров типовых криволинейных и прямолинейных элементов (рисунки 3.5 – 3.6), разбитых на участки одинаковой длины и жесткости и нагруженных нормальными и тангенциальными силами, приложенными в точках деления на участки.

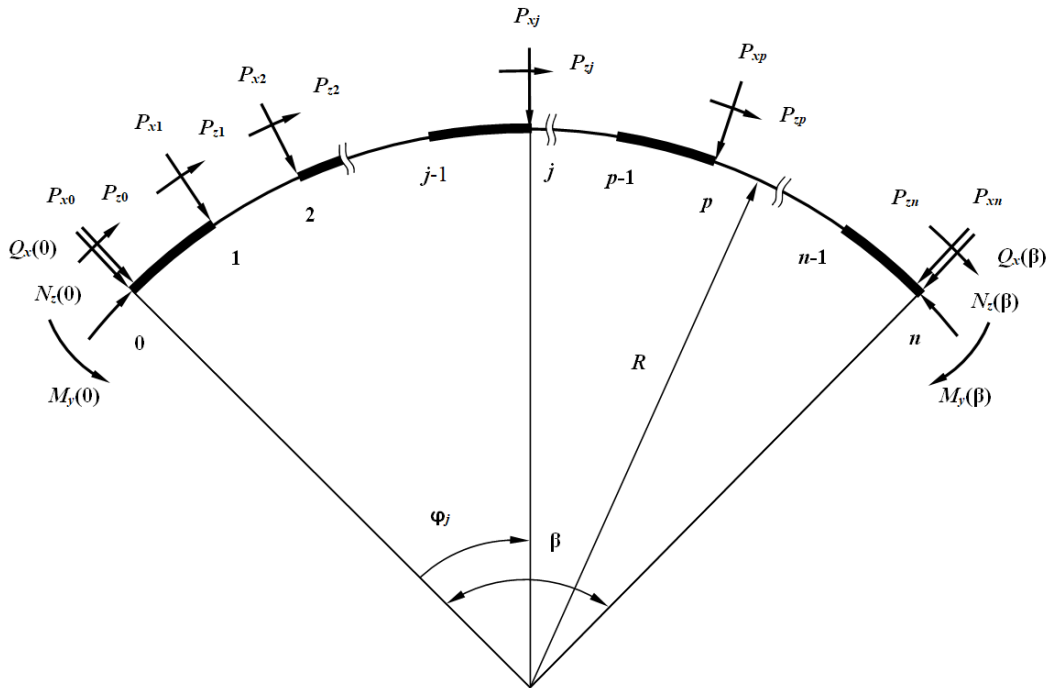


Рисунок 3.5 – Расчетная схема типового криволинейного элемента

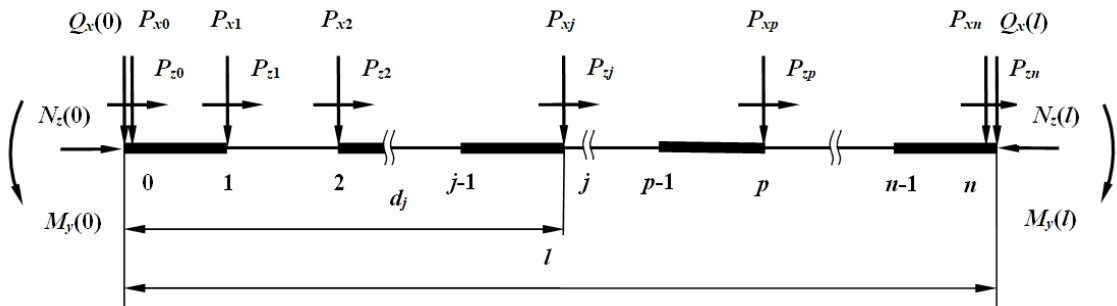


Рисунок 3.6 – Расчетная схема типового прямолинейного элемента

Введем следующие обозначения:

$Q_x(0)$, $N_z(0)$ и $M_y(0)$ – поперечная и продольная силы и изгибающий момент в начальном сечении элемента рамной аналогии; $\theta(0)$, $X(0)$ и $Z(0)$ – угол поворота, радиальное и касательное перемещения в начальном сечении элемента рамной аналогии; j и p – целочисленные переменные – номера сечений, которыми элемент рамной аналогии разбивается на участки ($j = 0, 1, 2, \dots, n$; $p = 1, 2, \dots, n$, где n – общее число участков на элементе рамной аналогии); C_k , Δ_k и E_k / η – жесткость при изгибе, сжатии и сдвиге k -го участка элемента рамной аналогии; η – коэффициент неравномерности сдвигов по сечению; $k = 1, 2, \dots, n$; P_{xj} и P_{zj} – нормальный и касательный компоненты нагрузки в j -м сечении; f_{0j} – эксцентриситет приложения касательной нагрузки в j -м сечении.

Для криволинейного элемента:

R и β – радиус кривизны и центральный угол элемента рамной аналогии; φ_j и φ_p – угловые координаты j -го и p -го сечения ($\varphi_j = j\beta / n$; $\varphi_p = p\beta / n$).

Для прямолинейного элемента:

l – длина элемента; d_j и d_p – линейные координаты сечений j -го и p -го сечения ($d_j = jl / n$; $d_p = pl / n$).

Правило знаков для силовых факторов понятно из рисунков 3.14 – 3.15. Положительные направления перемещений X и Z совпадают с положительными направлениями осей x и z подвижной системы координат, а угол поворота считается положительным, если сечение поворачивается по часовой стрелке.

Общие уравнения силовых факторов имеют следующий вид:

а) для криволинейного элемента:

поперечная сила:

$$Q_x(\varphi_p) = Q_x(0) \cos \varphi_p - N_z(0) \sin \varphi_p +$$

$$+ \sum_{j=0}^p [P_{xj} \cos(\varphi_p - \varphi_j) - P_{zj} \sin(\varphi_p - \varphi_j)]; \quad (3.1)$$

продольная сила:

$$N_z(\varphi_p) = Q_x(0) \sin \varphi_p - N_z(0) \cos \varphi_p + \\ + \sum_{j=0}^p [P_{xj} \sin(\varphi_p - \varphi_j) - P_{zj} \cos(\varphi_p - \varphi_j)]; \quad (3.2)$$

изгибающий момент

$$M_y(\varphi_p) = Q_x(0)R \sin \varphi_p - N_z(0)R(1 - \cos \varphi_p) + M_y(0) + \\ + R \sum_{j=0}^p \left\{ P_{xj} \sin(\varphi_p - d_j) - P_{zj} \left\{ [1 - \cos(\varphi_p - d_j)] + \frac{f_{0j}}{R} \right\} \right\}, \quad (3.3)$$

где φ_p – угловая координата сечения, для которого записываются уравнения;

б) для прямолинейного элемента:

поперечная сила:

$$Q_x(d_p) = Q_x(0) + \sum_{j=0}^p P_{xj}; \quad (3.4)$$

продольная сила:

$$N_z(d_p) = N_z(0) + \sum_{j=0}^p P_{zj}; \quad (3.5)$$

изгибающий момент:

$$M_y(d_p) = Q_x(0)d_p + M_y(0) + \sum_{j=0}^p [P_{xj}(d_p - d_j) - P_{zj}f_{0j}], \quad (3.6)$$

где d_p – линейная координата сечения, для которого записываются уравнения.

Общие уравнения перемещений для произвольного сечения криволинейного элемента с дискретно изменяющейся жесткостью представим в следующем виде:

для углов поворота сечений:

$$\theta_y(\varphi_p) = \theta_y(0) + Q_x(0)a_{\theta X}(\varphi_p, 0) + N_z(0)a_{\theta Z}(\varphi_p, 0) + M_y(0)a_{\theta M}(d_p, 0) +$$

$$+ \sum_{j=0}^p \left\{ P_{xj} a_{\theta X}(\varphi_p, \varphi_j) + P_{zj} [a_{\theta Z}(\varphi_p, \varphi_j) - f_{0j} a_{\theta M}(\varphi_p, \varphi_j)] \right\}; \quad (3.7)$$

для радиальных перемещений:

$$\begin{aligned} X(\varphi_p) = & \theta_y(0)R \sin \varphi_p + X(0)R \cos \varphi_p - Z(0) \sin \varphi_p + \\ & + Q_x(0) a_{XX}(\varphi_p, 0) + N_z(0) a_{XZ}(\varphi_p, 0) + M_y(0) a_{XM}(\varphi_p, 0) + \\ & + \sum_{j=0}^p \left\{ P_{xj} a_{XX}(\varphi_p, \varphi_j) + P_{zj} [a_{XZ}(\varphi_p, \varphi_j) - f_{0j} a_{XM}(\varphi_p, \varphi_j)] \right\}; \end{aligned} \quad (3.8)$$

для касательных перемещений:

$$\begin{aligned} Z(d_p) = & \theta_y(0)R(1 - \cos \varphi_p) + X(0)R \sin \varphi_p + Z(0) \cos \varphi_p + \\ & + Q_x(0) a_{ZX}(\varphi_p, 0) + N_z(0) a_{ZZ}(\varphi_p, 0) + M_y(0) a_{ZM}(\varphi_p, 0) + \\ & + \sum_{j=0}^p \left\{ P_{xj} a_{ZX}(\varphi_p, \varphi_j) + P_{zj} [a_{ZZ}(\varphi_p, \varphi_j) - f_{0j} a_{ZM}(\varphi_p, \varphi_j)] \right\}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

В выражениях (3.4) - (3.9) $a_{\theta X}(\alpha, \nu)$, $a_{\theta Z}(\alpha, \nu)$ и $a_{\theta M}(\alpha, \nu)$ – коэффициенты влияния факторов (нормальной, касательной силы и сосредоточенного момента) для углов поворота сечений; $a_{XX}(\alpha, \nu)$, $a_{XZ}(\alpha, \nu)$ и $a_{XM}(\alpha, \nu)$ – коэффициенты влияния для радиальных перемещений; $a_{ZX}(\alpha, \nu)$, $a_{ZZ}(\alpha, \nu)$ и $a_{ZM}(\alpha, \nu)$ – коэффициенты влияния для касательных перемещений, где $\alpha = \varphi_p$ – угловая координата сечения, в формулах (2.48) – (2.50); ν – угловая координата влияющего фактора, равная нулю, для начальных параметров и φ_j для нагрузок.

Получение коэффициентов влияния и их вид представлены в [82].

Уравнения метода начальных параметров позволяют полностью определить напряженное состояние элемента, однако ряд входящих в эти уравнения величин (нормальные и тангенциальные усилия взаимодействия с породами, с вышележащими и нижележащими слоями, а также некоторые начальные па-

раметры) в общем случае являются неизвестными. Для их определения составляется система уравнений равновесия и совместности перемещений (с породами, со смежными элементами слоя и с элементами вышележащего и нижележащего слоев) всех элементов системы. Дополненные граничными условиями, эти уравнения образуют математическую модель системы [82, 119].

При составлении уравнений равновесия и совместности перемещений i -го и $(i+1)$ -го элемента (где $i = 1, 2, 3, \dots, N$) силовые и кинематические факторы в конечном сечении i -го элемента выражаются через начальные параметры $(i+1)$ -го элемента, при этом, чтобы не нарушать общность алгоритма, считается, что к последнему элементу рамной аналогии ($i = N$) присоединен фиктивный элемент, имеющий нулевую длину и не несущий нагрузки, начальные параметры которого соответствуют реакциям и перемещениям на конечной опоре или на оси симметрии (для симметричных расчетных схем) или начальным параметрам первого элемента (для замкнутых расчетных схем). Будем считать, что интенсивность отпора в каждой точке (реакции упругих опор) пропорциональна величине перемещений.

Для записи уравнений в дополнение к принятым введем следующие обозначения:

1 Геометрические параметры:

α^{i+1} - угол сопряжения i -го элемента с $(i+1)$ -м; угол положительный, если касательная к $(i+1)$ -му элементу отклонена от касательной к i -му элементу по ходу часовой стрелки.

2 Характеристики реактивного давления пород:

μ_{xp} и μ_{zp} – коэффициенты упругого отпора при нормальных и касательных перемещениях p -го сечения i -го элемента рамной аналогии;

f_p – коэффициент трения рамной аналогии по породе в p -м сечении i -го элемента рамной аналогии.

Общую расчётную модель можно представить системой матричных уравнений (3.10) – (3.14):

$$A_{1,1}^i \bar{p}_0^i + A_{1,2}^i \bar{s}^i + A_{1,3}^i \bar{t}^i + A_{1,4}^i \bar{p}_0^{i+1} + A_{1,5}^i \bar{\delta}^i = \bar{b}_1^i, \quad i = \overline{1, N}; \quad (3.10)$$

$$A_{2,1}^i \bar{p}_0^i + A_{2,2}^i \bar{s}^i + A_{2,3}^i \bar{t}^i = \bar{b}_2^i, \quad i = \overline{1, N}; \quad (3.11)$$

$$A_{3,1}^i \bar{p}_0^i + A_{3,2}^i \bar{s}^i + A_{3,3}^i \bar{t}^i = \bar{b}_3^i, \quad i = \overline{1, N}; \quad (3.12)$$

$$G_1 \bar{p}_0^1 + G_2 \bar{p}^{N+1} = \bar{q}; \quad (3.13)$$

$$G_3^i \bar{p}_0^{i+1} + G_4^i \bar{\delta}^i = \bar{b}_4^i, \quad i = \overline{1, N}. \quad (3.14)$$

Уравнение (3.10) выражает условия равновесия и совместности перемещений всех элементов рамной аналогии; уравнения (3.11) и (3.12) – условия взаимодействия элементов рамной аналогии с породами соответственно при нормальных и касательных перемещениях; уравнения (3.13) и (3.14) выражают так называемые граничные условия, т. е. условия на “опорах” (в начальных сечениях первого и $(N + 1)$ -го элементов расчетной схемы) и в соединениях элементов.

В уравнениях (3.10) - (3.14) приняты следующие обозначения:

$$\bar{p}_0^i = \left[Q_x^i(0) \quad N_z^i(0) \quad M_y^i(0) \quad \theta_y^i(0) \quad X^i(0) \quad Z^i(0) \right]^t - \text{вектор начальных параметров};$$

$\bar{s}^i = \left[S_0, S_1, \dots, S_{ni} \right]^t$ – вектор нормальных реакций боковых пород в сечениях i -го элемента рамной аналогии (рисунки 3.14 – 3.15);

$$\bar{t}^i = \left[T_0, T_1, \dots, T_{ni} \right]^t - \text{вектор тангенциальных реакций боковых пород};$$

$\bar{\delta}^i = \left[\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_3 \right]^t$ – вектор кинематических скачков (угла поворота, радиального и касательного перемещений) в соединении i -го элемента рамной аналогии с $(i + 1)$ -м;

$A_{1,1}^i, A_{1,2}^i, \dots, A_{3,3}^i; \bar{b}_1^i, \bar{b}_2^i$ и \bar{b}_3^i – матрицы и векторы, элементы которых определяются из выражений (3.1) – (3.3) и (3.4) – (3.9);

$$G_1, G_2, G_3 \text{ и } G_4; \bar{q} \text{ и } \bar{b}_4^i - \text{матрицы и векторы граничных условий};$$

$$G_1 = [(g_1)_{k,j}], k, j = \overline{1,6}; \quad G_2 = [(g_2)_{k,j}], k, j = \overline{1,6};$$

$$G_3^i = [(g_3)_{k,j}], k = \overline{1,3}; \quad j = \overline{1,6}; \quad G_4 = [(g_4)_{k,j}], k, j = \overline{1,3};$$

$$\bar{q} = [q_k], k = \overline{1,6}; \quad \bar{b}_4^i = [(\bar{b}_4^i)_k], k = \overline{1,3}.$$

Элементы матриц G_1, G_2, G_3^i, G_4^i и векторов \bar{q} и \bar{b}_4^i однозначно определяются граничными условиями для конкретных расчетных схем и здесь не рассматриваются.

Решение системы (3.10) – (3.14) позволяет определить векторы $\bar{p}_0^i, \bar{s}^i, \bar{t}^i$ и $\bar{\delta}^i$ ($i = 1, 2, \dots, N$), которые совместно с векторами заданных нагрузок полностью описывают напряженное состояние системы.

На основе вышеприведенных уравнений для расчета крепей горных выработок был разработан пакет программных модулей «Крепёж Каретникова» [210] (Приложение В), который позволяет производить расчет любых типов рамных аналогий.

Для определения функций напряжений во внутренних точках используются уравнения метода конечных разностей. Для радиальной сетки регулярной структуры $\theta = const, \lambda = const$.

Для точки i составляющие этого оператора в конечных разностях имеют вид [36]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} &= \frac{\varphi_k - 2\varphi_i + \varphi_l}{\lambda^2}; \\ \frac{1}{r_i} \frac{\partial \varphi}{\partial r} &= \frac{1}{r_i} \frac{\varphi_l - \varphi_k}{2\lambda}; \\ \frac{1}{r_i^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial (r_i \theta)^2} = \frac{\varphi_m - 2\varphi_i + \varphi_n}{s_i^2}. \end{aligned} \right\} \quad (3.15)$$

где $s_i = r_i \theta$.

Сложив выражения (3.15) получим

$$\lambda^2 \nabla^2 \varphi_i = (1 - \chi_i) \varphi_k + (1 + \chi_i) \varphi_l + \alpha_i (\varphi_m + \varphi_n) - 2(1 + \alpha_i) \varphi_i, \quad (3.16)$$

$$\text{где } \chi_i = \frac{\lambda}{2r_i}; \quad \alpha_i = \frac{\lambda^2}{s_i^2}.$$

Если $\lambda = s_i$, $\alpha_i = 1$, если $r_i \rightarrow \infty$, $\chi_i \rightarrow 0$, бигармонический оператор запишется следующим образом:

$$\lambda^4 \nabla^2 \nabla^2 \varphi_i = (1 - \chi_i) \nabla^2 \varphi_k + (1 + \chi_i) \nabla^2 \varphi_l + \alpha_i \nabla^2 (\varphi_m + \varphi_n) - 2(1 + \alpha_i) \nabla^2 \varphi_i.$$

Раскрыв операцию $\nabla^2 \dots$, сделав приведение подобных членов и учитывая, что $\alpha_i = \alpha_m = \alpha_n$, $\alpha_r = \alpha_o = \alpha_q$, $\alpha_l = \alpha_r = \alpha_p$, $\chi_i = \chi_m = \chi_n$, $\chi_r = \chi_o = \chi_q$, $\chi_l = \chi_r = \chi_p$, получим

$$\begin{aligned} \lambda^4 \nabla^2 \nabla^2 \varphi_i = & \left[(1 - \chi_i)(1 + \chi_k) + (1 + \chi_i)(1 - \chi_l) + 2\alpha_i^2 - 4(1 + \alpha_i)^2 \right] \varphi_i - \\ & - 2(1 - \chi_i)(2 + \alpha_i + \alpha_k) \varphi_k - 2(1 + \chi_i)(2 + \alpha_i + \alpha_l) \varphi_l - \\ & - 4\alpha_i(1 + \alpha_i)(\varphi_m + \varphi_n) + (1 - \chi_i)(\alpha_k + \alpha_i)(\varphi_o + \varphi_q) + \\ & + (1 + \chi_i)(\alpha_l + \alpha_i)(\varphi_p + \varphi_r) + (1 - \chi_i)(1 - \chi_k) \varphi_s + \\ & + (1 + \chi_i)(1 + \chi_l) \varphi_t + \alpha_i^2 (\varphi_u + \varphi_v). \end{aligned} \quad (3.17)$$

Для определения функций напряжений необходимо решить систему линейных уравнений. Чтобы составить матрицу коэффициентов при неизвестных целесообразно пронумеровать точки сетки, как показано на рисунке 3.7.

В таком случае уравнение (3.17) можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} \lambda^4 \nabla^2 \nabla^2 \varphi_i = & \left[\begin{array}{l} (1 - \chi_i)(1 + \chi_{i-(nk+3)}) + (1 + \chi_i)(1 - \chi_{i+(nk+3)}) + 2\alpha_i^2 - \\ -4(1 + \alpha_i)^2 \end{array} \right] \varphi_i - \\ & - 2(1 - \chi_i)(2 + \alpha_i + \alpha_{i-(nk+3)}) \varphi_{i-(nk+3)} - \\ & - 2(1 + \chi_i)(2 + \alpha_i + \alpha_{i+(nk+3)}) \varphi_{i+(nk+3)} - 4\alpha_i(1 + \alpha_i)(\varphi_{i+1} + \varphi_{i-1}) + \\ & + (1 - \chi_i)(\alpha_{i-(nk+3)} + \alpha_i)(\varphi_{i-(nk+3)+1} + \varphi_{i-(nk+3)-1}) + \\ & + (1 + \chi_i)(\alpha_{i+(nk+3)} + \alpha_i)(\varphi_{i+(nk+3)-1} + \varphi_{i+(nk+3)+1}) + \\ & + (1 - \chi_i)(1 - \chi_{i-(nk+3)}) \varphi_{i-2(nk+3)} + \\ & + (1 + \chi_i)(1 + \chi_{i+(nk+3)}) \varphi_{i+2(nk+3)} + \alpha_i^2 (\varphi_{i+2} + \varphi_{i-2}) \end{aligned} \quad , (3.18)$$

где nk – количество участков криволинейного элемента.

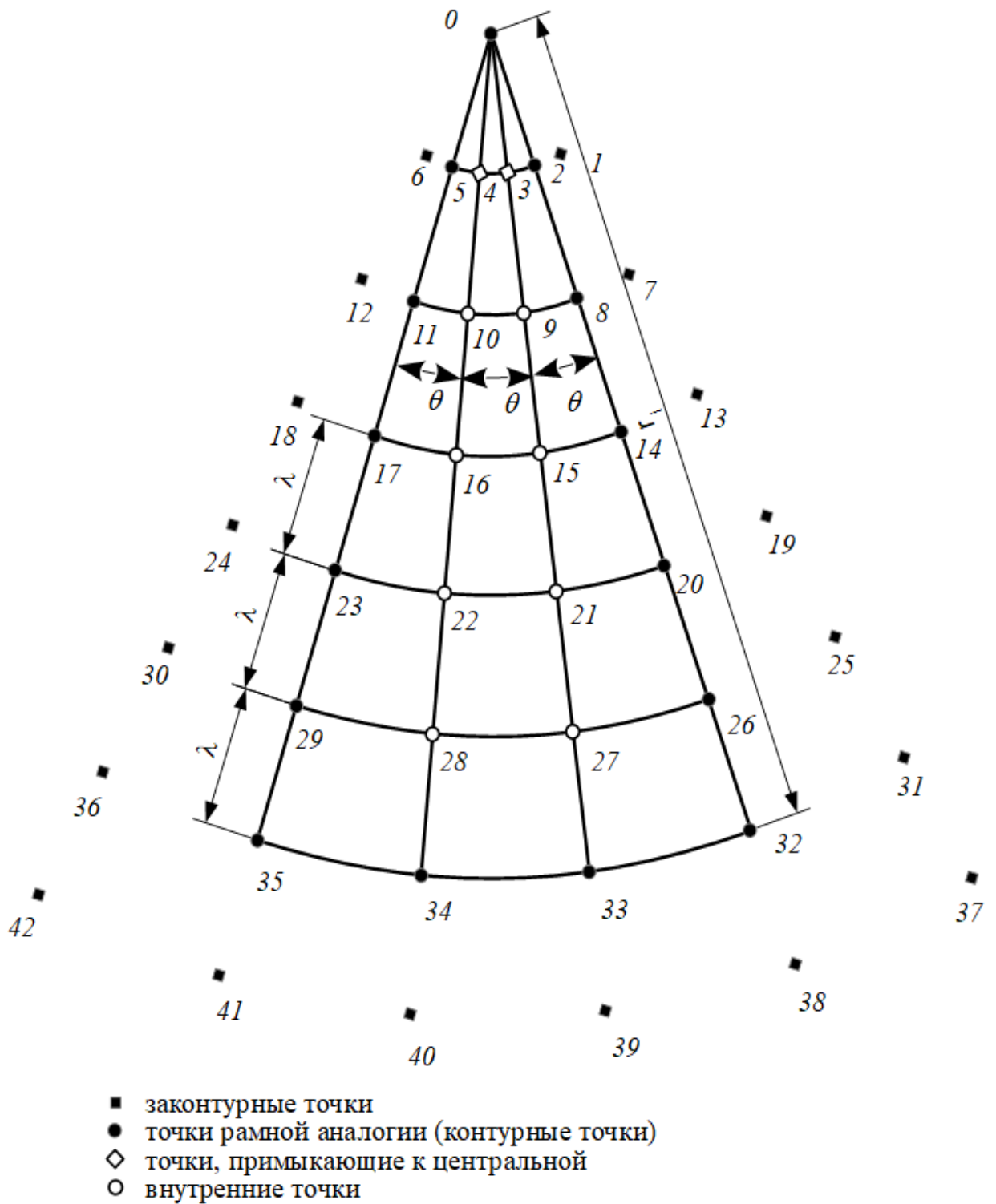


Рисунок 3.7 – Расчетная схема для определения функций напряжений в массиве пород потенциальных ТМ с нумерацией точек полярной сетки для составления системы линейных уравнений

Для точек, примыкающих к центральной точке, бигармонический оператор будет иметь другую структуру

$$\lambda^4 \nabla^2 \nabla^2 \varphi_i = 0,5 \nabla^2 \varphi_0 + 1,5 \nabla^2 \varphi_{i+nk+3} + \frac{n^2}{4\pi^2} \nabla^2 (\varphi_{i-1} + \varphi_{i+1}) - 2\left(1 + \frac{n^2}{4\pi^2}\right) \nabla^2 \varphi_i,$$

где n – количество точек, примыкающих к центру; φ_i – точка, примыкающая к центру; φ_0 – центральная точка; φ_{i+nk+3} – внутренняя точка, следующая после φ_i по направлению от центра; φ_{i+1} , φ_{i-1} – соседние с φ_i точки по окружности радиуса r_i .

Раскрыв операцию $\nabla^2 \dots$, учитывая, что $3 \leq i \leq nk+1$, оператор $\nabla^2 \varphi_0$ записывают на основании $\nabla^2 \varphi_0 = \frac{4}{(nk-1)\lambda^2} \left[\sum_{i=3}^{i=nk+1} \varphi_i - (nk-1)\varphi_0 \right]$, а остальные операторы – на основании (3.16), получим

$$\begin{aligned} \nabla^2 \nabla^2 \varphi_i = & a1_i \left(\sum_{i=3}^{i=nk+1} \varphi_i \right) + (a3_i + a9_i + a13_i - a18_i) \varphi_i + \\ & + (a7_i + a11_i + a15_i - a2_i) \varphi_0 + a4_i \cdot \varphi_{i+2(nk+3)} + \\ & + (a5_i + a8_i) \varphi_{i+nk+4} + (a5_i + a12_i) \varphi_{i+nk+2} + (a16_i - a6_i) \varphi_{i+nk+3} + \\ & + a9_i \cdot \varphi_{i+2} + (a17_i - a10_i) \varphi_{i+1} + a13_i \cdot \varphi_{i-2} + (a17_i - a14_i) \varphi_{i-1} \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\text{где } a1_i = \frac{2}{\lambda^6(nk-1)}; \quad a2_i = \frac{nk-1}{2\lambda^4}; \quad a3_i = -\frac{3(\chi_{i+nk+3}-1)}{2\lambda^4};$$

$$a4_i = \frac{3(\chi_{i+nk+3}+1)}{2\lambda^4}; \quad a5_i = \frac{3\alpha_{i+nk+3}}{2\lambda^4}; \quad a6_i = \frac{3\alpha_{i+nk+3}+3}{\lambda^4}; \quad a7_i = -\frac{\chi_{i+1}-1}{\theta^2\lambda^4};$$

$$a8_i = \frac{\chi_{i+1}+1}{\theta^2\lambda^4}; \quad a9_i = \frac{\alpha_{i+1}}{\theta^2\lambda^4}; \quad a10_i = \frac{2\alpha_{i+1}+2}{\theta^2\lambda^4}; \quad a11_i = -\frac{\chi_{i-1}-1}{\theta^2\lambda^4}; \quad a12_i = \frac{\chi_{i-1}+1}{\theta^2\lambda^4};$$

$$a13_i = \frac{\alpha_{i-1}}{\theta^2\lambda^4}; \quad a14_i = \frac{2\alpha_{i-1}+2}{\theta^2\lambda^4}; \quad a15_i = \frac{(\chi_i-1)(2\theta^2+2)\left(\frac{1}{\theta^2}+1\right)}{\theta^2\lambda^4};$$

$$a16_i = \frac{(\chi_i + 1)(2\theta^2 + 2)\left(\frac{1}{\theta^2} + 1\right)}{\theta^2 \lambda^4}; \quad a17_i = \frac{\alpha_i(2\theta^2 + 2)\left(\frac{1}{\theta^2} + 1\right)}{\theta^2 \lambda^4};$$

$$a18_i = \frac{(2\alpha_i + 2)(2\theta^2 + 2)\left(\frac{1}{\theta^2} + 1\right)}{\theta^2 \lambda^4}.$$

Для определения функций напряжений во внутренних точках выражение (3.18) можно записать следующим образом:

$$\lambda^4 \nabla^2 \nabla^2 \varphi_i = v1_i \varphi_i + v2_i \varphi_{i-(nk+3)} + v3_i \varphi_{i+(nk+3)} + v4_i \varphi_{i+1} + v4_i \varphi_{i-1} +$$

$$+ v5_i \varphi_{i-(nk+3)+1} + v5_i \varphi_{i-(nk+3)-1} + v6_i \varphi_{i+(nk+3)-1} + v6_i \varphi_{i+(nk+3)+1} + , \quad (3.20)$$

$$+ v7_i \varphi_{i-2(nk+3)} + v8_i \varphi_{i+2(nk+3)} + v9_i \varphi_{i+2} + v9_i \varphi_{i-2}$$

где $v1_i = \frac{(1 - \chi_i)(1 + \chi_{i-(nk+3)}) + (1 + \chi_i)(1 - \chi_{i+(nk+3)}) + 2\alpha_i^2 - 4(1 + \alpha_i)^2}{\lambda^4};$

$$v2_i = \frac{2(1 - \chi_i)(2 + \alpha_i + \alpha_{i-(nk+3)})}{\lambda^4}; \quad v3_i = \frac{2(1 + \chi_i)(2 + \alpha_i + \alpha_{i+(nk+3)})}{\lambda^4};$$

$$v4_i = \frac{4\alpha_i(1 + \alpha_i)}{\lambda^4}; \quad v5_i = \frac{(1 - \chi_i)(\alpha_{i-(nk+3)} + \alpha_i)}{\lambda^4}; \quad v6_i = \frac{(1 + \chi_i)(\alpha_{i+(nk+3)} + \alpha_i)}{\lambda^4};$$

$$v7_i = \frac{(1 - \chi_i)(1 - \chi_{i-(nk+3)})}{\lambda^4}; \quad v8_i = \frac{(1 + \chi_i)(1 + \chi_{i+(nk+3)})}{\lambda^4}; \quad v9_i = \frac{\alpha_i^2}{\lambda^4}.$$

Такая запись выражений (3.19) и (3.20) позволяет определить коэффициенты свободных членов для составления матрицы коэффициентов и решения системы линейных уравнений.

Для определения функций напряжений во внутренних точках, примыкающих к границам, функций напряжений на границах недостаточно, необходимо отыскать решения для законтурных точек. Такие решения отличаются для точек за прямолинейными контурами и точек за криволинейным контуром.

Так для точки 19 (рисунок 3.7) решение выглядит следующим образом:

$$\varphi_{19} = \varphi_{21} + 2r_{20}\theta|N|_{20}, \quad (3.21)$$

где N – продольная сила в необходимой точке рамной аналогии.

Для точки 39 (рисунок 3.7) решение имеет следующий вид

$$\varphi_{39} = \varphi_{27} + 2\lambda |N|_{33}. \quad (3.22)$$

Выражения (3.19), (3.20), (3.21) и (3.22) дают возможность составить систему линейных уравнений, решение которой позволит определить функции напряжений в узлах полярной сетки, аппроксимирующей массив пород потенциальных ТМ.

По полученной матрице функций напряжений производится расчет фиктивных напряжений (без учета собственного веса пород исследуемой области массива). Вывод этих уравнений в конечных разностях для полярной сетки (рисунок 3.7) представлен ниже.

Составляющая фиктивных нормальных напряжений в радиальном направлении:

$$\sigma'_r = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2}.$$

Составляющие этого уравнения в конечных разностях:

$$\frac{1}{r_i} \frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{1}{r_i} \frac{\varphi_l - \varphi_k}{2\lambda};$$

$$\frac{1}{r_i^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial (r_i \theta)^2} = \frac{\varphi_m - 2\varphi_i + \varphi_n}{s_i^2}.$$

Сложив выражения, получим

$$\sigma'_r = \frac{\varphi_l - \varphi_k}{2r_i \lambda} + \frac{\varphi_m - 2\varphi_i + \varphi_n}{r_i^2 \theta^2}.$$

Составляющая фиктивных нормальных напряжений в радиальном направлении для нумерации точек, принятой на рисунке 3.7:

$$\sigma'_r = \frac{\varphi_{i+(nk+3)} - \varphi_{i-(nk+3)}}{2r_i \lambda} + \frac{\varphi_{i+1} - 2\varphi_i + \varphi_{i-1}}{r_i^2 \theta^2}.$$

Составляющая фиктивных нормальных напряжений в тангенциальном направлении:

$$\sigma'_{\theta} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2}.$$

Составляющая фиктивных нормальных напряжений в тангенциальном направлении в конечных разностях:

$$\sigma'_{\theta} = \frac{\varphi_k - 2\varphi_i + \varphi_l}{\lambda^2}.$$

Составляющая фиктивных нормальных напряжений в тангенциальном направлении для нумерации точек, принятой на рисунке 3.7:

$$\sigma'_{\theta} = \frac{\varphi_{i-(nk+3)} - 2\varphi_i + \varphi_{i+(nk+3)}}{\lambda^2}.$$

Касательное напряжение:

$$\tau'_{r\theta} = -\frac{1}{r_i} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial \theta} + \frac{1}{r_i^2} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta}.$$

Составляющие этого уравнения в конечных разностях:

$$\begin{aligned} -\frac{1}{r_i} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r \partial \theta} &= -\frac{1}{r_i} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial r} \right) = -\frac{1}{r_i} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\frac{\varphi_l - \varphi_k}{2\lambda} \right) = -\frac{1}{r_i} \left[\frac{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right)_l - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \right)_k}{2\lambda} \right] = \\ &= -\frac{1}{r_i} \left(\frac{\frac{\varphi_r - \varphi_p}{2\theta} - \frac{\varphi_o - \varphi_q}{2\theta}}{2\lambda} \right) = -\frac{1}{r_i} \left(\frac{\varphi_r - \varphi_p}{2\theta} - \frac{\varphi_o - \varphi_q}{2\theta} \right) \div 2\lambda = \\ &= -\frac{1}{r_i} \left(\frac{\varphi_r - \varphi_p}{2\theta} - \frac{\varphi_o - \varphi_q}{2\theta} \right) \frac{1}{2\lambda} = -\frac{1}{r_i} \left(\frac{\varphi_r - \varphi_p}{4\lambda\theta} - \frac{\varphi_o - \varphi_q}{4\lambda\theta} \right) = ; \\ &= -\frac{1}{r_i} \left(\frac{\varphi_r - \varphi_p - \varphi_o + \varphi_q}{4\lambda\theta} \right) = \frac{\varphi_p - \varphi_r - \varphi_q + \varphi_o}{4\lambda r_i \theta} \\ \frac{1}{r_i^2} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} &= \frac{1}{r_i^2} \left(\frac{\varphi_m - \varphi_n}{2\theta} \right) = \frac{\varphi_m - \varphi_n}{2r_i^2 \theta}. \end{aligned}$$

Сложив выражения, получим

$$\tau'_{r\theta} = \frac{\Phi_p - \Phi_r - \Phi_q + \Phi_o}{4\lambda r_i \theta} + \frac{\Phi_m - \Phi_n}{2r_i^2 \theta}.$$

Касательное напряжение для нумерации точек, принятой на рисунке 3.16:

$$\tau'_{r\theta_i} = \frac{\Phi_{i+(nk+3)-1} - \Phi_{i+(nk+3)+1} - \Phi_{i-(nk+3)-1} + \Phi_{i-(nk+3)+1}}{4\lambda r_i \theta} + \frac{\Phi_{i+1} - \Phi_{i-1}}{2r_i^2 \theta}.$$

Для определения фиктивных напряжений в центральной точке воспользуемся теоремой о среднем:

$$\sigma'_r = \frac{\sum_{i=3}^{i=nk+1} \Phi_{i+1} - 2 \sum_{i=3}^{i=nk+1} \Phi_i - \sum_{i=3}^{i=nk+1} \Phi_{i-1} + 2(nk+1)\Phi_0}{(nk+1)r_i^2 \theta^2};$$

$$\sigma'_\theta = \frac{\sum_{i=3}^{i=nk+1} \Phi_{i+(nk+3)} - 2 \sum_{i=3}^{i=nk+1} \Phi_i - \sum_{i=3}^{i=nk+1} \Phi_{i-(nk+3)} + 2(nk+1)\Phi_0}{(nk+1)\lambda^2};$$

$$\tau'_{r\theta} = \frac{2 \sum_{i=3}^{nk+1} \Phi_i + \sum_{i=3}^{i=nk+1} \Phi_{i-1} - \sum_{i=3}^{i=nk+1} \Phi_{i+1} - 2(nk+1)\Phi_0}{(nk+1)\lambda r_i \theta}.$$

Для определения фиктивных касательных напряжений в точках, примыкающих к центральной, и точках на стыках прямолинейных и криволинейного элемента необходимо воспользоваться правыми и левыми разностями соответственно.

Для точек, примыкающих к центральной, уравнение для определения касательных напряжений будет выглядеть следующим образом:

$$\tau'_{r\theta} = \frac{\Phi_{i+(nk+3)-1} - \Phi_{i+(nk+3)+1} - \Phi_{i-1} + \Phi_{i+1}}{2\lambda r_i \theta} + \frac{\Phi_{i+1} - \Phi_{i-1}}{2r_i^2 \theta}.$$

Для точек на стыках прямолинейных и криволинейного элемента уравнение для определения касательных напряжений будет выглядеть следующим образом:

$$\tau'_{r\theta} = \frac{\Phi_{i-1} - \Phi_{i+1} - \Phi_{i-(nk+3)-1} + \Phi_{i-(nk+3)+1}}{2\lambda r_i \theta} + \frac{\Phi_{i+1} - \Phi_{i-1}}{2r_i^2 \theta}.$$

Чтобы при анализе предельного равновесия пород исследуемого потенциального ТМ учесть действие собственного веса пород, действительные нормальные напряжения σ_r и σ_θ выражаются суммой напряжений σ'_r и σ'_θ и гидростатического давления, определяемого потенциалом U ; действительные касательные напряжения равны $\tau'_{r\theta}$.

$$\sigma_r = \sigma'_r + U; \sigma_\theta = \sigma'_\theta + U; \tau_{r\theta} = \tau'_{r\theta}.$$

Для распределенной нагрузки потенциал может быть записан так:

$$U = -\gamma r.$$

Этот потенциал соответствует гидростатическому давлению, которое легко реализовать, погрузив тело в перевернутом виде (по отрицательному направлению r) в жидкость с объемной массой γ .

Результаты определения напряжений используются для анализа предельного равновесия исследуемой области массива пород потенциального ТМ, рассматриваемых как упругопластическая среда, прочностные характеристики которой зависят от угла внутреннего трения и коэффициента сцепления.

Для оценки предельного состояния пород в каждом узле конечноразностной сетки проверяется выполнение условия прочности Кулона-Мора, что позволяет определить узлы сетки, а соответственно, и области исследуемого массива пород, в которых данное условие не выполняется.

$$\frac{1}{4}(\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + \tau_{r\theta}^2 = \frac{\sin^2 \rho}{4}(\sigma_r + \sigma_\theta + 2H)^2,$$

где ρ – угол внутреннего трения пород; $H = k \cdot ctg \rho$ – временное сопротивление всестороннему равномерному растяжению; k – коэффициент сцепления пород.

Размеры этих областей дают возможность прогнозировать размеры образуемых вследствие деформаций дополнительных поверхностей, что, в свою очередь, позволяет делать прогноз об увеличении интенсивности загрязнения окружающей среды в зоне влияния подвергшихся деформации потенциальных ТМ за счет воздействия водной и ветровой эрозии.

Разработан пакет программных модулей [212] (Приложение Д), позволяющий на основе совместного использования метода конечных разностей и метода начальных параметров оценивать предельное состояние пород хребтовых техногенных месторождений. Для удобства применения пакета к исследованию ТМ использованы алгоритмы, основанные на расчетной модели в полярных координатах. Структурная схема пакета программных модулей «Полярная» приведена на рисунке 3.8.

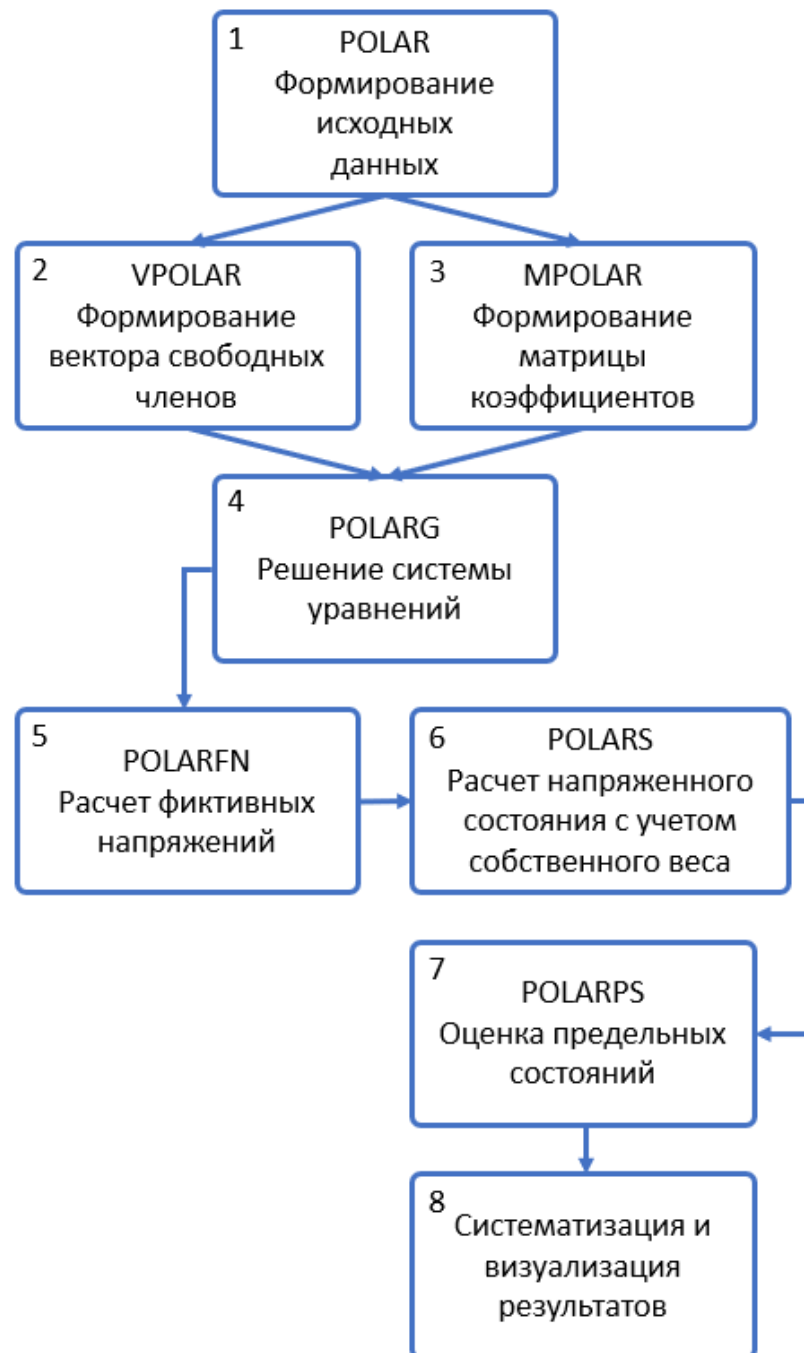


Рисунок 3.8 – Структурная схема пакета программных модулей «Полярная»

Формирование исходных данных производится в программном модуле «POLAR». Вектор свободных членов формируется путем расчета рамной аналогии исследуемой области потенциального ТМ в модуле «VPOLAR», а матрица коэффициентов в модуле «MPOLAR». Решение системы линейных уравнений производится в модуле «POLARG». В модуле «POLARFN» производится расчет фиктивных напряжений. Расчет напряженного состояния исследуемой области массива горных пород с учетом собственного веса производится в модуле «POLARS». В модуле «POLARPS» производится оценка предельного состояния исследуемой области массива пород.

Формирование сводных таблиц и визуализация данных по результатам расчета производится в различных пакетах.

Рассмотрим применение пакета программных модулей на примере исследования предельных состояний пород потенциального ТМ, образованного в результате работы шахты № 13 «Мостовская». По методике, изложенной в работе [204], построена цифровая модель ТМ, топографический план ТМ (рисунок 3.9) и разрез (рисунок 3.10).

По геометрии разреза определены параметры рамной аналогии и расчетной схемы в целом (длины, радиусы, углы сопряжения элементов, центральный угол криволинейного элемента, количество участков прямолинейных и криволинейного элемента и другие). В результате расчета рамной аналогии сформирован вектор свободных членов системы линейных уравнений. Расчетная схема определила формирование матрицы коэффициентов. В результате решения системы уравнений получены функции напряжений в каждой точке полярной сетки, что позволило определить фиктивные напряжения. На следующем этапе расчета получены напряжения с учетом собственного веса пород. Оценка предельных состояний исследуемой области массива пород потенциального ТМ производится на заключительном этапе.

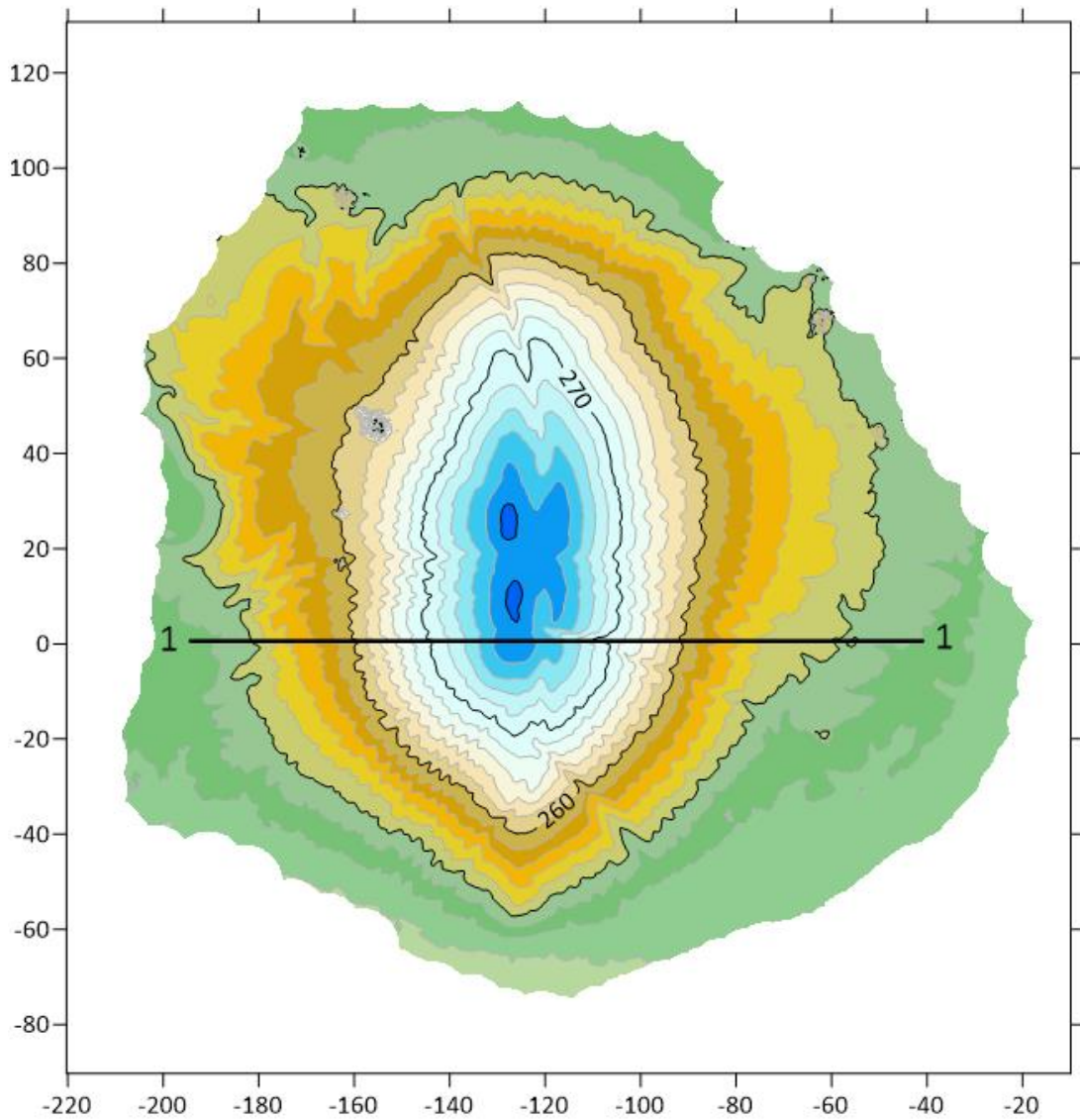


Рисунок 3.9 – Топографический план потенциального ТМ
(шахта № 13 «Мостовская»)

Разрез 1-1

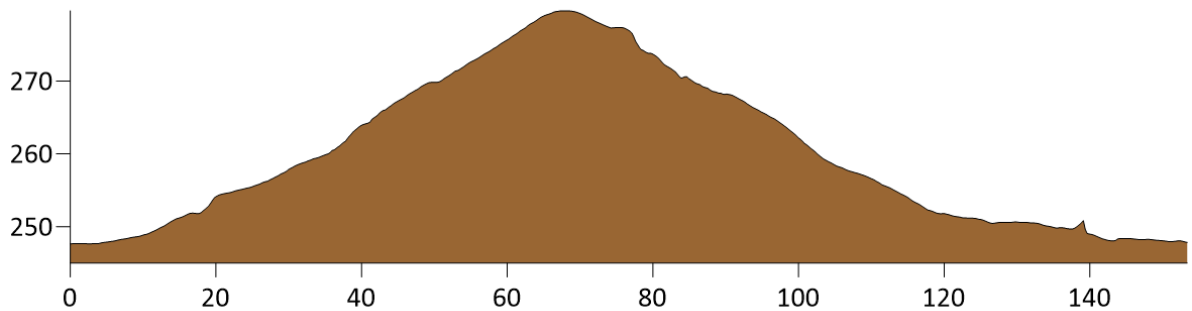


Рисунок 3.10 – Разрез по линии 1-1 потенциального ТМ
(шахта № 13 «Мостовская»)

Результаты оценки предельных состояний исследуемой области массива пород потенциального ТМ приведены на рисунке 3.11, светлыми точками отмечены те узлы сетки расчетной схемы, в которых условие прочности Кулона-Мора не выполняется и возможны деформации ТМ. Соседние точки, в которых условие прочности не выполняется, образуют области деформаций.

При прогнозировании размеров образуемых вследствие деформаций дополнительных поверхностей необходимо учитывать размеры устойчивых областей, расположенных над областями деформаций, так как они будут вовлечены в деформационный процесс [28, 59, 151, 21]. Анализ оценки предельных состояний массива пород потенциального ТМ (шахта № 13 «Мостовская») приведен ниже.

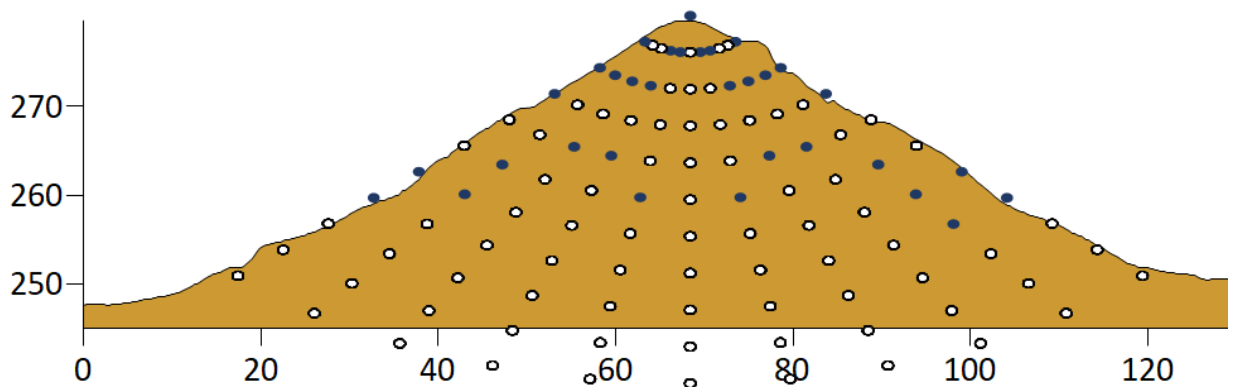


Рисунок 3.11 – Оценка предельных состояний массива пород потенциального ТМ (шахта № 13 «Мостовская»)

Из рисунка 3.11 видно, что неустойчивые области находятся в районе хребта, по откосам и в основании ТМ и есть большая вероятность деформирования с изменением формы вершины, выполаживанием откосов и увеличением площади поверхности ТМ.

В результате анализа оценки предельных состояний массива пород потенциального ТМ (шахта № 13 «Мостовская») можно спрогнозировать увели-

чение площади поверхности ТМ на 6-8 %. Это позволяет сделать вывод о значительном увеличении негативного воздействия ТМ на окружающие территории за счет воздействия водной и ветровой эрозии. Кроме этого, результаты исследования предельных состояний массива пород ТМ показывают наличие неустойчивых зон в основании и под основанием ТМ. Т. е. продолжается уплотнение грунта под серединой основания, выдавливание в сторону окружающего грунта и повышение поверхности грунта с боков основания.

3.3 Моделирование последствий ветровой эрозии

Конвективно-турбулентный диффузионный перенос пыли в приземном слое атмосферы зоны влияния потенциального ТМ

Для частиц установленного размера при скорости воздуха свыше 5 м/с при постоянном и пульсирующем потоке (таблица 3.1) величина пылеуноса резко возрастает, что подтверждают экспериментальные данные об интенсивности пылеуноса для породной массы различной влажности и дисперсного состава.

Таблица 3.1 – Изменения интенсивности уноса пыли при различных аэродинамических условиях

Время, мин	3	5	Интервал пульсаций
Скорость, м/с	Изменение массы, мг		
2,5	0,07	0,07	0,11
	0,03	0,03	0,05
4,0	0,10	0,08	0,05
	0,17	0,10	0,06
5,0	4,95	4,55	6,90
	4,25	5,65	5,75
7,0	6,59	7,25	7,35
	6,35	6,91	7,12

В общем случае необходимо учитывать осаждение пыли в процессе переноса ее воздушным потоком [125, 184]. Расчетная схема конвективно-турбулентного диффузионного переноса пыли в приземном слое атмосферы зоны действия потенциального ТМ с учетом седиментации представлена на рисунке 3.12.

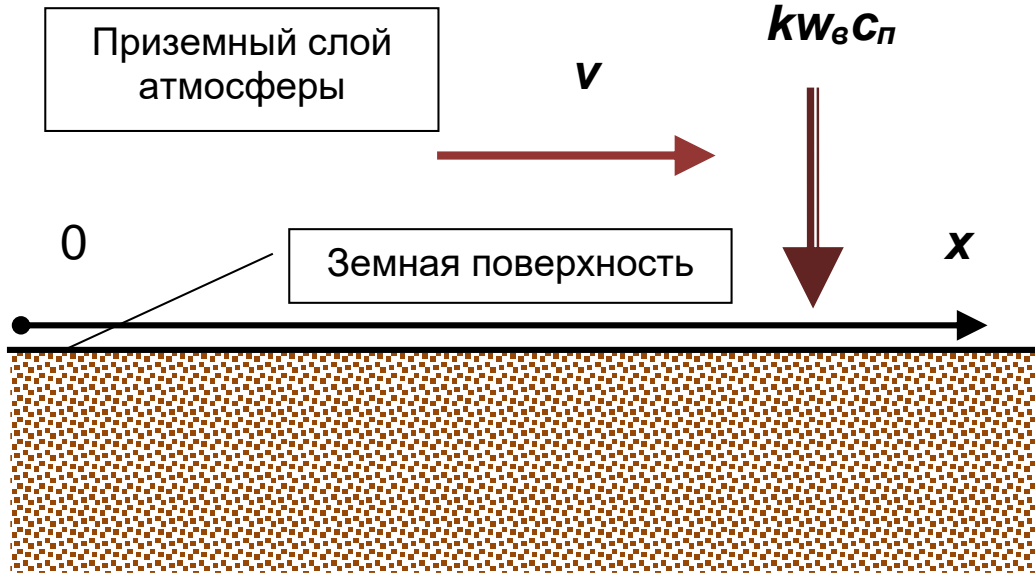


Рисунок 3.12 – Расчетная схема конвективно-турбулентного диффузионного переноса пыли в приземном слое атмосферы с учетом ее седиментации

Уравнение конвективно-турбулентной диффузии пыли в приземном слое атмосферы зоны действия потенциального ТМ имеет следующий вид:

$$\frac{\partial c_n}{\partial t} + v \frac{\partial c_n}{\partial x} = D_n \frac{\partial^2 c_n}{\partial x^2} - k w_\varepsilon c_n, \quad (3.23)$$

где c_n – концентрация пыли в воздушном потоке; v – средняя скорость воздуха с подветренной стороны ТМ; D_n – коэффициент турбулентной диффузии пыли в приземном слое атмосферы; k – коэффициент седиментации; w_ε – скорость витания пыли в воздухе.

Начальное условие:

$$c_n(x, 0) = 0. \quad (3.24)$$

Граничные условия:

$$c_n(0,t) = c_H = \text{const}, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} c_n \neq \infty. \quad (3.25)$$

Решение уравнения (3.23) для условий (3.24) – (3.25) получено в следующем виде:

$$c_n(x,t) = 0,5c_H \exp\left(\frac{0,5v}{D_n} x\right) \left\{ \exp\left[-0,5 \left(\sqrt{\frac{v^2}{D_n^2} + \frac{4kw_\epsilon}{D_n}}\right) x\right] \times \right. \\ \times \text{erfc}\left[\frac{0,5x}{\sqrt{D_n t}} - \sqrt{0,25 \left(\frac{v^2}{D_n} + 4kw_\epsilon\right) t}\right] + \exp\left[0,5 \left(\sqrt{\frac{v^2}{D_n^2} + \frac{4kw_\epsilon}{D_n}}\right) x\right] \times \\ \left. \times \text{erfc}\left[\frac{0,5x}{\sqrt{D_n t}} + \sqrt{0,25 \left(\frac{v^2}{D_n} + 4kw_\epsilon\right) t}\right]\right\}. \quad (3.26)$$

Результаты вычислительного эксперимента с использованием зависимости (3.26) представлены рисунке 3.13.

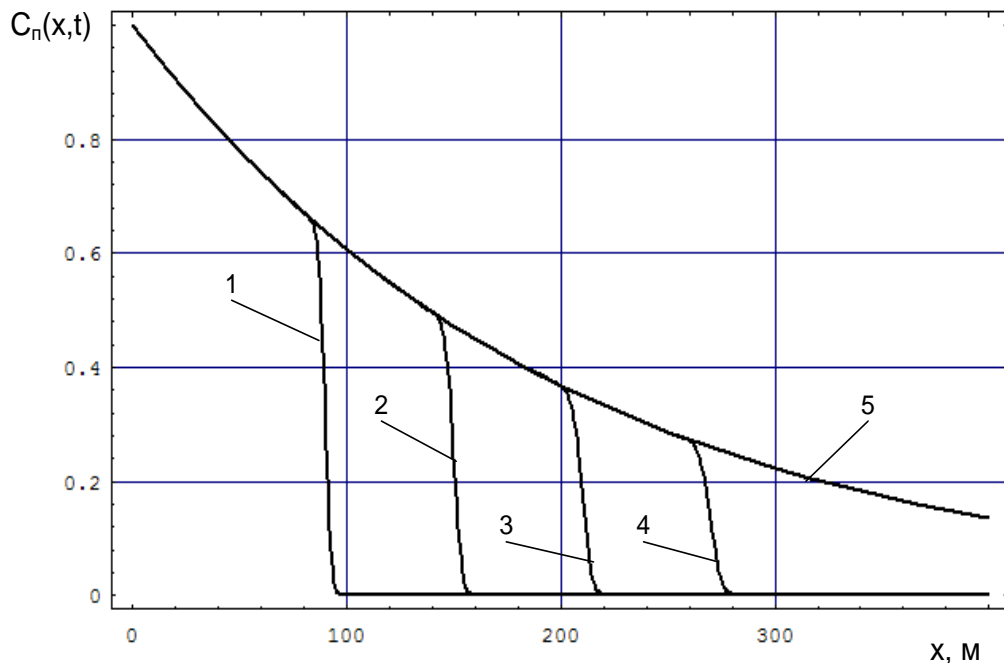


Рисунок 3.13 – Распределение пыли в воздушном потоке, обтекающем ТМ:

$$C_n(x,t) = c_n(x,t)/c_b; \quad 1 - t = 3 \text{ мин}; \quad 2 - t = 5 \text{ мин}; \quad 3 - t = 7 \text{ мин};$$

$$4 - t = 9 \text{ мин}; \quad 5 - t = 16 \text{ мин}$$

Как показывают результаты вычислительного эксперимента, интенсивное накопление на поверхности почвы пыли происходит в следствие ее осаждения в процессе переноса. При этом значение коэффициента седиментации и величина скорости витания пыли оказывают большое влияние на интенсивность осаждения пыли [183, 23, 55].

Пыль малых фракций в зависимости от длительности действия ветра и его скорости может распространяться на значительные расстояния от пылящего ТМ [183, 23, 55]. Результаты натурных наблюдений подтверждают этот факт.

Следовательно, чтобы прогнозировать динамику пылевой ситуации в зоне воздействия потенциального ТМ, необходимо решать нестационарную задачу при анализе влияния пыли ТМ на окружающие территории.

Конвективно-турбулентный перенос газовых загрязнителей в приземном слое атмосферы зоны влияния потенциального ТМ

Поверхность ТМ, как показывают натурные наблюдения, является также источником выбросов в приземный слой атмосферы газовых загрязнителей. Распространяются газовые загрязнители на значительные расстояния. Расчетная схема конвективно-турбулентного диффузионного переноса газовых загрязнителей в приземном слое атмосферы зоны влияния потенциального ТМ представлена на рисунке 3.14.

Уравнение конвективно-турбулентной диффузии газовых загрязнителей в приземном слое атмосферы зоны влияния потенциального ТМ имеет следующий вид:

$$\frac{\partial c_{z,n}}{\partial t} + v \frac{\partial c_{z,n}}{\partial x} = D_{z,n} \frac{\partial^2 c_{z,n}}{\partial x^2}, \quad (3.27)$$

где $c_{z,n}$ – концентрация газового загрязнителя в воздушном потоке; v – средняя скорость воздуха с подветренной стороны ТМ; D_n – коэффициент турбулентной диффузии газового загрязнителя в приземном слое атмосферы.

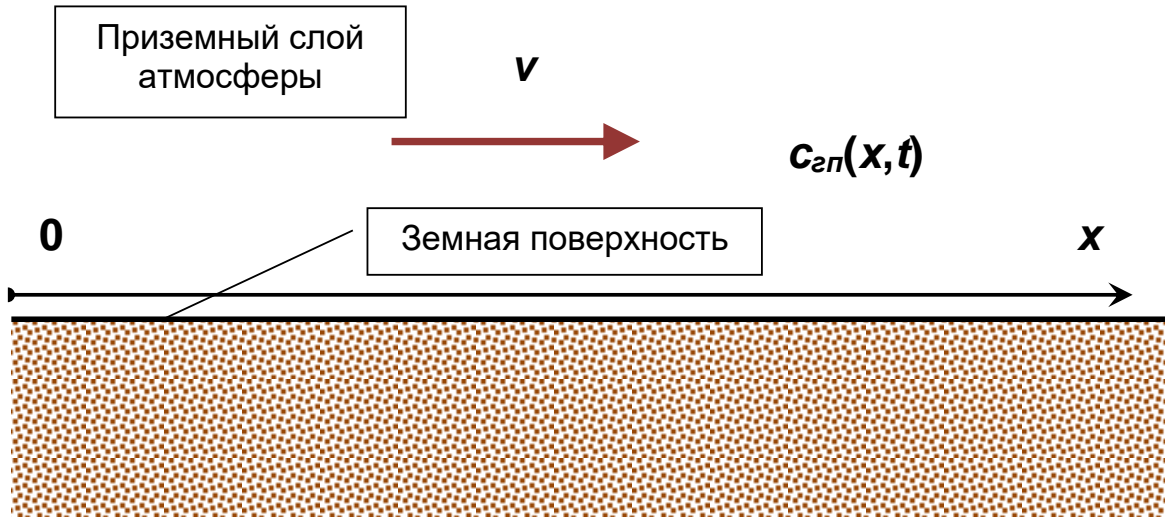


Рисунок 3.14 – Расчетная схема диффузионного переноса газовых загрязнителей в приземном слое атмосферы

Начальное условие:

$$c_{2,n}(x, 0) = 0. \quad (3.28)$$

Граничные условия:

$$c_{2,n}(0, t) = c_1 = \text{const}, \quad \lim_{x \rightarrow \infty} c_{2,n} \neq \infty. \quad (3.29)$$

Решение уравнения (3.28) для условий (3.28) – (3.29) получено в следующем виде:

$$c_{2,n}(x, t) = 0,5c_1 \exp\left(\frac{0,5v}{D_{2,n}} x\right) \left\{ \exp\left[-0,5\left(\frac{v}{D_{2,n}}\right)^2 x\right] \operatorname{erfc}\left[0,5\left(\frac{x}{\sqrt{D_{2,n}t}} - v\sqrt{\frac{t}{D_{2,n}}}\right)\right] + \exp\left[0,5\left(\frac{v}{D_{2,n}}\right)^2 x\right] \operatorname{erfc}\left[0,5\left(\frac{x}{\sqrt{D_{2,n}t}} + v\sqrt{\frac{t}{D_{2,n}}}\right)\right] \right\}. \quad (3.30)$$

Для вычислительного эксперимента использована зависимость (3.30). В процессе переноса газового загрязнителя, как показывает анализ результатов вычислительного эксперимента, его концентрация в течение периода действия ветра меняется незначительно (рисунок 3.15) [183, 23, 55].

Из воздушного потока выведение газового загрязнителя происходит в основном за счет сорбции жидкими и твердыми частицами [183, 23, 55].

Газообразные загрязнители в зависимости от длительности действия ветра и его скорости могут распространяться на значительные расстояния от ТМО [183, 23, 55]. Результаты натурных наблюдений подтверждают этот факт.

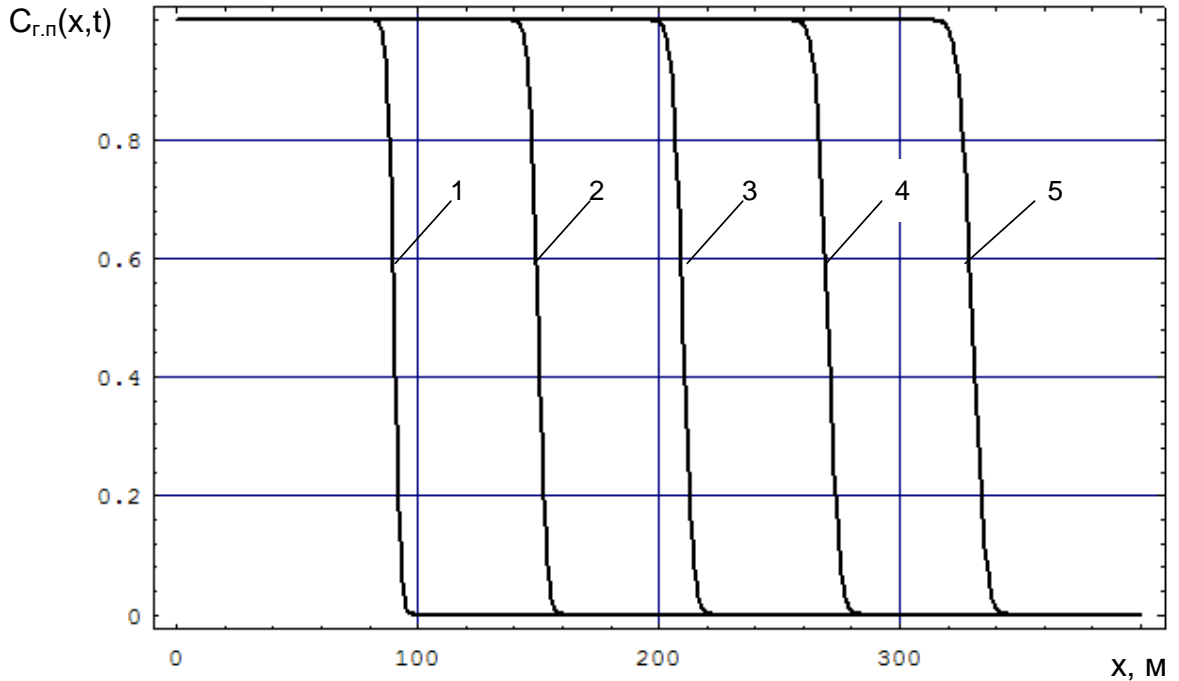


Рисунок 3.15 – Концентрация газовых загрязнителей в приземном слое атмосферы: $C_{г.п}(x,t) = c_{г.п}(x,t)/c_1$; 1 - $t = 3$ мин; 2 - $t = 5$ мин; 3 - $t = 7$ мин; 4 - $t = 9$ мин; 5 - $t = 11$ мин

Таким образом, чтобы прогнозировать динамику газовой ситуации в зоне воздействия потенциального ТМ, необходимо решать нестационарную задачу при анализе влияния ТМ на окружающие территории по газовому фактору.

3.4 Моделирование последствий водной эрозии

Инфильтрация стоков с потенциального ТМ на прилегающих территориях

По данным экспериментальных исследований основной вклад в повышение кислотности почв на прилегающих к ТМ территориях вносит инфильтрация в них стоков ТМ [98, 54, 192].

При моделировании инфильтрации стоков с потенциального ТМ в почву необходимо подробно рассмотреть этот процесс. В общем случае в почве содержатся твердые (твердые частицы), жидкие (вода) и газообразные (воздух с парами воды) составляющие.

Насыщенность почвы влагой является переменной. В теории движения почвенной влаги при неполном насыщении считают, что коэффициент водопроницаемости и давление – заданные функции насыщенности, движением воздуха при этом можно пренебречь. В почве существуют два вида пор. За водоудерживающую способность отвечают капиллярные поры, за просачивание воды – некапиллярные. Для идеальной почвы объемы капиллярных и некапиллярных пор равны [62, 122].

Для выражения насыщенности грунта влагой w можно отталкиваться от уравнения неразрывности – изменение массы жидкости, вытекающей в единицу времени из элементарного объема, компенсируется изменением насыщенности внутри этого объема:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{\partial w}{\partial t}, \quad (3.31)$$

где v_x, v_y, v_z – компоненты скорости фильтрации.

При неполной насыщенности грунта считают, что имеет место закон Дарси в форме:

$$v_x = -k(w)\frac{\partial h}{\partial x}, \quad v_y = -k(w)\frac{\partial h}{\partial y}, \quad v_z = -k(w)\frac{\partial h}{\partial z}, \quad (3.32)$$

где $k(w)$ – коэффициент водопроницаемости при влажности; напор $h=p/\gamma+z$; γ – объемный вес раствора.

Уравнение (3.31) с учетом (3.32) можно переписать в виде:

$$\begin{aligned} \frac{\partial w}{\partial t} = & \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k(w)}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k(w)}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k(w)}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial z} \right) + \frac{\partial k(w)}{\partial z}. \end{aligned} \quad (3.33)$$

Коэффициент водопроницаемости $k(w)$ можно определить по формуле:

$$k(w) = k_1 \left(\frac{w - w_0}{m - w_0} \right)^n \quad (n = 3, 5), \quad (3.34)$$

где m – пористость, w_0 – количество связанной воды в единице объема грунта, k_1 – коэффициент фильтрации при полном насыщении (когда $w = m$).

На границе фаз «вода – воздух» действуют капиллярные силы, обуславливающие разность между давлениями в жидкости (p) и в воздухе (p_e):

$$p - p_e = p_k(w), \quad (3.35)$$

Давление воздуха будем считать постоянным, полагая $p_e = 0$. Чем меньше w , тем больше $p_k(w)$: при очень малой насыщенности пор водой она адсорбируется на поверхности твердых частиц – образуется прочно связанная вода, которую трудно отделить даже при очень больших скоростях центрифугирования. При увеличении w появляются слои рыхло связанной влаги, при еще большей насыщенности она делается способной двигаться под влиянием силы тяжести. Зависимость $p_k(w)$ от w при малых значениях w носит гиперболообразный характер [98, 54, 192]:

$$p_k(w) = - \frac{p_0 w_0}{w} \frac{w_n^3 - w^3}{w_n^3 - w_0^3}, \quad (3.36)$$

где p_0 – давление при влажности w_0 связанной воды, w_n – полная влагоемкость, т. е. влагоемкость, соответствующая атмосферному давлению $p = 0$.

Пусть в случае движения влаги по вертикали $w(z, t)$ удовлетворяет начальному и граничному условиям $w(z, 0) = w_2$ и $w(0, t) = w_1$.

Допустим, что в момент времени t область, смоченная просачивающейся влагой, распространилась до уровня $z = l(t)$. Требуется найти зависимость l от t и распределение w с глубиной в зависимости от t .

Зададимся зависимостью между координатой z какой-нибудь точки жидкости и насыщенностью в ней w :

$$z = l(t) \frac{w_1^2 - w^2}{w_1^2 - w_2^2}. \quad (3.37)$$

Выделим столб грунта между плоскостями $z=0$ и $z=l(t)$ с площадью основания, равной единице, и составим уравнение баланса:

$$\int_0^t v_z(0,t) dt = \int_0^{l(t)} [w(z,t) - w_2] dz,$$

дифференцируя которое по времени и учитывая (3.37), получим:

$$v_z(0,t) = A \frac{dl}{dt}, \quad (3.38)$$

где $A = \frac{1}{3} \frac{(w_1 - w_2)(2w_1 + w_2)}{w_1 + w_2}$.

С другой стороны, по обобщенному закону Дарси:

$$v_z(z,t) = -k(w) \frac{d}{dz} \left(\frac{p}{\gamma} + z \right).$$

Принимая формулы (3.34) и (3.36), получим:

$$v_z(0,t) = -k(w_1) \frac{l(t) - B}{l(t)}, \quad (3.39)$$

где

$$B = \frac{p_0 w_0}{2\gamma w_1^3} \frac{(w_1^2 - w_2^2)}{w_n^3 - w_0^3}. \quad (3.40)$$

Интегрируя (3.38), найдем:

$$\frac{k(w_1)t}{A} = -B \ln\left(1 - \frac{l}{B}\right) - l. \quad (3.41)$$

Будем считать $w_1 > w_2$, тогда $B > 0$.

Кривые распределения влаги в почве рассчитываются по формулам (3.37) и (3.41). Безразмерные координаты ξ и τ определяются формулами:

$$\xi = \frac{\gamma \left[1 - (w_0 / w_n)^3 \right]}{p_0 w_0} z; \quad \tau = \frac{p_0 w_0 (m - w_0)^{3,5}}{\gamma [1 - (w_0 / w_n)^3] k_1} t.$$

При малых значениях l можно написать в (3.41) вместо логарифма два первых члена его разложения в ряд по степеням l .

Получим

$$\frac{k(w_1)}{A}t \approx \frac{l^2}{2B}, \quad l \approx \sqrt{\frac{2B}{A}}k(w_1)t.$$

В уравнении (3.41) при $t \rightarrow \infty$ имеем $l \rightarrow B$, т. е. B является высотой капиллярного поднятия [50].

Когда $l(t) < 0$, имеет место просачивание влаги вниз. Для удобства вычислений в этом случае введем обозначение $l(t) = -L(t)$, тогда вместо (3.41) будем иметь уравнение:

$$\frac{k(w_1)}{A}t = L - B \ln\left(1 + \frac{L}{B}\right). \quad (3.42)$$

Теперь $L(t)$ неограниченно возрастает. Согласно принятому допущению (3.37) влажность w изменяется с глубиной по параболе.

На рисунке 3.16 представлены результаты вычислительного эксперимента при следующих значениях параметров: $w_n = m = w_l = 0,4$, $w_2 = 0,2$, $w_0 = 0,04$ [50, 192].

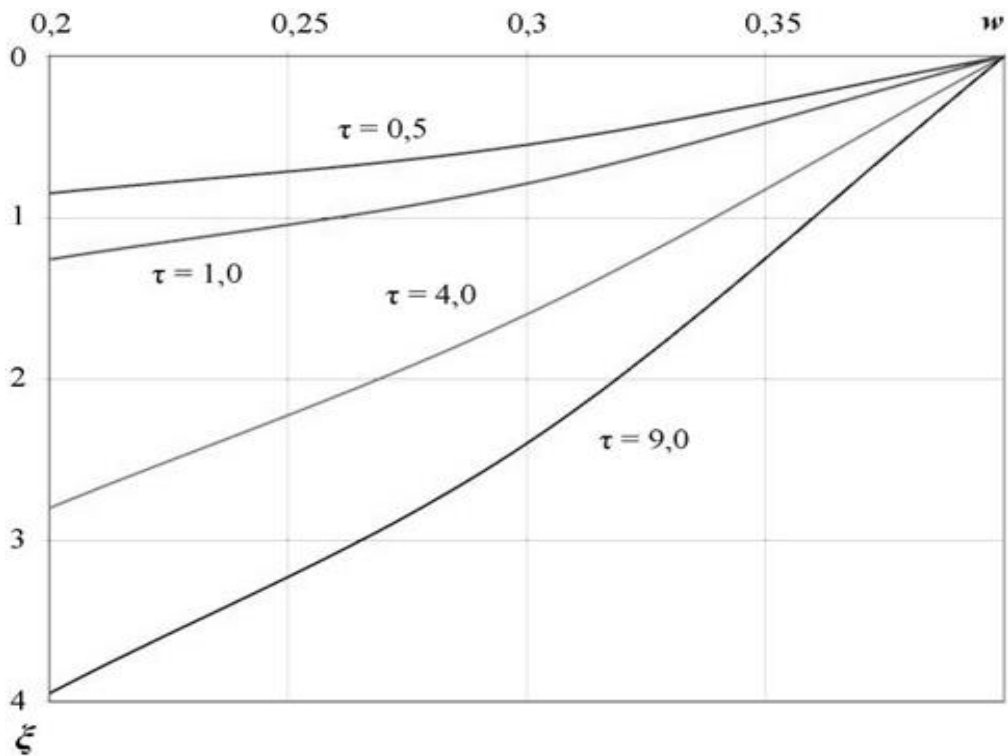


Рисунок 3.16 – Распределение влажности грунта по глубине при инфильтрации стоков в почву

Результаты вычислительного эксперимента на основании вышеизложенного позволяют утверждать, что для проникновения в почву на глубину 0,4 м стоков с техногенных минеральных образований с повышенной кислотностью потребуется около 3 часов ($\tau=9,0$) [98, 54].

Миграция тяжелых металлов с грунтовыми водами

Водорастворимые соединения марганца, образованные на определенной толще грунта в результате вышерассмотренного процесса инфильтрации кислотных стоков и их реакции с элементами почвы, вместе с грунтовыми водами будут распространяться в окружающей среде.

В работах [98, 54] получены расчетные профили концентраций марганца (рисунок 3.17), которые должны возникнуть в поровых водах глинистого защитного барьера после 10 лет миграции при различных значениях pH.

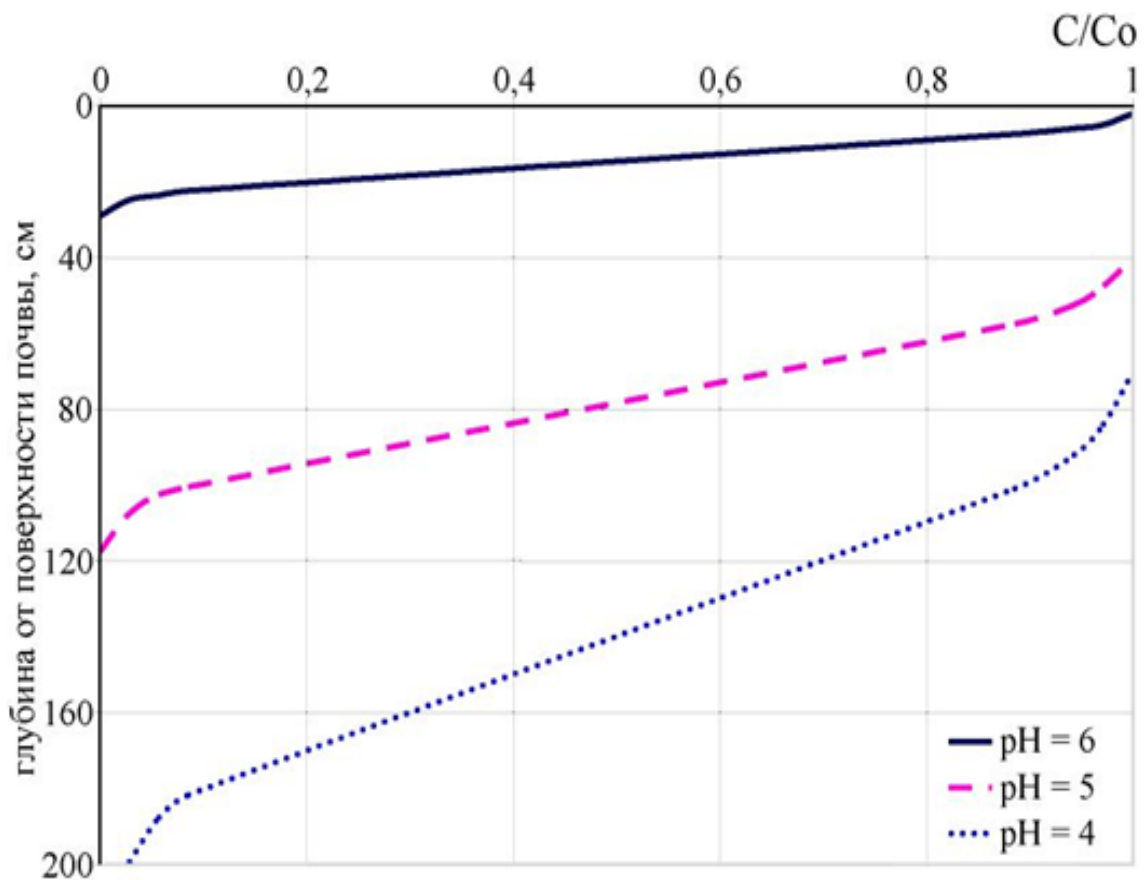


Рисунок 3.17 – Расчетные профили концентрации марганца при переносе грунтовыми водами

Профили рассчитаны по уравнению:

$$C(x > 0, t) / C_0 = \Phi_c \left[(x - v_{cp}t / R_f) / \sigma \right] + \\ + \exp \left[2xv_{cp}t / R_f \sigma^2 \right] \Phi_c \left[(x + v_{cp}t / R_f) / \sigma \right]. \quad (3.43)$$

Функция ошибок здесь определялась следующими уравнениями:

$$\Phi_c(Y \geq 0) = 0,5 \exp \left\{ -0,5Y^2 - (2/\pi)^{0,5} Y / \left[1 + (1/6\pi)^{0,5} Y \right] \right\}, \quad (3.44)$$

$$\Phi_c(Y \leq 0) = 1 - 0,5 \exp \left\{ -0,5Y^2 - (2/\pi)^{0,5} Y / \left[1 - (1/6\pi)^{0,5} Y \right] \right\}. \quad (3.45)$$

Подвижность компонента в пористой среде из-за адсорбции на стенках пор может существенно уменьшаться. Количественно охарактеризовать данный эффект можно коэффициентом задержки, который представляет собой отношение скорости движения раствора к скорости продвижения фронта концентрации компонента. Коэффициент задержки R_f связан с коэффициентом распределения K_D следующим образом:

$$R_f = 1 + K_D \cdot S / W, \quad (3.46)$$

где S / W – отношение твердого вещества и раствора.

Полуширина дисперсии в пористой среде в общем случае определяется выражением:

$$\sigma = (2Dt / \omega R_f + (\alpha v_{cp}t / R_f)^2)^{0,5}. \quad (3.47)$$

Коэффициенты задержки определялись уравнением (3.46) при соотношении твердого вещества и раствора 2000 г/л. Скорость движения раствора принята равной 10 м/год. Полуширина дисперсии определялась по уравнению (3.47), при коэффициенте диффузии 0,03 м²/год (10⁻⁵ см²/с) и коэффициенте $\alpha = 0,16$ [98, 54].

Из этого можно сделать вывод: вертикальная миграция фильтрата в подошву ТМ в основном осуществляется посредством диффузии, из-за этого скорость распространения загрязняющих веществ является невысокой и измеряется сантиметрами в год.

При инфильтрации стоков на прилегающих к потенциальным ТМ территориях наблюдается максимальная скорость повышения кислотности почв.

Подвижность марганца при его транспортировании грунтовыми водами зависит как от значения уровня кислотности почвенного раствора, так и от свойств грунта, отвечающих за фильтрацию.

Формирование расходов в стоках

Характер и интенсивность происходящих в системе «ТМ – ландшафт» физико-химических процессов зависят как от распределения на прилегающих к ТМ территориях загрязняющих веществ и условий их эмиссии, так и от характеристик элементов, составляющих систему [16, 39, 96, 106, 114, 17].

Знание всех влияющих на процесс формирования стока факторов и выяснение сути этого процесса и являются основой правильной оценки поверхностного стока с потенциальных ТМ во время осадков.

Расходы стоков в сетях естественного водоотведения определяются процессами, происходящими на поверхности потенциального ТМ, в бассейне стока и в самих сетях.

Разделение осадков на поверхности потенциального ТМ представлено на рисунке 3.18.

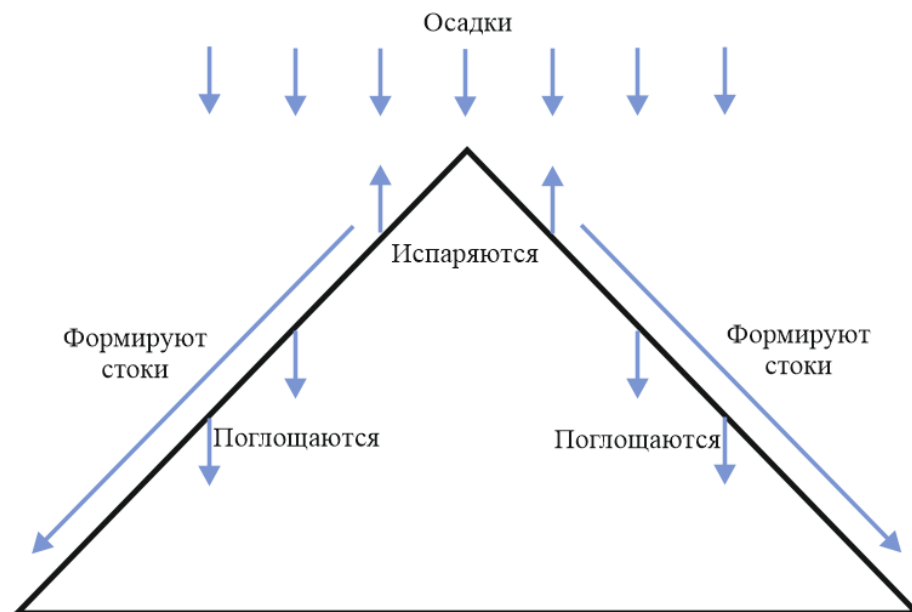


Рисунок 3.18 – Разделение осадков на поверхности потенциального ТМ

Во время осадков дождевая вода:

- поступает на поверхность ТМ;
- пропитывает породную массу на определенную глубину;
- образует фильтрат – обогащается водорастворимыми соединениями, находящимися в породной массе.

Условия стекания воды с поверхности потенциального ТМ на примыкающие территории при выпадении осадков представлены на рисунке 3.19.

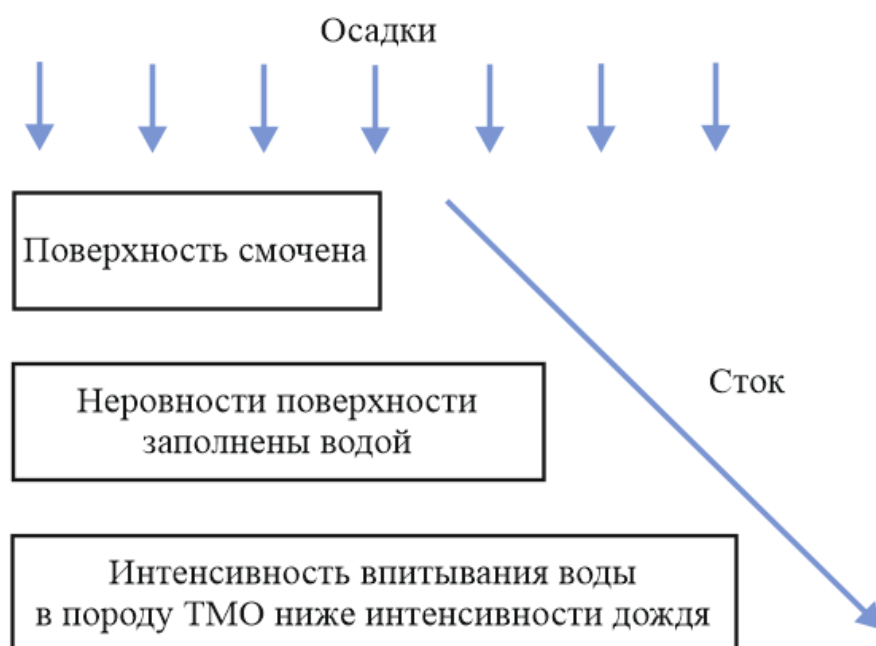


Рисунок 3.19 – Условия стекания воды с поверхности ТМ на примыкающие территории при выпадении осадков

Сильные дожди, по метеорологическим данным, не дают одновременного стока с больших площадей, т. к. часто имеют небольшую продолжительность. Сток с близлежащих участков уже прекратится, когда от удаленных участков бассейна к низовому сечению подойдет вода. Так что расход от дождя будет определяться не всей площадью бассейна F , а лишь некоторой ее частью – φF , если дождь небольшой продолжительности. Коэффициентом замедления стока называется коэффициент неодновременности стока $\varphi < 1,0$ [98, 54, 192].

В скрытом виде коэффициент замедления стока учитывает время добега- ния выпавшей дождевой воды до рассматриваемого сечения от наиболее уда- ленных точек бассейна. Если же продолжительность выпадения дождя равна времени добега- ния воды от наиболее удаленных точек бассейна, то к концу выпадения дождя вся площадь бассейна будет участвовать в формировании расхода, т. е. со всей площади бассейна будет одновременный сток. Если время добега- ния больше продолжительности дождя, то в одновременном стоке будет участвовать только часть площади. Чем больше продолжительность дождя, тем больше эта площадь.

Если увеличение площади одновременного стока происходит быстрее, чем уменьшается интенсивность дождя, и пропорционально времени выпаде- ния, то равный произведению площади на интенсивность расход стока будет тем больше, чем большая площадь участвует в одновременном стоке. Выпаде- ние дождя после того, как вся площадь бассейна включится в сток, уже не при- ведет к увеличению расхода вследствие уменьшения его интенсивности [17].

Из этого следует, что отвечающая продолжительности дождя интенсив- ность его выпадения, равная времени добега- ния воды от наиболее удаленных участков бассейна, умноженная на всю площадь стока, дает наибольший рас- ход в рассматриваемом сечении [17].

В работе [17] с помощью метода изохрон было получено общее выраже- ние для расхода стекающей дождевой воды для момента времени T

$$Q_T = \int_0^T i(t) \cdot f(T - t) dt. \quad (3.48)$$

Эта формула применима, когда в пределах времени T наблюдаются вы- падение дождя и нарастание площади стока, т. е. при $0 < T < T_D$, когда $i(t) > 0$, и при $T \leq \tau_k$, когда $f(T - t) > 0$. Здесь T_D – общая продолжительность до- ждя, а τ_k – время добега- ния воды от наиболее удаленной точки бассейна.

Для моментов времени $T_D > T > \tau_k$, когда первые капли дождя уже стекут со всех точек бассейна и пройдут через сечение Б, пределы интегрирования в (3.48) будут от $(T - \tau_k)$ до T . Для короткого дождя ($T_D < T < \tau_k$), когда дождь кончился, а осадки, выпавшие в самом начале, еще стекают с части площади, ограниченной изохронами $\tau = T$ и $\tau = T - T_D$, пределы интегрирования в (3.48) будут от $T - T_D$ до T .

Из изложенного следует, что для вычисления расходов стекающих дождевых вод необходимо знать ход изменения интенсивности выпадения дождя, т. е. функцию $i = f(t)$, и кривую нарастания площадей стока в зависимости от времени $f = \varphi(t)$. Вследствие недостаточной изученности расчетных параметров для дождей различной продолжительности (3.48) не получила практического применения. Однако она позволяет оценить допущения, заложенные в различных способах определения расчетных расходов.

Если считать интенсивность дождя постоянной, не зависящей от времени, а продолжительность дождя $T_D \geq \tau_k$, то максимальное значение расхода по (3.48) будет при $T = \tau_k$:

$$Q_{\max} = \int_0^T i f dt = i \int_0^T f dt = i F_c, \quad (3.49)$$

где F_c – площадь всего бассейна стока.

Приняв продолжительность дождя с постоянной интенсивностью ($T_D < \tau_k$) получим:

$$Q_T = \int_{T-T_D}^T i(t) f(T-t) dt = i \int_{T-T_D}^T f(T-t) dt. \quad (3.50)$$

Максимальный расход будет при наибольшей разности ΔF_{\max} по кривой нарастания площади стока за период времени T_D . При равномерном нараста-

нии площадей F , т. е. при равенстве площадей f между изохронами, когда величина f определяется как отношение всей площади стока F_c к полному времени добегаания $\tau_k (f = F_c / \tau_k)$, максимальный расход будет отвечать наибольшему времени добегаания воды:

$$Q_{\max} = \int_{T-\tau_k}^T ifdt = f \int_{T-\tau_k}^T idt = H_{\max} F_c / \tau_k = F_c \cdot i_{\max}, \quad (3.51)$$

где $H_{\max} = \int_0^{\tau_k} idt$ – наибольшее количество осадков, выпавших за время τ_k , ко-

торое может быть найдено по гистограмме выпадения дождя; i_{\max} – средняя интенсивность за период продолжительности дождя $t = \tau_k$.

Средняя интенсивность дождя за время t равна $i_{cp} = H_1 / t$ и, соответственно, за время концентрации стока t_k , $i_{cp} = i_{\max} = H_{\max} / t_k$.

Применим к интегралам (3.48) и (3.51) теорему о среднем значении, тогда выражения для максимального расхода (3.49) и (3.51) становятся однозначными:

$$Q_{\max} = F_c \cdot i_{cp}. \quad (3.52)$$

Это значит, что максимальный расход в каком-либо сечении равен произведению площади бассейна стока F_c на среднюю интенсивность дождя q_k , отвечающую времени концентрации стока на водосборе или времени протока воды от наиболее удаленных точек водосбора площадью F_c :

$$Q_{\max} = \psi F_c q_k, \quad (3.53)$$

где ψ – коэффициент стока.

Коэффициент стока представляет собой отношение максимального расхода стока определенной повторяемости к общему количеству воды, выпавшей на ту же площадь в единицу времени при средней интенсивности осадков той

же повторяемости. Коэффициент стока учитывает потери за счет инфильтрации накопления в депрессиях, потери стока, задержанного растительностью, и прочие. Потери зависят от многих факторов, в том числе от типа растительного покрова и почвы, от состояния поверхности почвы и условий предшествующего увлажнения.

Для оценки средних годовых объемов стока важно знать коэффициент годового стока. При среднем числе дней с дождевым стоком в теплый сезон s_0 среднегодовой объем стока:

$$W_{\Gamma} = 10F \int_0^{s_0} h_p dS, \quad (3.54)$$

где h_p – высота суточного слоя дождевого стока, можно выразить через высоту суточного слоя осадков и высоту слоя начальных потерь H_0 до момента образования стока, идущего на смачивание почвы, заполнение впадин и инфильтрацию.

Среднее число дней за теплый сезон s_0 , дающих дождевой сток, найдем из (4.59) при условии $h_p = 0$:

$$s_0 = m_{\Gamma} \exp[-2,3(H_0 / h_D)^{\beta}], \quad (3.55)$$

где $h_D = k_{\beta} H_{\Gamma} / m_{\Gamma}$ – параметр среднего количества осадков за дождь, мм.

Годовой объем осадков, или сток без потерь при $s_0 = m_{\Gamma}$ и $H_0 = 0$:

$$W_{\Gamma oc} = 10H_{\Gamma}F.$$

Параметры k_{β} , m_{Γ} и $\gamma = 1/\beta$ находятся по двум точкам, взятым на кривой распределения максимальных суточных осадков, и из условия

$$k_{\beta} \frac{H_{\Gamma}}{m_{\Gamma}} \int_0^{m_{\Gamma}} \left(\lg \frac{m_{\Gamma}}{s} \right)^{\gamma} ds = H_{\Gamma}. \quad (3.56)$$

Показатель степени γ изменяется в пределах 1,33 – 2,22 [84, 85]. Принимая $\gamma = 2$, из (4.61) имеем $k_{\beta} = 2,64$, и среднее относительное число дождей с дождевым стоком составит:

$$s_0 = m_{\Gamma} \exp(-1,41\sqrt{H_0 m_{\Gamma} / H_{\Gamma}}).$$

Выражение для коэффициента годового стока:

$$\begin{aligned} \psi_{\Gamma} = \frac{s_0}{m_{\Gamma}} \left[1 - \ln \frac{s_0}{m_{\Gamma}} + \frac{1}{2} \left(\ln \left(\frac{s_0}{m_{\Gamma}} \right) \right)^2 \right] + 1,41 \frac{s_0}{m_{\Gamma}} \left(\ln \frac{s_0}{m_{\Gamma}} - 1 \right) \times \\ \times \sqrt{H_0 m_{\Gamma} / H_{\Gamma}} + H_0 s_0 / H_{\Gamma} = s_0 / m_{\Gamma}. \end{aligned} \quad (3.57)$$

$$\begin{aligned} \psi = 0,77 \left(\frac{254}{254 + H_{нас}} \right)^{3-6n^{0,2}} \cdot \left(\frac{25,4}{254 + H_{нас}} \right)^{0,22(1-2,8i_{oc})} \times \\ \times p^{0,05 \left(\frac{1 + \delta F_{непр}}{2} \right)^{0,7}}. \end{aligned} \quad (3.58)$$

Сток талых вод

Сток талой воды завешает процесс, начинающийся после выпадения снега на земную поверхность. Снеготаяние обычно начинается весной. Определяющую роль в этом процессе играют метеорологические факторы. Период снеготаяния может занимать от нескольких часов и суток до нескольких месяцев. Тепло проникает вглубь снежного покрова из воздуха и почвы. При длительном потеплении вся снежная толща прогревается и, наконец, достигает температуры 0 °С. Талая вода стекает через слежавшийся снег, и первые её порции удерживаются на снежных кристаллах в виде капиллярной и плёночной воды. До этого момента плотность снега возрастает. При повышении водоудерживающей способности снега талая вода начинает просачиваться до грунта, и вода стекает по поверхности почвы [166].

Талые воды вносят большой вклад в перенос поллютантов на прилегающие к ТМ территории. Запас воды в них определяется толщиной слоя воды (мм), который образовался бы на горизонтальной поверхности в результате таяния снежного покрова при отсутствии стока, просачивания и испарения.

Наибольших значений запас воды достигает в конце сезона. В холодный период года (с октября по апрель) в зависимости от климатических особенностей возможны оттепели, когда осадки выпадают в виде дождя и мокрого снега, а снег оседает и иногда полностью сходит.

Среднегодовой объём W_T (м^3) талого стока [17] в период весеннего снеготаяния будет:

$$W_T = 10h_0F\psi_T, \quad (3.59)$$

где h_0 – запас воды в снеге, мм; F – площадь водосбора, га; эту площадь следует брать равной всей площади бассейна независимо от его конфигурации и характера; ψ_T – коэффициент стока талых вод.

Средний расход (л/с) из максимальных стоков при весеннем снеготаянии с застроенных территорий площадью F (га) может быть определён по формуле:

$$Q = 2,8i_{сн}F\psi_T\varphi, \quad (3.60)$$

где $i_{сн}$ – максимальная интенсивность снеготаяния средней обеспеченности, мм/ч; ψ_T – коэффициент стока; φ – коэффициент, учитывающий неравномерность снеготаяния и зависящий от площади бассейна [166].

Концентрация поллютантов в талом стоке меньше изменяется во времени, чем количество талых вод, и её можно с некоторым приближением принимать постоянной в течение периода снеготаяния [17].

Оценка стоков с потенциальных ТМ

Для оценки влияния потенциальных ТМ на состояние окружающей среды необходимо определить площадь бассейна стока на основе цифровой модели местности и основные пути поступления на прилегающие к ТМ территории поллютантов (рисунок 3.20). Учитывая то, что насыпные ТМ возвышаются над окружающей территорией, определение бассейна стока сводится к определению площади поверхности ТМ.

Методика оценки стоков с потенциальных техногенных месторождений показана на рисунке 3.21.

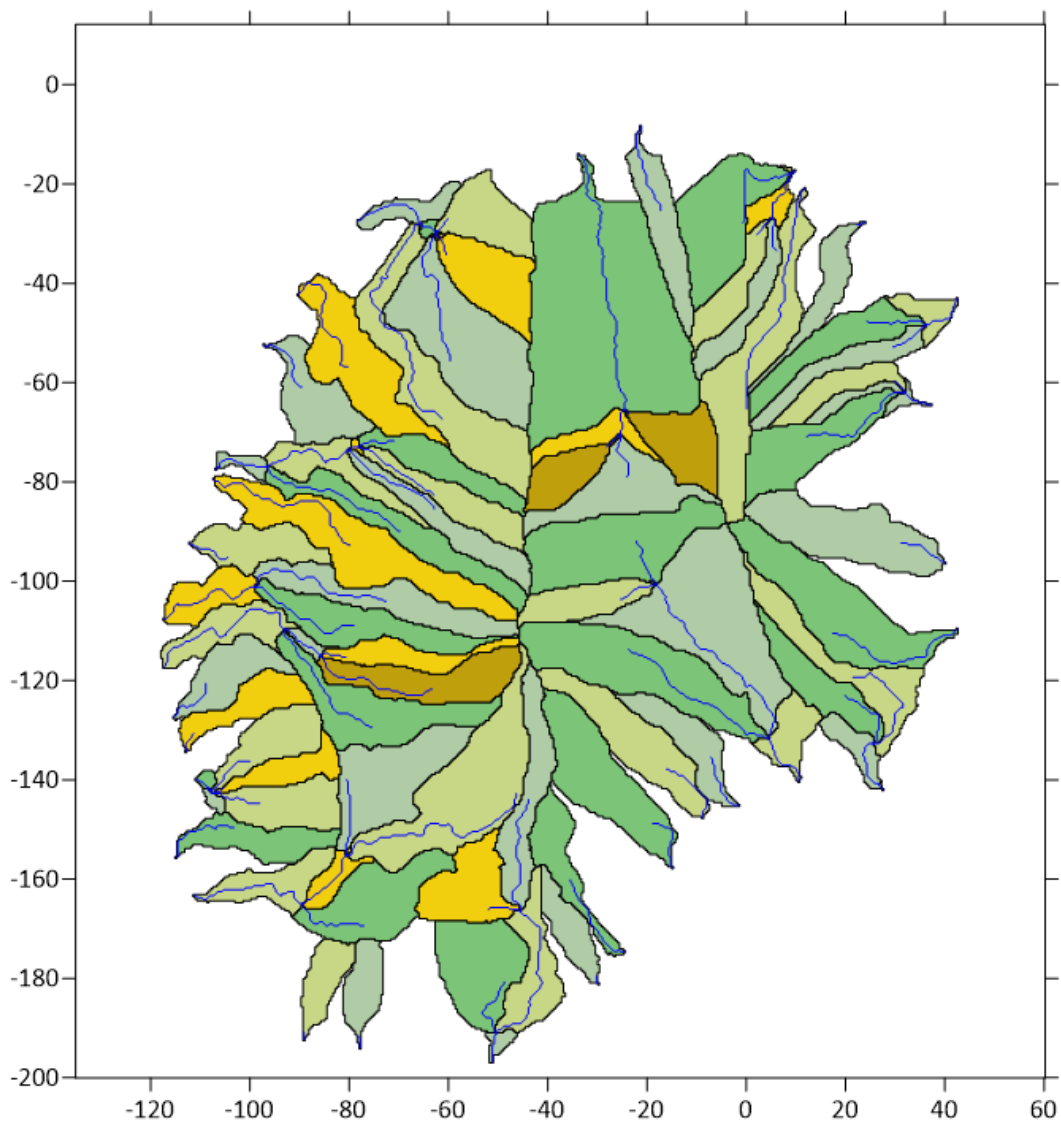


Рисунок 3.20 – Карта водосборных бассейнов
(потенциальное ТМ – шахта «Западно-Щекинская 17 бис»)

Для получения данных о составе стока выбирают участок, не имеющий боковых притоков, перепадов и поворотов. На входе контрольного участка измеряют расход потока и отбирают пропорциональную пробу при помощи насоса постоянного расхода. Пробу направляют в общий сосуд (интегральная проба) либо в индивидуальный сосуд (дифференциальная проба). Отбор проб производится ёмкостным пробоотборником, погруженным под уровень воды в стоке [84, 85].



Рисунок 3.21 – Методика оценки стоков с потенциальных техногенных месторождений

Информация по выборочным отборам проб представляет качественную характеристику бассейна водосбора. Для получения средних многолетних данных о количественной характеристике загрязнений поверхностного стока лабораторный контроль необходимо проводить каждый год.

Контроль только по одному параметру – составу сточных вод (без привязки к расходу и характеру выпадения дождя) – не дает возможности составить точную характеристику сброса загрязнений. Поэтому величина мгновенного сброса высчитывается как произведение расхода q_i на величину концентрации C_i , т.е. $G_i = q_i C_i$.

Суммируя мгновенные сбросы G_i , составляют интегральный график сброса загрязнителей.

Общее количество загрязнителей в сбросе G составит

$$G = \sum_{i=1}^n G_i = \sum_{i=1}^n q_i C_i. \quad (3.61)$$

Средняя величина сброса G_{cp} будет равна

$$G_{cp} = G t_{cm}, \quad (3.62)$$

где t_{cm} – продолжительность стока.

Условная средняя концентрация примесей в сбросе

$$C_{cp} = G_{cp} / Q_{cm}, \quad (3.63)$$

где Q_{cm} – объём стока.

Данный метод расчета позволяет определять среднюю концентрацию поллютантов за период прохода основной части стока. При расчетах загрязнения по данным лабораторного анализа проб необходимо учесть координаты времени от начала до конца стока, междождевой период (продолжительность накопления загрязнителей на поверхности бассейна стока за предшествующий период сухой погоды), отличие данного дождя от расчетного. Расчетный дождь является предельным дождём, как правило, с повторяемостью 10-20 раз в году.

Загрязненность дождевого стока изменяется в течение одного дождя в различных точках дождевой сети. Загрязненность дождевых вод складывается из двух составляющих: основной загрязненности, определяемой смывом накопленных загрязнителей, и фоновой, возникающей из-за размыва (эрозии) самих поверхностей.

В течение времени $T_{cух}$, предшествующего выпадению осадка, происходит накопление загрязнителей на поверхности водосбора. Для каждого конкретного потенциального ТМ можно выявить максимальную (предельную) загрязненность, рассчитать количество поллютантов, накопленных за время T , на единице площади, количество смываемых вредных веществ $M_{см}$, концентрацию взвешенных веществ в стоках, формирующихся на территории соответствующих водосборов.

При расчетах дождевых водостоков расход оценивается по формуле:

$$Q = \psi q F, \quad (3.64)$$

где Q – расход дождевого стока; ψ – коэффициент стока; F – площадь бассейна стока, га; q – интенсивность дождя (л/с) на 1 га; при выражении интенсивности в мм/мин через I - $q = 0,001 \cdot 10000 \cdot 1000 \cdot i / 60 = 166.7I$.

Таким образом, наибольший расход в рассматриваемом сечении получаем посредством умножения всей площади стока на интенсивность выпадения дождя, отвечающую его продолжительности, равной времени добегания воды от наиболее удаленных участков бассейна.

Годовой расход дождевых Q_D и талых Q_T вод рассматриваемой площади водосбора определяется по формуле:

$$Q_D = 10q_D \psi_D F, \quad (3.65)$$

$$Q_T = 10q_T \psi_T F, \quad (3.66)$$

где Q_D, Q_T - годовой расход дождевых и талых вод, л/с;

ψ_D, ψ_T - общий коэффициент стока дождевых и талых вод соответственно;

F - площадь бассейна водосбора, га;

q_D, q_T - интенсивность осадков по объёму, л/с с/га.

$$q_{D,T} = 166,7i_{D,T}.$$

$$i_{D,T} = h_{D,T} / t, \text{ мм/мин,}$$

где $h_{D,T}$ – высота слоя выпавших осадков соответственно за теплый период года и за холодный период года (общее годовое количество талых вод); t – продолжительность выпадения осадков, мин; $i_{D,T}$ – интенсивность по слою, мм/мин.

Коэффициент стока определяется:

– для горевшего потенциального ТМ

$$\psi_{ТМО гор.} = 4,3 \cdot 10^{-2} - 8 \cdot 10^{-4} \alpha + 8 \cdot 10^{-4} I + 2,4 \cdot 10^{-5} Re;$$

– для негоревшего потенциального ТМ

$$\begin{aligned} \Psi_{ТМО_{негор.}} = & -3,5 + 1,3 \cdot 10^{-3} \alpha + 8,5 \cdot 10^{-3} I + 2,2 \cdot 10^{-4} \alpha I - \\ & - 1,2 \cdot 10^{-6} \alpha Re + 6,5 \cdot 10^{-5} Re, \end{aligned} \quad (3.67)$$

где α – гидравлический уклон поверхности террикона; I – интенсивность дождя, мм/мин.

Таким образом, годовые расходы дождевых и талых стоков с потенциального ТМ определяют размеры и форму зоны негативного влияния ТМ на окружающие территории [193, 192].

Вертикальная миграция загрязнителя в почву и далее в подстилающие породы

Расчетная схема миграции токсичных компонентов в подстилающие породы и почву с потенциальных ТМ представлена на рисунке 3.22.

С учетом кинетики сорбции загрязнителя твердой фазой подстилающих пород и почв вертикальная миграция загрязнителя в почву и далее в подстилающие породы удовлетворительно описывается одномерным уравнением конвективной диффузии. В этом случае рационально подвергать рассмотрению полубесконечное пространство. Уравнение миграции загрязнителя имеет следующий вид:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial z} = D_s \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - Kc, \quad (3.68)$$

где $c(z, t)$ – концентрация загрязнителя в горных породах; v – средняя скорость фильтрации почвенного раствора; D_s – коэффициент диффузии; K – константа скорости сорбции загрязнителя горными породами.

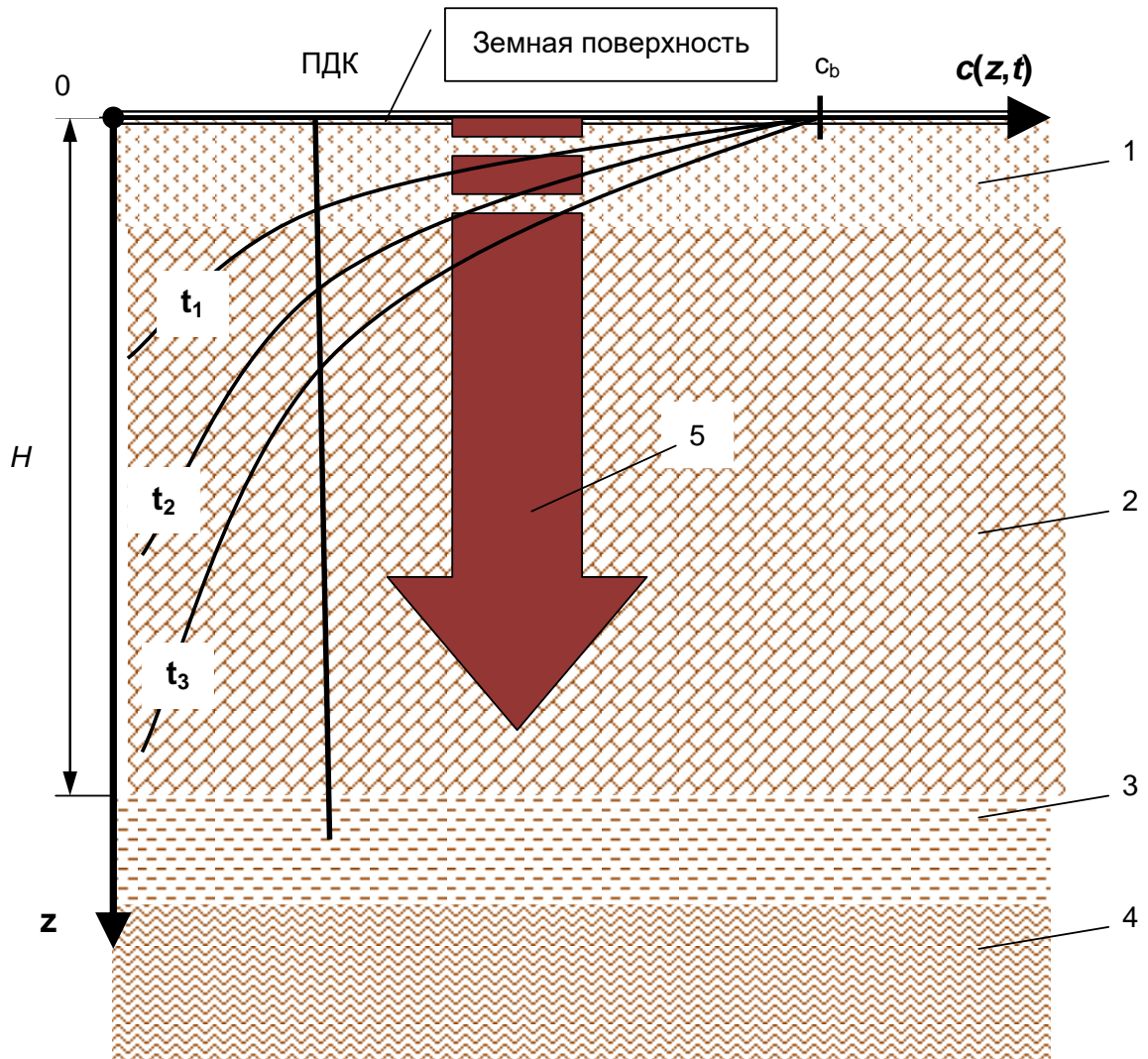


Рисунок 3.22 – Расчетная схема миграции токсичных компонентов в подстилающие породы и почву с ТМ: 1 – почвенный слой; 2 – подстилающие породы; 3 – водоносный горизонт; 4 – водонепроницаемые породы; 5 – фильтрационно-диффузионный поток загрязнителя

Начальное условие:

$$c(z, 0) = c_0 = \text{const} . \quad (3.69)$$

Граничные условия:

$$c(0, t) = c_b = \text{const} , \quad \lim_{z \rightarrow \infty} c \neq \infty . \quad (3.70)$$

Используя преобразование Лапласа, уравнение (3.68) можно записать следующим образом:

$$\frac{d^2 c_L}{dx^2} - \frac{v}{D_s} \frac{dc_L}{dx} - \frac{(s+K)}{D_s} \left(c_L - \frac{c_0}{s+K} \right) = 0, \quad (3.71)$$

где c_L – изображение функции $c(z,t)$; s – комплексный параметр.

Решение уравнения (3.71) для условий

$$c_L(0,s) = c_b / s, \quad \lim_{z \rightarrow \infty} c_L \neq \infty,$$

имеет следующий вид:

$$c_L = \left(\frac{c_b}{s} - \frac{c_0}{s+K} \right) \exp \left[\left(\frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\alpha^2 + 4\beta} \right) z \right], \quad (3.72)$$

где $\alpha = v / D_s$; $\beta = (s+K) / D_s$.

Переходя к начальному выражению, получим:

$$\begin{aligned} c(z,t) = & c_0 \exp(-Kt) + 0,5 \exp(0,5\alpha z) \left\langle c_b \left[\exp(-\sqrt{AB}) \operatorname{erfc}(0,5\sqrt{A/t} - \sqrt{Bt}) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \exp(\sqrt{AB}) \operatorname{erfc}(0,5\sqrt{A/t} + \sqrt{Bt}) \right] - c_0 \exp(-At) \left\{ \exp[-\sqrt{A(B-K)}] \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times \operatorname{erfc} \left[0,5\sqrt{A/t} - \sqrt{(B-K)t} \right] + \exp \left[\sqrt{A(B-K)} \right] \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times \operatorname{erfc} \left[0,5\sqrt{A/t} + \sqrt{(B-K)t} \right] \right\} \right\rangle, \quad (3.73) \end{aligned}$$

где $A = z^2 / D_s$; $B = 0,25 D_s (v^2 / D_s^2 + 4K / D_s)$.

В частном случае, когда $c_0 = 0$, зависимость (3.73) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} c(z,t) = & 0,5 c_b \exp(0,5\alpha z) \left[\exp(-f_1 z) \operatorname{erfc}(0,5z/\sqrt{D_s t} - \sqrt{Bt}) + \right. \\ & \left. + \exp(f_1 z) \operatorname{erfc}(0,5z/\sqrt{D_s t} + \sqrt{Bt}) \right] + \exp(\sqrt{AB}) \operatorname{erfc}(0,5\sqrt{A/t} + \sqrt{Bt}), \quad (3.74) \end{aligned}$$

где $f_1 = 0,5 \sqrt{v^2 / D_s^2 + 4K / D_s}$.

Вычислительные эксперименты проведены с использованием зависимости (3.73). На рисунке 3.23 представлены результаты вычислительного эксперимента [193].

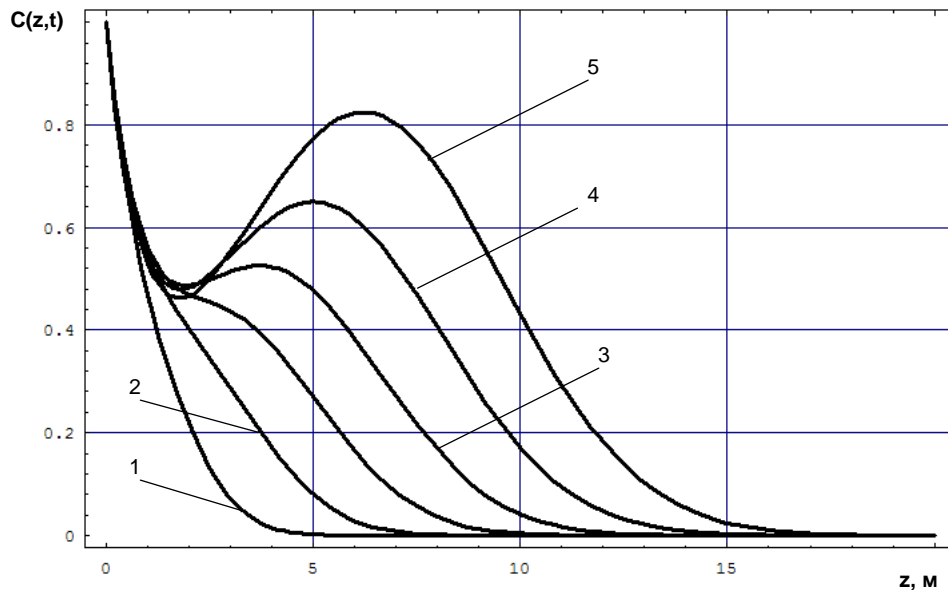


Рисунок 3.23 – Вертикальный профиль концентраций загрязнителя в почве и подстилающих породах в зоне действия потенциального ТМ:

$C(z,t) = c(z,t)/c_b$; 1 - $t = 1$ сут; 2 - $t = 2$ сут; 3 - $t = 3$ сут; 4 - $t = 4$ сут; 5 - $t = 5$ сут

Результаты вычислительного эксперимента показывают, что миграция токсичных компонентов жидких стоков с поверхности потенциальных ТМ приводит к интенсивному загрязнению почвы и подстилающих пород. При этом профиль концентрации имеет волнообразный характер с точкой максимума, обусловленной в данный момент времени в конкретной точке рассматриваемого пространства равенством скоростей процесса конвективно-диффузионного переноса и сорбции [193].

Вертикальная миграция фильтрата потенциального ТМ в водоносные горизонты

Для потенциальных ТМ характерно образование жидкой фазы, появлению которой предшествует вода, накапливающаяся в результате выпадения атмосферных осадков. Вода, просачиваясь сквозь породную массу, уносит с собой растворимые вещества, образуя фильтрат. Часть компонентов фильтрата – это токсичные вещества, которые могут загрязнять грунтовые воды.

Интенсивность переноса поллютантов характеризуется величиной миграционного потока [98, 101, 99]. Миграционный поток представляет собой объем примеси, проходящей через единичную площадь в единицу времени:

$$\bar{j}_{миг} = \frac{M_n}{St},$$

где: $\bar{j}_{миг}$ – миграционный поток; M_n – масса примеси, прошедшей через поверхность с площадью S за период времени t .

Вертикальная миграция фильтрата потенциальных ТМ в водоносные горизонты ($x, y = 0$) описывается следующим уравнением:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V \frac{\partial C}{\partial z} = D_э \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - kC, \quad (3.75)$$

где C – концентрация мигрирующего компонента в фильтрате; V – составляющая вектора скорости фильтрации по оси z ; $D_э$ – эффективный (эквивалентный) коэффициент диффузии; k – константа скорости сорбции.

В результате сорбции концентрация мигрирующего компонента уменьшается, что показывает знак минус в правой части уравнения (3.75).

В уравнении приняты:

начальные условия: $C(z, 0) = C_H = \text{const}$;

граничные условия: $C(0, t) = C_0 = \text{const}$.

Рассматривая одномерное полуограниченное пространство, задали условия на бесконечность:

$$\lim_{z \rightarrow \infty} C(z, t) \neq \infty.$$

Зависимость, описывающая динамику изменения концентрации загрязняющего вещества в подошве ТМО по вертикали, позволяет получить решение данного уравнения:

$$C(z, t) = C_H \cdot \exp(-kt) + (C_H + C_0) \cdot \exp\left(\frac{V}{2D_э} z\right) \times$$

$$\begin{aligned}
& \times \exp\left(-\left(k + \frac{V^2}{4D_3}\right)t\right) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{D_3 t}}\right) + \\
& + \exp\left(\frac{V}{2D_3}z\right) \cdot \int_0^t \left[C_H \cdot \frac{V^2}{4D_3} \cdot \exp(-k\tau) + C_0 \cdot \left(k + \frac{V^2}{4D_3}\right) \cdot \exp(-k\tau) \right] \times \\
& \times \exp\left(-\frac{V^2}{4D_3}\tau\right) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{z}{2\sqrt{D_3 \cdot \tau}}\right) d\tau. \quad (3.76)
\end{aligned}$$

Для численной реализации математической модели были использованы ресурсы пакета Mathcad.

Теоретическая динамика концентрации загрязняющего вещества в фильтрационном потоке, полученная с помощью программы Mathcad, может быть представлена в виде кривых, стремящихся с течением времени к стационарному распределению. Расчетные кривые изменения концентрации ионов Mn^{2+} на различных глубинах приведены на рисунке 3.24 [193].

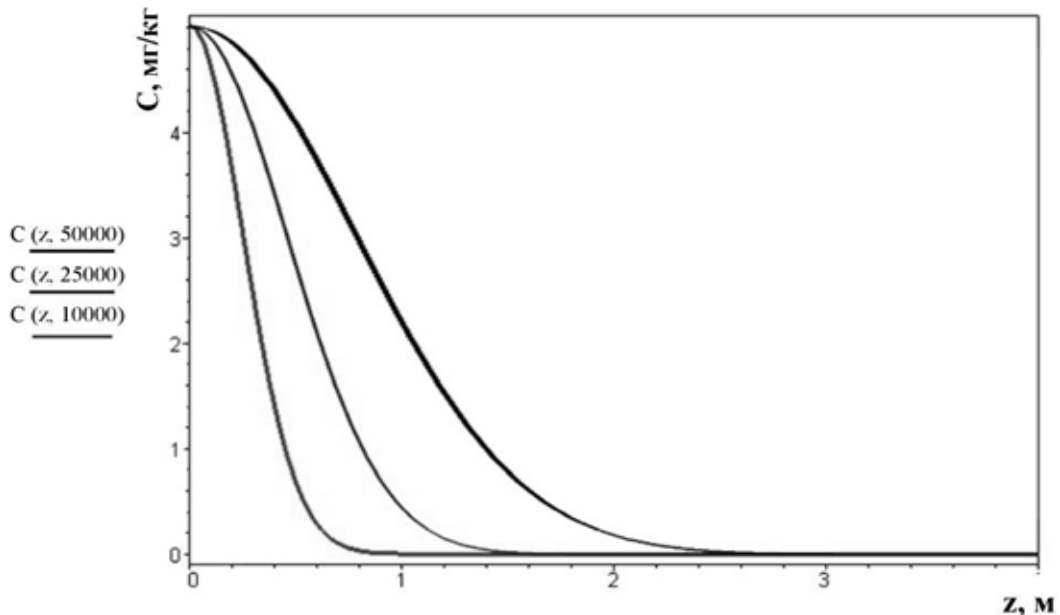


Рисунок 3.24 – Расчетные кривые изменения концентрации марганца на различных глубинах в грунте при вертикальной миграции фильтрата

$$C_H = 0,5 \text{ мг/л}; C_0 = 50 \text{ мг/л}; k = 0,001 \text{ л/ч}; D_3 = 3,42 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{ч};$$

$$V = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ м/ч}$$

Выводы

1 Разработанная расчетная модель оценки предельного состояния пород ТМО, основанная на совместном применении уравнений методов начальных параметров и конечных разностей, дает возможность использовать практически универсальные возможности метода начальных параметров для задания граничных условий и определять искомые функции во внутренних точках исследуемого массива пород методом конечных разностей.

2 Получены уравнения в конечных разностях в полярной системе координат для определения функций напряжений и перехода к напряжениям для наиболее полного учета геометрических характеристик ТМО при оценке предельного состояния пород ТМО.

3 Применение разработанного пакета программных модулей на примере исследования предельного состояния пород потенциального ТМ, образованного в результате работы шахты № 13 «Мостовская», показывает возможность определения областей массива пород ТМ, в которых условие прочности не выполняется, что позволяет прогнозировать размеры образуемых вследствие деформаций дополнительных поверхностей, что, в свою очередь, дает возможность делать прогноз об увеличении интенсивности загрязнения окружающей среды в зоне влияния подвергшихся деформации ТМ за счет воздействия водной и ветровой эрозии.

4 Установлено, что площадь поверхности потенциального ТМ, образованного в результате работы шахты № 13 «Мостовская», увеличится в среднем на 6-8 %. Это позволяет прогнозировать значительное увеличение негативного воздействия ТМО на окружающие территории за счет воздействия водной и ветровой эрозии.

5 Как показывают результаты вычислительного эксперимента, пыль малых фракций и газообразные загрязнители в зависимости от длительности действия ветра и его скорости может распространяться на значительные расстояния от ТМО. Это подтверждается результатами натурных наблюдений.

6 Результаты вычислительного эксперимента показывают, что миграция токсичных компонентов жидких стоков с поверхности ТМО приводит к интенсивному загрязнению почвы и подстилающих пород. При этом профиль концентрации имеет волнообразный характер с точкой максимума, обусловленной в данный момент времени в конкретной точке рассматриваемого пространства равенством скоростей процесса конвективно-диффузионного переноса и сорбции.

7 Загрязненность дождевых стоков складывается из двух составляющих: основной загрязненности, определяемой смывом накопленных загрязнителей, и фоновой, возникающей из-за размыва (эрозии) самих поверхностей.

8 Талые воды вносят большой вклад в перенос поллютантов на прилегающие к ТМО территории. Годовые расходы дождевых и талых стоков с ТМО определяют размеры и форму зоны негативного влияния водной эрозии ТМО на окружающие территории.

9 Получена зависимость, описывающая динамику изменения концентрации загрязняющего вещества в подошве ТМО по вертикали, позволившая построить график изменения концентрации загрязняющего вещества на различных глубинах в грунте при вертикальной миграции фильтрата.

10 Установлено, что при инфильтрации стоков на прилегающих к ТМО территориях наблюдается максимальная скорость повышения кислотности почв, а подвижность загрязняющих веществ при их транспортировании грунтовыми водами, которая зависит от фильтрационных свойств грунта и значения рН почвенного раствора, определяет размеры и форму зон негативного влияния фильтрации воды сквозь тело ТМО на окружающие территории.

ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

4.1 Общие положения

В угледобывающих регионах страны основными источниками негативного воздействия на окружающие земли являются техногенные минеральные образования, сформированные в результате добычи, переработки и использования полезных ископаемых.

За 150 лет добычи угля Подмосковского угольного бассейна в Тульской области на дневной поверхности скопилось более 300 миллионов тонн горных пород в виде различных отходов производства [160, 149, 126, 177, 128, 85]. Основной объем этих отходов размещается в потенциальных техногенных месторождениях, представленных терриконами угольных шахт. Распределение по районам следующее: Алексинский район – 2, Богородицкий район – 12, Веневский район – 2, городской округ Донской – 6, Кимовский район – 16, Киреевский район – 20, Новомосковский район – 8, Суворовский район – 4, Узловский район – 18 и Щекинский район – 21 (рисунок 4.1).

Значительный охват территории Тульской области размещением ТМ позволяет говорить о серьезных масштабах проблемы негативного воздействия ТМ на окружающие земли, и производить мониторинг этих земель необходимо с привлечением самых современных технологий [152, 174].

В других угледобывающих регионах страны эта проблема присутствует в полной мере [109, 165, 167, 175, 146, 156].

В зоне влияния ТМ загрязнение вредными веществами сельскохозяйственных угодий происходит за счет водной и ветровой эрозии пород ТМ, деформаций ТМ (осыпи и обвалы пород ТМ, создающие дополнительные поверхности для эрозионных процессов), фильтрации воды через тело ТМ в водоносные горизонты [156, 191, 108, 24].

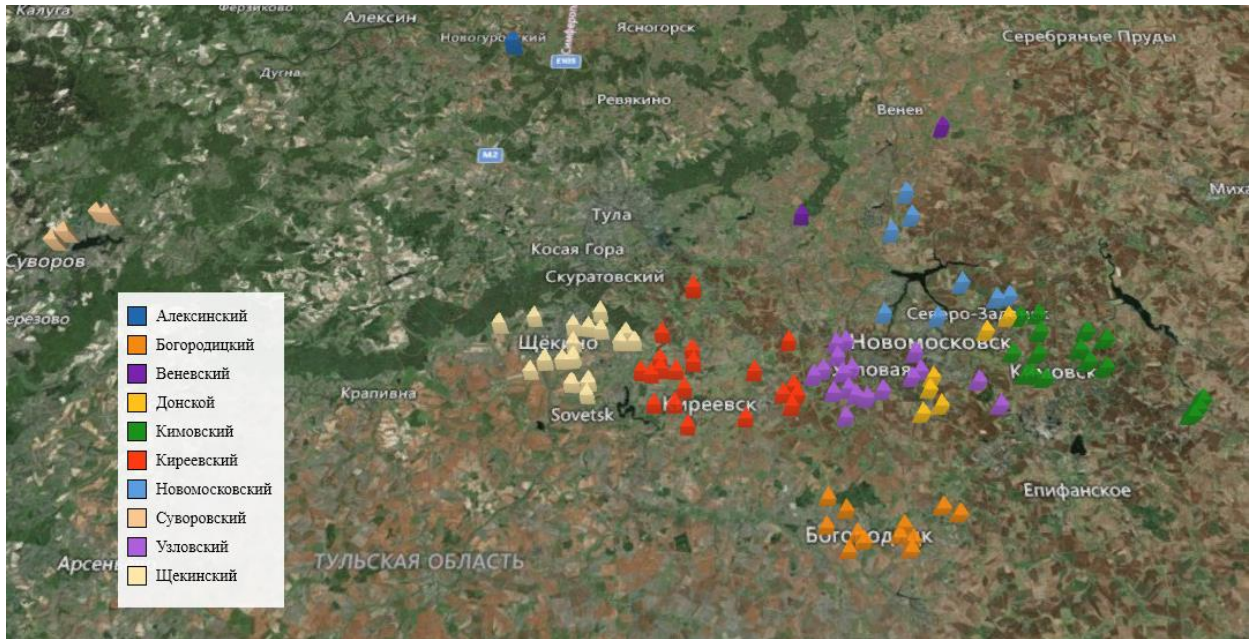


Рисунок 4.1 – Расположение ТМ, образованных в результате разработки Подмосквовного угольного бассейна в Тульской области

Степень воздействия ТМ на окружающие земли зависит от географических и климатических факторов, формы и размеров ТМ, химического и минералогического состава, дисперсности, пористости, водопроницаемости и других свойств пород, слагающих ТМ [156].

Комплексный мониторинг техногенного воздействия техногенных месторождений на окружающую среду включает в себя мониторинг источника загрязнения, мониторинг факторов воздействия и мониторинг окружающей среды.

Мониторинг факторов воздействия – наблюдение, оценка и прогнозирование водной и ветровой эрозии, фильтрации воды сквозь тело ТМ и деформаций ТМ.

Мониторинг источника загрязнения в данном случае – наблюдение, оценка и прогноз состояния техногенных месторождений как объекта накопленного вреда. Состояние ТМ характеризуется геометрическими параметрами, физико-механическими свойствами, химическим составом слагающих пород и т. д.

Мониторинг окружающей среды в данном случае – наблюдение, оценка и прогноз состояния земельных участков разных категорий, расположенных в зоне влияния ТМ.

Одной из важнейших задач мониторинга земель является своевременное выявление изменений состояния земель, оценка и прогнозирование этих изменений, выработка предложений о предотвращении негативного воздействия на земли и устранении последствий такого воздействия [2].

В структурно-функциональный состав комплексного мониторинга входят:

- натурные наблюдения;
- лабораторные эксперименты;
- вычислительные эксперименты;
- дистанционный геоэкологический мониторинг;
- техническое обеспечение;
- программное обеспечение для анализа результатов наблюдений, а также моделирования, оценки и прогнозирования факторов воздействия, состояния источника загрязнения, состояния окружающей среды.

Предложенный комплексный мониторинг позволяет работать с любыми насыпными минеральными образованиями. Структура комплексного мониторинга техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду представлена на рисунке 4.2.

Главной особенностью комплексного мониторинга является определение на основе натуральных наблюдений, лабораторных и вычислительных экспериментов параметров зон влияния источника загрязнения на окружающую среду в зависимости от факторов воздействия.

Натурные наблюдения и лабораторные эксперименты в рамках мониторинга факторов воздействия, источника загрязнения и окружающей среды подробно рассмотрены во второй и третьей главах.

В третьей главе разработаны расчетные модели и на их основе проведены вычислительные эксперименты, что позволило дать оценку факторам

воздействия и источникам загрязнения, а также спрогнозировать состояние техногенных минеральных образований (источников загрязнения) и заложить основу для проведения дистанционного мониторинга для оценки и прогнозирования состояния окружающей среды. Такой основой является моделирование количества и параметров буферных зон влияния вокруг техногенных минеральных образований.

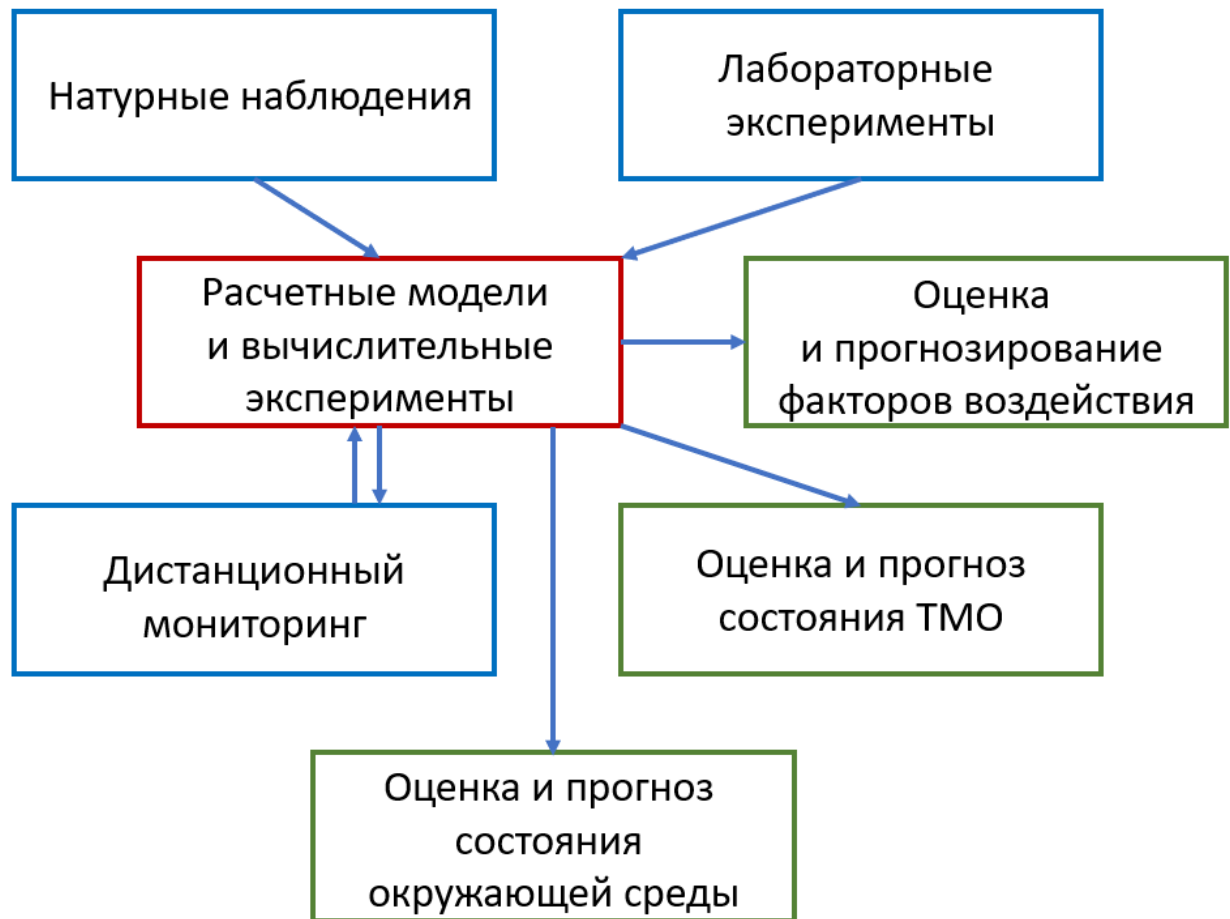


Рисунок 4.2 – Структура комплексного мониторинга техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду

В качестве примера на рисунке 4.3 приведено усредненное зонирование (буферизация) негативного воздействия на окружающие земли техногенных месторождений, сформированных в результате добычи угля в Подмосковном угольном бассейне, для условий Тульской области. Определение количества и параметров буферных зон производится на основе результатов натурных наблюдений, лабораторных и вычислительных экспериментов, приведенных в главах 2 и 3. Для определения размеров зон влияния ТМ на окружающую

среду были использованы расчетные и математические модели: оценки предельного состояния пород ТМ [195]; переноса пыли и газовых загрязнителей в приземном слое атмосферы [191]; миграции токсичных компонентов в почву; инфильтрации стоков с ТМ на прилегающие территории.

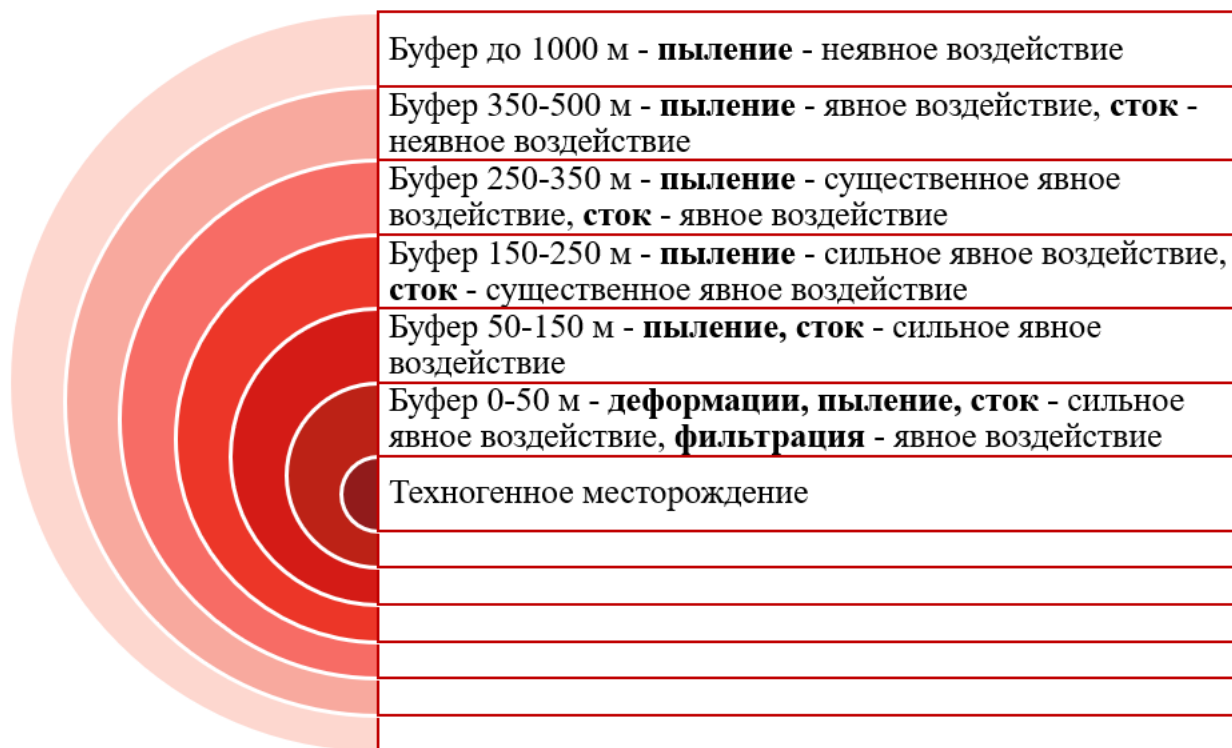


Рисунок 4.3 – Усредненное зонирование негативного воздействия ТМ на окружающую среду

Под явным воздействием здесь понимается воздействие, подтвержденное натурными наблюдениями и (или) анализом снимков поверхности (оползни, облака пыли, стоки с поверхности). Неявное воздействие – воздействие, подтвержденное лабораторными и (или) вычислительными экспериментами [194].

Для оценки и прогнозирования изменений состояния окружающей среды и выработки предложений о предотвращении негативного воздействия на окружающую среду, а также предложений по устранению последствий та-

кого воздействия необходимо производить детальный дистанционный геоэкологический мониторинг по каждому техногенному месторождению с учетом зонирования негативного воздействия.

4.2 Концепция учета техногенных минеральных образований

Вопрос учета минеральных техногенных образований много раз поднимался в научных работах и в обсуждениях на различных уровнях. Важность решения этого вопроса обусловлена как негативным влиянием ТМО на окружающую среду, так и потенциальными возможностями ТМО в плане извлечения из них полезных компонентов. Первая причина определяется вредным воздействием ТМО на воздушный и водный бассейны, сельскохозяйственные угодья – на состояние почвенного покрова, особенно пашни. К этому ведут следующие негативные процессы: деградация, захламливание, уничтожение, водная и ветровая эрозия. Учёт и фиксация характеристик ТМО в государственных кадастрах или реестрах позволит проводить регулярный мониторинг их состояния, производить оценку их негативного влияния на земельные ресурсы, осуществлять выбор способов и методов их рекультивации, консервации или разборки (отработки).

Особенно остро этот вопрос стоит в угледобывающих регионах. Например, в Тульской области за 150 лет разработки Подмосковского угольного бассейна на дневной поверхности скопилось более 300 млн т горных пород в виде различных отходов производства. Основной объем этих отходов размещается в терриконах угольных шахт, рекультивация или консервация которых не проводилась [189].

В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы учёта и описания их характеристик в соответствующих государственных кадастрах и реестрах с целью проведения мониторинга за их состоянием, оценки экологической опасности при выборе оптимальных способов устранения или снижения

негативного влияния породных отвалов угольных шахт на окружающую среду.

В настоящее время учёт породных отвалов угольных шахт ведется без определенной системы, разными ведомствами, отсутствует чёткая регламентированная процедура хранения и предоставления данных о терриконах [197].

Проблемы учета и мониторинга состояния породных отвалов связаны также с тем, что угольные шахты закрыты, а рекультивационные или консервационные мероприятия на отвалах не проведены. Рано или поздно в каждом конкретном случае будет необходимо определять методы борьбы с негативным влиянием терриконов на окружающую среду (полная разборка, рекультивация или консервация террикона) или выбрать технологию разборки террикона, направления рекультивации или способ консервации.

В этой связи встаёт логичный вопрос: в каком именно из существующих на сегодняшний день государственном кадастре или реестре можно учитывать такие объекты, как отвалы горных пород (терриконы)? Далее рассмотрим возможность идентификации породных отвалов как объектов учета, регистрации и включения сведений о них в различные кадастры (реестры) [185, 202, 205].

Законодательством Российской Федерации определен перечень государственных информационных ресурсов, содержащих сведения об объектах природного и антропогенного происхождения (рисунок 4.4).

Уполномоченный орган, отвечающий за ведение того или иного кадастра и реестра, а также требования к содержанию сведений об объектах учета и порядок внесения таких сведений, определяется федеральными, региональными или муниципальными нормативно-правовыми актами. В таблице 4.1 представлены основные цели создания кадастров (реестров).

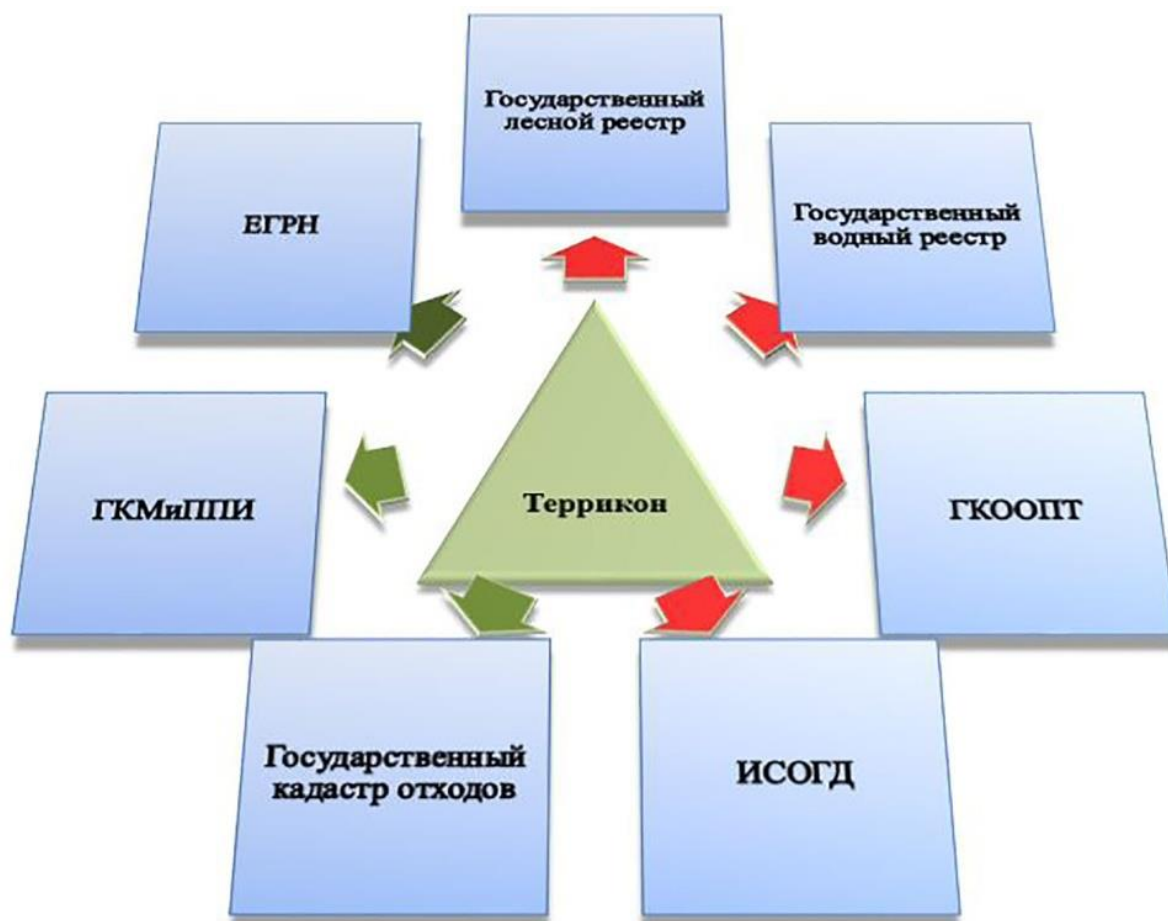


Рисунок 4.4 – Виды государственных кадастров и реестров
в Российской Федерации

Таблица 4.1 – Цели создания государственных кадастров (реестров)

№ п/п	Вид государственного кадастра (реестра)	Цели
1	2	3
1	Государственный лесной реестр	Получение информации о лесах, об их использовании, охране, защите, воспроизводстве, о лесничествах и о лесопарках для устойчивого управления лесами, сохранения биологического разнообразия лесов, повышения их потенциала
2	Государственный водный реестр	Информационное обеспечение комплексного использования водных объектов, целевого использования водных объектов, их охраны, планирование и разработка мероприятий по предотвращению негативного воздействия вод и ликвидации его последствий

1	2	3
3	Государственный кадастр особо охраняемых природных территорий	Оценка состояния природно-заповедного фонда, определения перспектив развития сети данных территорий, повышения эффективности государственного надзора в области охраны и использования особо охраняемых природных территорий, а также учет данных территорий при планировании социально-экономического развития регионов
4	Градостроительный кадастр - ИСОГД	Обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления, физических и юридических лиц достоверными сведениями, необходимыми для осуществления градостроительной, инвестиционной и иной хозяйственной деятельности, проведения землеустройства
5	Государственный кадастр отходов	Информационное обеспечение деятельности в области обращения с отходами для максимального использования исходных сырья и материалов, сокращения и предотвращения образования отходов, снижения класса их опасности в источниках образования, вовлечения отходов в хозяйственный оборот
6	Государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых	Обеспечение разработки федеральных и региональных программ геологического изучения недр, комплексного использования месторождений полезных ископаемых, рационального размещения предприятий по их добыче и иные народно-хозяйственные цели
7	Единый государственный реестр недвижимости	Информационное обеспечение деятельности по проведению государственного кадастрового учета и государственной регистрации прав на объекты недвижимого имущества

Исходя из способа формирования терриконов в результате промышленного производства, приводящего к образованию антропогенного ландшафта,

их нельзя учитывать в первых трех видах кадастров (реестров), которые в основном содержат сведения о природных объектах. Исключениями служат гидротехнические сооружения (например, плотины из грунтовых материалов [8]), расположенные на водных объектах. Информация о таких искусственных объектах включается в государственный водный реестр.

В градостроительном кадастре, представляющем собой информационные системы обеспечения градостроительной деятельности, содержится свод документированных сведений о развитии территорий, об их застройке, о земельных участках, об объектах капитального строительства. Поскольку данные системы ведутся на территории населенных пунктов, то учитывать породные отвалы не представляется возможным, так как данные объекты находятся за границами городской черты.

Интерес представляет государственный кадастр отходов, так как отвалы — это отходы горнодобывающих предприятий, которые образуются путем складирования пустых пород угольных шахт на дневной поверхности.

Согласно Федеральному закону «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 №89-ФЗ породные отвалы относятся к объектам размещения отходов (далее – ОРО), то есть к специально оборудованным сооружениям, предназначенным для размещения отходов и включающим в себя объекты хранения отходов и объекты захоронения отходов. К таким объектам также относятся полигоны, шламохранилища, в том числе шламовый амбар, хвостохранилища и другие подобные объекты.

Сведения об ОРО вносятся в государственный реестр объектов размещения отходов (далее – ГРОРО), который является составной частью государственного кадастра отходов. Помимо информации об ОРО кадастр содержит федеральный классификационный каталог отходов, а также банк данных об отходах и о технологиях утилизации и обезвреживания отходов различных видов.

Законом предусмотрено, что собственники объектов размещения отходов, а также лица, во владении или в пользовании которых находятся объекты

размещения отходов, после окончания эксплуатации данных объектов обязаны проводить контроль за их состоянием и воздействием на окружающую среду и работы по восстановлению нарушенных земель в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

Однако порядком ведения государственного кадастра отходов [11] определено, что ГРОРО включает свод систематизированных сведений только об эксплуатируемых объектах хранения отходов и объектах захоронения отходов.

Не подлежат включению в ГРОРО:

1) объекты размещения отходов, выведенные из эксплуатации (в том числе рекультивированные или законсервированные) в соответствии с установленным порядком;

2) объекты захоронения отходов, расположенные на территориях, использование которых для захоронения отходов запрещено законодательством Российской Федерации;

3) специальные объекты размещения радиоактивных отходов;

4) скотомогильники.

Таким образом, терриконы не являются объектом государственного кадастра отходов, но смогут такими являться при создании отдельного раздела в ГРОРО, учитывающего данные о неиспользуемых отвалах, на которых не производилась рекультивация.

Что касается государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых – составление и ведение государственного кадастра осуществляется Федеральным агентством по недропользованию (Роснедра). В кадастр включается информация о:

– месторождениях с запасами полезных ископаемых, как учтенными Государственным балансом запасов полезных ископаемых или территориальными балансами запасов общераспространенных полезных ископаемых, так ещё не учтенными, но на которых завершены оценочные работы (при положительной геолого-экономической оценке) или разведка;

– месторождениях, запасы полезных ископаемых которых сняты с учета Государственным балансом запасов полезных ископаемых или территориальными балансами запасов общераспространенных полезных ископаемых независимо от основания снятия с учета;

– выработанных месторождениях;

– проявлениях твердых полезных ископаемых, для которых установлено наличие хотя бы одного тела (залежи) полезных ископаемых, по качеству (содержанию ценных компонентов) удовлетворяющих минимальным требованиям промышленности к месторождениям, но количество запасов которых либо не установлено, либо им не дана промышленная оценка [5].

Учитывая вышеизложенное, породные отвалы также нельзя отнести к объектам государственного кадастра месторождений. Тем не менее породный отвал угольной шахты может содержать в себе большое количество полезных компонентов и может считаться потенциальным техногенным месторождением. Для отнесения террикона угольной шахты к техногенному месторождению необходимо произвести изыскания, подсчет запасов полезных компонентов и т. д. Разборка породного отвала угольной шахты – это фактически открытая разработка небольшого техногенного месторождения нагорного типа. То есть при разборке террикона происходят процессы, используются технологии и механизация такие же, как при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом.

Ещё одним информационным ресурсом, содержащим данные о природных и искусственно-созданных объектах недвижимости, является Единый государственный реестр недвижимости (далее – ЕГРН). ЕГРН является сводом достоверных и систематизированных сведений о недвижимом имуществе, государственный кадастровый учёт и государственная регистрация прав которых проведены в соответствии с Федеральным законом от 13.07.2015 №218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости».

В свете последних изменений в законодательстве (например, принятие «закона о лесной амнистии» [4]), сведения ЕГРН становятся приоритетом при установлении основных характеристик объектов недвижимости.

Внесение соответствующей записи в ЕГРН о праве на объект недвижимости является единственным доказательством признания и подтверждения государством факта возникновения, изменения, перехода, прекращения или ограничения права определенного лица на имущество. Зарегистрированное в ЕГРН право может быть оспорено только в судебном порядке.

Положения 218-ФЗ применяются при государственном кадастровом учёте и регистрации прав на земельные участки, здания, сооружения, помещения, объекты незавершенного строительства, машино-места, единые недвижимые комплексы, за исключением воздушных и морских судов, судов внутреннего плавания, участков недр. Земли под водой, лесные насаждения и особо охраняемые природные территории учитываются в ЕГРН как земельные участки.

Относительно учёта терриконов в ЕГРН следует отметить, что кадастровый учёт возможен только земельных участков, на которых они расположены. В [89] исследуется возможность отнесения породного отвала к объектам государственного кадастрового учёта. На основании анализа признаков, присущих недвижимому имуществу, автором делается вывод о том, что отвалы горных пород не являются объектами недвижимости и не могут быть учтены в ЕГРН. Однако, на наш взгляд, терриконы, вышедшие из эксплуатации, обладают определенными признаками недвижимости. В данном случае речь идет о породных отвалах давно закрытых шахт.

Основой всей системы нормативно-правового регулирования сферы недвижимости является Гражданский кодекс, в котором к недвижимости относятся земельные участки, участки недр и все, что прочно связано с землей, то есть объекты, перемещение которых без несоразмерного ущерба их назначению невозможно. Также к недвижимым вещам может быть отнесено и иное

имущество (ст. 130 ГК РФ) [1]. Чтобы понять, могут ли терриконы быть отнесены к «иному имуществу», воспользуемся перечнем признаков, приведенных в [89].

Очевидно, что отвал горных пород является материальным объектом, натурально-вещественной субстанцией, физическим телом.

Не вызывает сомнения неподвижность террикона, прочная физическая связь с землей. По мере роста давления за счет увеличения высоты отвала состояние грунта изменяется, происходит уплотнение, образование сдвигов и даже выпираание грунта из-под отвала с образованием земляного вала высотой до нескольких метров.

По признаку «долговечность» следует отметить, что многие отвалы существуют более 50 лет после закрытия шахт в практически неизменной форме (и будут еще долго существовать).

Породные отвалы предназначены для размещения на поверхности пустых (вскрышных) пород или некондиционного минерального сырья. Отвалы формируются на специально отведённой площади.

Если мы говорим о непотребляемости объекта недвижимости, имеет место принцип сохранения формы за весь период эксплуатации. Отвал может обладать непотребляемостью только после окончания отработки месторождения. Поскольку объектом нашего исследования являются те отвалы, которые уже не используются в промышленном производстве, то данный принцип соблюдается.

Полезность объекта определяется такими категориями, как стоимость, ликвидность и общественное значение. Стоимость породного отвала может быть рассчитана, например, по существующим методикам геолого-экономической и стоимостной оценке месторождений полезных ископаемых и участков недр. Что касается ликвидности, то терриконы могут быть ограничены в обороте. Объекты недвижимости не всегда обладают ликвидностью. Можно провести аналогию с лесными ресурсами, большая часть из которых не вовле-

чена в гражданский оборот, в противном случае просто нечем было бы дышать. Что касается общественного значения, то оно может заключаться в использовании пород отвала в качестве закладочного материала для выработанного пространства карьеров по разработке нерудных строительных материалов, однако при этом необходимо точно знать индивидуальные характеристики отвалов и состав слагающих его пород в учетных системах.

Еще одним важным признаком недвижимости является государственная регистрация прав. В настоящее время предприятия, занимающиеся разработкой угольных месторождений, уже давно прекратили своё существование и были ликвидированы, поэтому терриконы не являются основными фондами и не стоят на балансе. Возникает проблема определения собственника данных объектов. Поскольку терриконы при определенных обстоятельствах возможно считать техногенными месторождениями полезных ископаемых, то к ним можно применить законодательство о недрах. Недра в границах территории РФ являются государственной собственностью. Вопросы владения, пользования и распоряжения недрами находятся в совместном ведении Российской Федерации и субъектов Российской Федерации [5]. Таким образом, терриконы можно отнести к федеральной и региональной собственности.

Исходя из вышеизложенного, породные отвалы можно отнести к объектам недвижимости и не только учитывать в ЕГРН как земельные участки, но и рассматривать как сооружения подобно гидротехническим, таким как дамбы, сведения о которых также содержатся в кадастре недвижимости. Технология создания отвалов горных пород во многих случаях аналогична созданию насыпных дамб.

Следует подчеркнуть, что в состав основных сведений ЕГРН о терриконах особенно важно вносить информацию об их геометрических характеристиках.

Действующая на сегодня система кадастрового учёта основана на представлении объектов в виде 2D-проекций на горизонтальную плоскость. Од-

нако с 1 января 2017 года в [3] появилась возможность внесения пространственных характеристик об объектах недвижимого имущества в кадастровую базу данных. Согласно ст. 24, п. 5 названного закона предусмотрено «по желанию» заказчика кадастровых работ дополнительно определить местоположение здания, сооружения или объекта незавершенного строительства путем пространственного описания конструктивных элементов, в том числе с учетом их высоты или глубины.

В этом случае при внесении сведений в ЕГРН кадастровый инженер должен подготовить технический план, в состав приложения которого включается трёхмерная модель объекта в виде электронного документа в одном из форматов: DXF, RVT, PLN, SKP [27].

Геометрические параметры терриконов могут быть представлены в виде цифровых моделей, построенных на основе существующих методик с использованием современных, малозатратных и высокоэффективных методов [204]. Для оценки необходимой точности построения цифровой модели террикона можно использовать подход, изложенный в [19], при этом необходимо заменить экономические критерии на экологические.

Развитие системы существующего кадастра недвижимости до 3D-модели кадастра позволит учитывать информацию о терриконах, необходимую для изучения геоморфологического положения и морфологии отвалов при обосновании выбора технологий, определения технологических параметров, создания проекта разборки или консервации отвалов угольных шахт.

В Тульской области уже имеется успешный реализованный проект компании «Геоскан», где были получены 3D-модели объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов на всю территорию региона. Результаты данного проекта можно использовать не только для проведения земельного контроля, но и для получения пространственных характеристик терриконов и их учёта в ЕГРН.

При совершенствовании кадастрового учёта до 4D-модели кадастра можно будет наблюдать процессы изменения геометрических параметров отвала с целью оценки и прогнозирования негативного воздействия на окружающую среду.

Интересным фактом является попытка в 2018 году внесения изменений в закон Российской Федерации "О недрах" и федеральный закон "О приватизации государственного и муниципального имущества" в части определения правового режима недвижимого горного имущества [6]. В проекте федерального закона о внесении этих изменений предлагается признать недвижимым горным имуществом недвижимое имущество, изготовленное или созданное для проведения работ, связанных с использованием недрами. В замечаниях и предложениях Комиссии РСПП по горнопромышленному комплексу к данному проекту федерального закона указано, что основная часть объектов, используемых при проведении работ по недропользованию (в частности, отвалы и горные выработки), не являются объектами недвижимости и, соответственно, не могут быть отнесены к недвижимому горному имуществу [65].

Участок недр не является объектом недвижимости и, соответственно объектом прав собственности, а значит, его невозможно купить или продать. При этом горные выработки являются компонентами участков недр, т. к. пройдены для изучения или освоения участков недр и неразрывно связаны с ними, т. е. тоже не могут быть собственностью недропользователя и объектом рыночных отношений, а должны быть ликвидированы (подземные горные выработки и буровые скважины, кроме разведочных горных выработок и буровых скважин, которые могут быть использованы при разработке месторождений и (или) в иных хозяйственных целях) или рекультивированы (открытые горные выработки, отвалы, хвостохранилища и т. п.) [67].

В сложившейся ситуации особую важность приобретают следующие вопросы: Являются ли отвалы и хвостохранилища, расположенные на дневной поверхности, компонентами участков недр? Как поступать с ТМО, которые

были образованы 40-50 и более лет назад и не были своевременно рекультивированы? Как производить их учет? Они касаются не только экономики и недропользования, но и охраны окружающей среды, поскольку таких ТМО в угледобывающих районах накопилось значительное количество. Началом устранения их вредного влияния на окружающую среду должен стать их учет, что ложиться в основу нашей работы.

В декабре 2019 года Комитетом Совета Федерации по экономической политике был проведен круглый стол по законодательному обеспечению, проблемам и перспективам рационального использования отвалов горных пород и отходов перерабатывающих производств. В работе круглого стола приняли участие члены Совета Федерации, депутаты Государственной Думы, представители федеральных органов исполнительной власти, исполнительных и законодательных органов власти горнодобывающих субъектов Российской Федерации, Российской академии наук, отраслевых научно-исследовательских учреждений и общественных организаций, геологоразведочных и горнодобывающих компаний.

Основным на заседании стал вопрос о причине постоянного накопления отвалов горных пород и увеличения числа брошенных карьеров и других горных выработок, расширения занятых ими земель и ухудшения экологии.

В ходе обсуждения было отмечено, что объем отходов от пользования недрами ежегодно растет на 1,5-2 миллиардов тонн, так как по мере отработки запасов с более высоким содержанием полезных компонентов и меньшей долей пустых пород в разработку вовлекаются менее рентабельные запасы.

По итогам обсуждения Министерству природных ресурсов и экологии РФ было предложено [148]:

– рассмотреть возможность организации и проведения инвентаризации всех накопленных отходов недропользования на территории Российской Федерации с направлением всей информации в Росгеолфонд и его территориальные подразделения;

– провести в течение 2020 года классификации всех учтенных и вновь образуемых отвалов горных пород и отходов промышленности, отнесенных к «техногенным образованиям», содержащих соответствующие виды полезных ископаемых, в том числе общераспространенные полезные ископаемые.

Для инвентаризация ТМО использованы подходы, изложенные в методических рекомендациях по проведению инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба, утвержденные приказом федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 25.04.2012 №193. В данных методических рекомендациях рассмотрены термины и определения, порядок инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба, инвентаризация объектов и определение их основных характеристик, описан реестр накопленного экологического ущерба (РОНЭУ), приведены классификация и ранжирование объектов [13]. В соответствии с этим документом инвентаризацию рекомендуется проводить и осуществлять путем визуального осмотра территории с составлением акта инвентаризации в рамках рейдовых мероприятий, для которых определяются цели, задачи и маршруты. В ходе определения основных характеристик объекта производятся:

- 1) идентификация объекта;
- 2) определение площади земельного участка, занятого объектом;
- 3) установление характеристик отходов, формирующих объект;
- 4) определение объемов отходов на объекте;
- 5) установление категории земель и собственников земельных участков, на территории которых расположены объекты;
- б) дополнительное комплексное исследование (проводиться при необходимости получения сведений о территории, подвергшейся загрязнению в результате воздействия выявленного объекта и размерах распространения загрязнения от объекта).

Результаты инвентаризации должны заноситься в РОНЭУ.

Необходимо отметить, что под определением площади земельного участка, занятого объектом, надо понимать результат определения площади,

занятой отходами, и площади распространения загрязнения (пункт б). Для установления характеристик отходов, формирующих объект, должны использоваться классификационные признаки: происхождение, условия образования (принадлежности к определенному производству, технологии); химический и (или) компонентный состав; агрегатное состояние; класс опасности отходов для окружающей среды. Оговаривается, что класс опасности отходов в зависимости от их степени негативного воздействия на окружающую среду определяется в соответствии с действующим законодательством с применением только расчетных способов. Для определения объемов отходов достаточно определения объема видимой надземной части объекта с использованием средств GPS/ГЛОНАСС, топографической съемки (при наличии) и даже допускается визуальная оценка.

Другие классификационные критерии обусловлены целями инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба и в основе своей направлены на снижение прямого влияния таких объектов на население. Влияние на воздушный и водный бассейны, сельскохозяйственные угодья в критериях напрямую не отражено. Ранжирование объектов определяет приоритетность их включения в программы различного уровня в целях их ликвидации и/или рекультивации, консервации (для недействующих) или принятия других мер в целях минимизации их негативного воздействия на окружающую среду на основании количества баллов, полученных в результате классификации. Такой подход вполне оптимален для инвентаризации и классификации ТМО и может стать основой для кадастра техногенных минеральных образований при внесении изменений в критерии классификации и при модификации проведения инвентаризации в части порядка ее проведения и способов получения характеристик объектов.

Существует опыт создания кадастра ТМО в соседних государствах. Так, например, в Республике Казахстан государственный кадастр ТМО содержит сведения по складированному объекту, характеризующие тип и вид техногенных

минеральных образований с указанием количественных и качественных показателей, горнотехнических и экологических условий хранения [15].

На отраслевом портале «Переработка отходов» есть возможность для размещения сведений о ТМО в разделе «Каталог образований (месторождений) техногенного характера». На данный момент по Тульской области в этом каталоге размещены сведения об установке для утилизации твёрдых бытовых отходов и 10 полигонах ТБО [83], сведения о ТМО отсутствуют.

При создании кадастра техногенных минеральных образований для получения характеристик ТМО предлагается активно использовать современные способы получения информации, такие как анализ спутниковых снимков (в геоинформационных системах и картографических сервисах) и материалов съёмки ТМО с беспилотных воздушных судов. Способы получения информации должны исключать присутствие людей и техники на поверхности ТМО, учитывая большую опасность таких объектов (вредные вещества, возможное наличие скрытых полостей и т. п.), кроме этого, эффективность этих способов должна позволять получать точную и достоверную информацию. Предложенные способы получения информации для проведения инвентаризации ТМО рассмотрены в таблице 4.2.

Опыт использования беспилотных воздушных судов показывает их эффективность в решении различных региональных задач. Так, группой компаний «Геоскан» произведена съёмка Тульской области, проходившая с 2016 по 2017 год в рамках программы Национальной технологической инициативы (НТИ) «Цифровая модель типового региона (ЦМТР)» [113].

В ходе проекта была выполнена аэрофотосъёмка (АФС) местности общей площадью 30720 квадратных километров, созданы ортофотопланы с пространственным разрешением 5 сантиметров и средней квадратической погрешностью (СКП) планового положения не хуже 10 сантиметров для территорий населенных пунктов, а также ортофотопланы с пространственным разрешением 10 сантиметров и СКП планового положения не хуже 20 сантиметров, с точностью плана масштаба 1:2000 для остальных территорий.

Таблица 4.2 – Получение информации для проведения инвентаризации ТМО

№	Способ получения информации для инвентаризации ТМО	Информация для проведения инвентаризации ТМО
1	Аэросъемка с беспилотных воздушных судов	Построение цифровой модели ТМО
		Определение характеристик ТМО: – площадь; – площадь поверхности; – периметр; – объем
		Определение агрегатного состояния
		Определение площади распространения загрязнения
2	Картографические сервисы	Построение буферных зон влияния ТМО и определение их характеристик: – площадь; – периметр
		Определение характеристик земельных участков в зонах влияния ТМО: – категория земель; – разрешенное использование; – площадь; – периметр; – расстояние от ТМО; – расположение земельного участка в зонах влияния ТМО
3	Историко-архивный анализ	Происхождение
		Условия образования
		Получение информации о химическом и (или) компонентном составе

С 1 июня 2021 года введен в действие ГОСТ Р 59328-2021 «Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования» [14]. Его целью является регулирование технологических процессов проектирования и выполнения топографической аэрофотосъемки, описание технических требований к аэрофотосъемочным системам и фотограмметрическим материалам – их комплектности, качеству снимков, оформлению, контролю и порядку приемки. Главной

задачей разработки стандарта стало соответствие современным технологическим решениям, направленным на создание топографических материалов. Одним из таких способов является съемка с помощью беспилотных воздушных судов (рисунок 4.5), если получаемые материалы соответствуют предъявляемым требованиям точности.

С учетом вышесказанного для определения большинства основных характеристик ТМО с целью инвентаризации и классификации целесообразно производить аэросъемку с беспилотных воздушных судов с использованием результатов съемки для определения параметров [42, 199, 162] и создания цифровых моделей ТМО (рисунок 4.5). Для этого можно использовать подходы, изложенные в [204, 88].

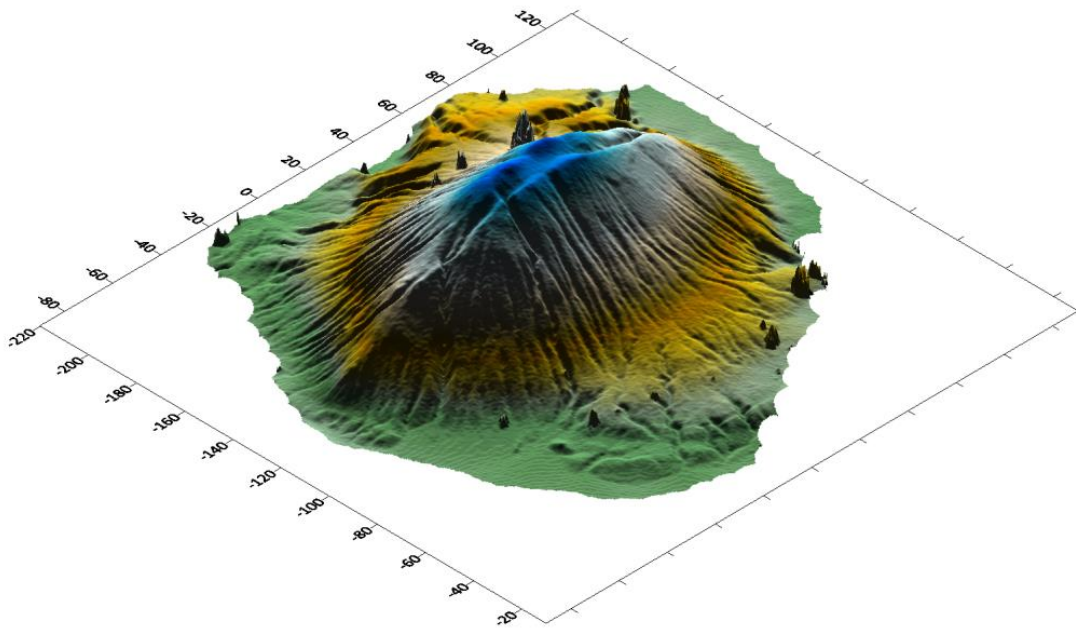


Рисунок 4.5 – Цифровая модель ТМО (породный отвал шахты № 13 «Мостовская»), построенная по данным аэрофотосъемки беспилотным воздушным судном

С целью получения информации о характеристиках ТМО и земельных участков, входящих в зону активного влияния ТМО, предлагается использовать Публичную кадастровую карту Росреестра РФ (ПКК). Космические

снимки, представленные на ПКК, в совокупности с инструментами для измерения и рисования позволяют получать большой объем разнообразной информации о ТМО, строить полигоны, формировать вокруг них буферы (рисунок 4.6), измерять площади объектов, периметры, расстояния и т. д. [132]. В качестве характеристик земельных участков, входящих в зону влияния ТМО, с ПКК можно получить информацию о категории земель, разрешенном использовании, площади, периметре, расстоянии от ТМО или информацию о нахождении данного земельного участка в той или иной зоне влияния ТМО и т. д.

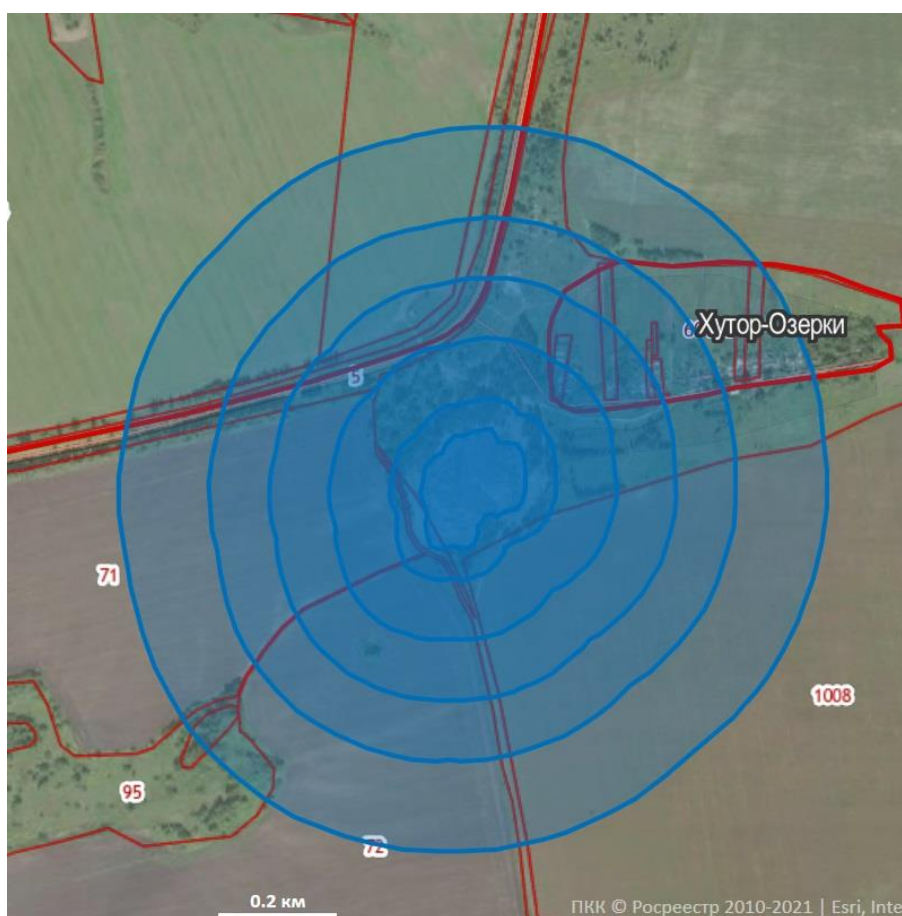


Рисунок 4.6 – Построение буферных зон влияния ТМО на окружающую среду (породный отвал шахты «Западно-Щекинская 17 бис»)

Для определения происхождения (принадлежность к тому или иному производству), условий образования (технология формирования ТМО), для получения информации о химическом и (или) компонентном составе ТМО

необходимо изучить историю формирования объекта и познакомиться с архивными документами (геологическими отчетами, планами горных работ). В большинстве случаев такой информации будет достаточно для инвентаризации ТМО. Для получения более подробных сведений о ТМО и прилегающей загрязненной территории возможно проведение дополнительного комплексного исследования с производством натуральных и лабораторных исследований, гиперспектральной съемки [147] и геофизических изысканий (с использованием беспилотных воздушных судов), моделированием загрязнения окружающей среды. Такие комплексные исследования должны проводиться за пределами инвентаризации за счет заинтересованных лиц.

На завершающем этапе инвентаризации необходимо произвести ранжирование объектов с целью определения рангов по наиболее эффективным способам снижения негативного влияния ТМО на окружающую среду. Подготовкой данных для ранжирования послужит кластеризация ТМО, учитывающая влияния ТМО на окружающую среду.

Понимая всю сложность представленной задачи, зная острую необходимость её решения и полагаясь на известные подходы в решении таких задач [145], предлагаю предпринять следующие шаги [185]:

1) кадастр техногенных минеральных образований может быть сформирован в кратчайшие сроки при создании научных центров (или использовании возможностей существующих) в ведущих региональных вузах угледобывающих регионов страны;

2) в вузах, где создаются научные центры, должна осуществляться подготовка по направлениям в области кадастра недвижимости, горного дела, охраны окружающей среды;

3) для этих научных центров должна быть принята и реализована целевая программа, позволяющая: выстроить прямую взаимосвязь с Росреестром и территориальными органами Ростехнадзора; обеспечено участие в работе центров компаний, производящих и эксплуатирующих системы для аэрофото-съемки с беспилотных воздушных судов.

4.3 Дистанционный мониторинг влияния техногенных месторождений на окружающую среду

Сформированные в процессе добычи полезных ископаемых геосистемы требуют особого внимания, т. к. при таком воздействии практически все компоненты природы испытывают коренную перестройку [44, 45]. Помимо антропогенного влияния на такие геосистемы интенсивное воздействие оказывают естественные зональные процессы. Степень этого воздействия на разные элементы геосистем различна во времени и пространстве. На этапе эксплуатации техногенные месторождения испытывают воздействие и антропогенных, и природных процессов, тогда как на ТМО, возникших в результате прошлой экономической деятельности, развиваются в основном природные процессы. Вместе с тем появление новых геосистем вызывает изменение естественных процессов. Это сложное взаимодействие антропогенных и природных процессов и явлений значительно усложняет осуществление мониторинга таких систем [127, 45].

Одним из этапов комплексного мониторинга воздействия техногенных месторождений на окружающую среду является дистанционный мониторинг, который позволяет получать максимум информации об объектах при минимальных затратах с высокой степенью безопасности проведения работ, что особенно важно при исследовании ТМ.

Целью дистанционного мониторинга является получение данных об источнике загрязнения и окружающих объектах для оценки влияния техногенных месторождений на окружающую среду и прогнозирования состояния ТМ и объектов в его зоне влияния.

Для достижения этой цели необходимо выполнить следующие задачи:

– обрисовка полигонов ТМ, определение площадей, периметров и координат поворотных точек полигонов ТМ, являющихся началом отсчета для построения буферных зон влияния ТМ на окружающую среду;

- определение количества, параметров и построение буферных зон влияния ТМ на окружающую среду, получение координат их поворотных точек;
- поиск в пределах буферных зон земельных участков, определение площадей частей земельных участков, находящихся в той или иной буферной зоне, получение координат их поворотных точек, получение информации о категории земель.

Основные этапы дистанционного геоэкологического мониторинга представлены в таблице 4.3.

Для отыскания месторасположения техногенных месторождений, сформированных в результате прошлой экономической деятельности, производится опрос экспертов, архивный поиск, дешифрирование спутниковых снимков горнопромышленных территорий [200]. Полигоны ТМ обрисовываются стандартными средствами Публичной кадастровой карты по цифровым ортофотопланам (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Полигон ТМ (шахта № 22 «Ломинцевская»)

Таблица 4.3 – Основные этапы дистанционного мониторинга

№	Этап	Информация	Вычисление
1	Поиск ТМ	– координаты поворотных точек ТМ; – площадь ТМ; – периметр ТМ	– координаты центров масс ТМ
2	Определение количества и параметров буферных зон	– количество буферных зон; – радиус каждой буферной зоны (радиусы по сторонам света)	– координаты поворотных точек буферных зон
3	Определение принадлежности земельных участков буферным зонам ТМ	– координаты поворотных точек земельного участка; – категория земель	– буферная зона; – площадь части земельного участка в данной буферной зоне; – доля площади части земельного участка в данной буферной зоне; – дирекционный угол земельного участка относительно ТМ

При этом автоматически определяются площади, периметры и координаты поворотных точек полигонов ТМ. Эта информация по каждому ТМ сохраняется в файл формата geojson. Отдельно высчитываются координаты центров масс ТМ.

Определение количества и параметров буферных зон производится на основе результатов натурных наблюдений и вычислительных экспериментов. Для определения размеров зон влияния ТМ на окружающую среду были ис-

пользованы расчетные и математические модели: оценки предельного равновесия пород ТМ [195]; переноса пыли и газовых загрязнителей в приземном слое атмосферы [191]; миграции токсичных компонентов в почву [193]; инфильтрации стоков с ТМ на прилегающие территории [192]. Так, для условий Подмосковского угольного бассейна были определены 6 обобщенных буферных зон (рисунок 4.8).

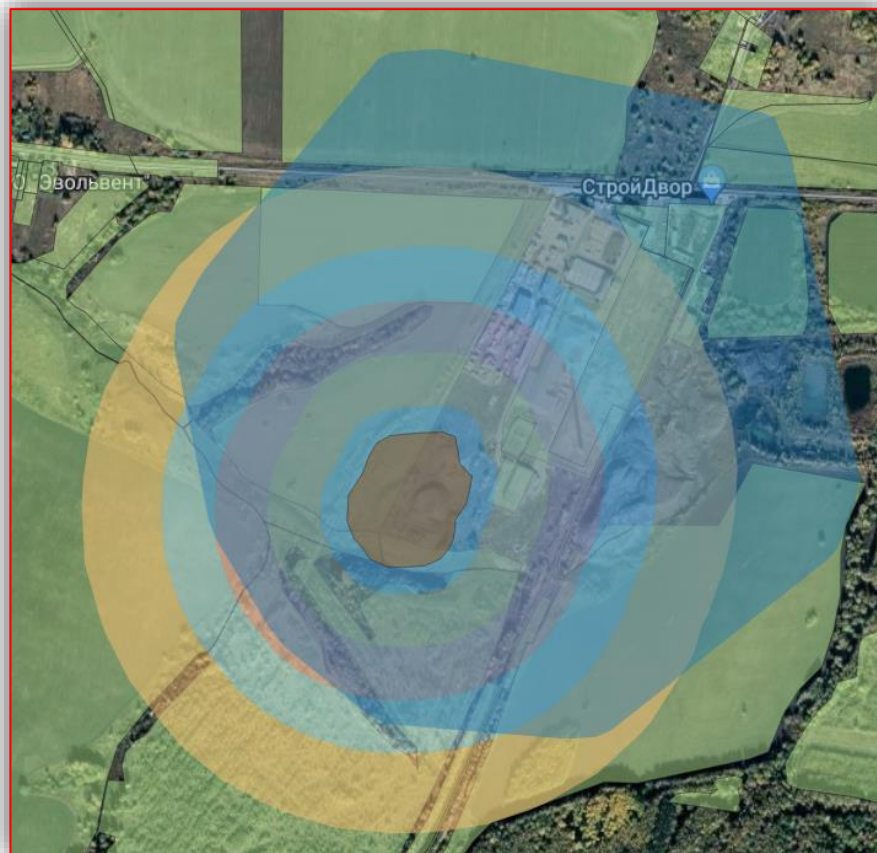


Рисунок 4.8 – Буферные зоны ТМ с земельными участками, находящимися в зоне влияния ТМ

Буферные зоны могут задаваться с постоянным или переменным радиусом по сторонам света. Использование переменного по сторонам света радиуса позволяет учесть розу ветров при моделировании буферной зоны, отражающей воздействие ветровой эрозии, а также параметры деформаций и стоков. Учет направлений ветра осуществляется по данным общедоступных сайтов, содержащих сведения о наблюдаемых и моделируемых погодных условиях

[139, 140]. Определение переменных по сторонам света радиусов буферных зон влияния деформаций и стоков с ТМ производится при анализе ситуаций с использованием цифровой модели ТМ. Радиусы буферных зон обобщены и усреднены для использования в качестве условий ранжирования техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт [208].

Размеры буферных зон определяются как сумма Минковского исходного полигона ТМ и круга радиусом R , равным полученному при анализе результатов натуральных наблюдений и вычислительных экспериментов для той или иной степени воздействия определенных факторов, буферу (рисунок 4.9).

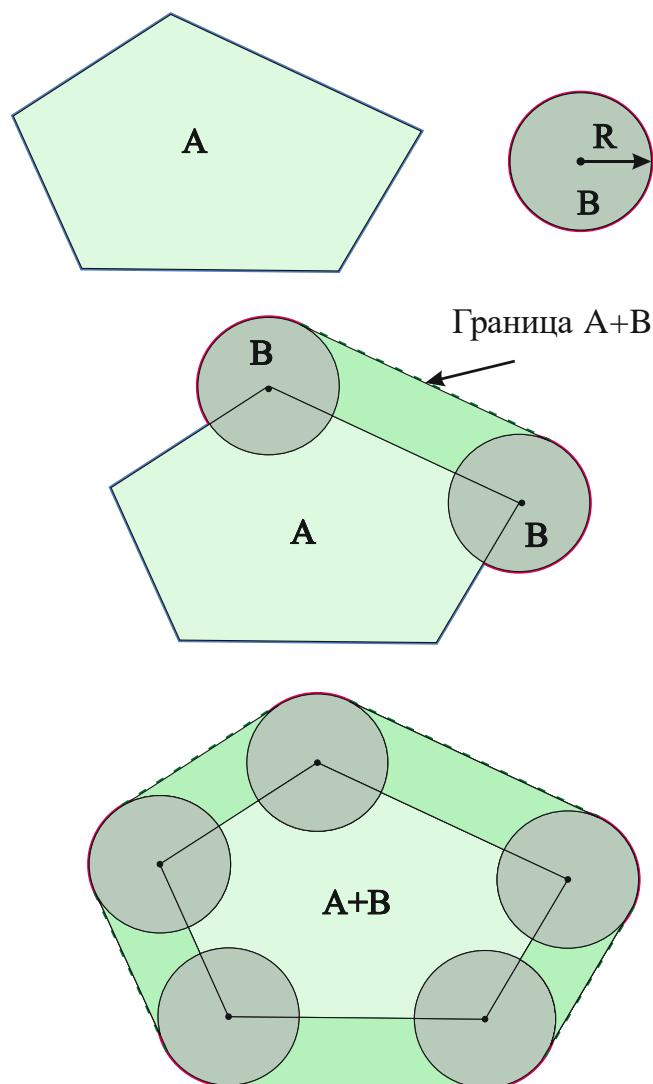


Рисунок 4.9 – Определение размеров буферных зон (сумма Минковского):

A – ТМ, B – круг радиусом буфера R

Для каждой буферной зоны всех ТМ создаются файлы geojson с координатами поворотных точек буферной зоны и другими атрибутами.

Для поиска земельных участков, находящихся в зоне влияния ТМ, используется буферная зона с максимальным для условий рассматриваемого региона радиусом. Вокруг полигона ТМ на публичной кадастровой карте строится буфер с таким радиусом и с помощью инструмента «Поиск в границах» производится поиск в границах буферной зоны с максимальным радиусом [131]. С использованием инструмента `gosreestr2coord` [78] по найденным земельным участкам определяются координаты поворотных точек и другие атрибуты. Данные по каждому земельному участку записываются в `geojson` файл.

После этого каждый земельный участок проверяется на принадлежность той или иной буферной зоне, т. е. для всех земельных участков проверяется наличие пересечения с каждой буферной зоной начиная с буферной зоны самого большого размера (рисунок 4.10).

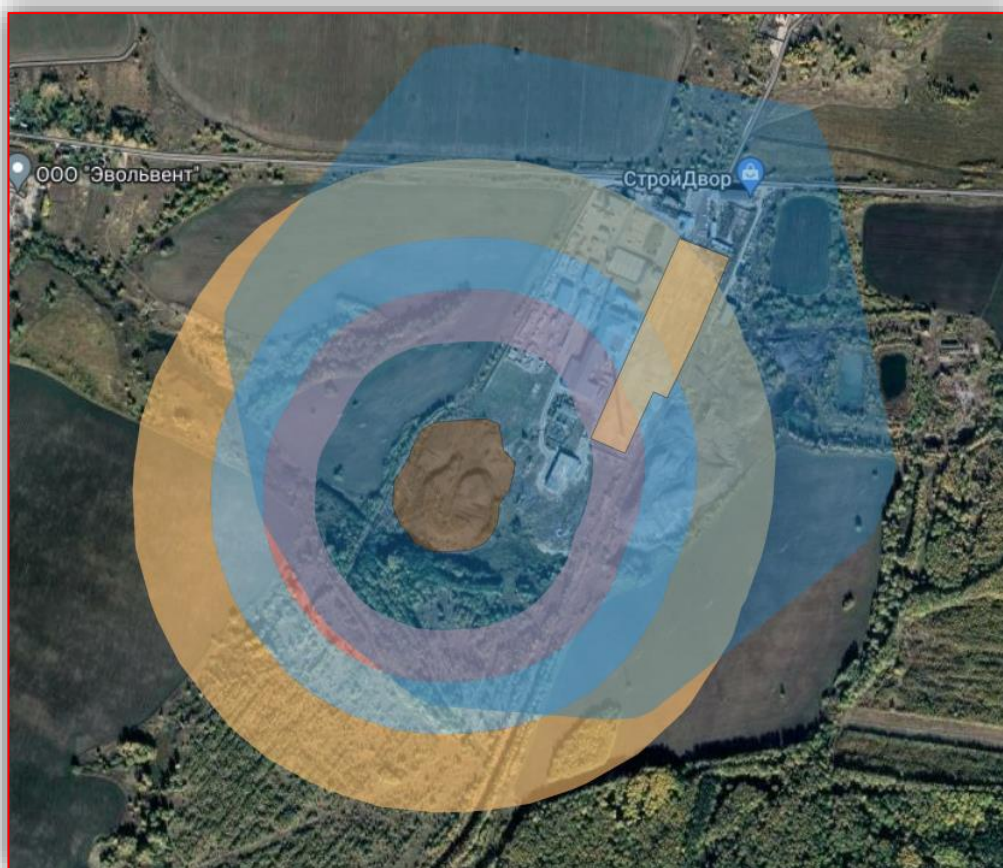


Рисунок 4.10 – Пересечение земельного участка с буферными зонами ТМО

Если есть такое пересечение земельного участка и буферной зоны, то находятся точки их пересечения, строится полигон пересечения и определяется площадь пересечения. Данные о пересечении земельного участка с буферными зонами сохраняются в geojson файл для каждого земельного участка и в последующем используются для формирования реестра ТМО региона.

Для реализации дистанционного мониторинга влияния техногенных месторождений на окружающую среду была создана программа «ГеоТМО» (Приложение Е) [211] (рисунок 4.11). Программа позволяет определять параметры буферных зон влияния техногенных минеральных образований и рассчитывать площади частей земельных участков, принадлежащих буферным зонам вокруг исследуемых образований. Результатом работы программы является реестр техногенных минеральных образований (в данном случае – техногенных месторождений) [188].



Рисунок 4.11 – Последовательность действий программы «ГеоТМО»

В результате проведения дистанционного мониторинга реестр ТМ (рисунок 4.12) наполняется общей информацией: появляются наименование региона и района расположения ТМ, информация о ТМ и информация о частях земельных участков, находящихся в зоне влияния ТМ.

	CadastralNumber	Basin	Region	WasteHeap	HeapYCentre	HeapXCentre	HArea
7660	71:22:030802:137	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7661	71:22:030802:301	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7662	71:22:030802:328	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7663	71:22:030802:329	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7664	71:22:030802:344	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7665	71:22:030802:398	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7666	71:32:030203:948	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7667	71:22:030802:382	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7668	71:22:030802:383	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7669	71:22:030802:391	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7670	71:22:030802:393	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7671	71:22:030802:396	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7672	71:22:030802:67	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7673	71:22:030802:94	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7674	71:22:030802:100	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7675	71:22:030802:115	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7676	71:22:030802:135	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7677	71:22:030802:340	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7678	71:22:030802:343	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7679	71:22:030802:372	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7680	71:22:030802:590	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7681	71:22:030802:390	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7682	71:22:030802:401	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51
7683	71:22:030802:405	Мосбасс	Щекинский	№7 Щекиноугс	54,00084348	37,54673945	51

Рисунок 4.12 – Реестр техногенных месторождений

Информация о ТМ (рисунок 4.13):

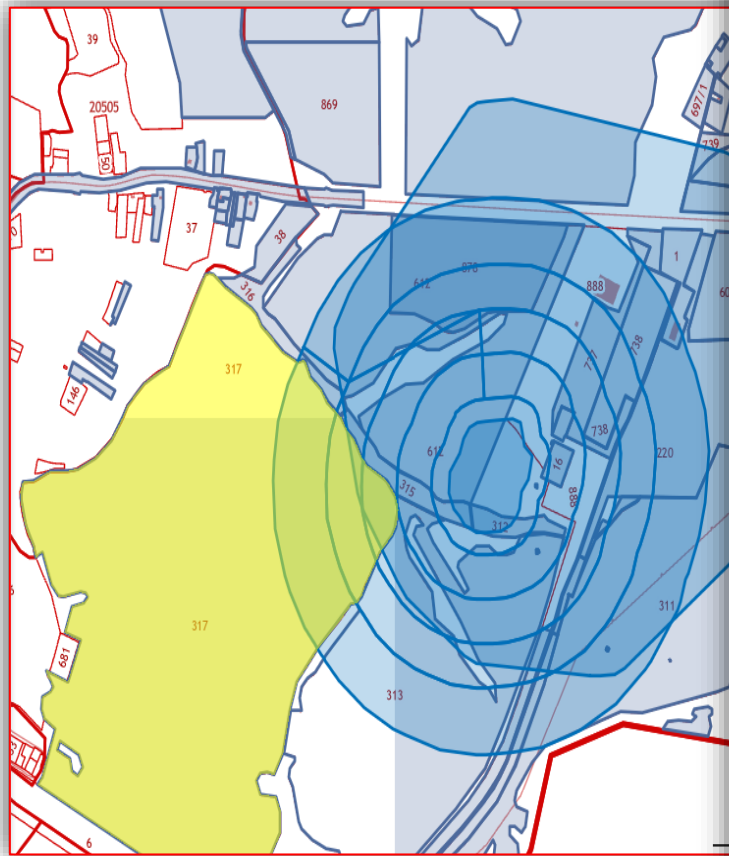
- наименования;
- координаты X и Y центров;
- площади полигонов;
- периметры полигонов.



Рисунок 4.13 – Параметры полигона ТМ (шахта № 22 «Ломинцевская»)

Информация о частях земельных участков, находящихся в зоне влияния ТМ (рисунок 4.14):

- кадастровые номера земельных участков рассматриваемых частей;
- буферные зоны ТМ, в которых расположены части земельных участков;
- площади частей земельных участков в той или иной буферной зоне ТМО;
- доля частей земельных участков в той или иной буферной зоне ТМ;
- дирекционные углы, ориентирующие земельные участки относительно центров ТМ;
- категории земель земельных участков рассматриваемых частей.



Земельный участок 71:01:020501:317
 обл. Тульская, р-н Алексинский, д. Лукино, дом 1
 Для ведения крестьянского (фермерского) хозяйства
[План ЗУ →](#) [План КК →](#) 🔍 ☆

Информация	Услуги
Тип:	Объект недвижимости
Вид:	Земельный участок
Кадастровый номер:	71:01:020501:317
Кадастровый квартал:	71:01:020501
Адрес:	обл. Тульская, р-н Алексинский, д. Лукино, дом 1
Площадь уточненная:	867 040 кв. м
Статус:	Учтенный
Категория земель:	Земли сельскохозяйственного назначения
Разрешенное использование:	Для ведения крестьянского (фермерского) хозяйства
Форма собственности:	-
Кадастровая стоимость:	2 385 193,87 руб.
дата определения:	01.01.2022
дата утверждения:	-
дата внесения сведений:	03.01.2023
дата применения:	01.01.2023

Рисунок 4.14 – Информации о земельных участках на ПКК

Реестр ТМ служит информационной основой оценки влияния техногенных месторождений на окружающую среду и прогнозирования состояния ТМ и объектов в их зоне влияния. Данные, имеющиеся в реестре ТМ, используются для разработки технологий освоения и сохранения ресурсов техногенных месторождений [213].

В качестве объектов мониторинга на первоначальном этапе выбраны ТМ и земельные участки в Щекинском районе Тульской области. В результате мониторинга были получены площади полигонов ТМ, площади буферных зон негативного влияния ТМ на окружающие земли, площади частей земельных

участков, входящих в ту или иную буферную зону. Для анализа категорий земель, входящих в буферные зоны негативного влияния ТМ, были исследованы только учтенные земельные участки [208]. После этого круг объектов мониторинга был расширен. Были исследованы ТМ по всем угледобывающим районам Тульской области, а также ТМ в Кемеровской и Ростовской областях.

Таким образом, дистанционный мониторинг влияния техногенных месторождений на окружающую среду позволяет при минимальных затратах с высокой степенью безопасности проведения работ:

- произвести поиск ТМ;
- определить параметры и количество буферных зон влияния ТМ на окружающую среду;
- определить принадлежность окружающих объектов буферным зонам влияния ТМ;
- наполнить реестр ТМ информацией для оценки влияния техногенных месторождений на окружающую среду и прогнозирования состояния ТМ и объектов в их зоне влияния, а также для разработки технологий освоения и сохранения ресурсов техногенных месторождений.

4.4 Результаты оценки воздействия техногенных месторождений на окружающую среду по угледобывающим регионам

На основании проведенного дистанционного мониторинга угледобывающих районов Тульской, Кемеровской и Ростовской областей были получены данные о составе земель, входящих в зоны влияния техногенных месторождений. Так, для Тульской области (Подмосковный угольный бассейн) (рисунок 4.1) диаграмма распределения земель различных категорий по зонам влияния ТМ выглядит следующим образом (рисунок 4.15).

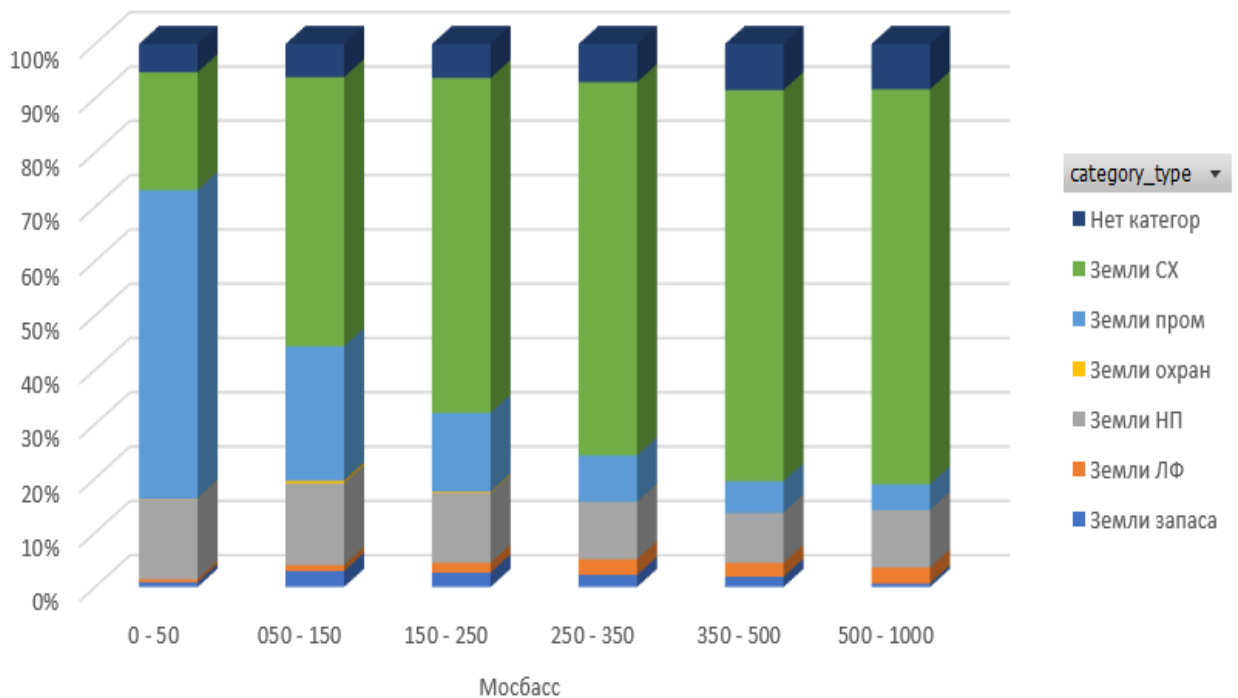


Рисунок 4.15 – Диаграмма распределения земель различных категорий по зонам влияния ТМ (Тульская область)

Из рисунка 4.15 видно, что в Тульской области по мере приближения к ТМ достаточно большой вес в общей площади имеют земли промышленности, земли сельскохозяйственного назначения начинают превалировать с расстояния 50 м от границы ТМ. Доля площадей земель населенных пунктов в зоне влияния ТМ остается практически постоянной, при заметном увеличении у подножий ТМ. Доли земель особо охраняемых территорий, земель лесного фонда, запаса и земель без категорий незначительны.

Диаграммы распределения земель разных категорий по зонам влияния отдельных факторов (рисунок 4.3) позволяют оценить, на земли каких категорий преимущественно воздействуют те или иные факторы. Были выбраны зоны с явным и существенным неявным воздействием. Диаграмма распределения земель разных категорий в зоне влияния деформаций ТМ Тульской области представлена на рисунке 4.16.

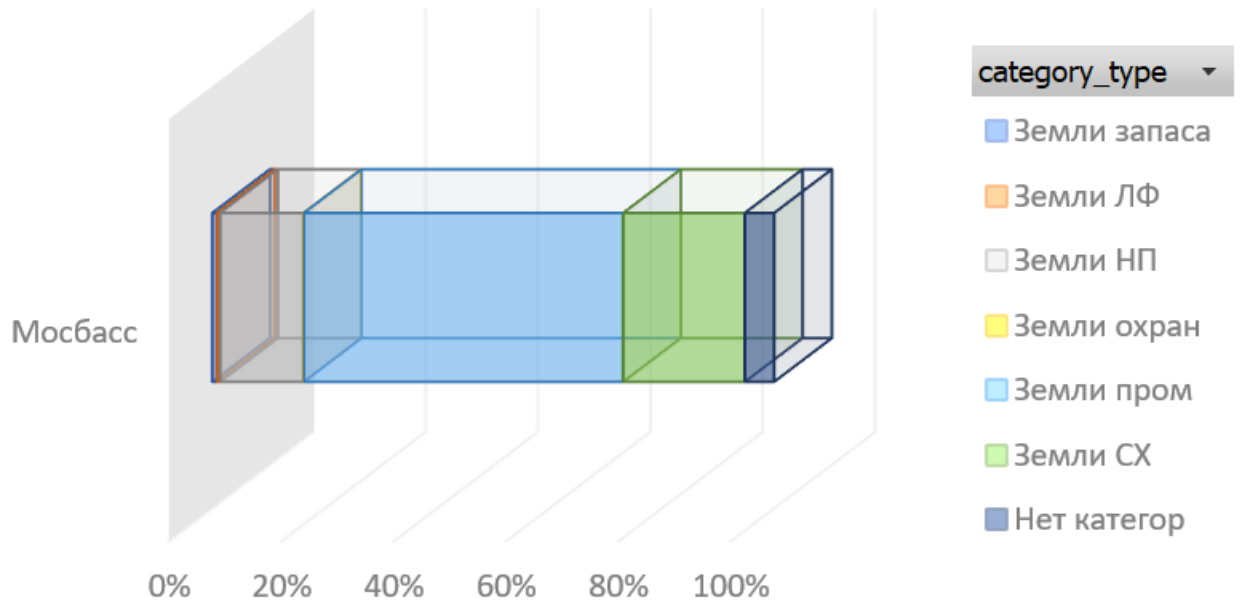


Рисунок 4.16 – Зона влияния деформаций и фильтрации воды
сквозь тело ТМ (Тульская область)

Как видно из рисунка, деформации и вертикальная фильтрация оказывают большое влияние на земли промышленности, сельскохозяйственного назначения и населенных пунктов.

На рисунках 4.17 – 4.18 изображены диаграммы распределения земель разных категорий в зонах влияния водной и ветровой эрозии.

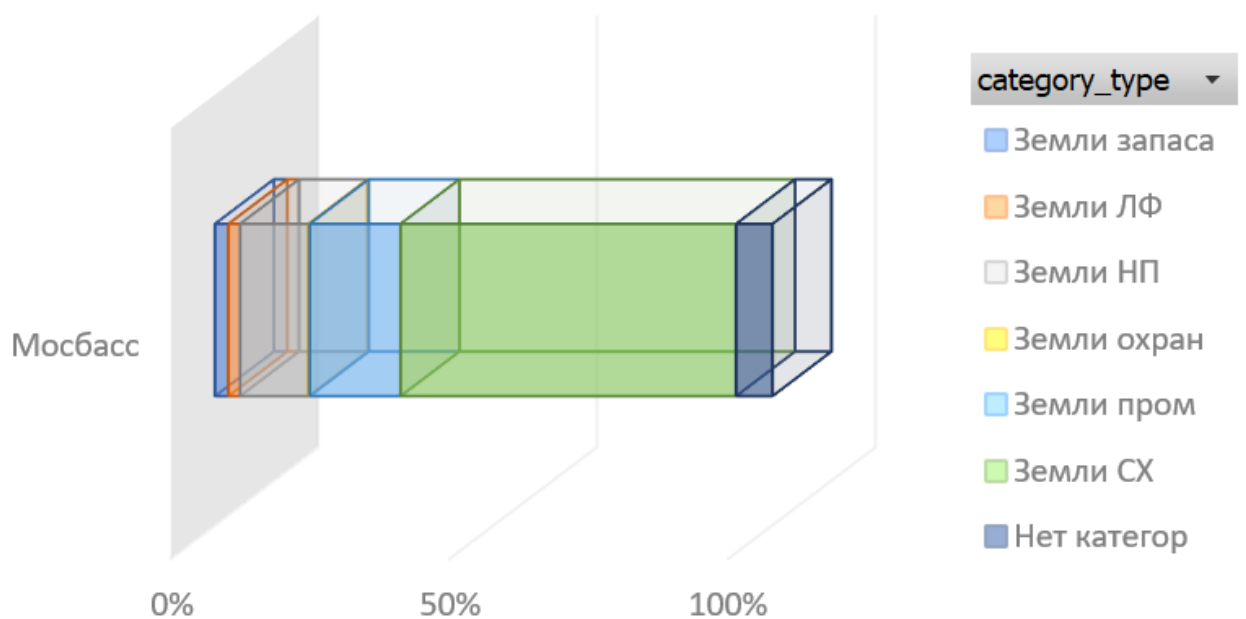


Рисунок 4.17 – Зона влияния водной эрозии (Тульская область)

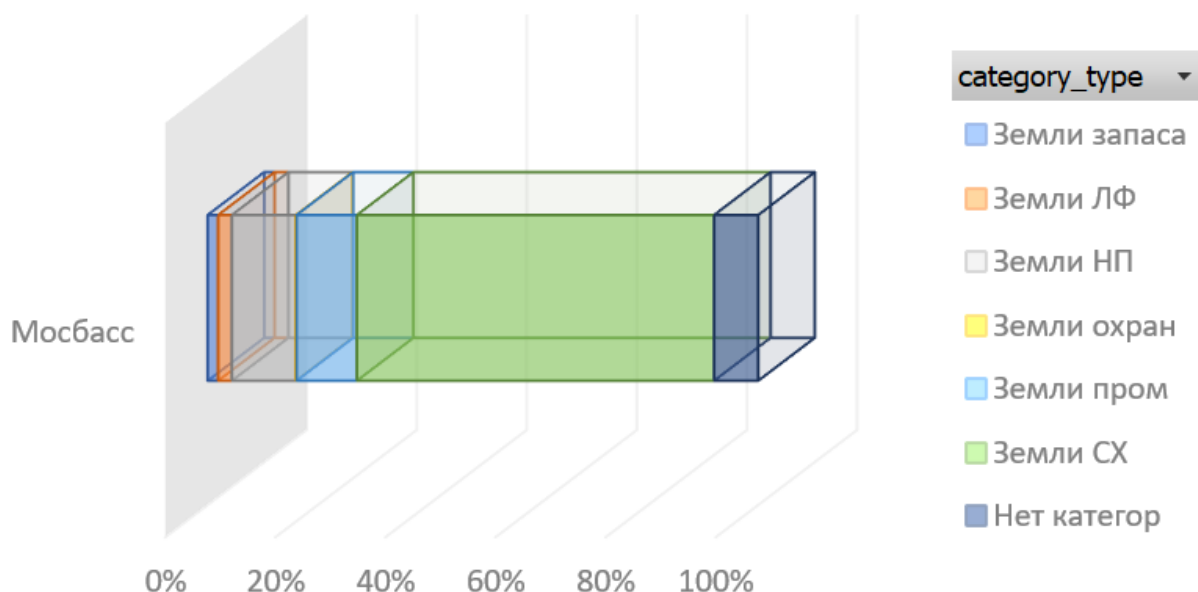


Рисунок 4.18 – Зона влияния воздушной эрозии (Тульская область)

В зонах влияния ТМ из-за водной и ветровой эрозии доля земель сельскохозяйственного назначения значительно увеличивается.

Дистанционный мониторинг позволил практически полностью охватить ТМ, образованные в результате добычи угля, расположенные на территории Тульской области. Исследование ТМ в Кемеровской и Ростовской областях ограничено более скромным количеством ТМ, что, однако, позволяет произвести предварительную оценку воздействия ТМ на окружающую среду в этих областях.

Для Кемеровской области (Кузнецкий угольный бассейн) (рисунок 4.19) диаграмма распределения земель различных категорий по зонам влияния ТМ выглядит следующим образом (рисунок 4.20).

Из рисунка 4.20 видно, что в Кемеровской области в каждой зоне влияния преобладают две категории земель – земли населенных пунктов и земли промышленности. Важно отметить, что площадь земель населенных пунктов почти во всех зонах влияния больше площади земель промышленности. Доли земель лесного фонда и сельскохозяйственного назначения незначительны. Среди категорий земель в зонах влияния ТМ Кемеровской области отсутствуют земли особо охраняемых территорий и земли запаса.

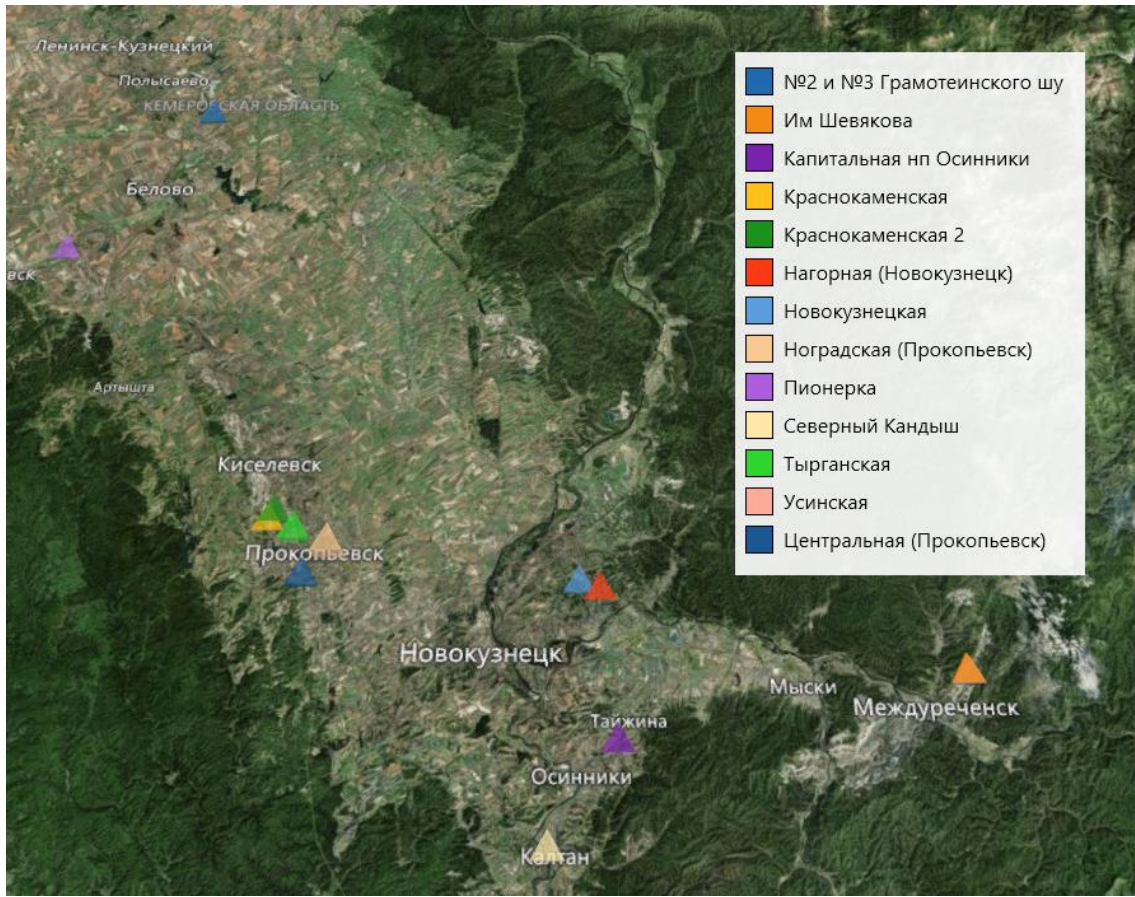


Рисунок 4.19 – Расположение ТМ, образованных в результате разработки Кузнецкого угольного бассейна в Кемеровской области

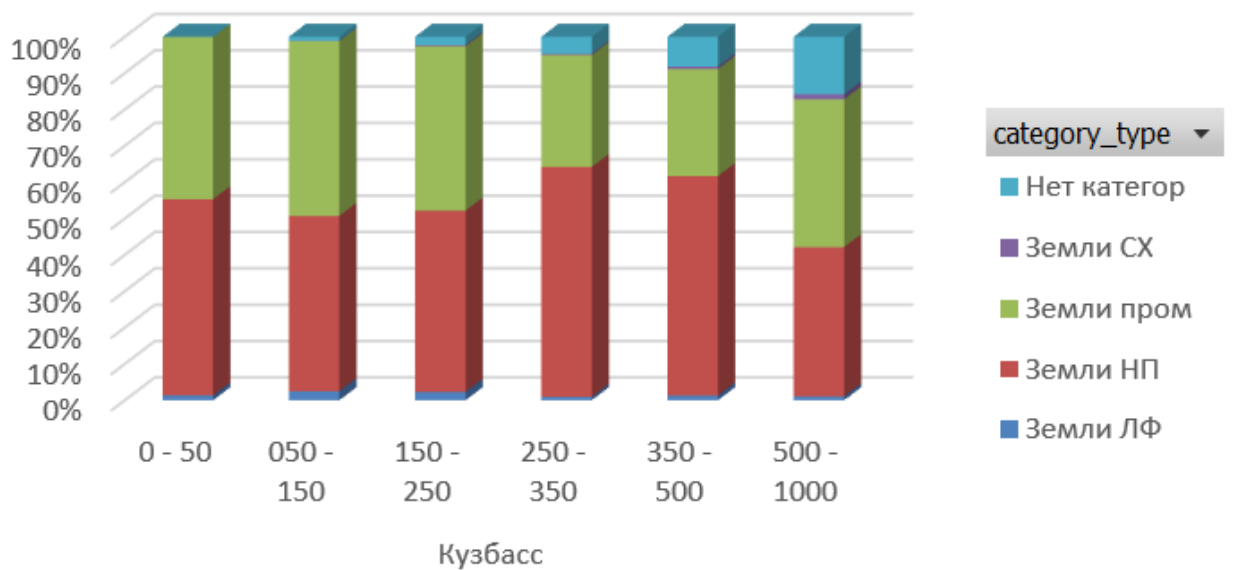


Рисунок 4.20 – Диаграмма распределения земель различных категорий по зонам влияния ТМ (Кемеровская область)

На рисунках 4.21 – 4.23 представлены диаграммы распределения земель разных категорий в зонах влияния деформации, фильтрации воды сквозь тело ТМ, водной и ветровой эрозии (Кемеровская область). Земли в зонах влияния представлены в основном землями населенных пунктов и землями промышленности.

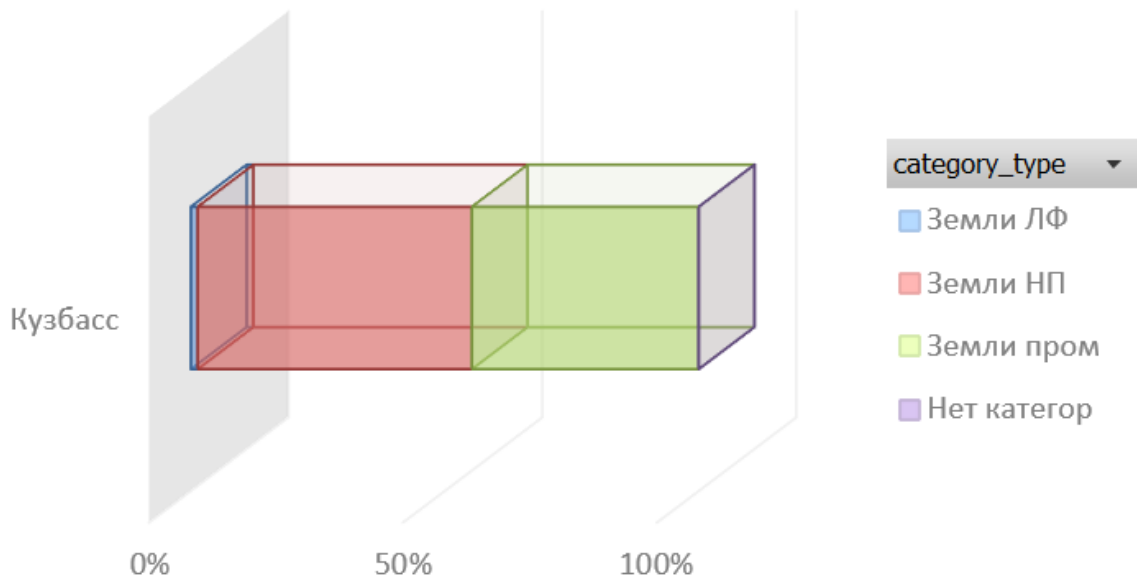


Рисунок 4.21 – Зона влияния деформаций и фильтрации воды сквозь тело ТМ (Кемеровская область)

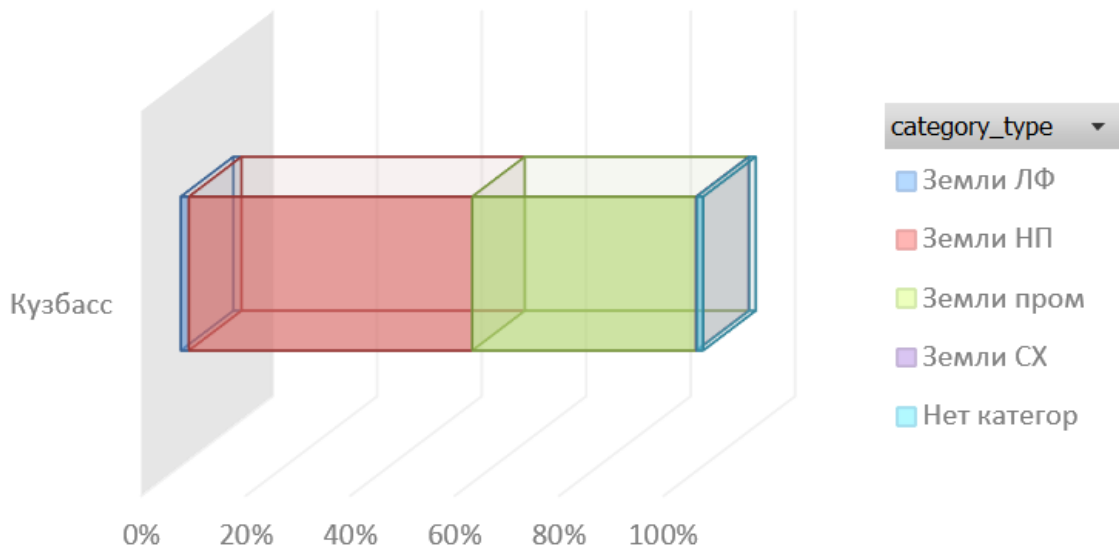


Рисунок 4.22 – Зона влияния водной эрозии (Кемеровская область)

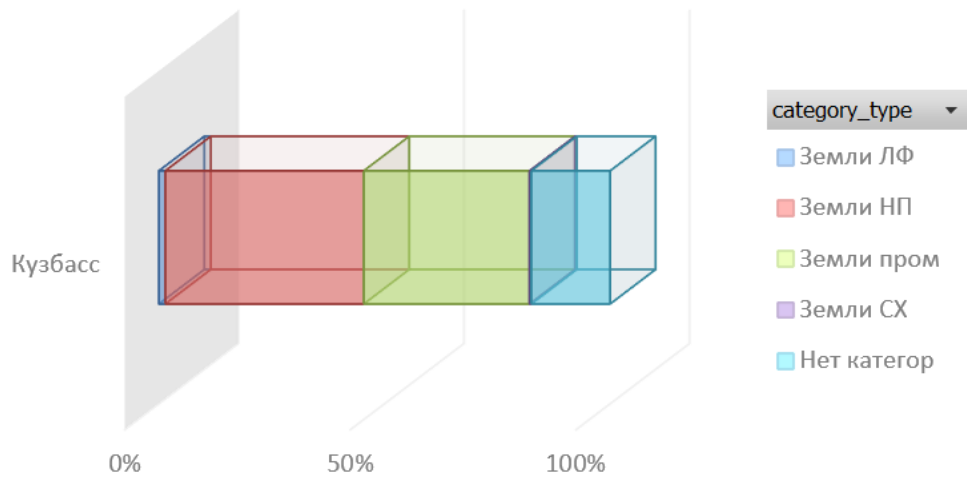


Рисунок 4.23 – Зона влияния воздушной эрозии (Кемеровская область)

Данные, полученные в результате проведения дистанционного мониторинга в Кемеровской области, также позволяют определить весовые коэффициенты категорий земель и зон влияния при ранжировании ТМ. Эти коэффициенты могут быть скорректированы при увеличении охвата ТМ.

Для Ростовской области (Донецкий угольный бассейн) (рисунок 4.24) диаграмма распределения земель различных категорий по зонам влияния ТМ выглядит следующим образом (рисунок 4.25).

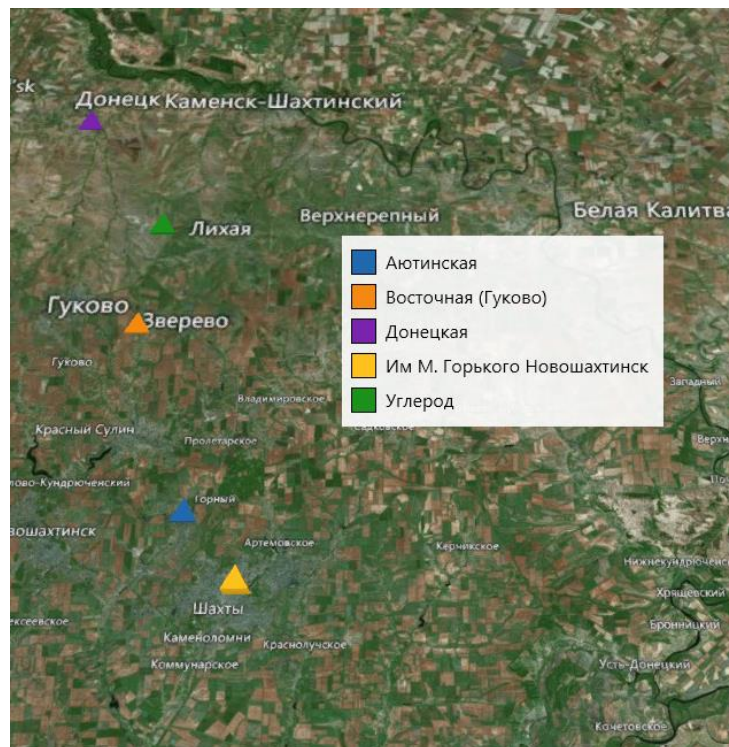


Рисунок 4.24 – Расположение ТМ, образованных в результате разработки Донецкого угольного бассейна в Ростовской области

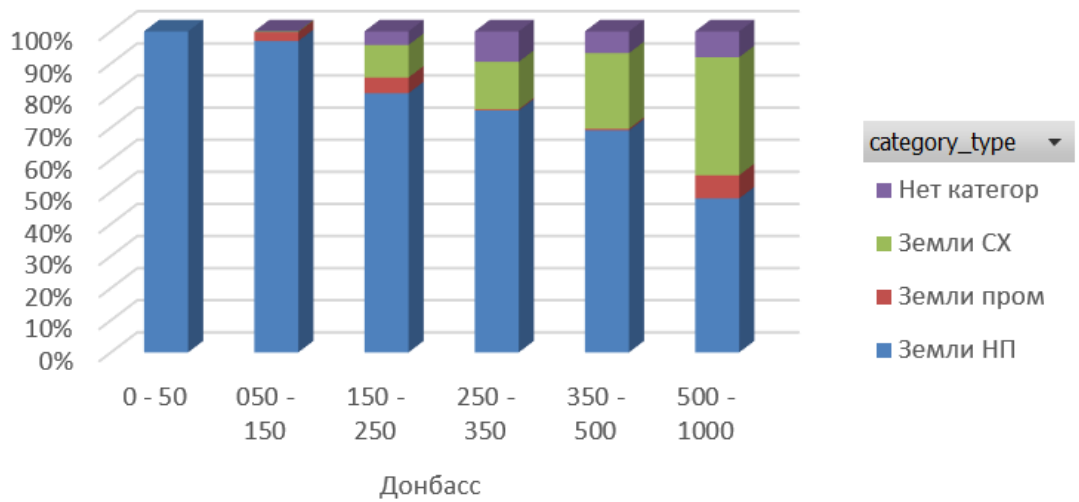


Рисунок 4.25 – Диаграмма распределения земель различных категорий по зонам влияния ТМ (Ростовская область)

Из рисунка 4.25 видно, что в Ростовской области в непосредственной близости от ТМ площадь земель населенных пунктов имеет подавляющее значение. По мере удаления от ТМ появляются другие категории земель, среди которых выделяются земли сельскохозяйственного назначения. Незначительная доля земель промышленности присутствует в каждой зоне влияния, кроме зоны 0 – 50 м.

Диаграмма распределения земель разных категорий в зоне влияния деформаций и фильтрации воды сквозь тело ТМ Ростовской области представлена на рисунке 4.26.

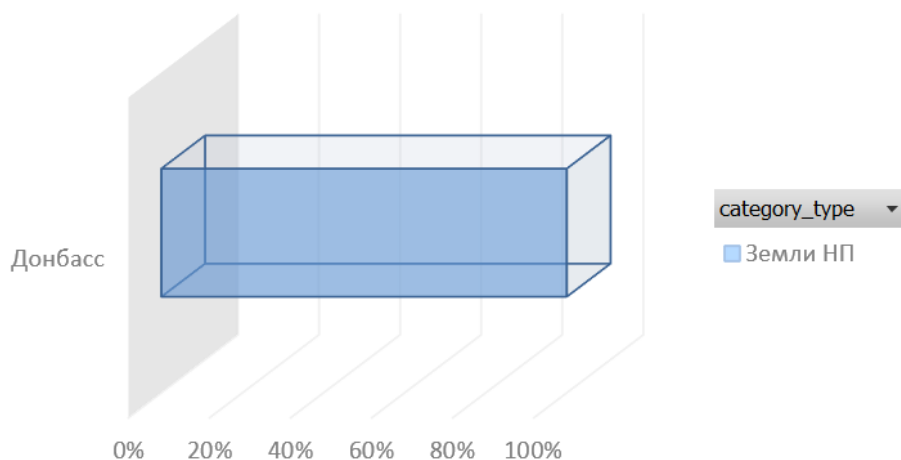


Рисунок 4.26 – Зона влияния деформаций и фильтрации воды сквозь тело ТМ (Ростовская область)

Из рисунка видно, что в зоне влияния деформаций и вертикальной фильтрации ТМ Ростовской области нет других категорий земель кроме земель населенных пунктов.

На рисунке 4.27 изображена диаграмма распределения земель разных категорий в зоне влияния водной эрозии.

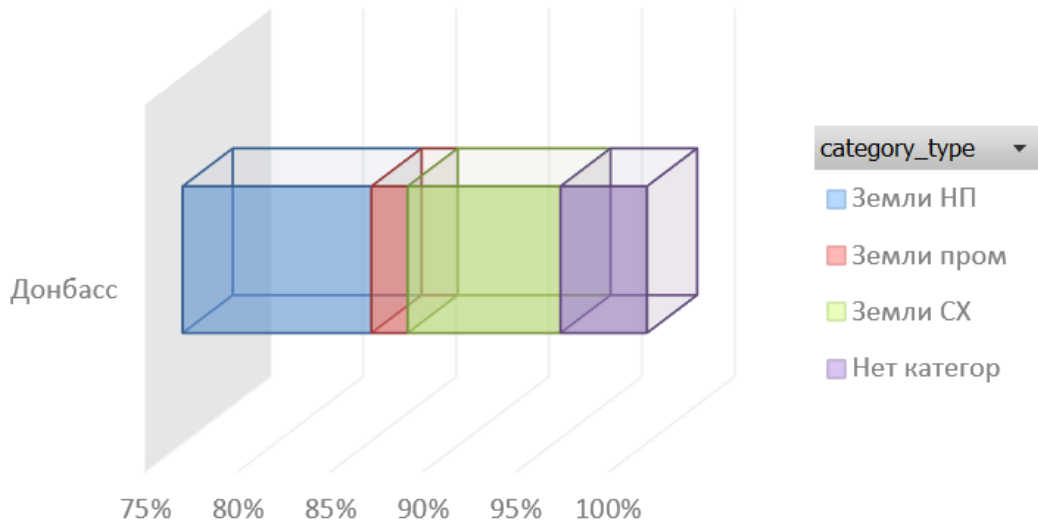


Рисунок 4.27 – Зона влияния водной эрозии (Ростовская область)

В этой зоне доля земель промышленности уменьшается по сравнению с зоной влияния фильтрации воды сквозь тело ТМ, при этом увеличивается доля земель сельскохозяйственного назначения.

Диаграмма распределения земель разных категорий в зоне влияния ветровой эрозии приведена рисунке 4.28.

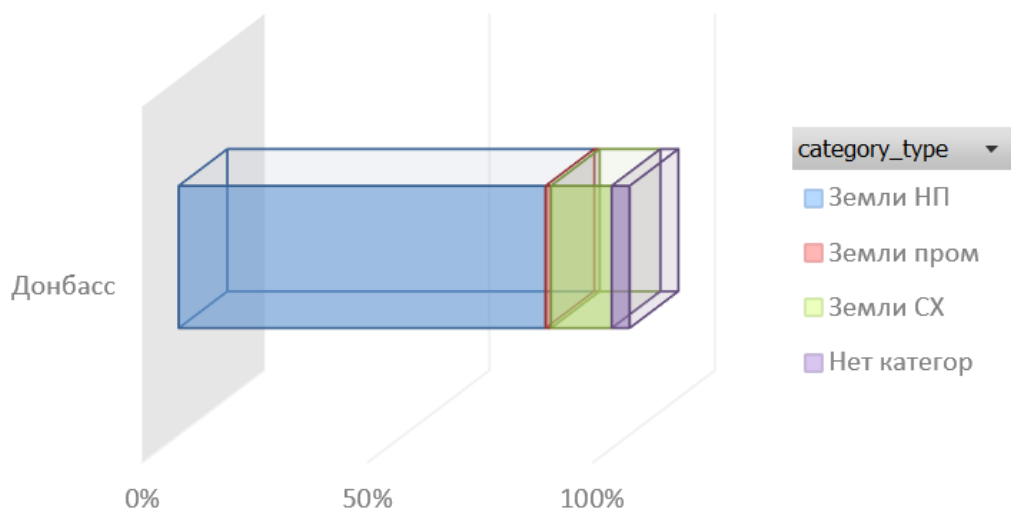


Рисунок 4.28 – Зона влияния ветровой эрозии (Ростовская область)

В зоне влияния ветровой эрозии преобладают земли населенных пунктов.

Данные, полученные в результате проведения дистанционного мониторинга в Тульской, Кемеровской и Ростовской областях, позволяют определить весовые коэффициенты категорий земель и зон влияния при ранжировании ТМ по степени их воздействия на окружающую среду.

Выводы

1 Комплексный мониторинг техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду включает в себя мониторинг источника загрязнения, мониторинг факторов воздействия и мониторинг окружающей среды.

2 Главной особенностью зонального мониторинга является определение на основе натуральных наблюдений, лабораторных и вычислительных экспериментов параметров зон влияния источника загрязнения на окружающую среду в зависимости от факторов воздействия.

3 Разработаны методические положения и предложена структурно-функциональная схема комплексного мониторинга для оценки техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду и оценки способов снижения такого воздействия с использованием зон влияния источника загрязнения в зависимости от основных факторов влияния.

4 Приведено усредненное зонирование (буферизация) негативного воздействия на окружающие земли техногенных месторождений, сформированных в результате добычи угля в Подмосковном угольном бассейне, для условий Тульской области.

5 Произведен анализ возможности учета техногенных минеральных образований в государственных реестрах и кадастрах. Предложены состав и способы получения информации для инвентаризации ТМО.

6 Для оценки и прогнозирования изменений состояния окружающей среды и выработки предложений о предотвращении негативного воздействия на окружающую среду, а также предложений по устранению последствий такого воздействия необходимо производить детальный дистанционный мониторинг по каждому техногенному месторождению с учетом зонирования негативного воздействия.

7 Определены цель, задачи и основные этапы дистанционного мониторинга влияния техногенных минеральных образований на окружающую среду.

8 В результате проведения дистанционного мониторинга получена необходимая информация о техногенных месторождениях и о частях земельных участков, находящихся в зоне влияния ТМ.

9 Сформирован реестр ТМ, являющийся информационной основой для оценки влияния техногенных месторождений на окружающую среду и разработки технологических решений для их освоения и сохранения.

10 В результате оценки техногенных месторождений угледобывающих районов Тульской, Кемеровской и Ростовской областей были получены диаграммы распределения земель в зонах влияния деформаций ТМ, фильтрации воды сквозь тело ТМ, водной и ветровой эрозии для Подмосковского, Кузнецкого и Донецкого угольных бассейнов.

ГЛАВА 5 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ РЕСУРСОВ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

5.1 Общие положения

Для охраны окружающей среды от негативного влияния техногенных месторождений необходимо осуществлять деятельность, направленную на уменьшение загрязнения территории, снижение экологических рисков, ликвидацию накопленного вреда [43].

Технологии снижения или исключения негативного воздействия ТМ на окружающую среду можно разделить на превентивные, консервативные и активные (рисунок 5.1).



Рисунок 5.1 – Группы технологий для снижения или исключения негативного влияния ТМ на окружающую среду

При применении превентивных технологий используется экологически безопасный подход к устройству ТМ на этапе их проектирования, формирования и эксплуатации [115]. Целью превентивных технологий в области охраны окружающей среды является создание начальных условий для снижения влияния ТМО на окружающую среду. Производственная цель превентивных технологий состоит в создании необходимых параметров ТМ для последующей разборки или консервации и рекультивации (таблица 5.1). Превентивные технологии могут содержать следующие мероприятия:

- снятие плодородного слоя почвы;
- формирование защитных экранов в основании ТМ;
- придание ТМ определенной формы в плане и по высоте;
- устройство водо- и газоотводных систем и очистных сооружений.

Очевидно, что превентивные технологии не могут быть использованы для ТМ, сформированных прошлой экономической деятельностью, но ряд ограничительных, формирующих и защитных мероприятий из перечисленных присутствуют в других технологиях.

Суть консервативных технологий состоит в создании преград и барьеров между породами ТМ и окружающей средой. С точки зрения защиты окружающей среды целью консервативных технологий является снижение или исключение влияния ТМ на окружающую среду, производственная цель – обеспечение сохранности пород ТМ и создание необходимых параметров ТМ для последующей разборки (таблица 5.1). Для реализации консервации и изоляции ТМ используются мероприятия по приданию ТМ оптимальной формы, созданию защитных экранов и завес, устройству водо- и газоотводных систем и очистных сооружений.

Консервация применяется, когда техногенное минеральное образование переходит в разряд потенциальных техногенных месторождений, то есть консервация потенциального техногенного месторождения позволяет в дальнейшем, при более благоприятных обстоятельствах (появились экономическая целесообразность и новые эффективные и безопасные технологии для отработки

ТМ), перейти к его полной ликвидации [102, 25, 33, 87, 120]. Кроме этого, при консервации запас сырья потенциального ТМ будет сохранен за счет изоляции ТМ от взаимодействия с агрессивными природными факторами, которые могут повлечь не только количественные потери пород в результате ветровой и водной эрозии, но и качественные в результате изменения пород под воздействием негативных биохимических и физико-химических процессов, инициированных проникновением воды, кислорода и микроорганизмов в тело ТМ. Существуют различные способы консервации ТМ, но эти способы либо не позволяют полностью изолировать объект, либо не могут быть применены на уже сформированных объектах.

Активные технологии можно разделить на восстановительные и ликвидационные. К восстановительным технологиям относятся любые направления рекультивации земель. Цель рекультивации в области охраны окружающей среды – снижение влияния ТМ на окружающую среду, производственная цель – создание объектов, имеющих социально-экономическое значение (таблица 5.1).

Рекультивационные мероприятия позволяют уменьшить загрязнение территории и снизить экологические риски [179], а если рекультивация производится после отработки техногенного месторождения или после его консервации, то техногенное воздействие ТМ практически исключается.

Рекультивация земель [2] – «мероприятия по предотвращению деградации земель и (или) восстановлению их плодородия посредством приведения земель в состояние, пригодное для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, в том числе путем устранения последствий загрязнения почв, восстановления плодородного слоя почвы, создания защитных лесных насаждений».

Рекультивация характеризуется направлением и производится обычно в три этапа – подготовительный, технический и биологический. При рекультивации ТМ, сформированных прошлой экономической деятельностью, подготовительный этап сводится к выбору направления рекультивации. Наиболее

подходящими направлениями для рекультивации ТМ, сформированных прошлой экономической деятельностью, являются сельскохозяйственное, лесное [68] и рекреационное. Технический этап рекультивации заключается в проведении мероприятий по изменению формы ТМ в соответствии с выбранным направлением (изменение формы в плане, понижение ТМ, придание ТМ плоской формы, устройство террас, выполаживание откосов). При полной отработке ТМ технический этап рекультивации отсутствует. Биологический этап рекультивации может включать в себя нанесение плодородного (и/или потенциально плодородного слоя почвы), внесение удобрений, посев и посадку растений.

Таблица 5.1 – Цели групп технологий снижения или исключения негативного воздействия ТМ на окружающую среду

Технологии снижения или исключения негативного влияния ТМО на окружающую среду				
Цели	Превентивные	Консервативные	Активные	
			Восстановительные	Ликвидационные
В области охраны окружающей среды	Создание начальных условий для снижения влияния ТМ на окружающую среду	Снижение или исключение влияния ТМ на окружающую среду	Снижение влияния ТМ на окружающую среду	Исключение влияния ТМ на окружающую среду
Производственные	Создание необходимых параметров ТМ для последующей консервации, рекультивации, разборки	Обеспечение сохранности свойств пород ТМ и создание необходимых параметров ТМ для последующей разборки	Создание объектов, имеющих социально-экономическое значение	Использование пород ТМ в производственной деятельности

К ликвидационным технологиям снижения или исключения негативного влияния ТМ можно отнести те технологии, которые предусматривают полную разборку ТМ. С точки зрения защиты окружающей среды целью ликвидационных технологий является исключение влияния ТМ на окружающую среду, с производственной точки зрения – использование пород ТМ в производственной деятельности. Ликвидационные технологии могут быть разделены по направлению использования пород ТМ: отработка техногенного месторождения с использованием пород без извлечения полезных компонентов (закладка выработанного пространства [198]; использование в строительстве или для ликвидации последствий ЧС); отработка с извлечением полезных компонентов из пород техногенного месторождения [172].

Отработку ТМ с использованием пород без извлечения полезных компонентов можно осуществить, если поблизости есть пространство для размещения пород ТМ, например выработанный карьер. Также полная разборка возможна при вовлечении большей части пород ТМ в переработку для извлечения полезных компонентов и использовании пород в качестве сырья или материалов в других видах деятельности. Отработка техногенного месторождения – наиболее действенный способ исключения его техногенного воздействия [158, 129].

С целью определения наилучших доступных технологий (далее – НДТ) для снижения или исключения негативного воздействия насыпных ТМ на окружающую среду были проанализированы данные, представленные в следующих информационно-технических справочниках наилучших доступных технологий:

- ИТС 16-2016 «Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы» [70];
- ИТС 17-2016 «Размещение отходов производства и потребления» [71];
- ИТС 23-2017 «Добыча и обогащение руд цветных металлов» [72];
- ИТС 25-2017 «Добыча и обогащение железных руд» [73];
- ИТС 37-2017 «Добыча и обогащение угля» [74];

– ИТС 49-2017 «Добыча драгоценных металлов» [75].

Критерии, которым должны соответствовать наиболее доступные технологии, были установлены Постановлением Правительства Российской Федерации от 23.12.2014 № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» [9]:

– наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации;

– экономическая эффективность внедрения и эксплуатации;

– применение ресурсо- и энергосберегающих методов;

– период внедрения;

– промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на двух и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Информационно-технические справочники разрабатывались с учетом имеющихся в Российской Федерации технологий, оборудования, минерального сырья, других ресурсов, а также с учетом климатических, экономических и социальных особенностей Российской Федерации, а также с использованием международных информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям. Определение наилучших технологий производилось на следующих основаниях: сбор и анализ имеющейся в общем доступе информации по применению на предприятиях современных передовых технологических и технических решений (Интернет, периодические специализированные, в том числе отраслевые, издания горнопромышленного профиля); опыт специалистов и экспертов, принимавших участие в разработке справочников

в указанной области (охрана окружающей среды, технология добычи, обогащения, рекультивации и т. п.); анализ материалов справочников НДТ и наилучших практик в смежных и (или) схожих отраслях; данные анкетирования предприятий; сбор и анализ информации о перспективных технологиях и технических решениях: материалы специализированных изданий, патентный поиск и т. д.

Показать алгоритм рассмотрения технологий в ИТС можно на примере ИТС 37-2017. Применяемая в ИТС 37-2017 методика классификации технологий изображена на рисунке 5.2 [74].

Для внесения в ИТС 37-2017 НТД была выделена 41 технология [74]. Авторы располагали весьма ограниченной количественной информацией, пригодной для определения НТД:

- количество предприятий, на которых осуществлено промышленное внедрение технологии (оборудования);

- количество предприятий, на которых осуществляется применение тех или иных ресурсо- и энергосберегающих методов, а также методов, направленных на ограничение негативного воздействия на окружающую среду.

По этой причине отнесение технологии к НДТ или перспективным технологиям основывалось преимущественно на качественных критериях. При разработке ИТС 37-2017 использовались следующие критерии определения НДТ и перспективных технологий:

- уровень негативного воздействия на окружающую среду. К НДТ и перспективным технологиям могут быть отнесены лишь те технологии, которые характеризуются минимальным уровнем негативного воздействия на окружающую среду по сравнению с альтернативными технологиями;

- экономическая доступность технологии (или промышленное внедрение технологии);

- применение ресурсо- и энергосберегающих методов. К НДТ могут быть отнесены лишь те технологии, которые характеризуются минимальным

удельным расходом ресурсов и энергии на единицу продукции по сравнению с альтернативными технологиями.

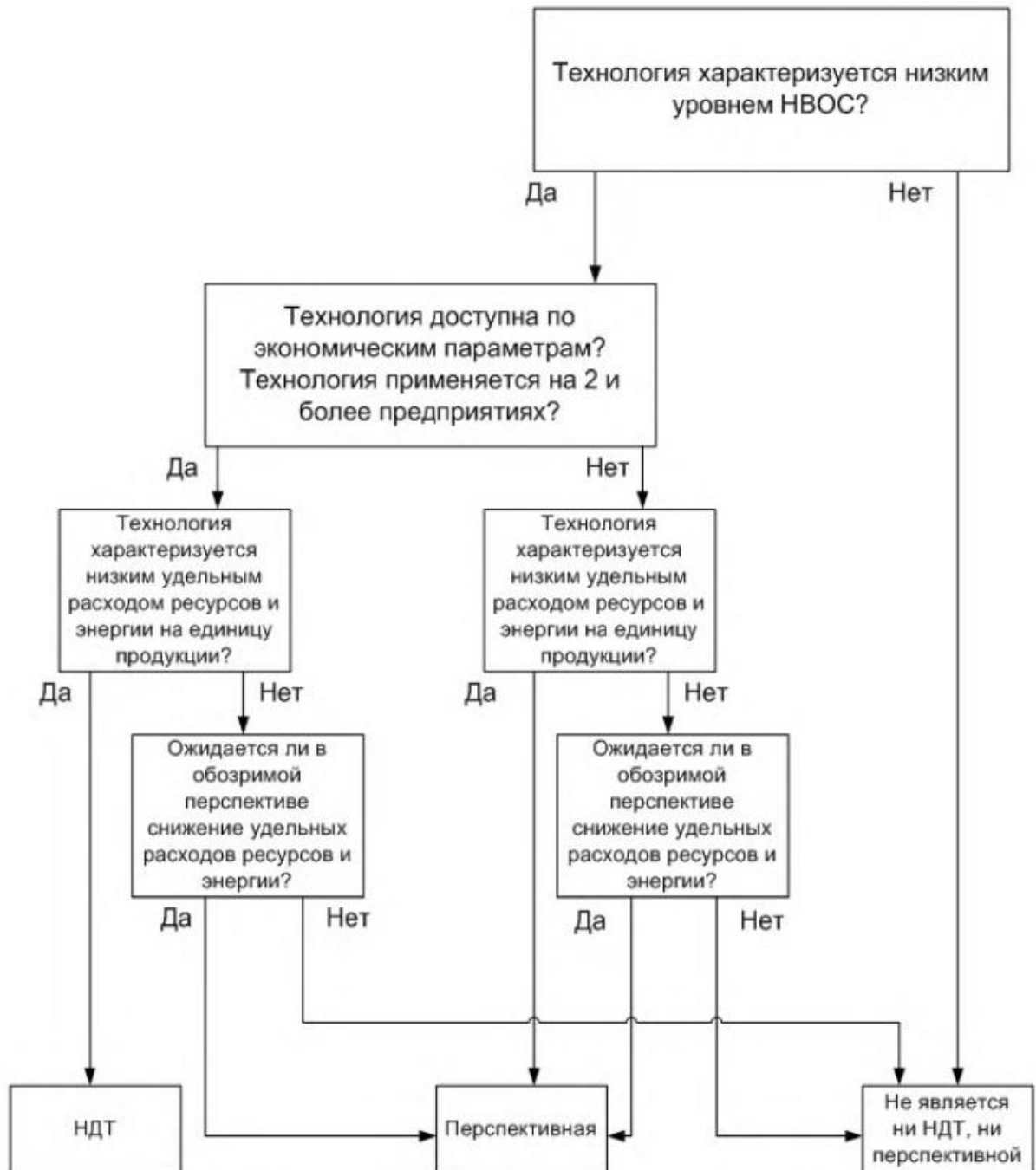


Рисунок 5.2 – Схема классификации технологий в ИТС 37-2017

Технологии с низким уровнем негативного воздействия на окружающую среду, но с низкой экономической доступностью или высоким удельным расходом ресурсов и энергии на единицу продукции могут быть отнесены к перспективным технологиям, если в перспективе, по мере их развития, ожидается

снижение удельных расходов ресурсов и энергии. Если же такое снижение не ожидается в обозримой перспективе, то технология не должна быть отнесена ни к НДТ, ни к перспективным.

5.2 Определение наилучших доступных технологий для снижения или исключения техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду

По возможности применения НДТ к насыпным техногенным месторождениям на любой стадии их существования (формирование, эксплуатация, закрытие) были отобраны более 50 НДТ. Кроме этого, при рассмотрении перспективных технологий, приведенных в данных справочниках, выявлено 8 технологий, которые в одних ИТС являются перспективными, а в других - НДТ.

Произведен анализ уникальности технологий и обобщены совпадающие НДТ с присвоением нового обозначения (таблица 5.2).

В ИТС 53-2022 "Ликвидация объектов накопленного вреда окружающей среде" [76] рассмотрен ряд технологий, применимых для снижения или исключения техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду, которые в общем повторяют рассмотренные технологии за исключением технологии полной разборки ТМО, которая была внесена в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – НДТ для снижения или исключения негативного воздействия ТМО на окружающую среду

Обозначение	Наименование	НДТ в ИТС (литература)	Содержание НДТ
1	2	3	4
НДТ ТМ 1	Размещение ТМ на нарушенных территориях	НДТ 5.8.5 в ИТС 16-2016, НДТ 23 в ИТС 23-2017	Размещение ТМ на нарушенных территориях, ранее используемых под размещение производственных объектов

Продолжение табл. 5.2

1	2	3	4
НДТ ТМ 2	Формирование месторождений полезных ископаемых при образовании	НДТ 33 в ИТС 49-2017, НДТ 2.1 в ИТС 53-2022	Создание необходимых параметров для последующей разборки и обеспечения сохранности свойств пород
НДТ ТМ 3	Предупреждение самовозгорания ТМ	НДТ 5.8.6, 5.9.4 в ИТС 16-2016, НДТ 10 в ИТС 37-2017	Выполнение комплекса мероприятий по предупреждению самовозгорания ТМ: – формирование ТМ без выступов в угловых частях, придание отвалам округлой формы; – выполаживание откосов ТМ; – формирование отвалов слоями; – уплотнение пород специальными или транспортными средствами; – снижение воздухопроницаемости слоя отходов путем заиливания или перекрытия негорючими (изолирующими) материалами; – формирование противопожарных барьеров
НДТ ТМ 4	Орошение пылящих поверхностей	НДТ 5.5.2 в ИТС 16-2016, НДТро Н(Н)1 в ИТС 17-2016, НДТ 4 в ИТС 23-2017, НДТ 5 в ИТС 37-2017	С целью сокращения пыления поверхностей ТМ в теплый сухой период года осуществляется их орошение и укрепление внешнего слоя пылящих поверхностей путем применения: – систем пылеподавления водяным орошением с использованием поливочных машин, установок, распылителей;

Продолжение табл. 5.2

1	2	3	4
			– систем пылеподавления пылесвязывающими жидкостями (растворами неорганических и органических веществ, ПАВ, полимерными веществами, эмульсиями и другими химическими реагентами), создающих на поверхности обрабатываемого материала утолщенную эластичную и долговременную корку
НДТ ТМ 5	Организация системы очистки сточных вод с поверхности ТМ	НДТ 5.8.4, НДТ 5.7.9 в ИТС 16-2016, НДТ 11 в ИТС 23-2017, НДТ 17 в ИТС 37-2017, НДТ 32 в ИТС 49-2017, НДТ 1.3 в ИТС 53-2022	Организация системы водоотводных канав по контуру ТМ с учетом особенности территории размещения ТМ и его специфики, первичное осветление поверхностных сточных вод в оборудованном отстойнике поверхностных сточных вод и, при необходимости, их доочистка на локальных комплексах очистки сточных вод
НДТ ТМ 6	Устройство противofильтрационного экрана	НДТоб ПФЭ1, НДТоб ПФЭ2, НДТоб ПФЭ3, НДТоб ПФЭ4 в ИТС 17-2016 НДТ 1.2 в ИТС 53-2022	Укладывается противofильтрационный экран, в конструкции которого в качестве гидроизолирующего слоя используются глинистые материалы, геомембраны, бентонитовые маты или материалы на основе бетона
НДТ ТМ 7	Устройство вертикальных изоляционных конструкций	НДТоб ПФЗ1, НДТоб ПФЗ2 в ИТС 17-2016	Создается глиняная диафрагма, выполняемая методом «стена в грунте», либо глиняная завеса в виде «зуба», выполняемого в открытой траншее

Продолжение табл. 5.2

1	2	3	4
НДТ ТМ 8	Укрепление внешних откосов ТМ	НДТоб УО1, НДТоб УО2, НДТоб УО3 в ИТС 17-2016, НДТ 2.2 в ИТС 53-2022	Укрепление внешних откосов с использованием растительного грунта, геосинтетических материалов или железобетонных плит
НДТ ТМ 9 Устройство изоляционного верхнего покрытия	НДТ ТМ 9 Устройство изоляционного верхнего покрытия	НДТ 31, НДТ 32 в ИТС 17-2016, НДТ 1.1 в ИТС 53-2022	Изоляционное верхнее покрытие ТМ устраивается из природных глинистых материалов или из комбинации природных и искусственных материалов с изолирующим слоем из геомембраны
НДТ ТМ 10	Консервация и изоляция потенциальных ТМ	[216]	На ТМ производят бурение пилотных скважин до расчетной глубины. Одновременно с вращением буровой колонны осуществляют ее подъем и через струеформирующие насадки, ориентированные в направлении, перпендикулярном оси предварительно пробуренной скважины, производят нагнетание высоконапорного водоцементного раствора, что приводит к резанию и перемешиванию породы. При этом формируется массив цилиндрической формы, состоящий из породобетона, диаметр которого достигает 2 м. Бурение скважин осуществляется по сетке с шагом, позволяющим формировать массивы породобетона соседних скважин с необходимым перекрытием для создания сплошного водонепроницаемого

Продолжение табл. 5.2

1	2	3	4
			<p>экрана. При достижении необходимой толщины водонепроницаемого экрана из породобетона в основании отвала нагнетание водоцементного раствора прекращают и продолжают поднимать буровую колонну до отметки нижней границы водонепроницаемого экрана у поверхности отвала. По достижении указанной отметки нагнетание высоконапорного водоцементного раствора возобновляют и производят формирование водонепроницаемого экрана необходимой толщины в теле отвала у его поверхности</p>
НДТ ТМ 11	Использование пород ТМ при ликвидации горных выработок	НДТ 5.8.9 в ИТС 16-2016, НДТ 6 в ИТС 23-2017, НДТ 13 в ИТС 25-2017, НДТ 19 в ИТС 37-2017, НДТ 31 в ИТС 49-2017	Использование пород ТМ для заполнения горных выработок, выработанного пространства карьеров и шахт
НДТ ТМО 12	Вовлечение пород ТМ во вторичное производство	НДТ 5.8.10 в ИТС 16-2016, НДТ 12 в ИТС 23-2017	НДТ предусматривает использование пород ТМ в производстве, например, строительных материалов

Продолжение табл. 5.2

1	2	3	4
НДТ ТМО 13	Извлечение ценных компонентов из ТМ	НДТ 5.8.13 в ИТС 16-2016	Переработка пород ТМ с целью извлечения основных и попутных ценных компонентов на основе определения кондиций
НДТ ТМО 14	Использование пород ТМ при рекультивации нарушенных земель	НДТ 5.9.3 в ИТС 16-2016, НДТ 36 в ИТС 23-2017	Использование пород ТМ на техническом этапе рекультивации нарушенных земель при подтверждении возможности использования данных пород
НДТ ТМО 15	Восстановление рельефа территории	НДТ 5.9.2 в ИТС 16-2016, НДТ 35 в ИТС 23-2017	Восстановление рельефа территории путем разборки ТМ до проектируемых отметок
НДТ ТМО 16	Разборка ТМ	НДТ 3.1 в ИТС 53-2022, [158]	Снятие вершины, понижение ТМ, нарезка въездной полутраншеи, разбивка ТМ на ярусы, подготовка и устройство рабочей площадки. Разборка ТМ начинается с верхнего яруса и осуществляется поуступно сверху вниз экскаваторами типа прямой лопаты или драглайнами.
НДТ ТМО 17	Разборка ТМ с использованием бурошнековой установки	[217]	Бурошнековую установку размещают на рабочей площадке у подножия откоса ТМ, производят бурение в ТМ горизонтальных или наклонных скважин с оставлением между ними целиков, осуществляют перемещение породы из тела ТМ до устья скважины с перегрузкой на ленточный конвейер

Продолжение табл. 5.2

1	2	3	4
НДТ ТМ 18	Техническая рекультивация нарушенных земель	НДТ 5.9.1 в ИТС 16-2016, НДТ 34, НДТ 39 в ИТС 23-2017, НДТ 21 в ИТС 37-2017	<p>Технический этап рекультивации предусматривает выполнение мероприятий по подготовке земель к биологическому этапу рекультивации. Техническая рекультивация включает:</p> <ul style="list-style-type: none"> – грубую (предварительную) и чистовую планировку поверхности нарушенных земель; – выполаживание и (или) террасирование откосов ТМ; – подготовку участков (вырубка леса, кустарника, уборка камней и т. д.); – селективное снятие, транспортирование, складирование (при необходимости) и нанесение на рекультивируемые земли потенциально плодородных пород и плодородного слоя почвы; – ликвидацию последствий осадки ТМ и противозрозионные мероприятия; – комплекс мелиоративных мероприятий, направленных на улучшение химических и физических свойств пород, слагающих поверхностный слой рекультивируемых земель (при необходимости); – строительство дорог и гидротехнических сооружений

1	2	3	4
НДТ ТМ 19	Биологическая рекультивация нарушенных земель	НДТ 5.5.4, НДТ 5.9.5, НДТ 5.9.6 в ИТС 16-2016, НДТ 37, НДТ 38 в ИТС 23-2017, НДТ 9 в ИТС 25-2017, НДТ 22 в ИТС 37-2017	<p>Биологическая рекультивация — это комплекс мелиоративных и агротехнических мероприятий по восстановлению плодородия и хозяйственной ценности земель, ранее изъятых для производства. Биологическая рекультивация проводится после технической рекультивации. Состав и объем работ по биологической рекультивации определяется в зависимости от направления дальнейшего использования рекультивируемых земель (создание сельскохозяйственных угодий, лесных насаждений, декоративно-озеленительного комплекса и др.). Мелиорация включает известкование, гипсование, промывку, пескование, глинование и другие приемы, направленные на улучшение химических и физических свойств рекультивационного слоя. Агротехнические приемы предусматривают систему обработки и удобрения насыпного слоя или слоя горной породы (рекультивационного слоя), специальные севообороты, посадку древесно-кустарниковых растений и др.</p> <p>Биологическая активность рекультивируемого слоя повышается с помощью микроорганизмов, вносимых с органическими удобрениями</p>

Анализ НДТ позволил выявить недостающие технологии для снижения или исключения негативного воздействия ТМО на окружающую среду – безопасные и эффективные технологии, необходимые для полной разборки и консервации техногенных минеральных образований, в том числе и техногенных месторождений. В таблицу 5.2 добавлены новые технологии разборки ТМ и консервации и изоляции потенциальных ТМ, имеющие ряд преимуществ по сравнению с альтернативными. Данные технологии подробно описаны ниже.

5.3 Технология отработки техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт

Бурошнековая выемка широко используется при подземной и открытой разработке угольных месторождений [142, 105]. Создано большое количество бурошнековых (шнекобуровых) машин для различных условий добычи (рисунки 5.3 и 5.4). Существует способ бурошнековой отработки хвостохранилищ [150]. Есть предпосылки для использования бурошнековой выемки при разработке песчаных месторождений [143].

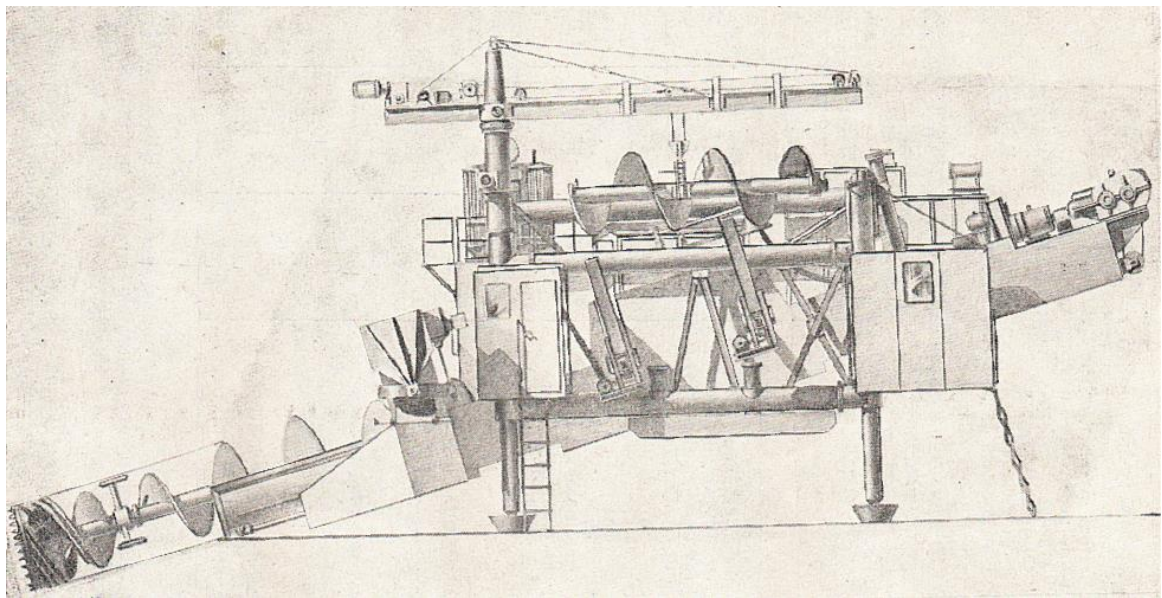


Рисунок 5.3 – Шнекобуровая машина для открытых горных работ ШБМ-500

Технология обработки техногенных месторождений в виде конических и хребтовых отвалов заключается в следующем [220]. На рабочей площадке у подножия откоса техногенного минерального образования размещается бурошнековая установка (шнекобуровая машина). Разрушение и выдача пород техногенного месторождения осуществляется на уровне стояния бурошнековой установки путем вращения и подачи бурового шнекового става горизонтально или под наклоном.

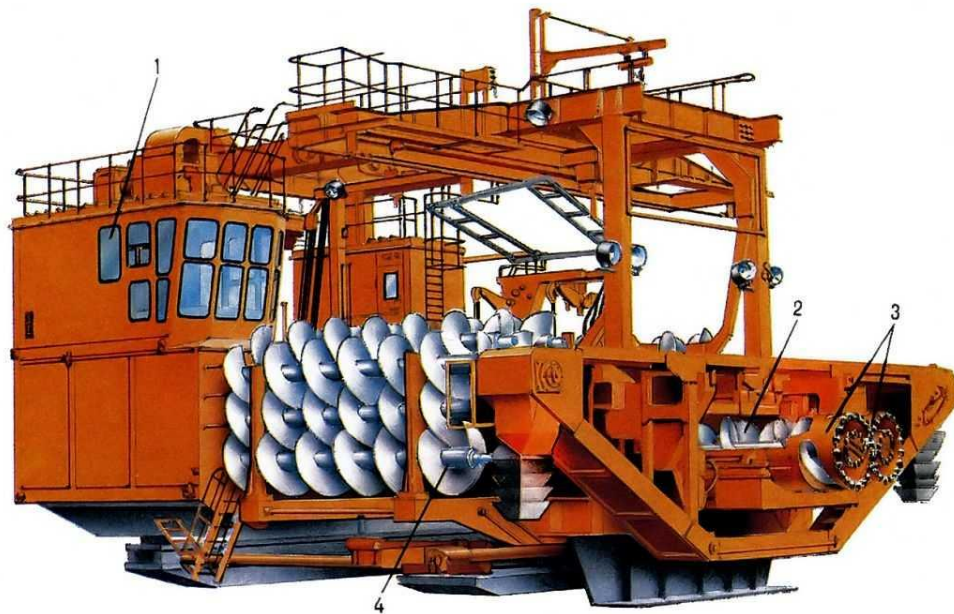


Рисунок 5.4 – Шнекобуровая машина ШБ-2:

- 1 – кабина управления; 2 – шнековый став; 3 – буровые коронки;
4 – комплект шнековых секций.

При известном расположении в теле техногенного месторождения сосредоточенных объемов полезных компонентов применение наклонного бурения повышает возможности для их селективного извлечения. Угол наклона бурения позволяет контролировать объем пород над буровым шнековым ставом в начале обработки техногенного месторождения.

После забуривания головной секции шнека буровой став наращивается присоединением очередной секции, и бурение продолжается до достижения свободной поверхности с другой стороны техногенного месторождения или предельных возможностей бурошнековой машины (85 – 150 м).

Извлеченная порода попадает на выдвижной приемный лоток и перегружается на ленточный конвейер, установленный на рабочей площадке у подножия откоса техногенного месторождения, и транспортируется на сортировочную площадку.

Между параллельно пробуренными горизонтальными или наклонными скважинами предусматривается оставление целиков, которые позволяют производить выемку пород без зажима бурового шнекового става. Под действием горного давления межскважинные целики разрушаются, а вышележащие породы плавно опускаются, заполняя выработанное пространство. Бурение продолжается, пока высота техногенного месторождения не понизится до проектного минимума, обусловленного возможностями использования бурошнековой установки или безопасного для работы техники и людей на поверхности техногенного месторождения. Дальнейшая отработка техногенного месторождения может производиться с помощью выемочно-погрузочной или выемочно-транспортирующей техники (экскаватора, погрузчика, скрепера, бульдозера).

Ширина рабочей площадки для отработки техногенного месторождения бурошнековой установкой с использованием конвейерного транспорта рассчитывается по следующей формуле:

$$Ш = C_1 + C_2 + C_3 + П_э + П, \quad (5.1)$$

где $Ш$ – ширина рабочей площадки, м;

C_1 – расстояние от оси конвейера до нижней бровки откоса техногенного месторождения – $0,7 - 0,9H_{от}$ ($H_{от}$ – высота отвала), м;

C_2 – расстояние от оси конвейера до оси хода шнекобуровой машины – 4, м;

C_3 – расстояние от оси хода шнекобуровой машины до полосы электроснабжения – 3, м;

$П_э$ – ширина полосы для размещения устройств электроснабжения – 6, м;

$П$ – ширина полосы для размещения дополнительного оборудования – 6, м.

Технологическая схема обработки техногенного месторождения бурошнековой установкой с использованием конвейерного транспорта показана на рисунке 5.5.

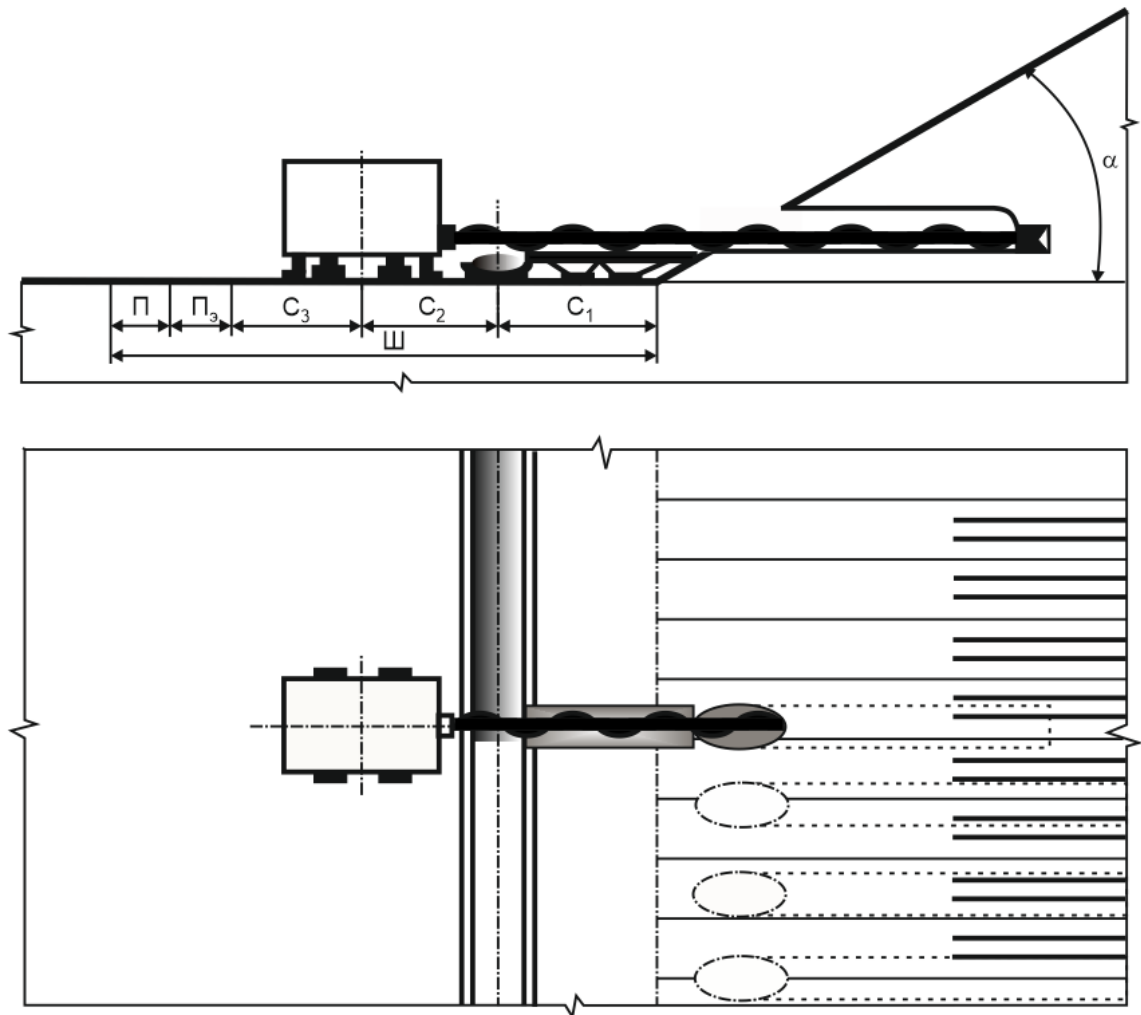


Рисунок 5.5 – Технологическая схема обработки техногенного месторождения бурошнековой установкой с использованием конвейерного транспорта

На производительность шнекобуровой машины влияют следующие факторы:

- организационные;
- технические;
- технологические.

Организационные факторы определяют степень использования машины в течение смены. Если в комплексе со шнекобуровой машиной используется

конвейерный транспорт, и так как при отработке техногенных месторождений, представленных коническими или хребтовыми отвалами угольных шахт, подготовка фронта работ практически не требуется, то основным организационным фактором, влияющим на производительность, остается готовность машины к работе.

Технологические факторы при отработке данных техногенных месторождений характеризуют естественные условия работы шнекобуровой машины, и их влияние на повышение производительности надо рассматривать в каждой конкретной ситуации отдельно.

Основное влияние на производительность оказывают технические факторы, такие как диаметр буровой колонки, длина бурового става, число одновременно работающих ставов, цикл бурения одной скважины.

Время цикла бурения одной скважины рассчитывается по формуле [105]:

$$T_c = t_{\bar{o}} + t_{изв} + t_n + t_p + t_{пер}, \quad (5.2)$$

где $t_{\bar{o}}$ – время бурения, мин;

$t_{изв}$ – время извлечения бурового става, мин;

t_n – время наращивания секций шнеков, мин;

t_p – время разборки секций шнеков, мин;

$t_{пер}$ – время перемещения машины, мин.

Сменная производительность бурошнековой выемки рассчитывается по формуле [105]:

$$Q_{см} = \frac{60T \frac{\pi d_{ск}^2}{4} k_{\bar{o}c} \gamma_n \eta}{\frac{L_{\bar{o}}}{v_{бур}} + \frac{L_{\bar{o}}}{v_{изв}} + \left(\frac{L_{\bar{o}}}{l_c} - 1 \right) (t_n + t_p) + t_{пер}}, \text{ т/смену}, \quad (5.3)$$

где T – время рабочей смены, ч;

$L_{\bar{o}}$ – глубина бурения, м;

$d_{ск}$ – диаметр скважины, м;

$k_{бс}$ – число буровых ставов машины;

γ_n – средневзвешенная плотность пород, т/м³;

η – коэффициент использования машины в течение смены;

$v_{бур}$ – средняя скорость бурения, м/мин;

$v_{изв}$ – средняя скорость извлечения буровых ставов из скважины, м/мин;

l_c – длина секции шнека, м.

В связи с тем что предлагаемая технология обработки позволяет извлекать, кроме породы скважины, еще и породу, обрушающуюся на шнек, для расчёта производительности бурошнековой выемки необходимо ввести коэффициент выемки (k_{prox}), учитывающий размеры свода естественного обрушения над скважиной.

Ширина свода естественного обрушения рассчитывается по формуле [159]:

$$B = d_{ск} \left[1 + 2 \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right], \quad (5.4)$$

где φ – угол внутреннего трения породы, град.

Высота свода обрушения рассчитывается по формуле [159]:

$$h_{св} = \frac{B}{2f_{кр}}, \quad (5.5)$$

где $f_{кр}$ – коэффициент крепости породы [159].

Схема для определения параметров свода естественного обрушения представлена на рисунке 5.6.

Площадь свода естественного обрушения над скважиной определяется по следующей формуле:

$$S_{св} = \left[\frac{w^2}{2} \left(2 \arcsin \frac{B}{2w} - \sin \left(2 \arcsin \frac{B}{2w} \right) \right) \right] + \left(\frac{d_{ск}(B + d_{ск})}{4} - \frac{\pi d_{ск}^2}{8} \right), \quad (5.6)$$

где $w = \frac{B^2 + 4h_{св}^2}{8h_{св}}$.

Коэффициент выемки, учитывающий размеры свода естественного обрушения над скважиной, определяется следующим образом:

$$k_{prox} = \frac{S_{св} + S_{СКВ}}{S_{СКВ}}, \quad (5.7)$$

где $S_{СКВ}$ – площадь сечения скважины.

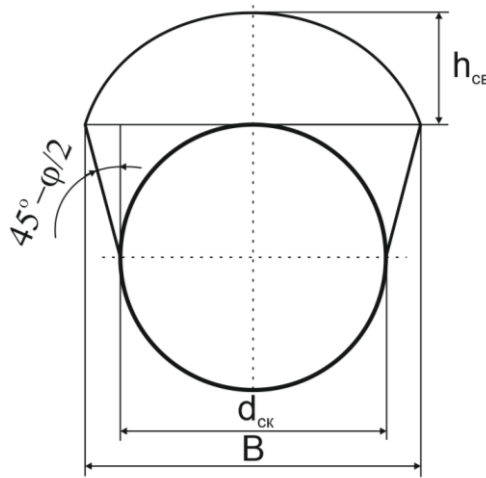


Рисунок 5.6 – Схема к расчету площади свода естественного обрушения

Таким образом, при $d_{СКВ} = 0,95$ м, $\varphi = 35^\circ$ и $f_{кр} = 1,5$ - коэффициент $k_{prox} = 2,011$.

Следовательно, сменная производительность буровых работ техногенных месторождений

$$Q_{см} = \frac{60T \frac{\pi d_{СКВ}^2}{4} k_{prox} k_{бс} \gamma_n \eta}{\frac{L_{б}}{v_{бур}} + \frac{L_{б}}{v_{изв}} + \left(\frac{L_{б}}{l_c} - 1 \right) (t_n + t_p) + t_{неп}}, \quad \text{т/смену.} \quad (5.8)$$

При извлечении шнека сразу после достижения расчётной глубины в конце скважины часть породы из свода естественного обрушения попадет в пустую скважину за пределами шнека – это совсем небольшой объем, которым в расчете производительности можно пренебречь.

При шнекобуровой обработке техногенных месторождений, сформированных в результате подземной добычи угля, одним из важнейших технологических параметров является ширина целиков между выемочными скважинами. При выборе ширины целиков, с одной стороны, необходимо обеспечить полную загрузку бурошнековой установки при извлечении породы из скважины, а с другой – ширина целиков должна быть такой, чтобы под действием горного давления происходило их разрушение.

Минимальная ширина целиков L_{\min} обуславливается размерами сводов естественного обрушения породы над выемочной скважиной:

$$L_{\min} = B - d_{\text{ск}}, \quad (5.9)$$

где $B = d_{\text{ск}} \left[1 + \operatorname{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]$ – ширина свода естественного обрушения; $d_{\text{ск}}$ – диаметр скважины, м; φ – угол внутреннего трения породы.

Максимальная ширина целиков зависит от расстояния до поверхности отвала, диаметра выемочной скважины и свойств пород, слагающих техногенное месторождение (рисунок 5.7).

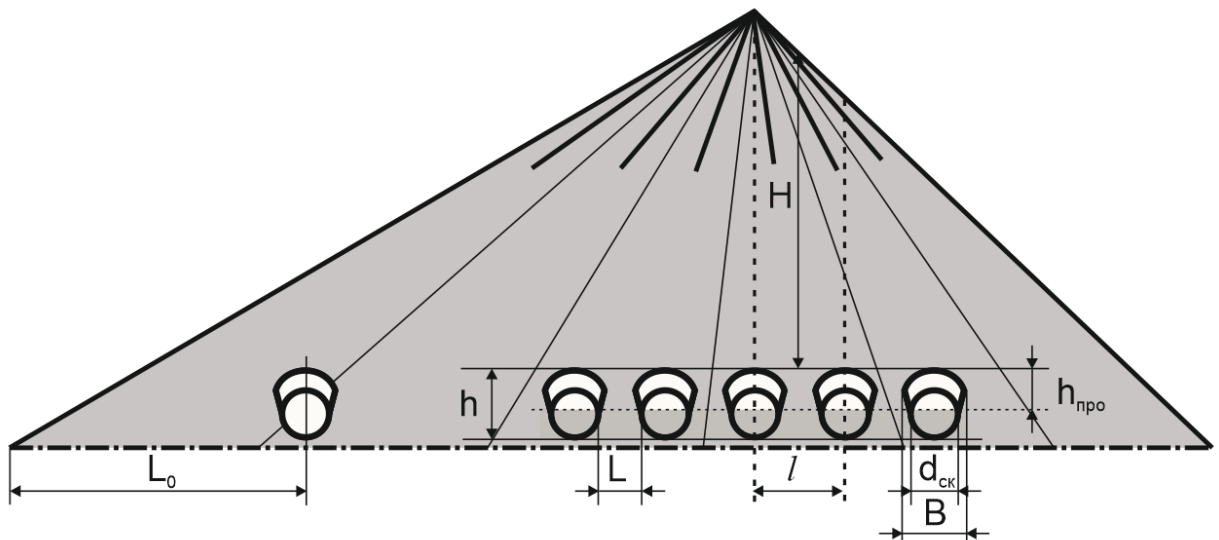


Рисунок 5.7 – Схема к определению основных технологических параметров бурошнековой обработки техногенных месторождений

Величину напряжения в межскважинных целиках можно определить следующим образом:

$$\sigma = \frac{\gamma_{\text{ср}} H l}{l - B}, \quad (5.10)$$

где $\gamma_{\text{ср}}$ – средний объемный вес пород, слагающих ТМ; H – расстояние до поверхности ТМ; l – расстояние между центрами выемочных скважин.

Для определения предела прочности целика на сжатие можно воспользоваться формулой:

$$\sigma_{\text{пр}} = \sigma_{\text{куб}} \sqrt{\frac{l - B}{h}}, \quad (5.11)$$

где $\sigma_{\text{пр}}$ – предел прочности тела призматической формы на сжатие; $\sigma_{\text{куб}}$ – предел прочности на сжатие тела кубической формы с таким же поперечным сечением, как и у призматического; $\sqrt{\frac{l - B}{h}}$ – коэффициент Церна, в котором

$l - B$ – размер минимальной ширины призмы, h – высота призмы.

Предел прочности на сжатие тела кубической формы определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{куб}} = \frac{2C \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}, \quad (5.12)$$

где C – сцепление породы.

Высота призмы будет равна сумме диаметра скважины и высоты свода естественного обрушения

$$h = d_{\text{СК}} + h_{\text{СВ}}. \quad (5.13)$$

Условие разрушения целиков:

$$\sigma \geq \sigma_{\text{пр}}. \quad (5.14)$$

В результате расчета напряжения в межскважинных целиках и их предела прочности при различных расстояниях до поверхности ТМ H_j и характеристиках пород был построен график (рисунок 5.8) для определения максимальной ширины межскважинных целиков ($L_i = l_i - d_{\text{СК}}$).

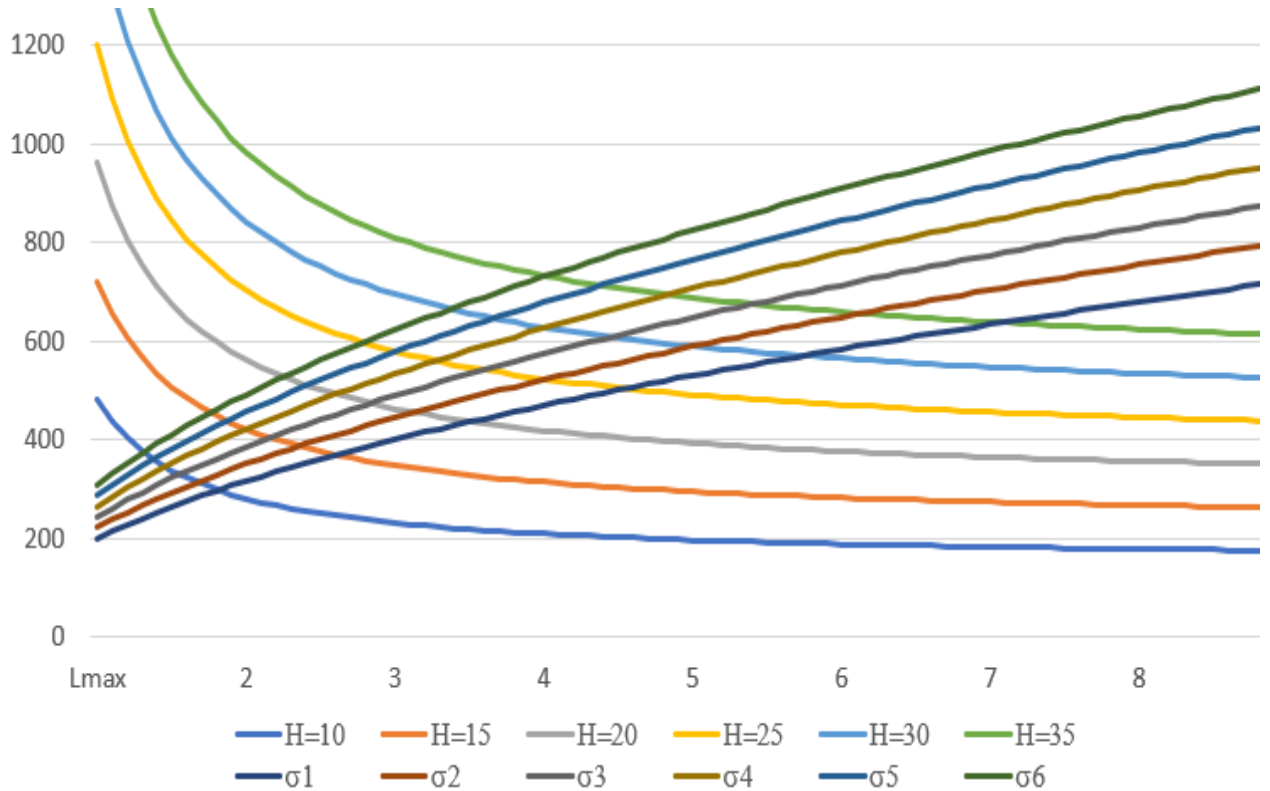


Рисунок 5.8 – График для определения максимальной ширины целиков

Таким образом, при увеличении расстояния до поверхности ТМ максимальная ширина целиков тоже увеличивается.

На основе произведенных расчетов предлагаются варианты технологических схем отработки техногенных месторождений, сформированных в результате добычи угля подземным способом. Данные технологические схемы предусматривают отработку техногенных месторождений с бурением выемочных скважин по их короткой стороне, что обуславливается возможностями по наращиванию бурового става.

Предлагаемые технологические схемы можно разделить по расположению начала производства работ на периферийные (рисунки 5.9 и 5.11) и центральные (рисунки 5.10 и 5.12).

Периферийные технологические схемы подходят для применения на техногенных месторождениях, сформированных в результате канатной откатки породы в скипах или вагонетках по рельсовому пути или доставки породы конвейерным транспортом, т. к. угол откоса пологого склона месторождения в этих случаях не будет превышать 20–30 °.

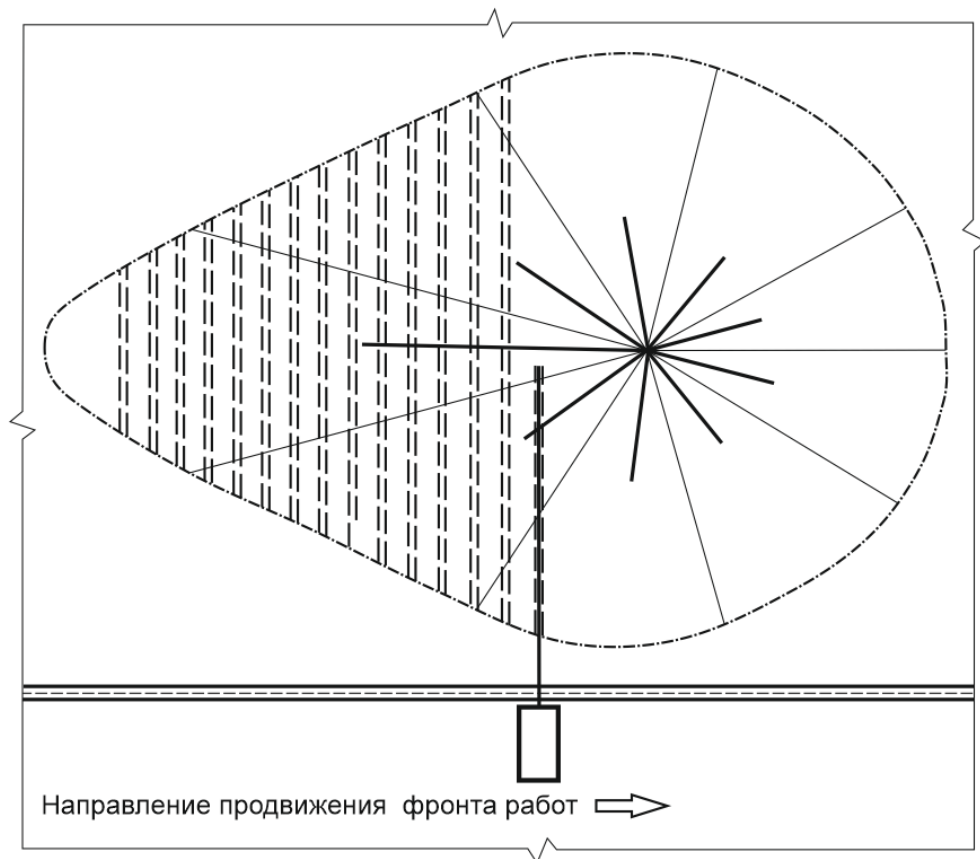


Рисунок 5.9 – Технологическая схема буровнековой отработки техногенных месторождений – периферийная односторонняя

В процессе осуществления периферийной технологической схемы при бурении первой скважины от начала пологого края месторождения необходимо отступить расстояние L_0 (рисунок 5.7), определяемое следующим образом.

Если предельная высота вертикального откоса $h_{90} > h$, то

$$L_0 = \frac{2C \cos \varphi}{\gamma_{\text{ср}}(1 - \sin \varphi) \operatorname{tg} \alpha} + \frac{B}{2}, \quad (5.15)$$

где α – угол откоса пологого склона месторождения.

Если предельная высота вертикального откоса $h_{90} \leq h$, то

$$L_0 = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha} + \frac{B}{2}, \quad (5.16)$$

где h – высота целика, определяется по формуле (5.13).

В этом случае породы техногенного месторождения будут проседать над скважиной, а не сдвигаться по откосу, что позволит избежать увеличения площади поверхности месторождения.

Для отработки хребтовых отвалов необходимо применять центральные технологические схемы. На рисунке 5.10 представлена центральная односторонняя технологическая схема отработки породного отвала шахты № 13 «Мостовская» с направлением продвижения фронта работ от центра.

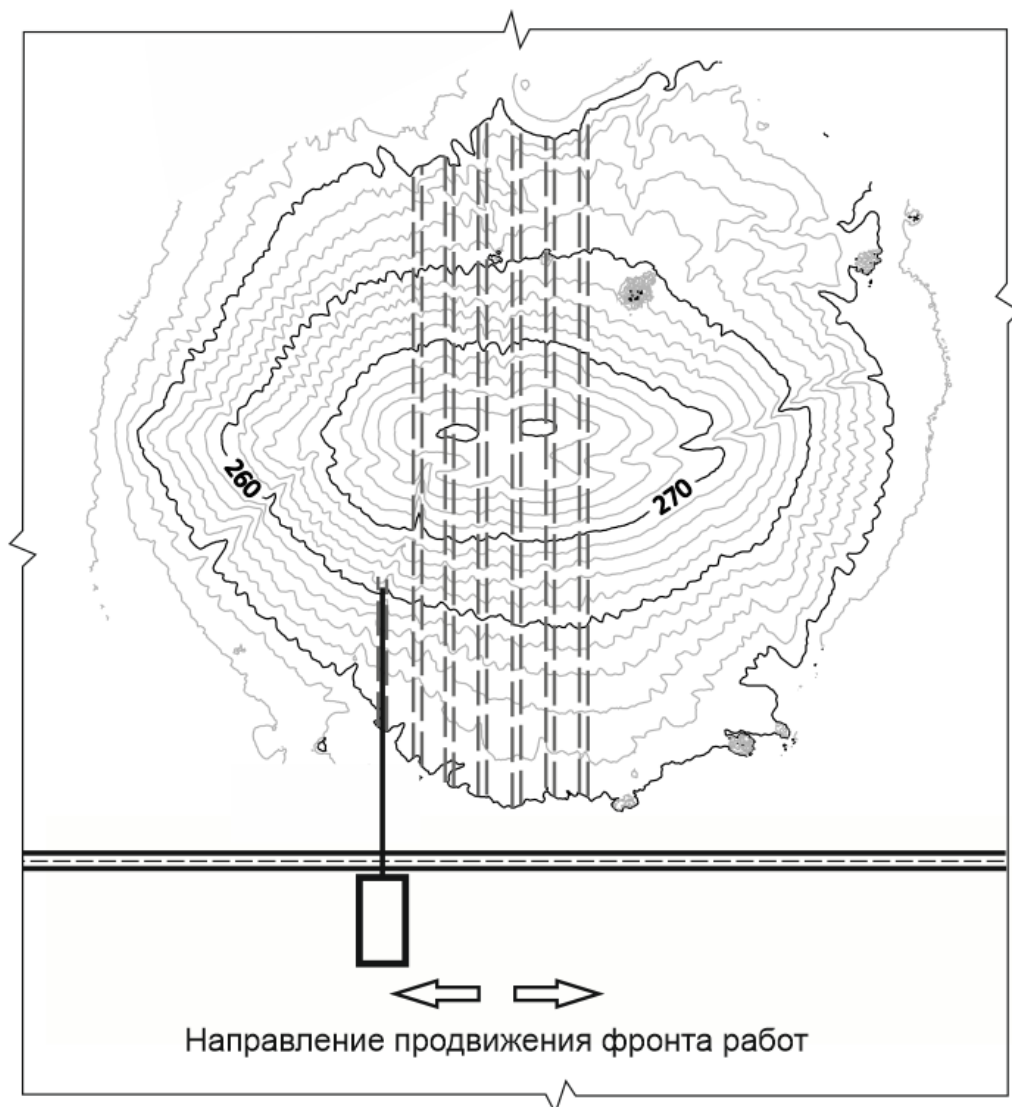


Рисунок 5.10 – Технологическая схема бурошнековой отработки породного отвала шахты № 13 «Мостовская» – центральная односторонняя от центра

Если общей длины бурового става недостаточно для отработки месторождения на всю ширину, то бурение скважин производится с двух сторон месторождения – двухсторонняя схема (рисунки 5.11 и 5.12). На рисунке 5.11

представлена периферийная технологическая схема отработки породного отвала шахты «Западно-Щекинская 17-бис».

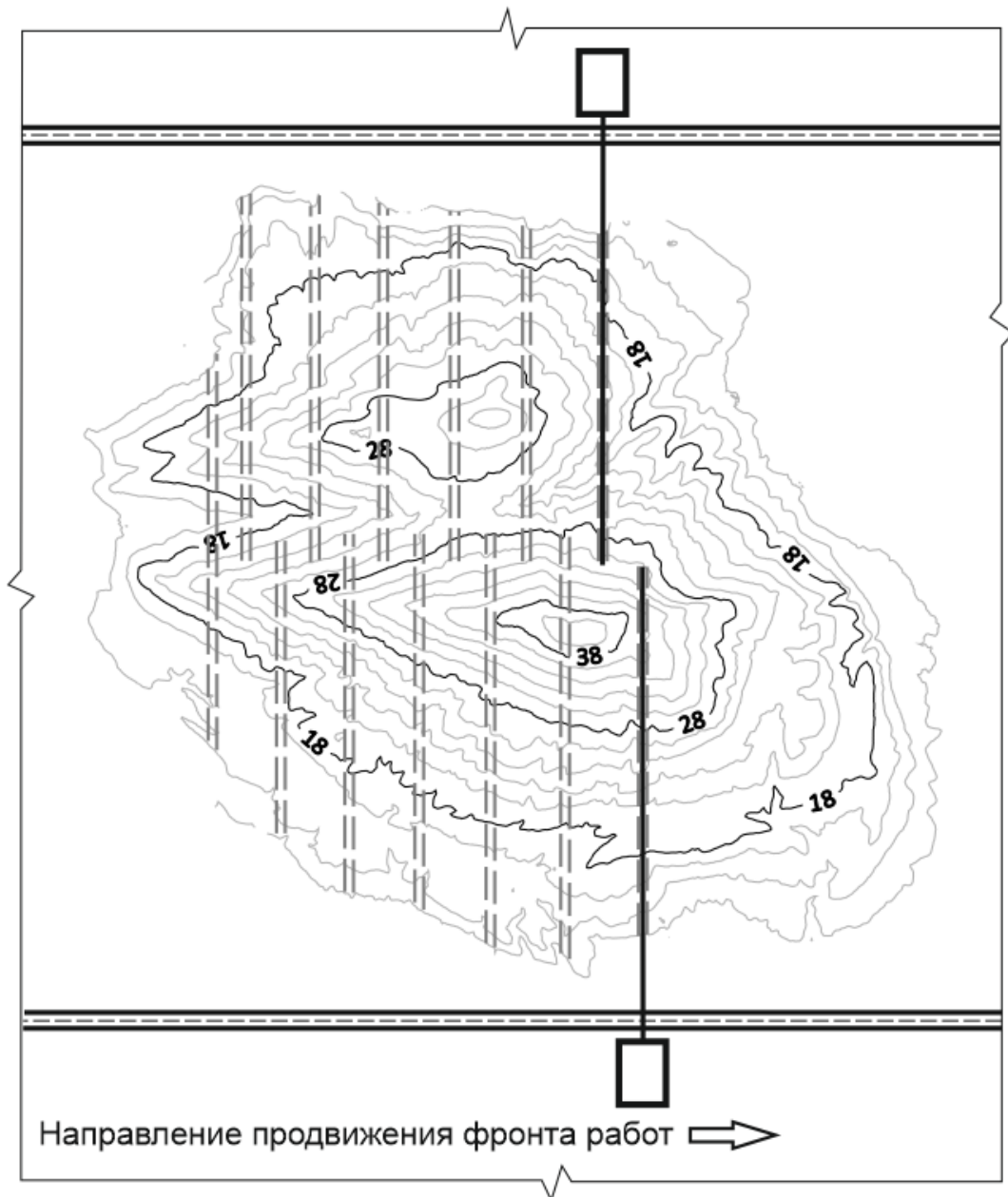


Рисунок 5.11 – Технологическая схема бурошнековой отработки породного отвала шахты «Западно-Щекинская 17-бис» – периферийная двухсторонняя

В сложных геомеханических ситуациях необходимо использовать центральные односторонние или двухсторонние технологические схемы с направлением продвижения фронта работ к центру. В этом случае будет происходить плавное понижение вершины техногенного месторождения.

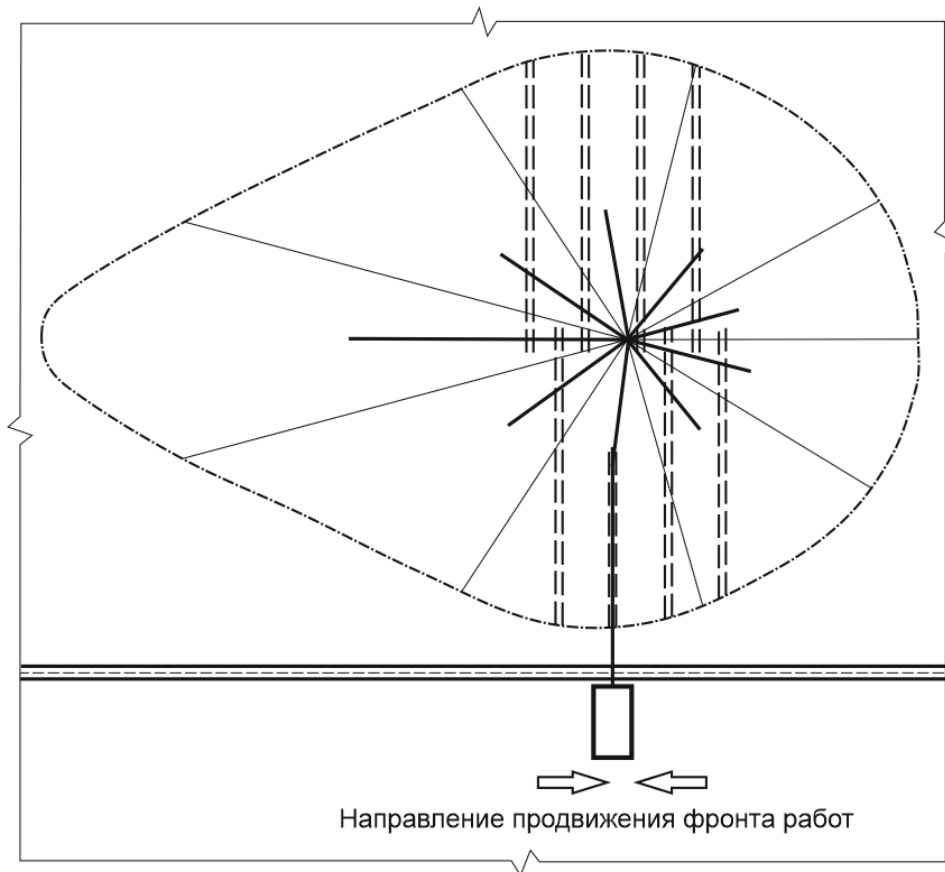


Рисунок 5.12 – Технологическая схема бурошнековой отработки техногенных месторождений – центральная двухсторонняя к центру

Величина просадки поверхности зависит от ширины целиков, диаметра скважин и высоты свода естественного обрушения над скважинами (рисунок 5.7)

$$h_{\text{про}} = \frac{Lh}{L + d_{\text{СК}}} \quad (5.17)$$

Для предотвращения пылеобразования из скважин при разрушении целиков и просадке породы достаточно применять местное пылеподавление путем орошения устьев скважин.

Достоинствами шнекобуровой отработки техногенных месторождений являются: использование техники относительно непрерывного действия; высокая производительность; отсутствие необходимости вскрытия месторождения; относительно небольшие эксплуатационные расходы; минимизация но-

вых породных обнажений; отсутствие переэкскавации породы; работа без использования техники на поверхности отвала и без присутствия там людей; возможность селективной отработки месторождения.

5.4 Технология консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений

Технологию гидроструйной цементации (далее по тексту – ГСЦ) горных пород начали внедрять почти одновременно в Англии, Италии и Японии. Доказательством высокой продуктивности этой идеи является то, что за последнюю четверть века она расширила географию своего применения максимально. По всему миру данная технология позволяет с высокой результативностью решать разнообразные задачи, как традиционные, так и новые, имеющие большое значение для горной промышленности.

В нашей стране внедрение ГСЦ началось с экспериментальных исследований, проводимых в 1976 – 1983 годах в институтах НИИОСП и “Гидроспецпроект” [32]. Первое опробование на практике данной технологии было произведено при разработке мерзлого грунта под котлованы, выполнении работ по устройству вертикальных противofильтрационных завес и при уплотнении просадочных грунтов замачиванием [51].

На сегодняшний день ГСЦ горных пород (Jet grouting) является наиболее эффективной технологией закрепления слабых и неустойчивых пород для последующей проходки горных выработок или строительства подземных сооружений; возведения противofильтрационных завес, укрепления откосов, стенок котлованов.

Принципиально технология ГСЦ горных пород заключается в использовании кинетической энергии высокоскоростной суспензионной водноцементной струи, направляемой на разрушение и перемешивание горной породы в массиве без создания в нем избыточного давления. На первом этапе специ-

ально оборудованной под ГСЦ буровой установкой бурится пилотная скважина диаметром 73 – 120 мм. Бурение производится до расчетной глубины, определяемой проектом, с предварительной промывкой цементным или глинистым раствором под давлением, обычно не превышающим 5 МПа. Промывочная жидкость подается непосредственно на породоразрушающий инструмент. На следующем этапе насосной установкой высокого давления подается водоцементный раствор под давлением 45 – 50 МПа. Подачей высокого давления автоматически перекрывается канал орошения, и открывается канал питания струеформирующей насадки (или насадок, если их несколько) диаметром 0,8 – 3 мм. Причем насадка ориентирована таким образом, чтобы истекающая струя была направлена перпендикулярно оси буровой колонны. Включается вращение буровой колонны (с частотой 10 – 25 об/мин) и начинается подъем буровой колонны, происходит резание и перемешивание грунта за счет высокой кинетической энергией струи [51].

Струйная цементация позволяет улучшить прочностные, деформационные и фильтрационные свойства любых сжимаемых дисперсных горных пород как природного, так и техногенного происхождения. Натурные испытания породобетонных массивов, проведенные на различных объектах подземного строительства, показали, что в зависимости от инженерно-геологических условий несущая способность отдельного цилиндрического элемента массива (сваи), выполненного методом струйной цементации, составляет 30 – 50 т [51].

В настоящее время существует три разновидности технологии ГСЦ для применения к горным породам, отличающиеся количеством компонентов, устройством бурового инструмента и диаметром преобразованного массива (рисунок 5.13).

Таким образом, анализ показывает, что технология ГСЦ горных пород, является современной перспективной технологией задания массивам неустойчивых пород с высоким коэффициентом фильтрации необходимых физико-механических свойств.

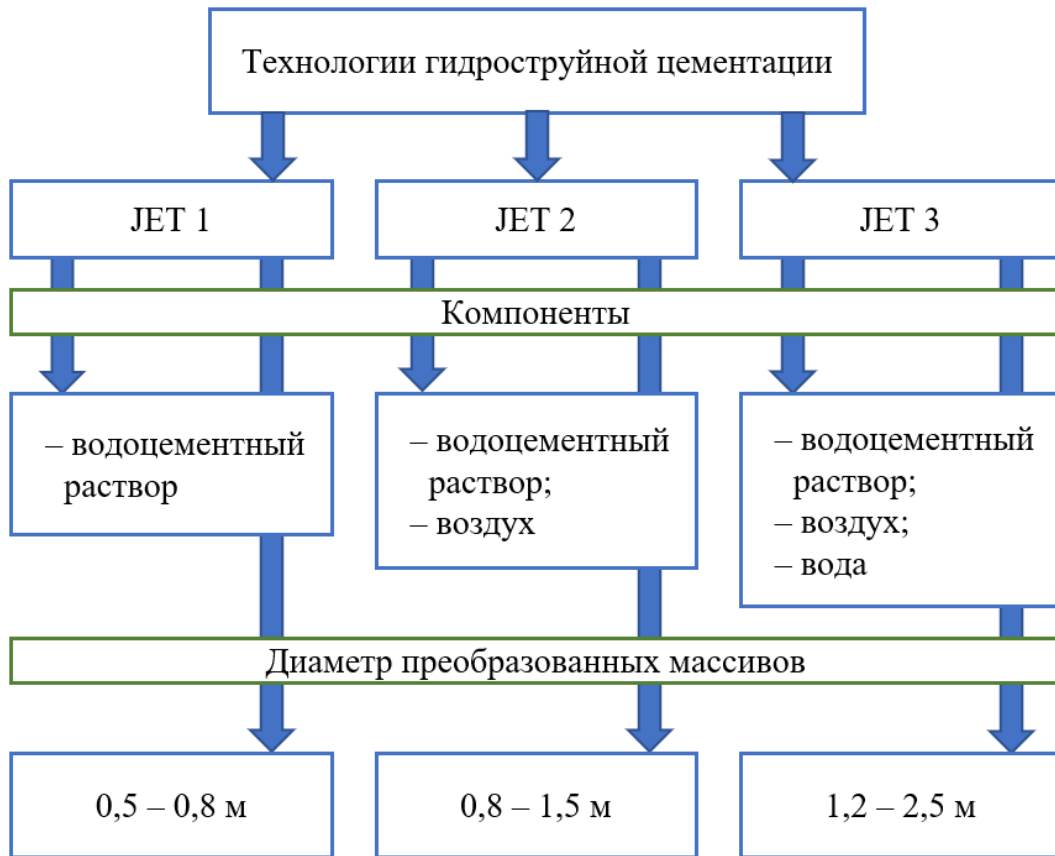


Рисунок 5.13 – Технологии гидроструйной цементации

Основные направления практического применения технологии ГСЦ представлены на рисунке 5.14.



Рисунок 5.14 – Основные направления практического применения технологии ГСЦ

Основные достоинства технологии ГСЦ представлены на рисунке 5.15.



Рисунок 5.15 – Основные достоинства технологии ГСЦ

Предлагаемая технология консервации и изоляции является универсальной для защиты окружающей среды от вредного воздействия потенциальных техногенных месторождений [216] (Приложение А).

Основной целью способа консервации и изоляции является расширение технических возможностей для эффективного снижения влияния токсичных компонентов потенциальных техногенных месторождений на окружающую среду [186].

Для достижения поставленной цели реализуются следующие процессы (рисунок 5.16) [219]:

- на поверхности техногенного образования производится разметка сетки для бурения скважин;
- по намеченной сетке осуществляется бурение до расчетной глубины пилотных скважин;

– производится нагнетание водоцементного раствора под высоким давлением, что позволяет струей с высокой кинетической энергией резать и перемешивать породы и формировать изолирующий породобетонный массив.

Размеры сетки скважин рассчитывают таким образом, чтобы массивы породобетона соседних скважин формировались с перекрытием, необходимым для образования сплошного водонепроницаемого экрана.

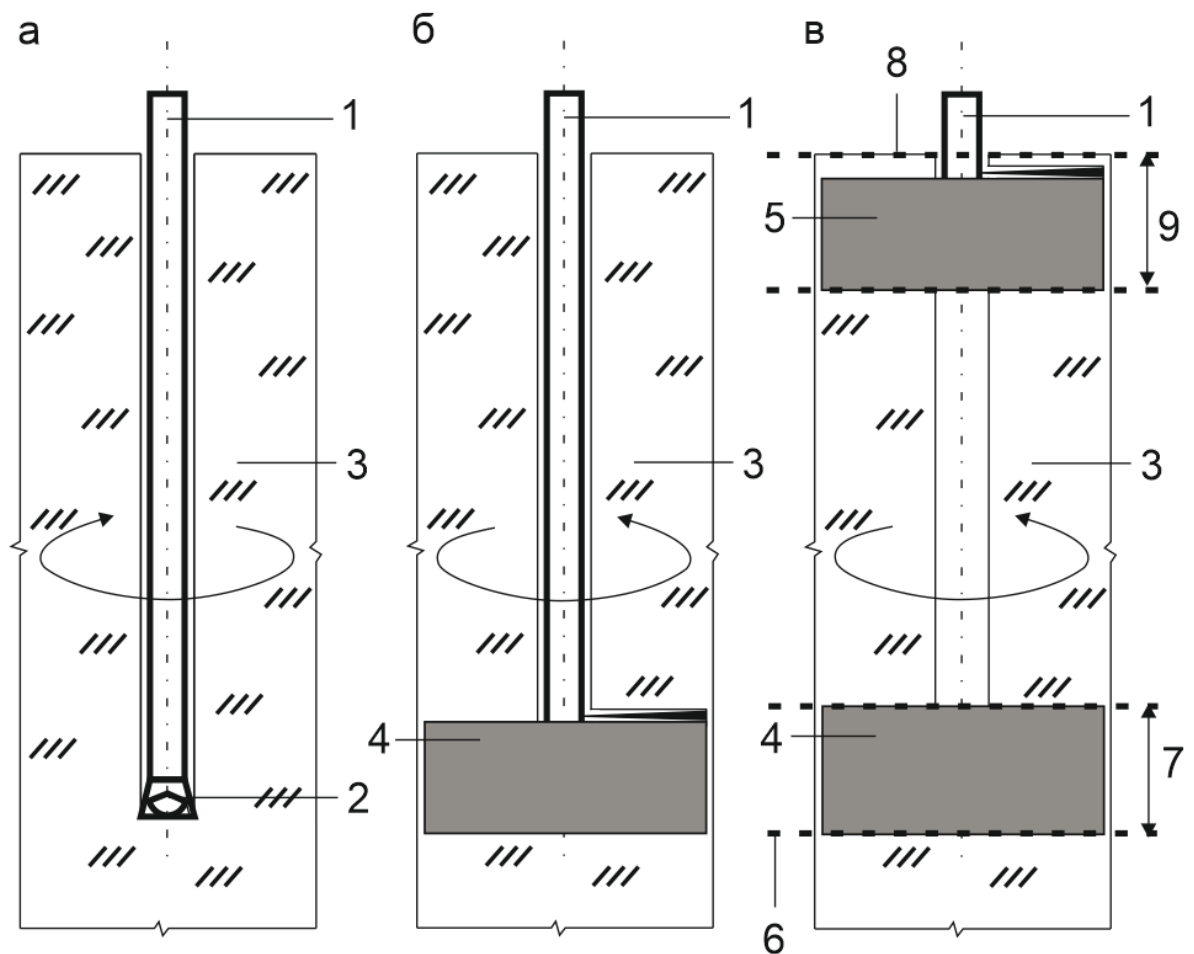


Рисунок 5.16 – Технологическая схема консервации потенциального техногенного месторождения: а – бурение пилотной скважины; б – формирование подошвенного экрана; в – формирование поверхностного экрана: 1 – буровой став; 2 – буровой инструмент; 3 – породный массив; 4 – подошвенный экран; 5 – поверхностный экран; 6 – расчетная глубина нижней границы подошвенного экрана; 7 – расчетная мощность подошвенного экрана; 8 – поверхность ТМ; 9 – расчетная мощность поверхностного экрана

Нагнетание водоцементного раствора под высоким давлением осуществляется при подъеме буровой колонны через струеформирующие насадки, которые направлены перпендикулярно оси пробуренной скважины. При этом колонна вращается с частотой 10-25 об/мин. Струя водоцементного раствора с высокой кинетической энергией режет и перемешивает породы, формируя цилиндрический массив из породобетона с диаметром, во много раз превышающим диаметр скважины. Нагнетание водоцементного раствора прекращают после доведения мощности водонепроницаемого экрана до необходимой. Далее продолжают поднимать буровую колонну и при достижении нижней границы поверхностного водонепроницаемого экрана возобновляют нагнетание высоконапорного водоцементного раствора. Производится создание водонепроницаемого экрана на/у поверхности техногенного образования.

Сплошной изолирующий геотехнический массив формируется из породобетонных элементов, располагающихся по шахматной сетке с размерами ячейки - $\frac{k_2 D}{2}$ [104], где k_2 – коэффициент сближения скважин, зависящий от глубины бурения; D – расчетный диаметр породобетонного элемента. Значение коэффициента сближения скважин определяется по следующей формуле:

$$k_2 = \frac{2 \cdot D - 4 \cdot H \cdot \delta \cdot k_1}{1,1 \cdot D}, \quad (5.18)$$

где H – глубина скважины, м;

δ – среднее отклонение скважины от вертикали;

k_1 – коэффициент вероятности отклонения.

При $D = 2,5$ м, $H = 15$ м, $\delta = 0,01$ и $k_1 = 0,75$ коэффициент сближения скважин, зависящий от глубины бурения, k_2 будет равен 1,655.

Схема размещения скважин для изоляции потенциального техногенного месторождения с использованием технологии гидроструйной цементации показана на рисунке 5.17.

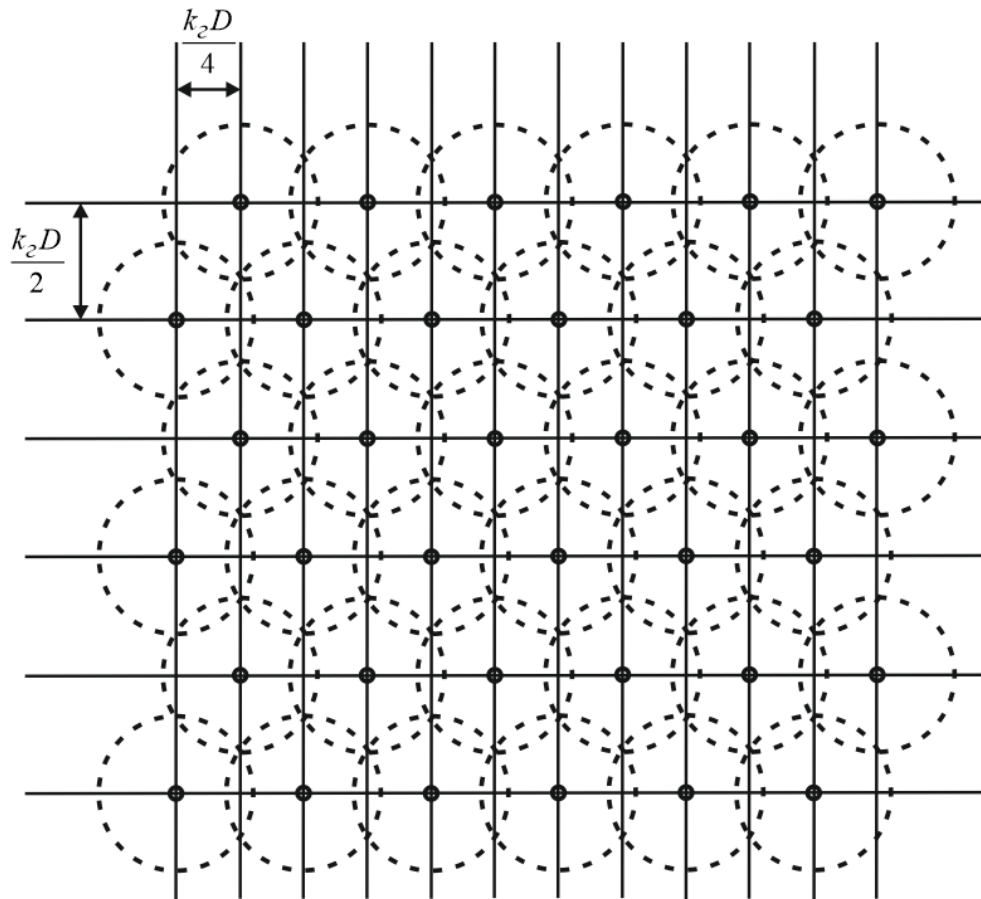


Рисунок 5.17 – Схема размещения скважин ГСЦ для изоляции потенциального техногенного месторождения

При увеличении глубины бурения сетка скважин сгущается в соответствии с рассчитанным коэффициентом k_2 .

Прочность материала экрана, необходимая для обеспечения устойчивости против размыва и суффозии, 1,5 - 3,0 Мпа [104].

Мощность экрана определяется действующим на экран напором воды и прочностными свойствами породобетона.

Данная технология консервации и изоляции позволяет:

- осуществить высокотехнологичное формирование эффективных водонепроницаемых экранов под основаниями и на поверхностях (у поверхностей) техногенных минеральных образований;

- устранить вредное влияние потенциальных техногенных месторождений и сохранить окружающие территории;

– обеспечить безопасность выполнения работ на поверхности породных отвалов угольных шахт за счет последовательного формирования закрепленных слоев породобетона.

Использование данной технологии расширяет возможности увеличения запасов минеральных ресурсов при наличии потенциала извлечения в будущем полезных компонентов при отработке техногенных месторождений. Основным отличием консервации от рекультивации является сохранение полезных компонентов для последующей разработки. При этом запас сырья потенциального техногенного месторождения будет сохранен за счет изоляции от взаимодействия с агрессивными природными факторами, которые приводят не только к физическим потерям массы горных пород отвалов угольных шахт в результате ветровой и водной эрозии, но и к снижению важных потребительских свойств компонентов в результате трансформации под воздействием негативных физико-химических и биохимических процессов, инициируемых проникновением воды, кислорода и микроорганизмов в тело породных отвалов угольных шахт, описанных в [33].

5.5 Выбор направления использования техногенных месторождений в масштабах угледобывающего региона

Для выбора направления использования ТМО необходимо ответить на несколько вопросов:

1. В какой стадии существования (формирование (проектирование), эксплуатация, ТМО сформировано прошлой экономической деятельностью) находится ТМО?
2. Можно ли применить технологию на ТМО, сформированных прошлой экономической деятельностью?
3. Является ли ТМО техногенным месторождением?
4. Есть ли вблизи объекта нерекультивированные горные выработки?
5. Земли каких категорий преобладают в зоне воздействия объекта?

б. Какова степень снижения негативного воздействия объекта на окружающую среду при применении этой технологии?

Разработанный алгоритм, представленный на схеме (рисунок 5.18), предназначен для выбора направления использования техногенных минеральных образований в масштабах угледобывающего региона, а также технологии реализации выбранного направления для определенных условий конкретного объекта. Учитывая сходство по составу пород всех техногенных минеральных образований, сформированных в результате разработки шахт Подмосковского угольного бассейна, все они являются техногенными месторождениями. Окончательный выбор технологии и очередность ее реализации зависит от сравнения по степени негативного воздействия ТМ на окружающую среду, которая определяется в результате ранжирования ТМ.

Для выявления возможности разборки ТМО в ходе проведения дистанционного мониторинга по спутниковым снимкам произведен поиск нерекультивированных открытых горных выработок вблизи ТМО. Поиск производился в пределах буферной зоны радиусом 5000 м. Такой радиус обусловлен расходами на транспортирование породной массы ТМО в открытые горные выработки.

Кроме выбора технологий, предлагается возможность определять направление рекультивационных работ для сформированных прошлой экономической деятельностью ТМО в зависимости от преобладающей категории земельных участков, расположенных вокруг ТМО [187].

Для определения преобладающих категорий земель вокруг техногенных месторождений использовались данные реестра ТМ.

Выбор направления рекультивации ТМО и ТМ по категории земель, к которой относятся земельные участки с самой большой суммарной площадью, является неоправданным. Допустим, что возле ТМ располагается достаточно большой населенный пункт, площадь которого меньше, чем площадь леса или поля в пределах зон влияния ТМ, но для того, чтобы учесть интересы жителей

этого населенного пункта, необходимо производить рекультивацию ТМ с рекреационным направлением.

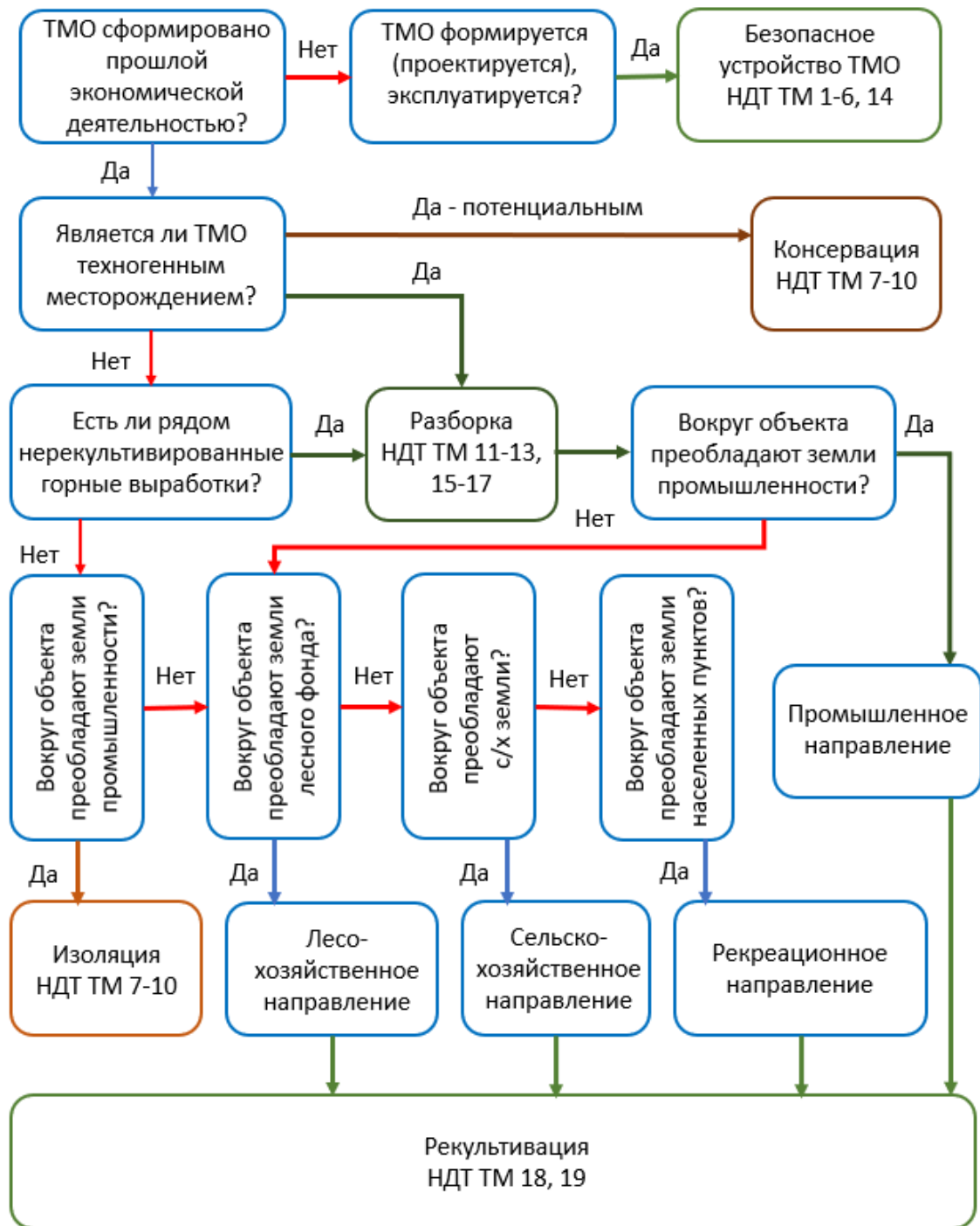


Рисунок 5.18 – Алгоритм выбора направления использования ТМО в масштабах угледобывающего региона

Для определения преобладающих категорий земель в пределах зон влияния ТМ была произведена нормализация min-max. В результате такой нормализации в пределах региона осуществляется масштабирование площадей по

всем категориям земельных участков в зонах влияния ТМ в интервале $[0,1]$. Значения суммарных площадей земельных участков по категориям преобразуются по следующей формуле:

$$X = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}.$$

После нормализации все числовые значения входных признаков приведены к одинаковой области их изменения. Преобладающая категория земель выбирается путем сравнения числовых значений по категориям земель и выбора наибольшего для каждого ТМ.

В процессе проведения дистанционного мониторинга вблизи восьми техногенных минеральных образований (радиус 5 км) были выявлены нерекультивированные открытые горные выработки с достаточной площадью для размещения пород объекта (рисунок 5.19). Наличие таких выработок позволяет применять полную разборку независимо от того, является ли ТМО техногенным месторождением или нет.



Рисунок 5.19 – Поиск нерекультивированных открытых горных выработок вблизи ТМ

На рисунке 5.20 приведены результаты выбора направления использования насыпных ТМ в Тульской области в соответствии с предложенным алгоритмом (рисунок 5.12).

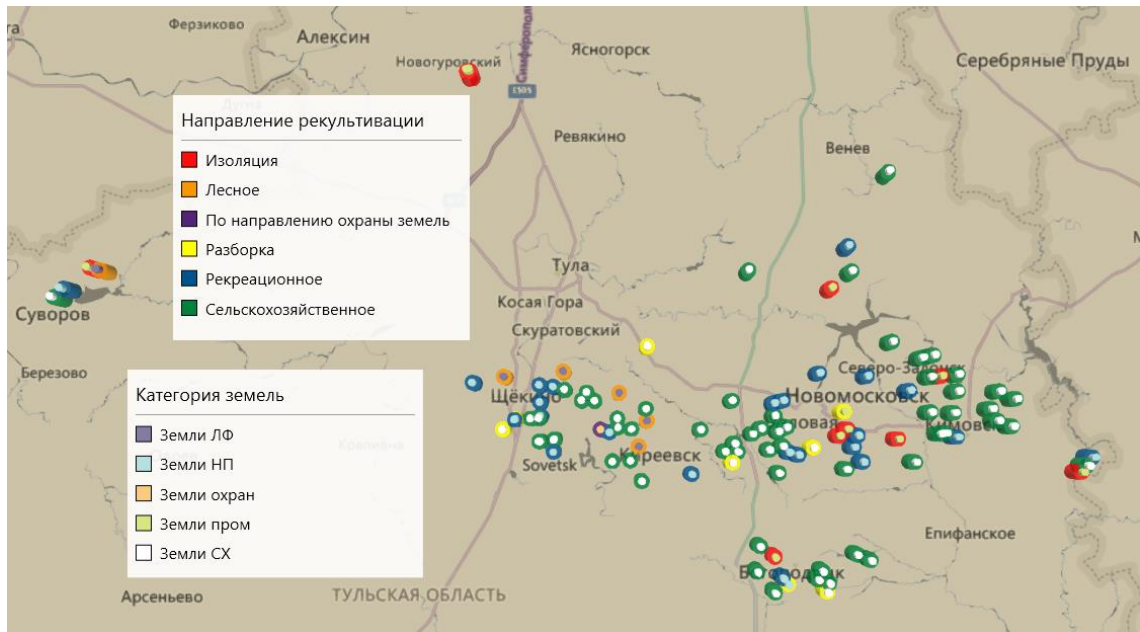


Рисунок 5.20 – Выбор направления использования насыпных ТМО в Тульской области

Для условий Тульской области сельскохозяйственное направление рекультивации ТМ рекомендуется реализовывать в 60 случаях. По 25 ТМ рекомендуется применять рекреационное направление рекультивации, т. к. вблизи 24 ТМ преобладают земли населенных пунктов, а возле одного из техногенных месторождений расположен земельный участок под строительство лечебного учреждения с категорией «земли особо охраняемых территорий и объектов». Лесное направление рекультивации должно быть использовано при рекультивации 6 ТМ. Еще 10 ТМ достаточно будет изолировать от окружающей среды, т. к. в их зонах влияния преобладают земли промышленности [187].

Выводы

1 На основе проведенного анализа способов снижения и исключения негативного воздействия ТМО на окружающую среду определены цели групп технологий снижения или исключения негативного воздействия ТМО на окружающую среду.

2 Определены наилучшие доступные технологии для снижения или исключения негативного воздействия насыпных ТМО.

3 В результате анализа наилучших доступных технологий выявлены недостающие технологии для снижения или исключения негативного воздействия ТМО на окружающую среду – безопасные и эффективные технологии, необходимые для полной разборки и консервации техногенных минеральных образований, в том числе и техногенных месторождений.

4 Предложена технология освоения техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт, основанная на шнекобуровой отработке, позволяющая обеспечить безопасность работ, снизить эксплуатационные расходы, повысить производительность извлечения пород.

5 Определены основные параметры шнекобуровой отработки техногенных месторождений, для расчёта производительности бурошнековой выемки определен коэффициент, учитывающий размеры свода естественного обрушения над скважиной.

6 Получены зависимости ширины межскважинных целиков от расстояния до поверхности техногенного месторождения и характеристик пород.

7 Предложена технология сохранения ресурсов потенциальных техногенных месторождений, основанная на гидроструйной цементации пород, позволяющая исключить взаимодействие пород ТМ и агрессивных природных факторов.

8 Разработана схема формирования породобетонного экрана для консервации техногенного месторождения и определен коэффициент сближения скважин, зависящий от глубины бурения.

9 Разработан алгоритм для выбора направления использования ТМО в масштабах угледобывающего региона.

10 Предложена схема определения направления рекультивационных работ для сформированных прошлой экономической деятельностью ТМО и ТМ в зависимости от преобладающей категории земельных участков, расположенных в зоне их влияния.

11 Определены направления использования по каждому рассматриваемому техногенному минеральному образованию Тульской области.

ГЛАВА 6 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОЧЕРЕДНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЙ ОСВОЕНИЯ И СОХРАНЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В МАСШТАБАХ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

6.1 Общие положения

Техногенные месторождения, сформированные в результате добычи угля подземным способом, сосредоточены в нескольких угледобывающих регионах страны. В данной работе рассматриваются такие техногенные месторождения Кемеровской, Ростовской и Тульской областей. Освоение и сохранение ресурсов техногенных месторождений в масштабах угледобывающего региона будут способствовать повышению эффективности использования природных ресурсов, снижению техногенной нагрузки на окружающую среду, созданию новых рабочих мест, развитию инфраструктуры, улучшению качества жизни населения, созданию новых продуктов и услуг, то есть в целом стимулировать комплексное развитие угледобывающего региона и повышение его экономической привлекательности.

Условия формирования и существования техногенных месторождений в пределах региона весьма идентичны, что позволяет осуществить комплексный подход к разработке и обоснованию технологических решений для их освоения и сохранения.

Чтобы иметь полную картину освоения и сохранения ресурсов техногенных месторождений угледобывающего региона, необходимо провести ранжирование техногенных месторождений по очередности их освоения, что в дальнейшем позволит разработать региональный план действий по внедрению выбранных технологических решений.

Технологические решения для успешного освоения и сохранения ресурсов техногенных месторождений необходимо выбирать на основе анализа их

эффективности, безопасности и экономической целесообразности. Кроме этого, технологические решения должны быть универсальными и применимыми для всех объектов рассматриваемого региона.

Оценка технологических решений может быть точной и аргументированной при анализе всех затрат и получаемых выгод, как явных, так и скрытых. Если при оценке технологических решений по освоению и сохранению ресурсов техногенных месторождений затратная составляющая может быть определена, то оценить социальную выгоду или эффект, связанный с безопасностью работ или безопасностью для окружающей среды, объективно сложно. Качественный эффект трудно перевести в цифру. В таком случае необходимо использовать качественные методы оценки. Для оценки технологических решений предлагается применить метод экспертной оценки. В основу такой оценки закладывается мнение специалиста или коллектива специалистов, базирующееся на профессиональном, научном и практическом опыте в этой области.

6.2 Ранжирование техногенных месторождений по очередности освоения или сохранения их ресурсов

Все известные классификации ТМ созданы с использованием иерархического метода, который обладает рядом недостатков: негибкая структура, фиксированный порядок ступеней распределения, нет возможности для введения новых объектов и признаков. Такой подход долгое время не позволяет создать единую, общепринятую классификацию ТМ, которая позволяла бы реагировать на изменения, связанные с новыми объектами, новыми характеристиками объектов, новыми запросами пользователей классификации, формирующими структуру классификации и новые классификационные признаки. Такая задача может быть решена с помощью комбинации систем классификации, когда на высоких уровнях детализации применяется фасетный метод, а на низших – иерархический метод. Применение фасетного метода позволяет придать

классификации гибкость, дает возможность подразделять множество объектов, ограничивая их несколькими фасетами, представляющими интерес в данном конкретном случае, ограничивать количество признаков без утраты достаточности охвата объектов.

Так, например, при определении очередности освоения и сохранения ресурсов техногенные месторождения, представленные отвалами угольных шахт, можно ранжировать по объему горной массы, площади, занимаемой отвалом, площади поверхности отвала, площади зоны влияния отвала, площадям земельных участков разных категорий, входящих в зону влияния отвала, и др. Некоторые из этих характеристик могут подходить для ранжирования других типов ТМ, в таких или других комбинациях, а некоторые могут подходить исключительно для отвалов угольных шахт.

Весьма интересные исследования приведены в работе ученых на примере отвалов угольных шахт Донбасса [156]. Были выбраны 78 породных отвалов промышленных отходов с прилегающими территориями. В качестве основных проявлений экологической опасности породных отвалов были предложены:

- воздействие отвалов на жителей населенных пунктов;
- воздействие на пахотные земли;
- воздействие на приусадебные участки;
- воздействие на кормовые угодья;
- воздействие на речную сеть;
- воздействие на водоемы.

В качестве критериев оценки степени потенциальной опасности шахтных отвалов были предложены показатели их расположения в ландшафте и выделены пять степеней их экологической опасности в зависимости от расположения объектов по отношению к терриконам [156].

В предложенной классификации отвалов по их техногенной опасности [156] основными критериями выступают: удельный выброс пыли, средний

выброс продуктов горения с одного отвала по производственным объединениям и объем смыва породы с единицы площади. Эти критерии, вероятно, использовались при исследовании статистического распределения потенциальной интенсивности воздействий отвалов. К сожалению, показатели расположения отвалов в ландшафте и выделенные пять степеней их экологической опасности при составлении данной классификации не использовались.

Ранжирование ТМ по очередности освоения и сохранения их ресурсов – очень сложная задача, требующая использования современных подходов из-за трудности выявления закономерностей и разбиения на классы сложного набора данных [208].

В качестве параметров, определяющих очередность освоения и сохранения ресурсов ТМ, целесообразно использовать площадь, занимаемую этим ТМ, и сумму площадей земель различных категорий, попадающих в различные зоны влияния этого ТМ.

Для определения размеров зон влияния ТМ на окружающие земли были использованы расчетные и математические модели: оценки предельного состояния пород ТМ; переноса пыли и газовых загрязнителей в приземном слое атмосферы; миграции токсичных компонентов в почву; инфильтрации стоков с ТМ на прилегающие территории. Размеры буферных зон обобщены и усреднены для использования в качестве условий с целью ранжирования техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт.

Установление площадей ТМ и земельных участков в зоне влияния ТМ, определение категорий земель производились путем проведения дистанционного мониторинга влияния техногенных месторождений на окружающую среду. Важно отметить, что информация собиралась только по учтенным земельным участкам.

В результате комплексной оценки техногенных месторождений для различных категорий земель с учетом важности проблемы влияния ТМ на эти категории были определены весовые коэффициенты (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Весовые коэффициенты категорий земель

№	Категория земель	Весовой коэффициент
1	Земли населенных пунктов	2
2	Земли С/Х назначения	1,8
3	Земли лесного фонда	1,6
4	Земли особо охраняемых территорий и объектов	1,6
5	Земли запаса	1,4
6	Нет категории	1,4
7	Земли промышленности	1

Весовые коэффициенты буферных зон были определены с учетом явного и существенного неявного активного воздействия деформаций ТМ, фильтрации воды сквозь тело ТМ, водной и ветровой эрозий (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Весовые коэффициенты буферных зон

№	Буферная зона	Весовой коэффициент
1	0 - 50	2
2	50 - 150	1,8
3	150 - 250	1,6
4	250 - 350	1,4
5	350 - 500	1,2
6	500 - 1000	1
7	Буферная зона ветровой эрозии	2

В набор данных для кластеризации техногенных месторождений входят:

- площади, занимаемые техногенными месторождениями;
- суммы площадей частей земельных участков той или иной категории, входящих в ту или иную буферную зону, с учетом весовых коэффициентов категорий земель и буферных зон.

По Тульской области исследовано 109 техногенных месторождений, представленных отвалами угольных шахт, и более 20 тысяч частей земельных участков. По Кемеровской области – 13 ТМ и более 3 тысяч частей земельных участков. По Ростовской области – 5 ТМ и более 3 тысяч частей земельных участков.

Когда речь идет о большом количестве объектов со схожими параметрами по признакам разделения, проблему можно решить с помощью кластеризации – задачи группировки множества объектов на подмножества (кластеры) таким образом, чтобы объекты из одного кластера были более похожи друг на друга, чем на объекты из других кластеров по какому-либо критерию. Кластеризация отличается от классификации тем, что в классификации есть набор predetermined классов, и вы хотите знать, к какому классу принадлежит новый объект. Кластеризация пытается сгруппировать набор объектов и определить, существует ли какая-либо связь между объектами. При этом может быть неизвестно даже количество кластеров. Существует множество методов кластеризации, которые можно разделить на четкие и нечеткие. Четкие методы кластеризации разбивают исходное множество объектов на несколько непересекающихся подмножеств. При этом любой объект из исходного множества принадлежит только одному кластеру. Нечеткие методы кластеризации позволяют одному и тому же объекту принадлежать одновременно нескольким (или даже всем) кластерам, но с различной степенью. Нечеткая кластеризация во многих ситуациях более "естественна", чем четкая, например, для объектов, расположенных на границе кластеров.

Для того чтобы свести данные о суммарных площадях участков в зоне влияния ТМ и площади ТМ в одной модели необходимо использовать нормализацию min-max. В результате такой нормализации осуществляется масштабирование в интервале $[0,1]$. Значения в столбцах суммарных площадей участков и площадей ТМ преобразуются по следующей формуле:

$$X = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}.$$

После нормализации все числовые значения входных признаков приведены к одинаковой области их изменения.

Для отнесения ТМ к той или иной группе использовался алгоритм нечеткой кластеризации С-средних, позволяющий разбить имеющееся множество элементов на заданное число нечетких множеств.

Нечеткие кластеры описываются матрицей нечеткого разбиения [58]

$$F = [\mu_{ki}], \mu_{ki} \in [0,1], k = \overline{1, M}, i = \overline{1, c},$$

в которой k -я строчка содержит степени принадлежности объекта $X_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kc})$ кластерам A_1, A_2, \dots, A_c . При нечетком разбиении степень принадлежности объекта к кластеру принимает значение из интервала $[0,1]$, а при четком – из двухэлементного множества $\{0,1\}$. Условия для матрицы нечеткого разбиения записываются выражениями

$$\sum_{i=1}^c \mu_{ki} = 1, k = \overline{1, M}; \quad (6.1)$$

$$0 < \sum_{k=1}^M \mu_{ki} < M, i = \overline{1, c}. \quad (6.2)$$

Нечеткое разбиение легко решает проблему объектов, расположенных на границе двух кластеров: им назначают одинаковые степени принадлежности, например по 0,5. Сложности нечеткого разбиения появляются при работе с объектами, удаленными от центров всех кластеров, поэтому интуитивно хочется назначить им малые степени принадлежности, но по условию (6.1)

сумма степеней принадлежности равна единице как у удаленных, так и у близких к центрам кластеров объектов. Для решения этой проблемы можно использовать разбиение, при котором произвольный объект X должен принадлежать хотя бы одному кластеру. Для этого ослабляется условие (6.1) следующим образом:

$$\exists i : \mu_{ki} > 0, \forall k.$$

Для оценки качества нечеткого разбиения используется следующий критерий разброса [58]:

$$\sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^{M_i} (\mu_{ki})^m \|V_i - X_k\|^2, \quad (6.3)$$

где $V_i = \frac{\sum_{k=1}^{M_i} (\mu_{ki})^m X_k}{\sum_{k=1}^{M_i} (\mu_{ki})^m}$ – центры нечетких кластеров; $m \in (1, \infty)$ – экспоненци-

альный вес.

Реализация алгоритма производится следующим образом [58] (рисунок 6.1):

1 Устанавливаются параметры алгоритма: c – количество кластеров; m – экспоненциальный вес; ε – параметр останова алгоритма.

2 Задается матрица нечеткого разбиения F , удовлетворяющая условиям (6.1) – (6.2).

3 Рассчитываются центры кластеров по формуле

$$V_i = \frac{\sum_{k=1}^{M_i} (\mu_{ki})^m X_k}{\sum_{k=1}^{M_i} (\mu_{ki})^m}, \quad i = \overline{1, c}.$$

4 Рассчитываются расстояния между объектами из X и центрами кластеров

$$D_{ki} = \sqrt{\|X_k - V_i\|^2}, \quad k = \overline{1, M}, \quad i = \overline{1, c}.$$

```

FCL(X, c, Iter, ε, m) :=
  N ← last(X(0))
  c ← c - 1
  for k ∈ 0..N
    for i ∈ 0..c
      Fk,i ← rnd(1)
  c_it ← 0
  while 1
    for i ∈ 0..c
      Vi ← 
$$\frac{\sum_{k=0}^N \left[ (F_{k,i})^m \cdot (X^T)^{\langle k \rangle} \right]}{\sum_{k=0}^N (F_{k,i})^m}$$

    for k ∈ 0..N
      for i ∈ 0..c
        Dk,i ← 
$$\sqrt{\left[ (X^T)^{\langle k \rangle} - V_i \right]^T \cdot \left[ (X^T)^{\langle k \rangle} - V_i \right]}$$

        D2k,i ← (Dk,i)2
    for k ∈ 0..N
      Dmink ← 
$$\left[ \min \left[ (D2^T)^{\langle k \rangle} \right] \neq 0 \right]$$

    for k ∈ 0..N
      for i ∈ 0..c
        Fnk,i ← 
$$\text{if} \left[ (D2_{k,i} \neq 0) \wedge Dmin_k, \frac{1}{\left[ D2_{k,i} \cdot \sum_{s=0}^c \frac{1}{D2_{(k,s)}} \right]^{m-1}}, \text{if}(D2_{k,i} = 0, 1, 0) \right]$$

    for i ∈ 0..c
      δi ← 
$$\left( \left| F^{\langle i \rangle} - F_n^{\langle i \rangle} \right| \right)^2$$

      δ ← 
$$\sum \delta$$

    c_it ← c_it + 1
    break if δ < ε ∨ c_it > Iter
  F ← Fn
  return 
$$\begin{pmatrix} F_n \\ V \end{pmatrix}$$


```

Рисунок 6.1 – Реализация алгоритма нечеткой кластеризации C-средних

5 Пересчитываются элементы матрицы нечеткого разбиения для всех $k = \overline{1, M}$ и $i = \overline{1, c}$:

$$\text{если } D_{ki} > 0, \text{ то } \mu_{ki} = \frac{1}{\left(D_{ki}^2 \sum_{i=1}^c \frac{1}{D_{ki}^2} \right)^{1/(m-1)}};$$

$$\text{если } D_{ki} = 0, \text{ то } \mu_{ki} = \begin{cases} 1, & \text{если } i = k \\ 0, & \text{если } i \neq k \end{cases} \quad i = \overline{1, c}.$$

6 Проверяется условие $\|F - F^*\| < \varepsilon$, где F^* – матрица нечеткого разбиения на предыдущей итерации алгоритма. Если «да», то заканчиваем, иначе – возвращаемся к пункту 3.

В результате вычислений, на основе коэффициентов принадлежности ТМ к тому или иному кластеру, получена диаграмма кластеризации ТМ Кузнецкого угольного бассейна (рисунок 6.2).

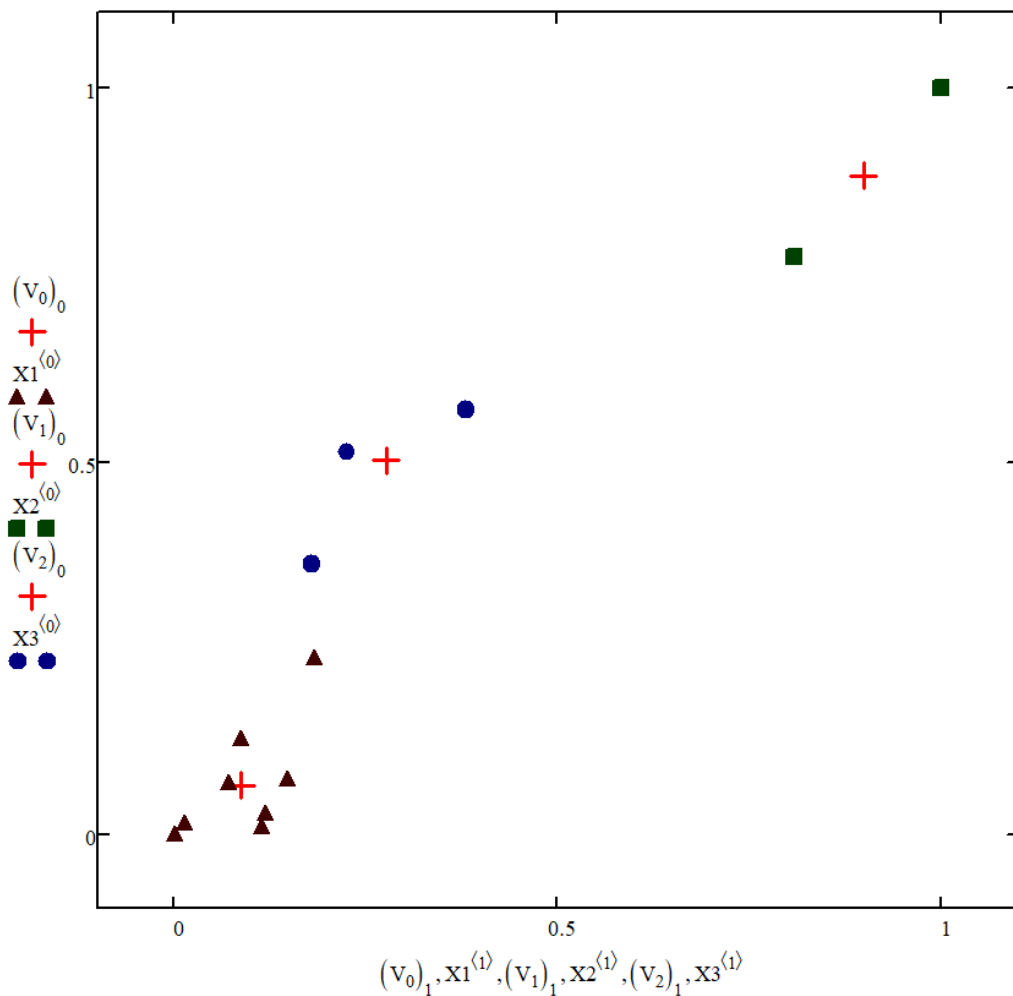


Рисунок 6.2 – Диаграмма кластеризации ТМ Кузнецкого угольного бассейна

Формой и цветом фигуры выделены разные классы, плюсами отмечены центры этих классов.

Расположение кластеров ТМ Кузнецкого угольного бассейна на карте приведено на рисунке 6.3. В первый кластер вошли 8 ТМ, во второй – 2 ТМ и в третий – 3 ТМ. Во втором кластере расположились ТМ большой площади при средней площади земельных участков вокруг. Мероприятия по освоению и сохранению ресурсов этих ТМ надо производить в последнюю очередь из-за высоких затрат и не самой большой площади охвата земельных участков. Площадь ТМ в первом кластере сравнительно невелика, а площадь земельных участков в зонах влияния ТМ значительная. По таким ТМ работы должны производиться в первую очередь. В третьем кластере при средней площади ТМ в зонах влияния площадь земельных участков относительно небольшая — это вторая очередь.

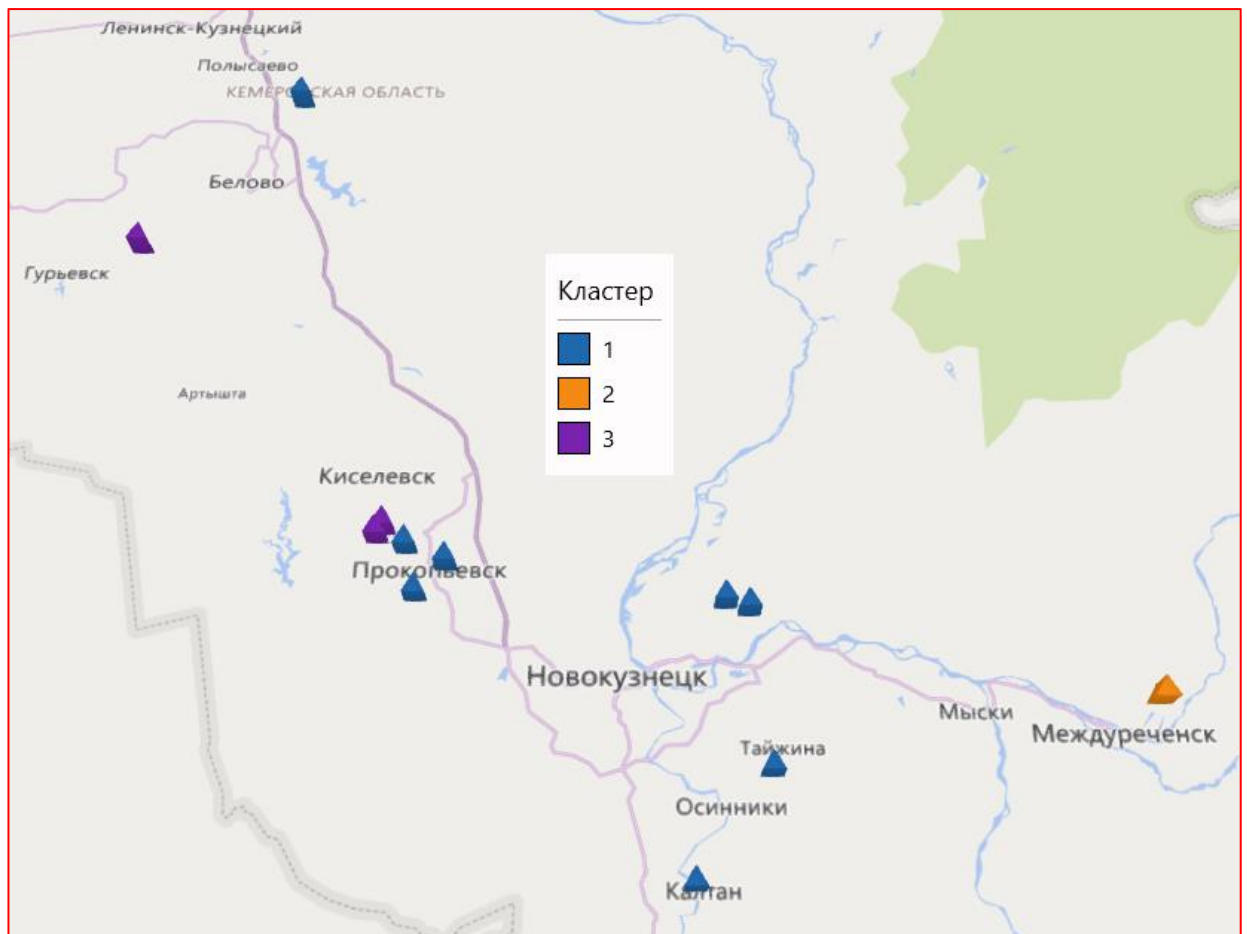


Рисунок 6.3 – Расположение кластеров ТМ Кузнецкого угольного бассейна

В Донецком бассейне был произведен дистанционный геоэкологический зональный мониторинг 5 техногенных минеральных образований (рисунок 6.4). Несмотря на небольшое количество исследуемых ТМ, разделение на 3 кластера привело к более приемлемому для анализа результату, чем на 2 кластера. В первый кластер вошло 1 ТМ, во второй – 2, в третий – 2.

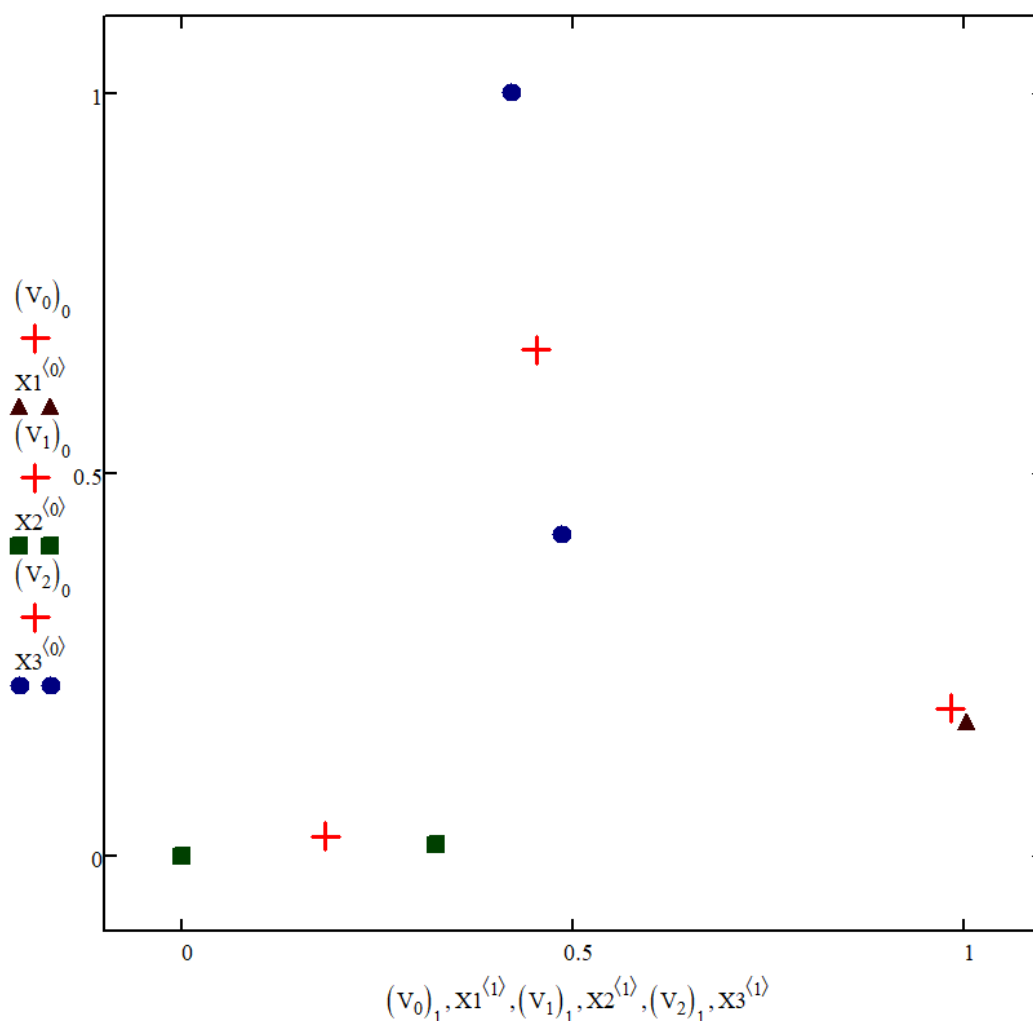


Рисунок 6.4 – Диаграмма кластеризации ТМ
Донецкого угольного бассейна

Расположение кластеров ТМ Донецкого угольного бассейна на карте приведено на рисунке 6.5.

Анализ данных для кластеризации показывает, что с ТМ первого кластера необходимо работать в первую очередь, т. к. отношение площадей зе-

мельных участков и площадей ТМ в этом кластере максимальное для исследуемых ТМ в Донецком бассейне, т. е. освоив ресурсы ТМ этого кластера можно обеспечить снижение или исключение загрязнения большей площади земель. Кластер 2 в очередности на освоение и сохранение ресурсов ТМ последний, т. к. при сравнительно небольшой площади земельных участков в зонах влияния площадь ТМ достаточно велика.

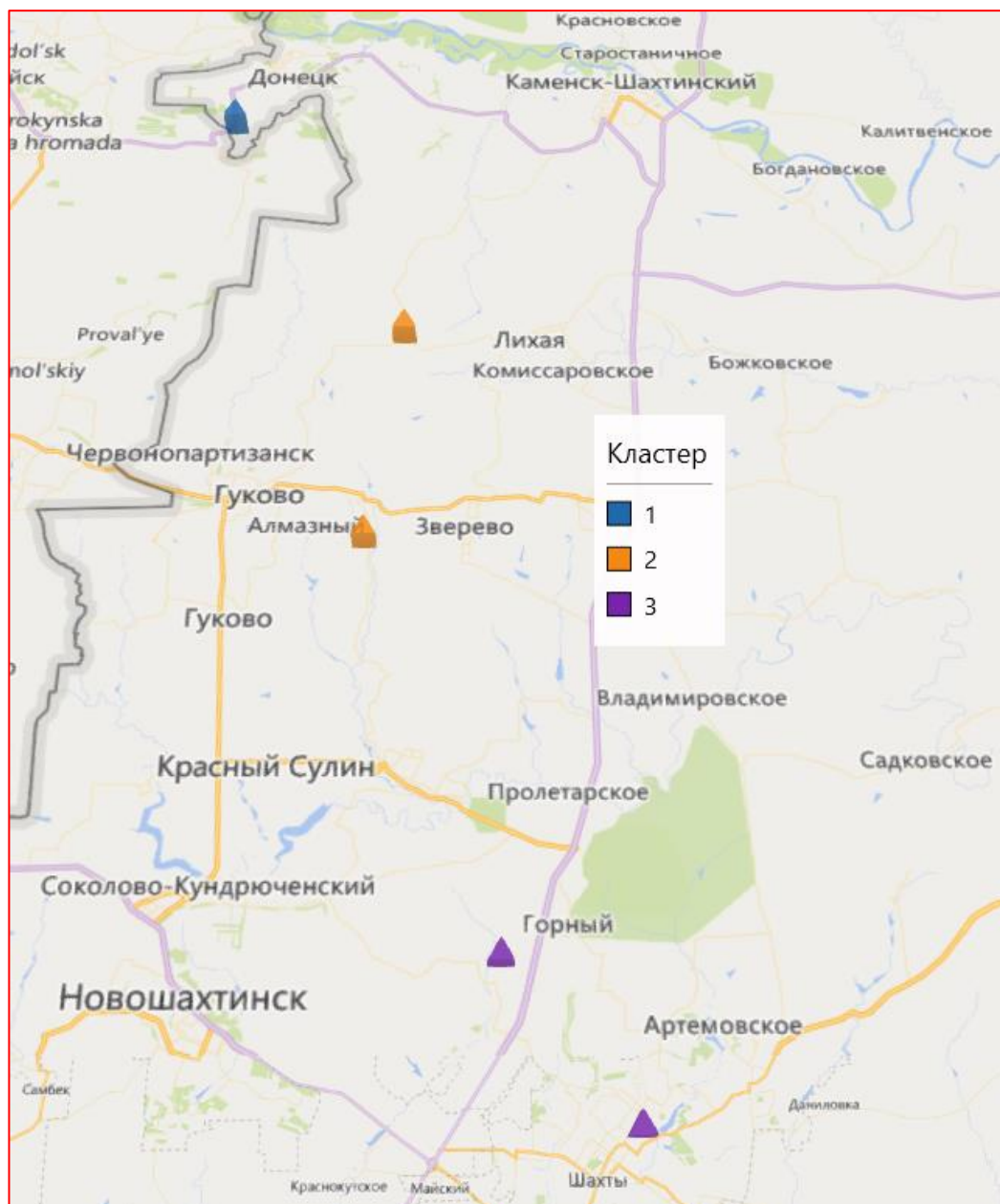


Рисунок 6.5 – Расположение кластеров ТМ Донецкого угольного бассейна

На рисунке 6.6 наглядно показано нечеткое разделение ТМ Подмосквового угольного бассейна на 3 класса в соответствии с заданными параметрами.

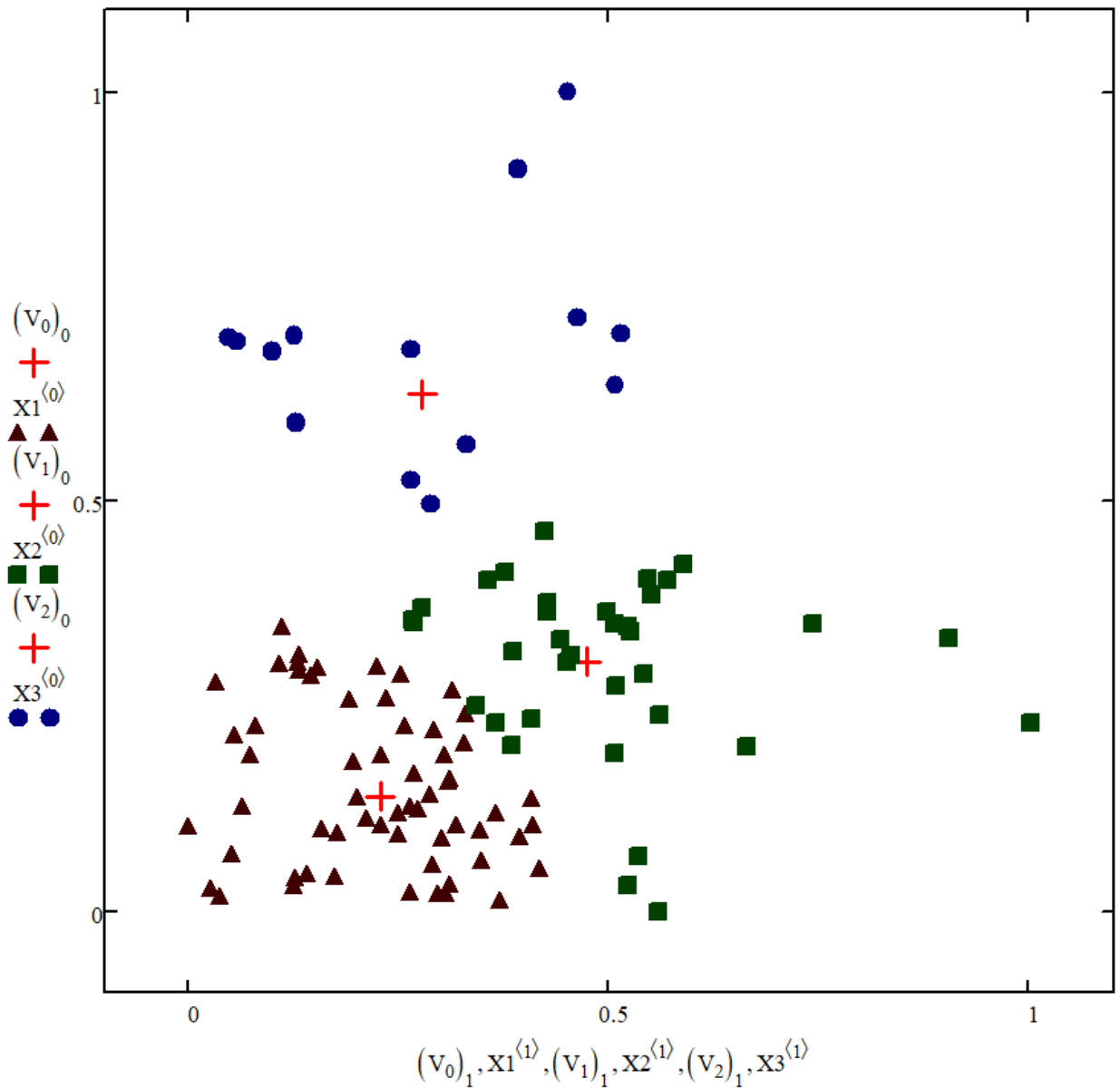


Рисунок 6.6 – Диаграмма кластеризации ТМ Подмоскonnого угольного бассейна

На рисунке 6.7 отображено расположение техногенных минеральных образований Подмоскonnого бассейна.

Анализ исходных данных показывает, что в 1-й кластер вошли ТМ с относительно небольшой площадью, при этом площадь земельных участков в зонах влияния ТМ тоже невелика (рисунок 6.8). Это вторая очередь проведения работ по освоению и сохранению ресурсов ТМ. В первый кластер вошли 60 ТМ.

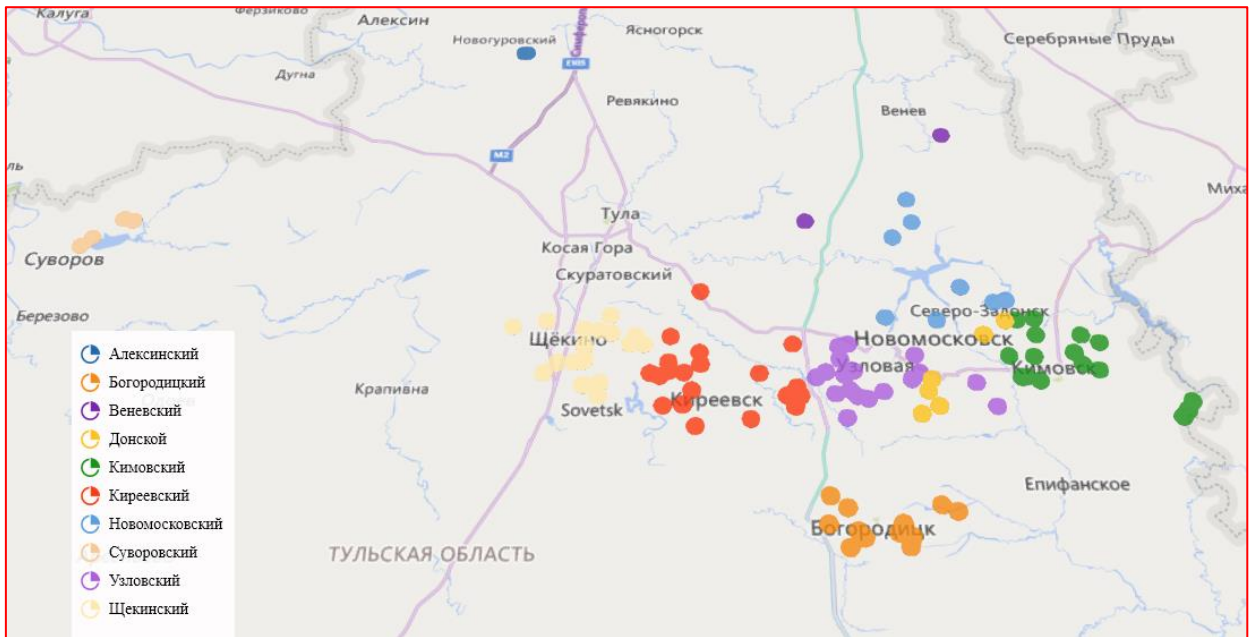


Рисунок 6.7 – ТМ Подмосковского угольного бассейна

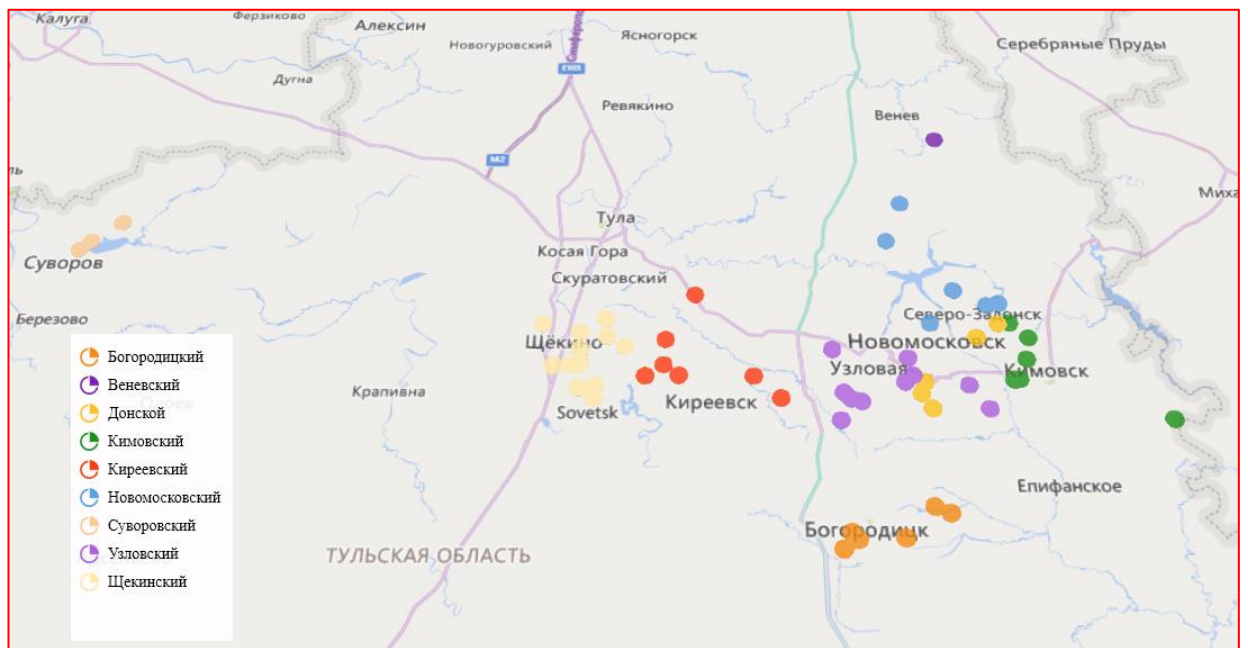


Рисунок 6.8 – ТМ Подмосковского угольного бассейна – кластер №1

Ресурсы ТМ 2-го кластера следует осваивать и сохранять в первую очередь из-за того, что в зонах влияния ТМ 2-го кластера (рисунок 6.9) находятся земли, относительно большие по площади, но для освоения и сохранения ресурсов ТМ потребуются затраты ниже средних, т. к. площади самих ТМ относительно небольшие. Во второй кластер вошли 35 ТМ.

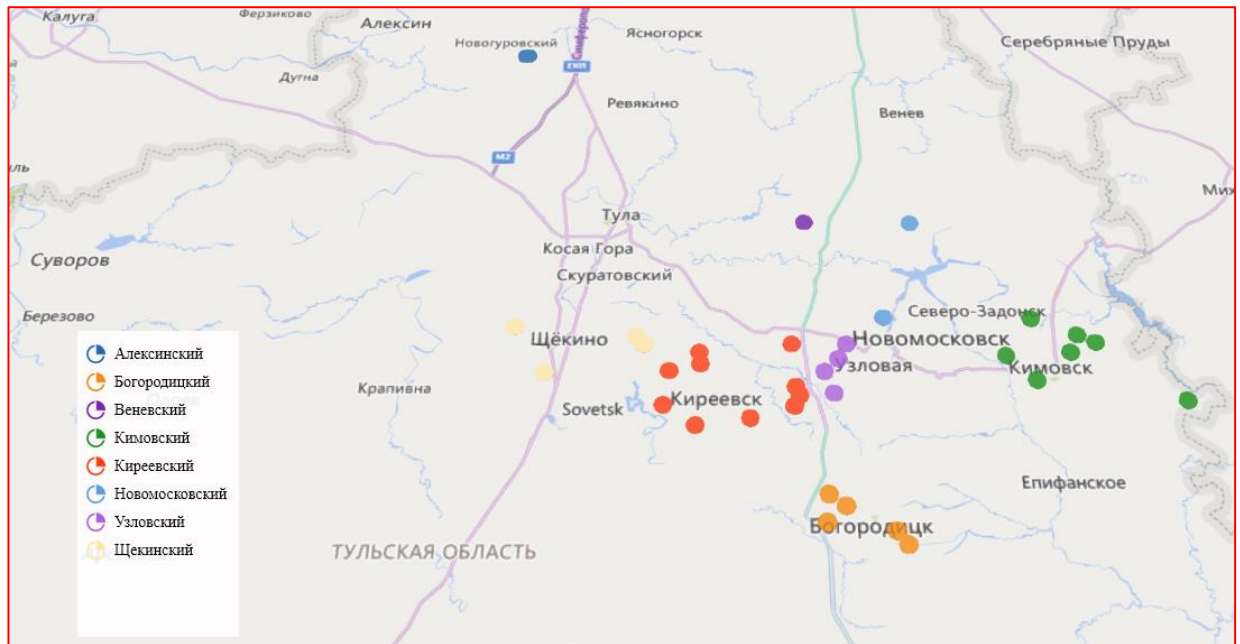


Рисунок 6.9 – ТМ Подмосковного угольного бассейна – кластер №2

Для освоения и сохранения ресурсов ТМ, объединенных в кластер 3 (рисунок 6.10), потребуется наибольшее количество затрат. При этом площади земельных участков (по существующим на сегодняшний день данным), подвергающиеся негативному влиянию ТМ, относительно невелики.

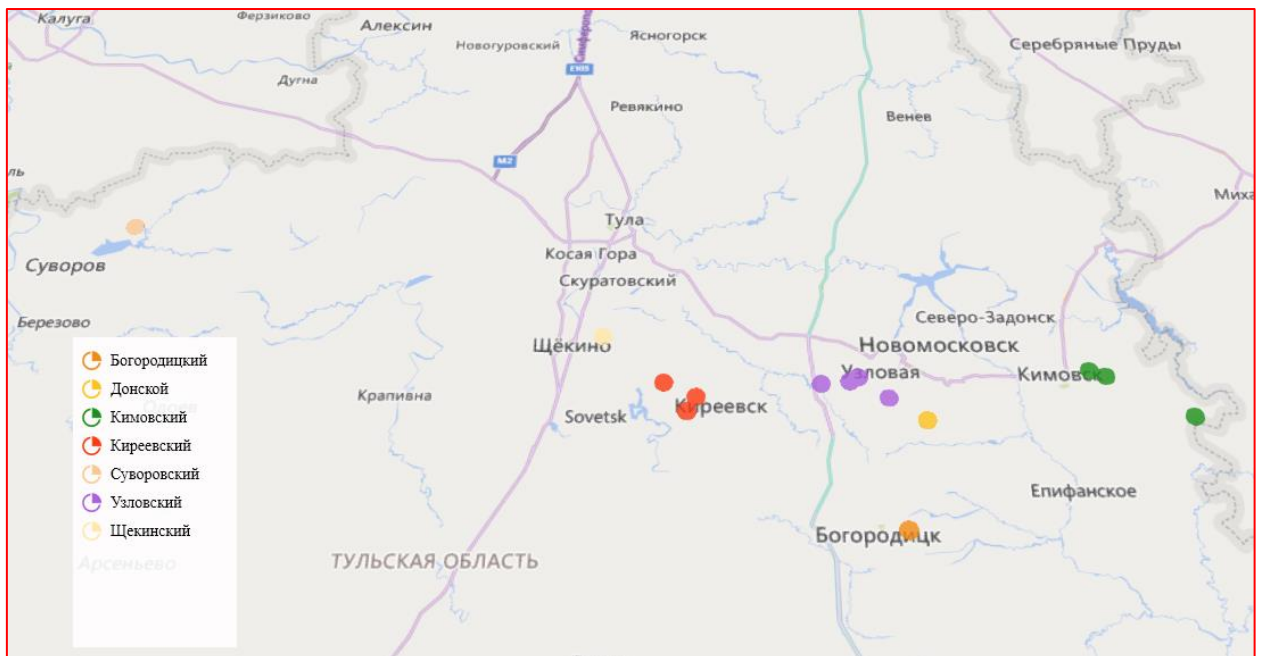


Рисунок 6.10 – ТМ Подмосковного угольного бассейна – кластер №3

Таким образом, ТМ 3-го кластера стоят последними в очередности на проведение работ, связанных с освоением и сохранением ресурсов. В третий кластер вошли 14 ТМ.

6.3 Оценка технологий обработки техногенных месторождений

Обработка (разборка) техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт, кроме извлечения полезных компонентов из пород, позволяет исключить их техногенное воздействие на окружающую среду. При выборе технологии обработки особое внимание необходимо уделять минимизации затрат и учитывать то, что в процессе разборки техногенного месторождения происходит увеличение техногенной нагрузки на окружающую среду.

Существующие технологии разборки техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт, реализуются в основном в два этапа (рисунок 6.11).

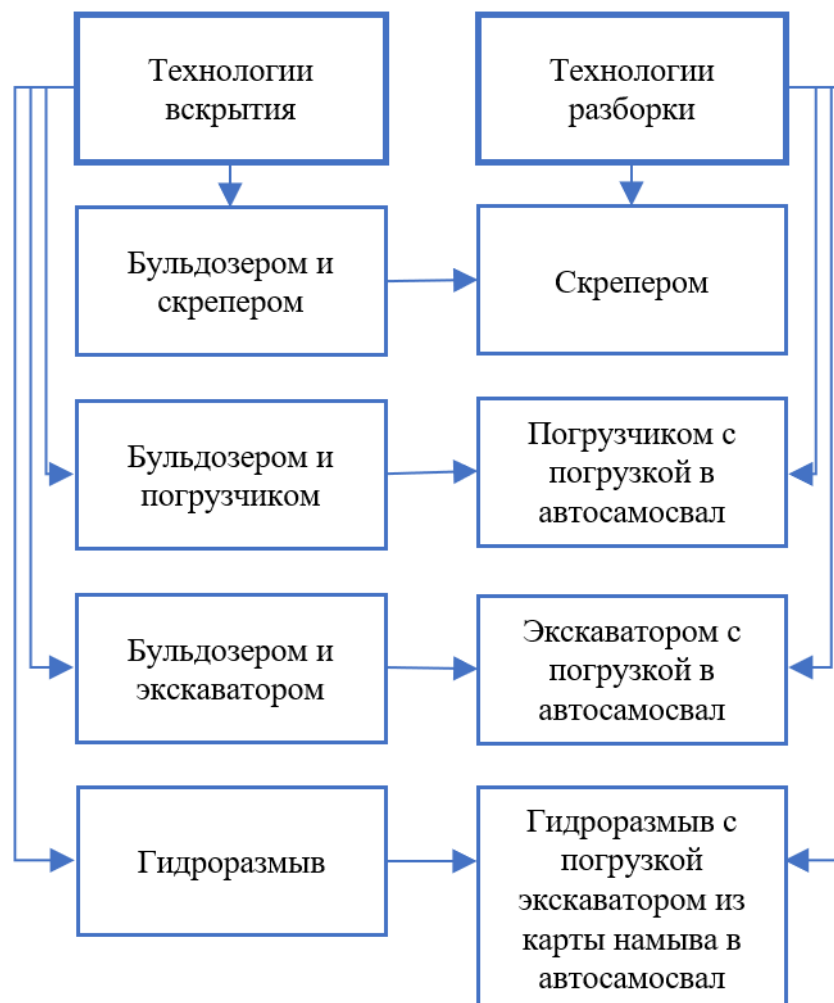


Рисунок 6.11 – Комбинации технологий для обработки техногенных месторождений, представленных конусными или хребтовыми отвалами

Из рисунка 6.11 видно, что для отработки конусных и хребтовых отвалов можно применять различные варианты комбинаций технологий вскрытия и разборки [158]:

1 Технология вскрытия и разборки техногенных месторождений с использованием бульдозера и скрепера (технология 1) заключается в следующем:

– бульдозером послойно сталкивается порода с вершины техногенного месторождения до образования площадки, размеры которой позволяют наполнить ковш скрепера за один проход (слои могут быть наклонными, угол наклона до 15°);

– далее бульдозер используется для вскрытия следующих горизонтов съездами (сверху вниз);

– скрепер обрабатывает горизонт движением с опущенным ножом параллельно кромке площадки, при этом бульдозер может использоваться в качестве толкача;

– извлеченная порода транспортируется скрепером до места назначения.

2 При технологии вскрытия и разборки техногенного месторождения бульдозером и экскаватором (технология 2) производятся следующие работы:

– бульдозером послойно сталкивается порода с вершины техногенного месторождения до образования площадки, размеры которой позволяют разместить экскаватор;

– далее бульдозер нарезает траншею через всю площадку до хвостовой части месторождения глубиной не более высоты черпания экскаватора и нарезает внешнюю полутраншею до основания месторождения (рисунки 6.12 – 6.14);

– по подготовленной полутраншее поднимается экскаватор и путем перэкскавации и сталкивания породы под откос готовит для себя и транспортных средств рабочую площадку;

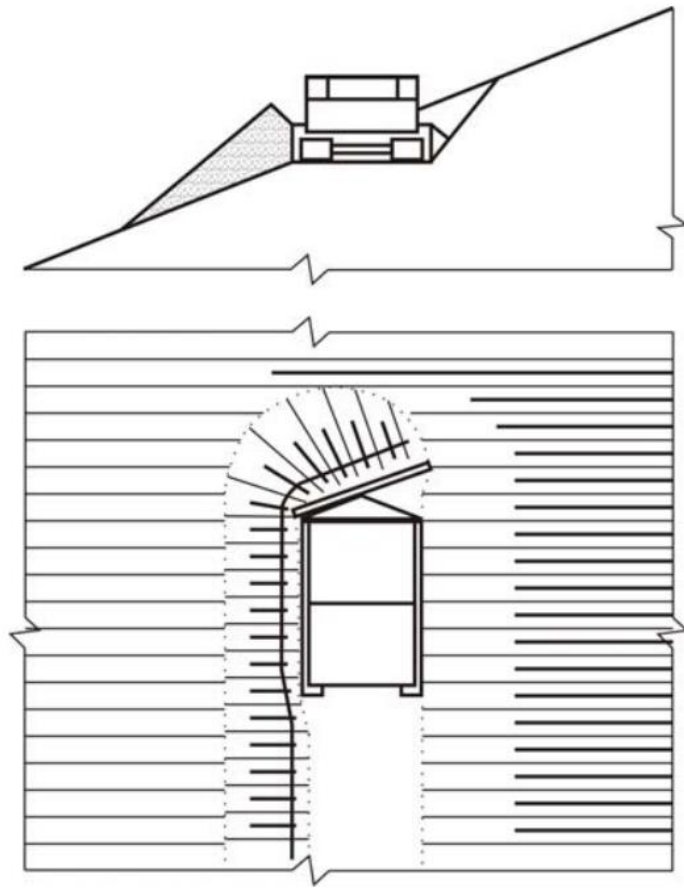


Рисунок 6.12 – Нарезка въездной полутраншеи

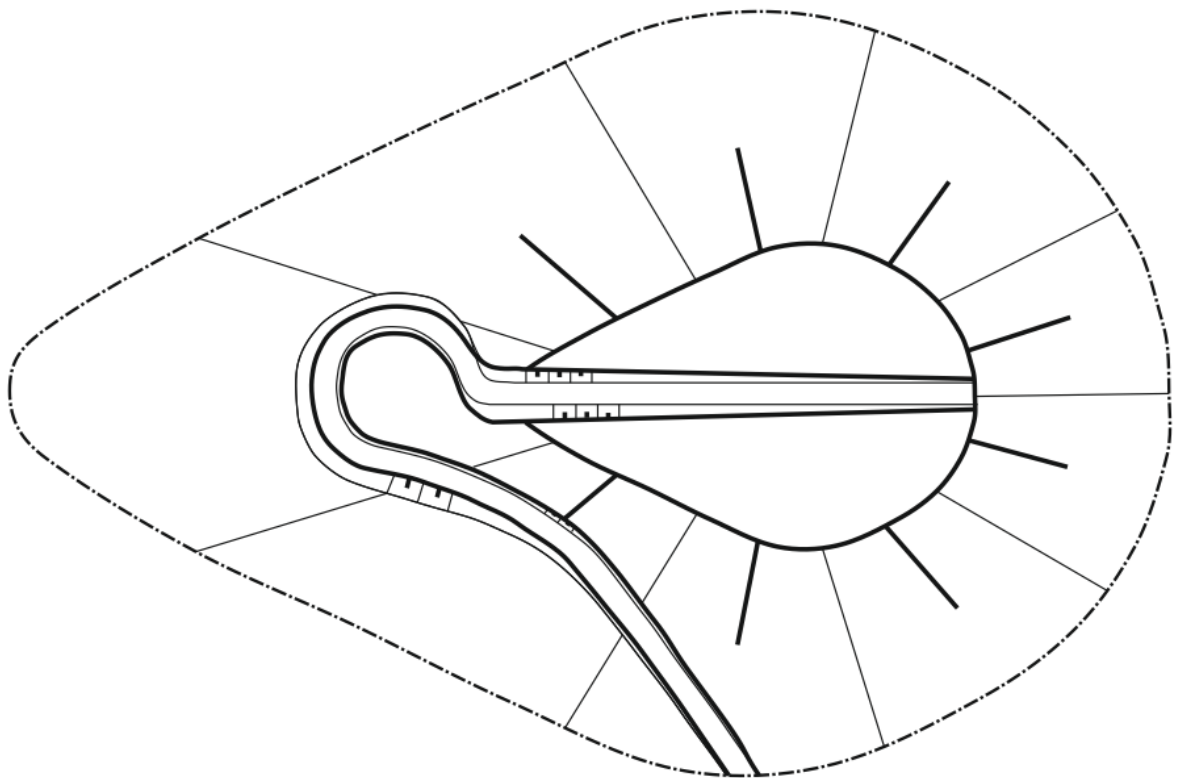


Рисунок 6.13 – Внешняя петлевая полутраншея

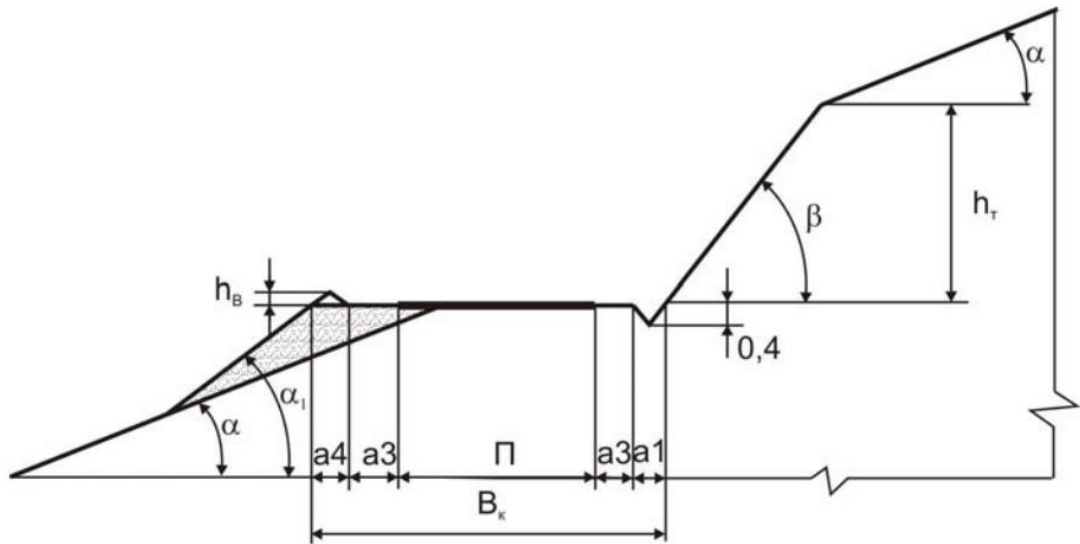


Рисунок 6.14 – Параметры въездной полутраншеи

– далее осуществляется выемка породы экскаватором с погрузкой в автосамосвалы для последующего транспортирования до места назначения (рисунок 6.15);

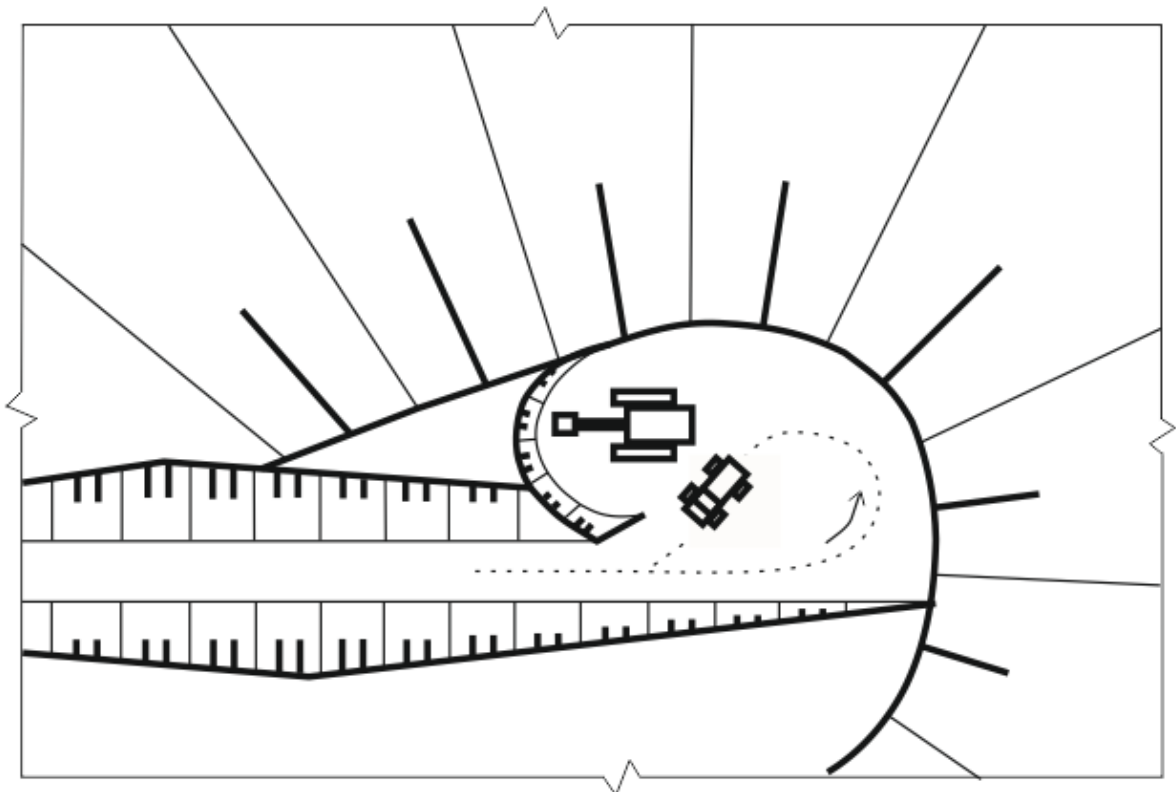


Рисунок 6.15 – Рабочая площадка верхнего яруса

– аналогично, с образования рабочей площадки, начинается разборка очередного яруса, погрузка и вывоз породы (рисунок 6.16).

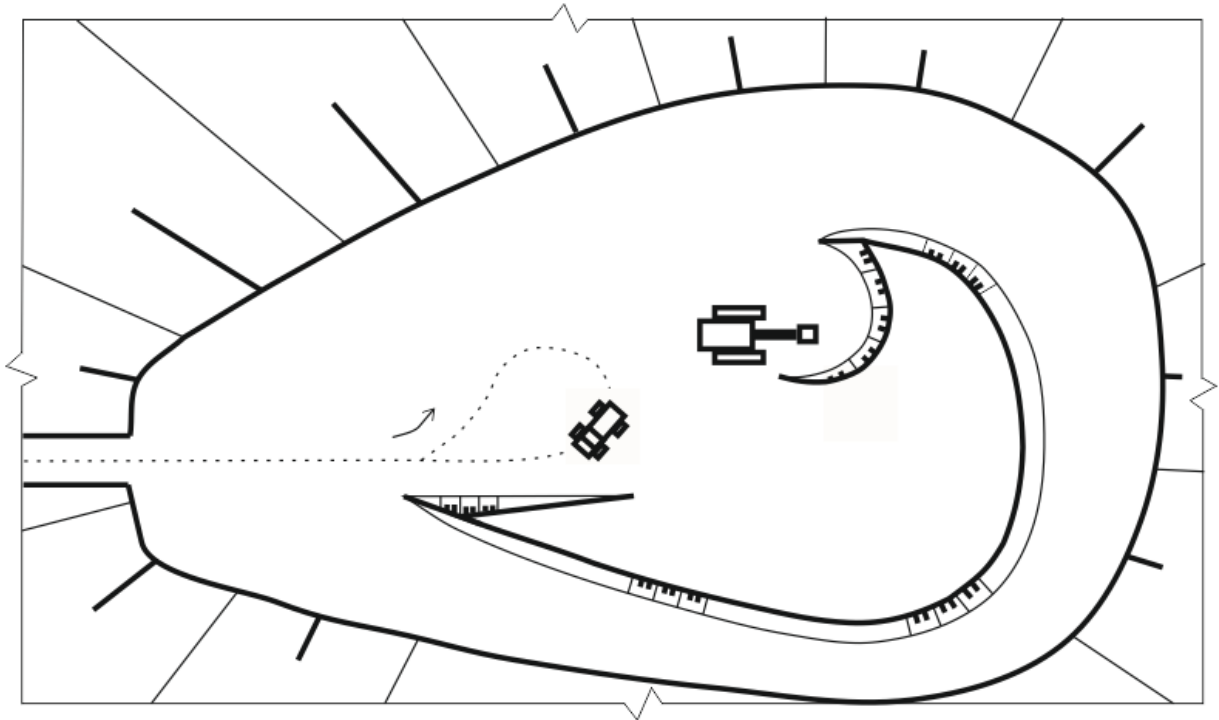


Рисунок 6.16 – Отработка следующего яруса

3 Технология вскрытия и разборки техногенного месторождения бульдозером и погрузчиком (технология 3) аналогична вышеописанной и отличается тем, что вместо экскаватора используется погрузчик. При этом уменьшается высота яруса отработки, что обусловлено высотой черпания погрузчика. Пионерная площадка в этом случае может быть меньше по площади из-за размеров и маневренности оборудования.

4 Технология отработки техногенного месторождения гидроразмывом (технология 4) заключается в следующем:

- от источника водоснабжения до техногенного месторождения и далее по его хвостовой части прокладывают водоподводящий став, не доводя до отметки ниже 8-10 м до вершины, и организуют забой гидромонитора;

- размыв вершины ведется с боковых сторон по очереди полосами шириной 2 м;

- для размыва следующего яруса забой гидромонитора организуется ниже на высоту яруса (не более 15 м), разработка породы ведется также полосами по 2 м;

– с обратной стороны месторождения возводится ограждающая дамба обвалования и формируется карта намыва;

– после осушения карты намыва производится погрузка породы экскаватором в автосамосвалы для дальнейшей транспортировки.

5 Технология обработки техногенного месторождения бурошнековым способом (технология 5) подробно описана в п. 5.3.

В исследовании использовалась методика экспертной оценки, приведенная в работе [37]. Эксперты провели интуитивно-логистический анализ проблемы с количественной оценкой мнений. Произведена обработка информации для получения обобщённого мнения.

Реализация основных этапов методики экспертной оценки технологий обработки техногенных месторождений (рисунок 6.17):



Рисунок 6.17 – Этапы экспертной оценки технологий

Определение компетентности каждого эксперта

Оценка технологий отработки техногенных месторождений производилась с привлечением группы экспертов, состоящей из 7 ученых, имеющих степень по научной специальности «Геотехнология, горные машины». Общим решением экспертов было принято не проводить определение компетентности каждого из них и считать их компетентность равной.

Формирование перечня критериев для оценки технологий отработки техногенных месторождений

Формирование перечня критериев проводилось в два тура. В общий перечень критериев вошли:

- безопасность для окружающей среды (критерий 1);
- безопасность производственная (критерий 2);
- необходимость вскрытия месторождения (критерий 3);
- непрерывность (критерий 4);
- возможность селективной выемки (критерий 5).

По каждому критерию было подготовлено краткое описание для одинаковой трактовки их значимости.

Первыми критериями являются «Безопасность для окружающей среды» и «Безопасность производственная», что, кроме увеличения техногенной нагрузки на окружающую среду в процессе отработки техногенного месторождения, обусловлено еще и опасностью расположения на отвале техники и работников – печальная статистика говорит о многих случаях безвозвратных потерь горных машин и людей из-за скрытых полостей в породных отвалах.

«Безопасность для окружающей среды» – при отработке техногенных месторождений необходимо не допускать увеличения техногенной нагрузки на окружающую среду в процессе отработки техногенного месторождения: исключать излишнюю переэкскавацию породы, чтобы предотвратить пыление, и сокращать площадь новых породных обнажений, усугубляющих последствия водной и воздушной эрозии.

«Безопасность производственная» – с точки зрения безопасности для работников и техники необходимо отдавать предпочтение технологиям, позволяющим отрабатывать техногенные месторождения без использования техники на поверхности отвала и без присутствия там людей.

Еще один критерий, «Непрерывность», подразумевает приоритетность в выборе для отработки техногенных месторождений поточных технологий, основанных на использовании техники непрерывного действия. Использование таких технологий позволит повысить экономическую эффективность отработки техногенных месторождений за счет повышения производительности основных процессов вследствие увеличения коэффициента использования выемочного и транспортного оборудования.

Отработка техногенных месторождений, представленных конусными или хребтовыми отвалами, имеет много общего с разработкой нагорных месторождений. В настоящее время технологии отработки техногенных месторождений, сформированных в результате работы угольных шахт, предусматривают вскрытие полутраншеями внешнего заложения чаще всего петлевой или спиральной формы и создание пионерной (рабочей) площадки в верхней части месторождения. Проведение вскрывающих выработок и формирование рабочей площадки — это весьма большие затраты. Тем более, что в отдельных случаях для вскрытия и для отработки таких месторождений используются различные технологии и оборудование. Технология, способная отрабатывать техногенные месторождения без проведения вскрывающих выработок, позволит существенно сэкономить средства на начальном этапе освоения данных месторождений.

Породы, поступающие в ТМО в процессе работы шахты при проведении вскрывных, подготовительных и очистных выработок отличаются по гранулометрическому, минералогическому и химическому составу. Для существенного сокращения расходов при проведении окончательной сепарации пород

техногенных месторождений на составляющие необходимо использовать технологии разборки, позволяющие осуществлять селективную выемку пород из массива техногенных месторождений.

Определение весомости критериев для оценки технологий отработки техногенных месторождений

Для определения обобщенной экспертной оценки весомости критериев сначала рассчитывается средняя оценка [37]:

$$\bar{Q}_i = \frac{q_j^{\max} + q_j^{\min}}{2}, \quad (6.4)$$

где q_j^{\max} – максимальное значение из экспертных оценок веса i -го критерия ($j = \overline{1, N}$, где N – количество экспертов; $i = \overline{1, M}$, где M – количество критериев);

q_j^{\min} – минимальное значение из экспертных оценок веса i -го критерия.

Далее рассчитывается отклонение экспертных оценок от средней d_j и формируются множества: P – множество экспертных оценок, образовавших положительные отклонения от средней оценки; G – множество экспертных оценок, образовавших отрицательные отклонения от средней оценки (p – количество элементов множества P , g – количество элементов множества G).

$$d_j = q_j - \bar{Q}_i, \quad (6.5)$$

если $d_j > 0$, то $j \in P$; если $d_j < 0$, то $j \in G$.

После этого вычисляются суммы отрицательных и положительных S^+ отклонений [37]:

$$S^- = \sum_{j \in G} d_j, \quad S^+ = \sum_{j \in P} d_j. \quad (6.6)$$

Далее определяются значения индексов отклонений k_1 и k_2 :

$$\text{если } S^+ \geq |S^-|, \text{ то } k_1 = \frac{S^+}{|S^-|}, k_2 = 1; \text{ если } S^+ < |S^-|, \text{ то } k_1 = 1, k_2 = \frac{S^-}{|S^+|}. \quad (6.7)$$

Обобщенная экспертная оценка весомости критериев для оценки технологий отработки техногенных месторождений рассчитывается следующим образом [37]:

$$Q_i = \frac{k_1 \sum_{j \in P} q_j + k_2 \sum_{j \in G} q_j}{k_1 p + k_2 g}. \quad (6.8)$$

Нормированная экспертная оценка весомости критериев определяется по следующей формуле:

$$Q_i' = \frac{Q_i}{\sum_{i=1}^M Q_i}. \quad (6.9)$$

Результаты определения весомости критериев представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Результаты определение весомости критериев для оценки технологий отработки техногенных месторождений

Эксперт	Критерий				
	Безопасность для ОС	Безопасность производст.	Необходимость вскрытия месторождения	Непрерывность	Возможность селективной выемки
1	10	10	7	9	8
2	9	9	9	8	9
3	10	9	8	8	7
4	9	10	10	9	8
5	10	9	8	8	7
6	10	9	9	8	8
7	10	10	9	7	9
Q_i	9,86	9,36	8,64	8,60	8,00
Q_i'	0,22	0,21	0,19	0,19	0,18

Определение баллов качества по каждому критерию для каждой технологии

Определение баллов качества по каждому критерию для каждой технологии производилось на общем совещании всех членов экспертной группы.

По критерию «Безопасность» для работников и техники технологии вскрытия и разборки техногенных месторождений с использованием бульдозера и скрепера, бульдозера и экскаватора, бульдозера и погрузчика вызывают серьезные опасения из-за использования тяжелой техники, управляемой людьми, так как геомеханическую ситуацию усложняет вероятность наличия в теле месторождения скрытых полостей. Гидроразмыв с этой точки зрения тоже недостаточно безопасен, так как при организации забоя гидромонитора предусматривается его размещение на отвале.

При применении технологий вскрытия и разборки техногенных месторождений с использованием бульдозера и скрепера, бульдозера и экскаватора, бульдозера и погрузчика производится много переэкскавации породы, а также возникают большие площади новых породных обнажений, что увеличивает негативное воздействие на окружающую среду из-за воздушной эрозии. Гидроразмыв предотвращает пыление, но увеличивает негативное воздействие водной эрозии за счет наличия воды и создания дополнительных площадей воздействия в виде карт намыва.

По критерию «Непрерывность» в технологических схемах отработки техногенных месторождений с применением скреперов, экскаваторов и погрузчиков транспортирование пород осуществляется автосамосвалами. Данные технологии являются циклическими, и даже при самом эффективном подборе комплексной механизации и параметров выемки и транспортирования коэффициент использования выемочного и транспортного оборудования будет сравнительно низким. Что касается вышеописанной технологии отработки месторождения с использованием гидроразмыва, то наличие в технологической цепи экскаватора для погрузки породы в автосамосвалы из карты намыва значительно понижает коэффициент использования оборудования.

При отработке техногенного месторождения скрепером производится формирование бульдозером достаточно большой пионерной площадки, при этом специальных вскрывающих выработок не проводится. При технологии разборки техногенных месторождений с применением экскаватора и погрузчика затраты на вскрытие возрастают из-за необходимости проведения вскрывающих выработок – внешних спиральных или петлевых полутраншей. Отработка техногенного месторождения гидроразмывом осуществляется без вскрытия месторождения.

Возможности селективной выемки породы с использованием технологической отработки месторождений скреперами, экскаваторами и погрузчиками весьма условны из-за неминуемых потерь в производительности данного оборудования при раздельном извлечении пород. При использовании технологии гидроразмыва возможность селективной выемки отсутствует.

Значение баллов качества были приняты следующие: 0 – «технология не соответствует данному критерию», 1 – «технология частично соответствует данному критерию», 2 – «технология полностью соответствует данному критерию». Результаты экспертной оценки рассмотренных технологий приведены в таблицах 6.4, 6.5 и на рисунке 6.18.

Таблица 6.4 – Оценка технологий отработки техногенных месторождений

Критерий	Технология					Вес критерия
	1	2	3	4	5	
	Балл качества					
1	0	0	0	0	1	0,22
2	0	0	0	1	2	0,21
3	1	0	0	2	2	0,19
4	0	0	0	1	1	0,19
5	1	1	1	0	2	0,18

Таблица 6.5 – Оценка технологий отработки техногенных месторождений с учетом веса каждого критерия

Критерий	Технология				
	1	2	3	4	5
	Балл качества				
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
2	0,00	0,00	0,00	0,21	0,21
3	0,19	0,00	0,00	0,39	0,39
4	0,00	0,00	0,00	0,19	0,19
5	0,18	0,18	0,18	0,00	0,36
Суммарная балльная оценка с учетом веса критерия	0,37	0,18	0,18	0,79	1,37

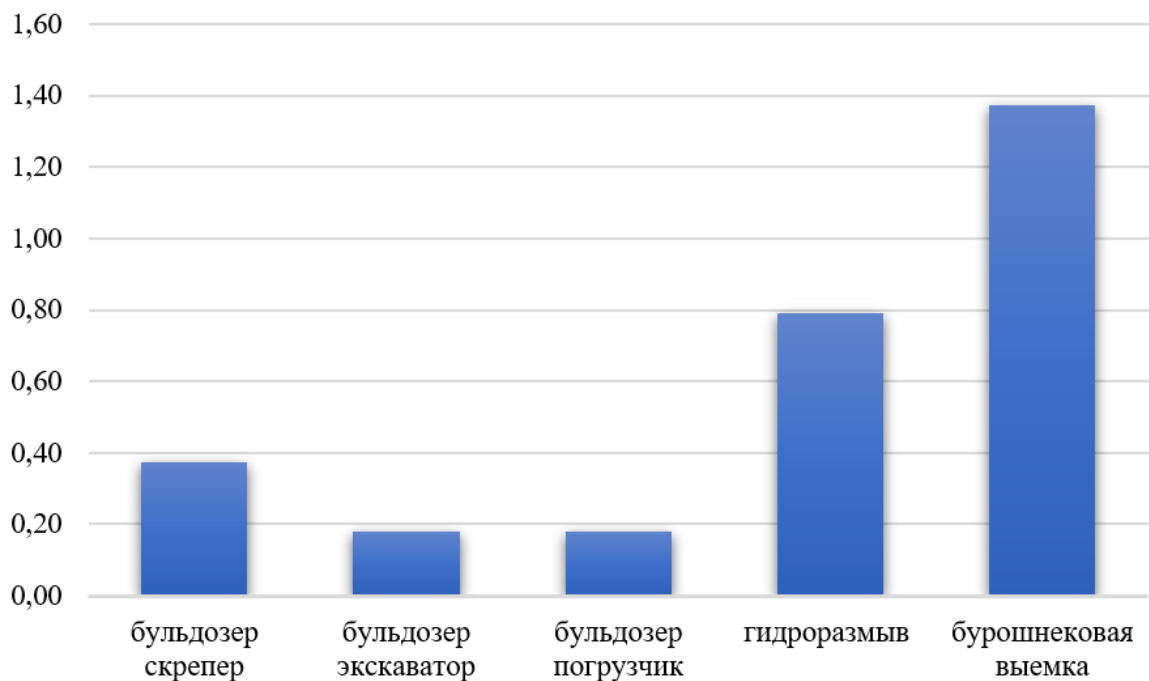


Рисунок 6.18 – Результат оценки технологий отработки техногенных месторождений

Таким образом, в результате экспертной оценки был сформирован перечень наиболее важных критериев для оценки технологий отработки техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт, определена значимость этих критериев и произведена сама оценка. Бурошнековая технология была признана наиболее эффективной для отработки техногенных месторождений на основе экспертной оценки, учитывающей важные критерии, такие как «Безопасность для окружающей среды», «Безопасность производственная», «Необходимость вскрытия месторождения», «Непрерывность» и «Возможность селективной выемки».

6.4 Оценка технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений

Как уже говорилось выше, консервация и изоляция позволяет не только снизить техногенное воздействие минеральных образований на окружающую среду, но и защитить породы потенциальных техногенных месторождений, содержащие полезные компоненты, от внешних воздействий.

Технологии консервации и изоляции насыпных потенциальных техногенных месторождений можно разделить на технологии закрепления пылящих поверхностей и противofильтрационные технологии [76, 77] (рисунок 6.19).

Для закрепления пылящих поверхностей (технология 1) используют физические, физико-химические и биологические технологии.

Физические технологии основаны на орошении пылящих поверхностей или покрытии их непылящими материалами.

Физико-химические технологии основаны на нанесении на пылящие поверхности растворов активных химических добавок, латексов, битумных эмульсий для закрепления нестабильных поверхностей.

Биологические технологии основаны на предотвращении процессов дефляции путем восстановления растительных сообществ и сообществ микроорганизмов, усиления фотосинтетической деятельности, роста биологической массы.

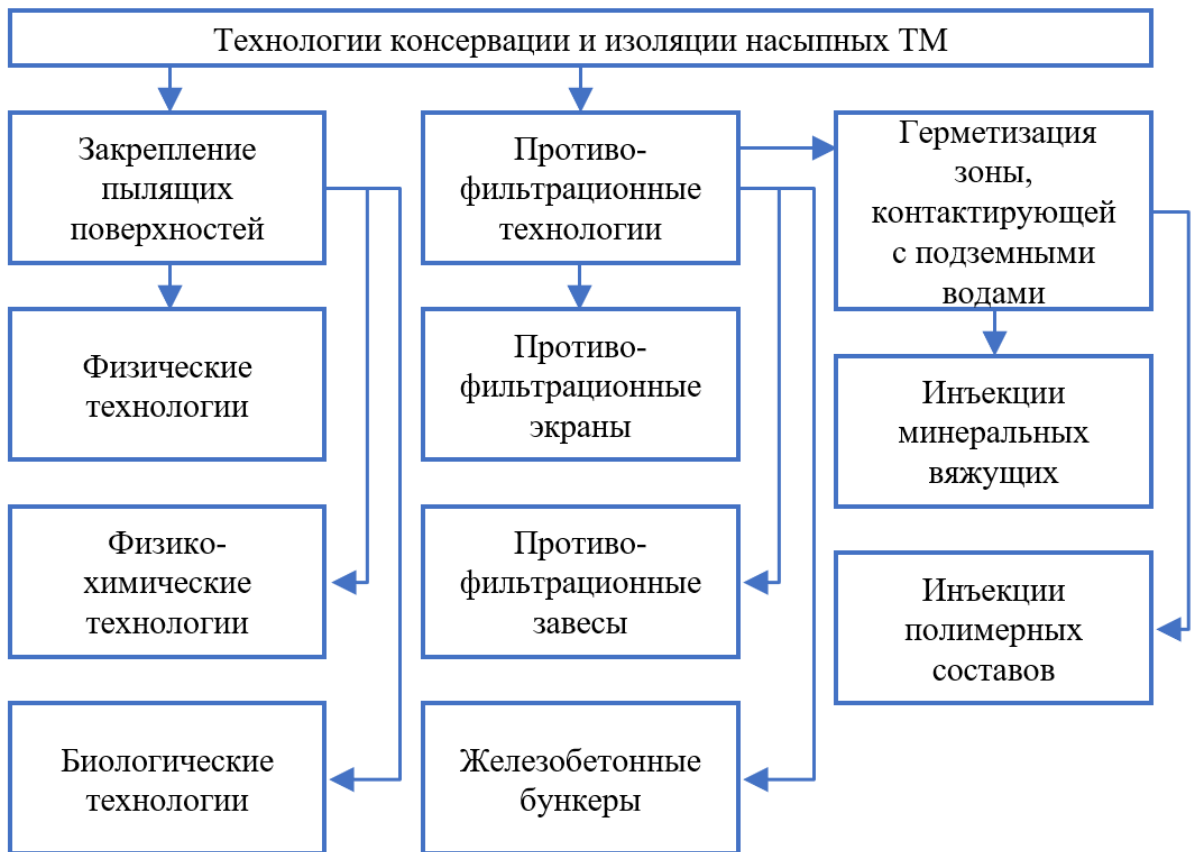


Рисунок 6.19 – Технологии консервации и изоляции насыпных техногенных месторождений

Противофильтрационные технологии можно разделить на противофильтрационные экраны (ПФЭ), противофильтрационные завесы (ПФЗ), железобетонные бункеры, технологии герметизации зоны, контактирующей с подземными водами.

Железобетонные бункеры (технология 2) используются для консервации и изоляции пород с большим содержанием компонентов высокого класса опасности. Возведение железобетонных бункеров является надежной противофильтрационной технологией, рассчитанной на долгий срок службы, но при этом сопряжено с большими материальными затратами. Использовать данную технологию на сформированном потенциальном техногенном месторождении нельзя.

Технологии герметизации зоны (технология 3), контактирующей с подземными водами, осуществляются за счет инъецирования и разделяются по используемым для инъекций материалам: инъекции минеральных вяжущих и

инъекции полимерных составов. Такие технологии сложны в реализации, но при должном подходе создают надежный барьер между породами минеральных образований и подземными водами, что позволяет сохранить породы и предотвратить загрязнение подземных вод.

Противофильтрационные экраны разделяются на ПФЭ из природных материалов, ПФЭ из искусственных материалов и комплексные ПФЭ (рисунок 6.20).

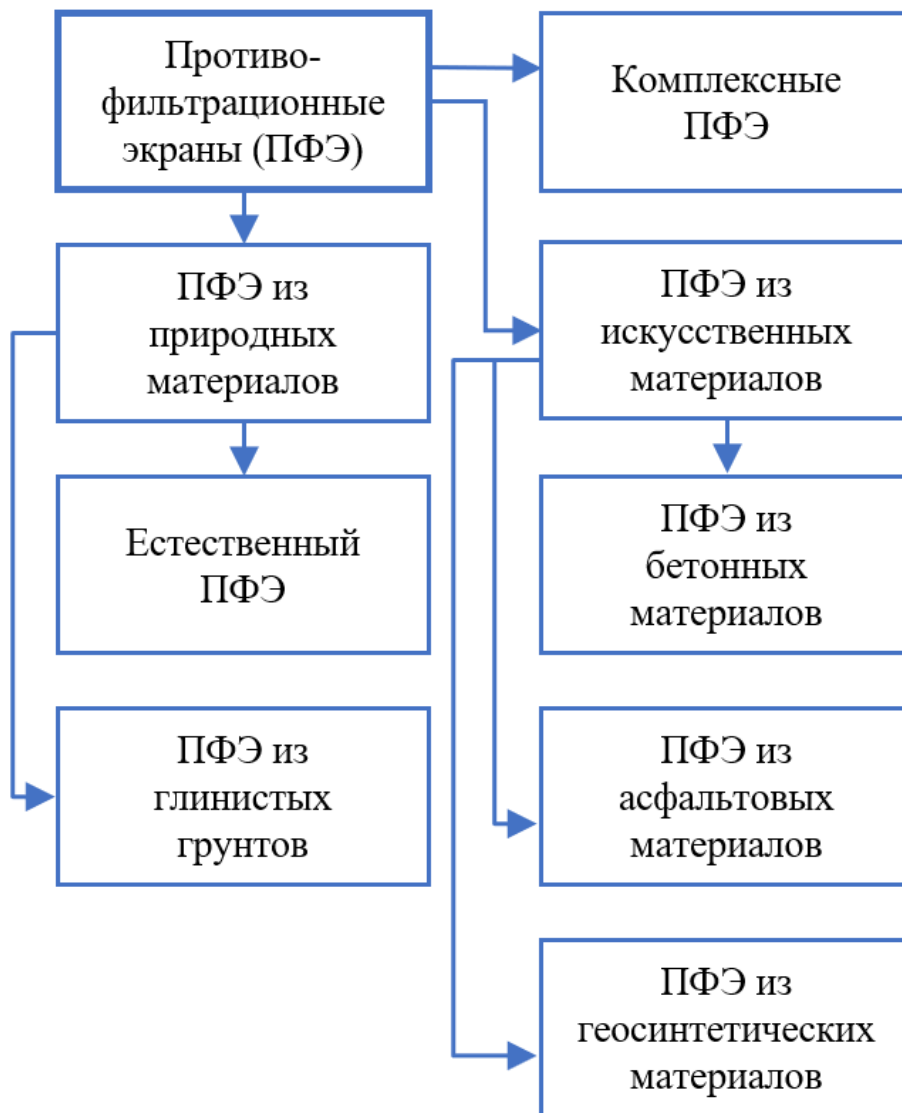


Рисунок 6.20 – Противофильтрационные экраны

Различают следующие *противофильтрационные экраны из природных материалов* – естественные и ПФЭ из глинистых грунтов. *Естественный*

ПФЭ (технология 4) – это когда в основании минерального образования залегают глинистые грунты с необходимым по нормам коэффициентом фильтрации.

Сооружение *ПФЭ из глинистых грунтов* (технология 5) производится их укладкой с послойным уплотнением укаткой или трамбованием. При сооружении *ПФЭ* из глинистых грунтов не требуются большие затраты, но необходимо наличие глинистых грунтов рядом с местом формирования минерального образования.

К основным недостаткам *ПФЭ* из глинистых грунтов относятся:

- образование трещин усыхания при низкой влажности;
- постепенное увеличение коэффициента фильтрации вследствие ухудшения коэффициента уплотнения от воздействия сезонных и суточных циклов замораживания – оттаивания;
- подверженность размыванию при высокой влажности;
- неустойчивость к неотектоническим движениям земной коры;
- химическая деградация под воздействием агрессивных фильтрационных вод;
- меньший объем складирования отходов, в сравнении с *ПФЭ* из искусственных материалов, в связи с большой толщиной *ПФЭ* (до 1 м и более).

Противофильтрационные экраны из искусственных материалов можно разделить на *ПФЭ* из бетонных материалов, *ПФЭ* из асфальтовых материалов и *ПФЭ* из геосинтетических материалов.

ПФЭ из бетонных материалов (технология 6) могут быть железобетонными, бетонопленочными и полимербетонными. Применение железобетонных *ПФЭ* монолитных и сборных ограничивается высокой водопроницаемостью и слабой трещиностойкостью, что ведет к увеличению их толщины.

Бетонопленочные и полимербетонные *ПФЭ* имеют ряд преимуществ – устойчивость к старению, низкий коэффициент фильтрации, химическую стойкость. Такие *ПФЭ* лучше ведут себя при неравномерных осадках.

ПФЭ из асфальтовых материалов (технология 7) разделяют на асфальтобетонные, асфальтополимербетонные.

Асфальтобетонные ПФЭ сооружаются из гидротехнического мелкозернистого асфальтобетона. Укладка обычно производится по слою грунта, пропитанного битумом, толщиной 4–6 см, после чего поверхность асфальтобетона покрывается слоем жидкого битума с последующей посыпкой слоем песка толщиной 0,5–1 см. На откосах при необходимости устраивается дополнительное крепление.

ПФЭ из асфальтополимербетонных материалов конструктивно схожи с асфальтобетонными ПФЭ. ПФЭ из асфальтополимербетонов выполняются на модифицированном вяжущем, состоящем из битума с добавлением каучука или других полимеров в количестве 10–20 % от массы битума. Это придает асфальтополимербетону повышенную морозостойкость и эластичность, снижает его водопроницаемость.

ПФЭ из асфальтовых материалов имеют следующие недостатки:

- нестойки к воздействию концентрированных кислот, особенно при температуре свыше 40 °С;
- в щелочной среде, особенно при волновом воздействии или воздействии турбулентного потока, возможно эмульгирование битума;
- в тонком слое нефтяные битумы быстро стареют, особенно при воздействии ультрафиолетовых лучей и повышенной температуры;
- хрупки на морозе.

Для сооружения *противофильтрационных экранов из геосинтетических материалов* (технология 8) используются полимерные геомембраны, бентонитовые маты, полимернобитумные геомембраны. Геосинтетические материалы, применяемые при строительстве ПФЭ, позволяют практически полностью исключить фильтрацию жидкостей. Эти материалы обладают высокими прочностными характеристиками, устойчивы к гниению и воздействию любых химических веществ и микроорганизмов, характерных для грунтов, под-

земных и фильтрационных вод. Геосинтетические материалы легко монтируются и долговечны (100–150 лет), но стоимость таких материалов весьма высока.

Комплексные ПФЭ сооружают одновременно с использованием природных и искусственных материалов. В качестве природных материалов используются глинистые грунты, в качестве искусственных – геосинтетические материалы с использованием геомембраны на основе полиэтилена, геотекстильных бентонитовых матов и др.

Противофильтрационные завесы сооружаются в качестве альтернативы противофильтрационным экранам. Применяются на минеральных образованиях, размещаемых на малопроницаемых грунтах.

Главным преимуществом ПФЗ является возможность ее строительства на формирующемся или сформированном минеральном образовании. Устройство ПФЗ требует гораздо меньше затрат по сравнению с ПФЭ.

Для создания противофильтрационных завес используются разнообразные материалы: природные глины, составы на основе бетона, инъекционные составы на основе натриевого бентонита, металлические или полимерные шпунты.

В практике применяются следующие типы противофильтрационных завес: «стена в грунте», «зуб», буросекущие сваи, шпунтовые сваи, струйная цементация, инъектирование (рисунок 6.21).

Глиняная завеса в виде «зуба» (технология 9), выполняемого в открытой траншее, создается путем обустройства траншеи и заполнения ее глинистым материалом. Зуб из пластических материалов (глины, тяжелого суглинка, глинобетона) выполняют глубиной не более 3–3,5 м. Ширину зуба понизу задают с учетом применяемых механизмов для рытья траншеи. Откосы траншеи под зуб выполняют так, чтобы они были устойчивы в период производства работ. Заглубление зуба в водоупор принимают не менее 0,5 м.

ПФЗ в виде «зуба» применяется в любых грунтах при глубине фильтрующей толщи до водоупора не более 6 м.

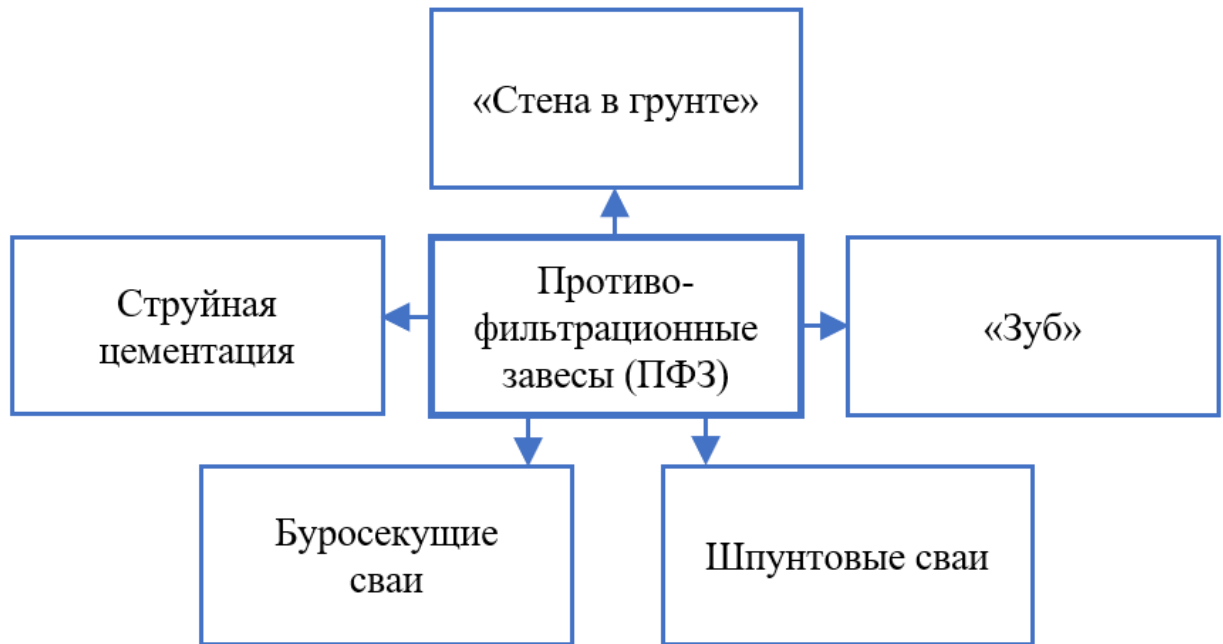


Рисунок 6.21 – Противофильтрационные завесы

Диафрагма, выполняемая методом «стена в грунте» (технология 10), создается путем обустройства траншеи и заполнения ее глинистым материалом. Глиняные диафрагмы типа «стена в грунте» толщиной 50 – 110 см устраиваются как в сухих, так и обводненных супесчаных, песчаных и гравийно-песчаных грунтах (без валунов) при глубинах до водоупора 6 – 50 м и уровне грунтовых вод не выше 1,5 м от поверхности земли.

Преимущества технологии «стена в грунте»: качественная геометрия экрана (постоянная толщина вне зависимости от типа грунтов); высокая надежность конструкции.

Для устройства *шпунтовой* «стенки» сваи (технология 11) скрепляют в шахматном порядке и погружают в грунт ударным, вибрационным или вдавливающим методами. При любом методе погружения требуется бурение скважин. Шпунты могут быть выполнены из поливинилхлорида или из стали.

Буросекущие сваи (технология 12) создаются посредством бурения скважин и заполнения их бетоном. По внешнему виду готовые буросекущие сваи похожи на монолитную сплошную стену. Таким образом, достигается высокая прочность и полное ограждение от проникновения подземных вод. Последовательность погружения буросекущих свай включает: бурение первой серии

скважин диаметром 62-75 см, центры которых расположены друг от друга на расстоянии 1,6-1,8 м; заливку бетоном без арматуры и уплотнение; бурение промежуточных скважин (для этого разбуриваются края готовых скважин); заливку бетоном и уплотнение вибратором.

Реализация ПФЗ с использованием *струйной цементации* (технология 13) основана на разрушении энергией высокоскоростной струи инъекционного раствора природной структуры грунта и перемешивании его с нагнетаемым под высоким давлением раствором. При этом в грунтовом массиве образуется грунто-бentonитовая свая.

Преимущества струйной цементации: небольшой объем изливаемой грунтовой массы (20-30 % объема столба); относительно низкая стоимость ввиду использования относительно недорогого оборудования; оперативные сроки выполнения работ.

ГСЦ-технология консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений (технология 14) подробно описана в п. 5.4.

Для оценки технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений была адаптирована методика экспертной оценки, приведенная в работе [37]. Эксперты провели интуитивно-логистический анализ проблемы с количественной оценкой мнений. Произведена обработка информации для получения обобщённого мнения.

Реализация основных этапов методики экспертной оценки технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений:

Определение компетентности каждого эксперта

Оценка технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений производилась с привлечением группы экспертов, состоящей из 7 ученых, имеющих степень по научной специальности «Геотехнология, горные машины». Общим решением экспертов было принято не проводить определение компетентности каждого из них и считать их компетентность равной.

Формирование перечня критериев для оценки технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений

Формирование перечня критериев проводилось в два тура. В общий перечень критериев вошли:

- срок службы (критерий 1);
- объем затрат (критерий 2);
- защита от водной эрозии (критерий 3);
- возможность применения на сформированных объектах (критерий 4);
- защита от воздушной эрозии (критерий 5);
- защита от фильтрации воды (критерий 6);
- защита от деформаций (критерий 7).

По каждому критерию было подготовлено краткое описание для одинаковой трактовки их значимости.

По критерию «Срок службы» необходимо рассматривать технологии, надежно работающие не менее 50 лет, так как велика вероятность, что за это время произойдет развитие технологии переработки полезных компонентов, содержащихся в ТМ, и(или) изменятся экономические условия, которые позволят в рамках современных технологий переработки затрачивать больше средств на извлечение полезных компонентов.

Критерий «Объем затрат» позволяет сравнить технологии по объему затрат на их осуществление и учитывает стоимость материалов, трудоемкость работ, использование дорогостоящей техники.

Очень важным критерием является возможность применения технологий на сформированных объектах, так как большинство потенциальных техногенных месторождений уже существуют и при их создании не планировалось проведение каких-либо мероприятий по их консервации и изоляции.

По критериям «Защита от водной эрозии», «Защита от воздушной эрозии», «Защита от фильтрации воды» необходимо рассматривать технологии,

позволяющие надежно защищать компоненты окружающей среды от воздействия фильтрации воды сквозь тело ТМ, ветровой и водной эрозии на ТМ и защищать породы ТМ от этих внешних воздействий.

По критерию «Защита от деформаций» необходимо учитывать, требуется ли при применении данной технологии производить дополнительные мероприятия, препятствующие возникновению деформаций в законсервированном потенциальном техногенном месторождении.

Определение весомости критериев для оценки технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений

Результаты определения весомости критериев представлены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Результаты определения весомости критериев для оценки технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений

Критерий	Эксперт							Q_i	Q_i'
	1	2	3	4	5	6	7		
Срок службы	9	10	9	8	10	10	9	9,80	0,18
Объем затрат	10	10	8	9	9	10	9	9,80	0,18
Защита от водной эрозии	8	7	8	8	7	7	8	7,64	0,15
Возможность применения на сформированных объектах	8	7	9	7	8	8	8	7,40	0,14
Защита от воздушной эрозии	7	6	7	7	7	8	7	7,00	0,13
Защита от фильтрации воды	6	6	8	7	7	7	6	6,20	0,11
Защита от деформаций	6	5	7	6	8	6	6	6,12	0,11

Определение баллов качества по каждому критерию для каждой технологии

Определение баллов качества по каждому критерию для каждой технологии производилось на общем совещании всех членов экспертной группы.

Значение баллов качества были приняты следующие: 0 – «технология не соответствует данному критерию», 1 – «технология частично соответствует данному критерию», 2 – «технология полностью соответствует данному критерию». Результаты экспертной оценки рассмотренных технологий приведены в таблицах 6.7, 6.8 и на рисунке 6.22.

Таблица 6.7 – Оценка технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений (баллы качества)

Технологии консервации и изоляции	Критерии						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	2	2	0	2	0	0
2	2	0	0	2	2	2	2
3	1	1	1	0	0	2	0
4	1	2	0	0	0	2	0
5	1	1	0	0	0	2	0
6	2	1	0	2	2	2	2
7	2	1	0	2	2	2	2
8	1	1	0	2	2	2	0
9	2	1	2	0	0	2	0
10	2	1	2	0	0	2	0
11	2	1	2	0	0	2	0
12	2	1	2	0	0	2	0

1	2	3	4	5	6	7	8
13	2	1	2	0	0	2	0
14	2	1	2	2	2	2	2
Вес критерия	0,18	0,18	0,14	0,14	0,13	0,11	0,11

Таблица 6.8 – Оценка технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений с учетом веса каждого критерия

Технологии консервации и изоляции	Критерии							Суммарная балльная оценка с учетом веса критерия
	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	0,36	0,28	0	0,26	0	0	0,9
2	0,36	0	0	0,28	0,26	0,22	0,22	1,34
3	0,18	0,18	0,14	0	0	0,22	0	0,72
4	0,18	0,36	0	0	0	0,22	0	0,76
5	0,18	0,18	0	0	0	0,22	0	0,58
6	0,36	0,18	0	0,28	0,26	0,22	0,22	1,52
7	0,36	0,18	0	0,28	0,26	0,22	0,22	1,52
8	0,18	0,18	0	0,28	0,26	0,22	0	1,12
9	0,36	0,18	0,28	0	0	0,22	0	1,04
10	0,36	0,18	0,28	0	0	0,22	0	1,04
11	0,36	0,18	0,28	0	0	0,22	0	1,04
12	0,36	0,18	0,28	0	0	0,22	0	1,04
13	0,36	0,18	0,28	0	0	0,22	0	1,04
14	0,36	0,18	0,28	0,28	0,26	0,22	0,22	1,8

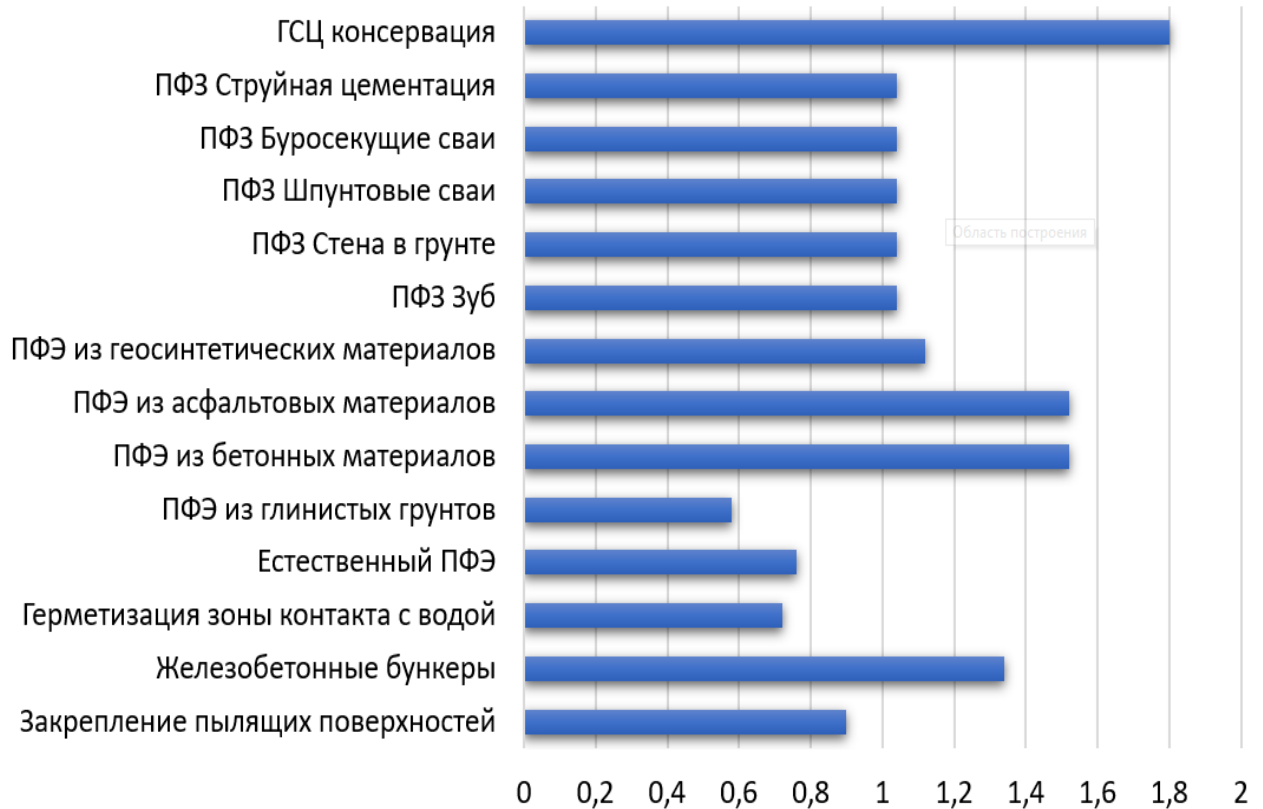


Рисунок 6.22 – Результат оценки технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений

Таким образом, в результате экспертной оценки был сформирован перечень наиболее важных критериев для оценки технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт, определена значимость этих критериев и произведена сама оценка. Наиболее эффективной технологией консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений на основе экспертной оценки, учитывающей важные критерии, такие как «Срок службы», «Объем затрат», «Возможность применения на сформированных объектах», «Защита от водной эрозии», «Защита от воздушной эрозии», «Защита от фильтрации воды» и «Защита от деформаций», была признана ГСЦ технология.

Выводы

1 В качестве параметров, определяющих очередность освоения и сохранения ресурсов техногенного месторождения, целесообразно использовать площадь, занимаемую этим ТМ, и сумму приведенных площадей земель различных категорий, находящихся в различных зонах влияния этого ТМ.

2 Приведенные площади земельных участков в зонах влияния ТМ определяются с учетом весовых коэффициентов этих зон и категорий земель.

3 Реализован алгоритм нечеткой кластеризации С-средних для ранжирования техногенных месторождений по очередности освоения и сохранения их ресурсов.

4 Получены диаграммы кластеризации ТМ Подмосковского, Кузнецкого и Донецкого угольных бассейнов.

5 Произведен анализ данных нечеткой кластеризации ТМ с определением очередности освоения и сохранения их ресурсов.

6 Технологические решения для успешного освоения и сохранения ресурсов техногенных месторождений необходимо выбирать на основе анализа их эффективности, безопасности и экономической целесообразности.

7 В процессе экспертной оценки был сформирован перечень наиболее значимых критериев для оценки технологий отработки техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт, и определена значимость каждого критерия.

8 Экспертная оценка показала, что наиболее эффективной для отработки техногенных месторождений является бурошнековая технология.

9 В процессе экспертной оценки был сформирован перечень наиболее значимых критериев для оценки технологий консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт.

10 Наиболее эффективной технологией консервации и изоляции потенциальных техногенных месторождений в результате экспертной оценки была признана ГСЦ технология.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных комплексных теоретических и экспериментальных исследований обоснованы технологические решения для освоения и консервации ресурсов техногенных месторождений угледобывающего региона на основе оценки их воздействия на окружающую среду, что имеет важное значение для угольной промышленности и повышение качества жизни людей в России.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1 Усовершенствованы математические модели для определения зон влияния деформаций техногенных месторождений, переноса пыли и газовых загрязнителей с поверхности техногенных месторождений в приземном слое атмосферы, миграции токсичных компонентов в почву, инфильтрации стоков с поверхности техногенных месторождений на прилегающие территории.

2 Разработаны методические положения и предложена структурно-функциональная схема комплексного мониторинга для оценки техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду и оценки способов снижения такого воздействия с использованием зон влияния источника загрязнения в зависимости от основных факторов влияния.

3 На основе результатов натурных наблюдений, лабораторных и вычислительных экспериментов определены количество и параметры зон влияния техногенных месторождений на окружающую среду в зависимости от основных факторов влияния.

4 Определены наилучшие доступные технологии для снижения или исключения негативного воздействия насыпных техногенных минеральных образований.

5 Определены основные параметры шнекобуровой отработки техногенных месторождений, для расчёта производительности бурошнековой выемки определен коэффициент, учитывающий размеры свода естественного обрушения над скважиной.

6 Установлены закономерности изменения напряженного состояния межскважинных целиков от их размеров, отличающиеся учетом сцепления и угла внутреннего трения пород и позволяющие обосновать параметры бурошнековой выемки с заданным диаметром скважин на различной глубине при освоении техногенных месторождений.

7 Предложена технология сохранения ресурсов потенциальных техногенных месторождений, основанная на гидроструйной цементации пород, позволяющая изолировать породы потенциальных техногенных месторождений от взаимодействия с агрессивными природными факторами.

8 Обоснован способ выбора направления рекультивации для сформированных прошлой экономической деятельностью техногенных минеральных образований и техногенных месторождений в зависимости от преобладающей категории земельных участков, расположенных в зоне их влияния.

9 Обосновано применение нечеткой кластеризации для ранжирования техногенных месторождений в масштабах угледобывающего региона, позволяющего определять очередность освоения и сохранения ресурсов данных объектов.

10 В процессе экспертной оценки сформирован перечень особенно значимых критериев для оценки технологий отработки техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт, и выявлена наиболее эффективная, безопасная и экономически целесообразная технология для применения в масштабах угледобывающего региона.

11 На основе сформированного перечня критериев методом экспертных оценок выявлена наиболее эффективная, безопасная и экономически целесообразная технология консервации потенциальных техногенных месторождений, представленных породными отвалами угольных шахт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гражданский кодекс Российской Федерации (часть первая) от 30.11.1994 № 51-ФЗ (ред. от 29.12.2022) (с изм. и доп. от 06.08.2021) [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».
- 2 Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 03.08.2018) [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «Консультант плюс».
- 3 Федеральный закон от 13.07.2015 № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».
- 4 Федеральный закон от 29.07.2017 № 280-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях устранения противоречий в сведениях государственных реестров и установления принадлежности земельного участка к определенной категории земель» [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».
- 5 Закон РФ «О недрах» от 21.02.1992 № 2395-1 [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».
- 6 Проект Федерального закона о внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах» и Федеральный закон «О приватизации государственного и муниципального имущества» в части определения правового режима недвижимого горного имущества. [Электронный ресурс]. URL: <http://tpp74.ru/storage/eview.182378-03.pdf>.
- 7 Постановление Правительства Российской Федерации от 02.01.2015 № 1 «Об утверждении положения о государственном земельном надзоре» [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».
- 8 Постановление Правительства РФ от 02.11.2013 № 986 «О классификации гидротехнических сооружений» [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».

9 Постановление Правительства РФ от 23.12.2014 № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования ИТС по наилучшим доступным технологиям» (в ред. постановлений Правительства РФ от 09.09.2015 № 954, от 28.12.2016 № 1508, от 09.03.2019 № 250, от 03.03.2021 № 307) [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».

10 Постановление Росстата от 06.08.2007 № 61 «Об утверждении статистического инструментария для организации Роснедвижимостью статистического наблюдения за земельными ресурсами» [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».

11 Приказ Минприроды России от 30.09.2011 № 792 «Об утверждении Порядка ведения государственного кадастра отходов» [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».

12 Приказ Минприроды РФ № 525, Роскомзема № 67 от 22.12.1995 «Об утверждении Основных положений о рекультивации земель, снятии, сохранении и рациональном использовании плодородного слоя почвы» [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».

13 Об утверждении Методических рекомендаций по проведению инвентаризации объектов накопленного экологического ущерба (утратил силу): приказ Росприроднадзора от 25.04.2012 № 193. [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».

14 ГОСТ Р 59328-2021 «Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования» [Электронный ресурс] // Справочная правовая система «КонсультантПлюс».

15 Приказ Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года № 246. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 29 апреля 2015 года № 10848 [Электронный ресурс]. URL: <http://rcgi.geology.gov.kz/images/rcgi/npa/246.pdf>.

16 Алексеев М.И., Кармазинов Ф.В., Курганов А.М. Гидравлический

расчет сетей водоотведения. СПб: СПбГАСУ, 1997. 128 с.

17 Алексеев М.И., Курганов А.М. Организация отведения поверхностного стока с урбанизированных территорий. М, 2000. 350 с.

18 Алехичев С.П., Пучков Л.А. О методике лабораторного определения аэродинамических характеристик смесей кусковатого материала // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1966. № 6. С. 51-59.

19 Алтынов А.Е., Снежко И.И. Точность моделирования объектов недвижимости в 3D кадастре // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2014. № 1. С. 44-48.

20 Арну М. Теоретические основы взаимодействия человека и геологической среды // Докл. 27-го Межд. геол. конгресса. Инж. геология. С. 17. Т.17. М.: Наука, 1984. С. 3-7.

21 Арсентьев А.И., Букин И.Ю., Мироненко В.А. Устойчивость бортов и осушение карьеров. М.: Недра, 1982. 165 с.

22 Архипов А.В., Решетняк С.П. Техногенные месторождения: Разработка и формирование. Апатиты : Кольский научный центр Российской академии наук, 2017. 175 с.

23 Аэродинамика породных отвалов угольных шахт / Н.М. Качурин, Г.В. Стась, А.Д. Левин, В.Л. Рыбак // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 1. С. 23-33.

24 Басова И.А., Ионина М.А., Глухова Е.Н. Геоэкологическое состояние почвенного покрова в горнопромышленных регионах // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2010. № 1. С. 16-20.

25 Баталин Б.С., Белозерова Т.А., Гайдай М.Ф. Строительная керамика из терриконигов Кизеловского угольного бассейна // Стекло и керамика. 2014. № 3. С. 8-10.

26 Безопасная эксплуатация породных отвалов / коллектив авторов. М.: ЦНИЭИуголь, 1968. 95 с.

27 Беляев В.Л., Романов В.М., Снежко И.И. Направления развития

кадастрово-регистрационных систем в свете лучших мировых практик: пример подземных объектов недвижимости // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2018. Т. 62. № 5. С. 536-544.

28 Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1985. 360 с.

29 Борисович В.Т., Чайников В.В. Геолого-экономическая оценка техногенных месторождений. Сер. Техника геологоразведочных работ. Т.15. М.: ВИНТИ, 1991. 138 с.

30 Бреднев В.А. Численная реализация геомеханической модели взаимодействия крепи горных выработок с массивом пород // Механика подземных сооружений. Тула: ТулПИ, 1986. С. 105-107.

31 Бримблкумб П. Состав и химия атмосферы. М.: "Мир", 1988. 351 с.

32 Бройд И.И. Струйная геотехнология. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. 448 с.

33 Вайсман Я.И., Гайдай М.Ф. Разработка технологии консервации террикоников в целях снижения их негативного воздействия на окружающую среду и сохранения ресурсного потенциала // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2016. Т. 15. № 19. С. 175–174.

34 Варвак П.М. Развитие и приложение метода сеток к расчету пластинок. Некоторые задачи прикладной теории упругости в конечных разностях. Часть 1. Киев: АН СССР, 1952. 136 с.

35 Варвак П.М. Развитие и приложение метода сеток к расчету пластинок. Некоторые задачи прикладной теории упругости в конечных разностях. Часть. 2. Киев: АН СССР, 1952. 115 с.

36 Варвак П.М., Варвак Л.П. Метод сеток в задачах расчета строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1977. 154 с.

37 Васильева Е.В., Деева Е.А. Методы экспертных оценок в при-

кладной информационной экономике для обоснования преимуществ информационных систем и технологий // Мир новой экономики. 2017. № 4. С. 14-22.

38 Величуевский Б.Т. Здоровье человека и окружающая среда. Учебное пособие. М.: 1997. 256 с.

39 Водоотводящие системы промышленных предприятий / [С.В. Яковлев и др.]. М.: Стройиздат, 1990: 511 с.

40 Водяницкий Ю.Н., Добровольский В.В. Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 1998. 216 с.

41 Временные отраслевые методические рекомендации по оценке техногенных ресурсов предприятий цветной металлургии. М.: ЦНИИцветмет экономики и информации, 1990. 81 с.

42 Гавриленко Ю.Н., Гавриленко Д.Ю., Карпова Е.А. Создание кадастра терриконов угольных шахт на основе ГИС и Интернет технологий // Разработка рудных месторождений. Кривой Рог, 2011. № 94. С. 128-134.

43 Гайдай М.Ф., Вайсман Я.И. Оценка негативного воздействия терриконов на экологическую ситуацию в угледобывающих районах и пути его снижения // Экологические системы и приборы. 2015. Вып. 12. С. 11-21.

44 Галченко Ю.П. Интегральная оценка экологической нагрузки на окружающую среду при техногенном изменении недр // Экологические системы и приборы. 2021. № 7. С. 40-47.

45 Галченко Ю.П., Калабин Г.В., Озарян Ю.А. Методика геоинформационного мониторинга природно-технических систем на основе данных дистанционного зондирования // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 1. С. 68-78.

46 Гвоздева Н.П. Угли Подмосковского бассейна и их классификация по физико-механическим свойствам. М.: Углетехиздат, 1948. 243 с.

47 Гелескул М.Н., Каретников В.Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок. М.: Недрa, 1982. 479 с.

48 Географическое прогнозирование и охрана природы. М.: Изд-во МГУ, 1990. 192 с.

49 Геологические тела: Терминологический справочник / Под ред. Ю.А. Косыгина, В.А. Кулындышева, В.А. Соловьева. М.: Недра, 1986. 334 с.

50 Герасимова Л.П. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды от негативного воздействия породных отвалов шахт Подмосквового угольного бассейна: дис. ... канд. техн. наук. Тула, 2009. 141 с.

51 Головин К.А. Обоснование параметров и создание оборудования для гидроструйной цементации неустойчивых пород в горном производстве: дис. ... д-ра техн. наук. Тула, 2007. 336 с.

52 Голубев И.Р.: Окружающая среда и транспорт. М.: Транспорт, 1987. 207 с.

53 Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году // Документы Минприроды России [Электронный ресурс]. URL: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady/gosudarstvennyu_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2021_/.

54 Грязев М.В., Качурин Н.М., Стась Г.В. Воздействие стоков с породных отвалов шахт угольного бассейна на почвы прилегающих территорий // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 1(35). С. 141-148.

55 Грязев М.В., Качурин Н.М., Стась Г.В. Пылегазовые выбросы с поверхности породных отвалов ликвидированных шахт угольного бассейна // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 4(38). С. 500-508.

56 Гулан Е.А. Типизация воздействий накопителей отходов рудообогащения на компоненты природной среды // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Инженерные исследования. 2006. № 1. С. 136-139.

57 Гуменик И.Л., Матвеев А.С., Панасенко А.И. Классификация техногенных формирований при открытых горных работах // Изв. вузов. Горный журнал. 1988. № 12. С.53-54.

- 58 Гуцин А.В. Теория и алгоритмы: нечеткие арифметика, кластеризация, синтез знаний и принятие решений в условиях лингвистической неопределенности : учеб. пособие для вузов. Самара: СамГУПС, 2012. 96 с.
- 59 Демин А.М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов. М.: Недра, 1973. 154 с.
- 60 Длугач М.И. Метод сеток в смешанной плоской задаче теории упругости. Киев: Наукова думка, 1964. 260 с.
- 61 Дмитраков А.В., Пристягин А.Н., Симанкин А.Ф. Загрязнение почвенного покрова как следствие аэрогенного воздействия // Тульский экологический бюллетень. 1999. Вып. №11. С. 65-69.
- 62 Долина Л. Ф. Сорбционные методы очистки производственных сточных вод: учеб. пособие. Днепропетровск: ДИИТ, 2000. 84 с.
- 63 Дороненко Е.П. Рекультивация земель, нарушенных открытыми горными разработками. М.: Недра, 1979. 263 с.
- 64 Жаворонкова И.П. Экономические вопросы улучшения использования минерально-сырьевых ресурсов СССР. М.: Наука, 1973. 765 с.
- 65 Замечания и предложения комиссии РСПП по горнопромышленному комплексу к проекту федерального закона «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах» и Федеральный закон «О приватизации государственного и муниципального имущества» в части определения правового режима недвижимого горного имущества» [Электронный ресурс]. URL: http://media.rspp.ru/document/1/1/5/151a0078e1ce58df7923c1c231d_81965.docx.
- 66 Зилинг Д.С. Оценка региональных изменений геологической среды платформенных территорий, вызываемых деятельностью горнодобывающих предприятий // Инженерная геология сегодня: теория, практика, проблемы / под ред. Е.М. Сергеева, В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 268-281.
- 67 Зорин А.П., Паламарь С.В. Участки недр: вопросы систематизации и учёта // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. 2009. № 4 (71).

С. 63-70.

68 Зубова Л.Г., Зубов А.Р., Зубов А.А. Терриконы и их лесная рекультивация: Посвящается 300-летию Донбасса и памяти наших учителей: д. т. н., проф. М. Ф. Смирного и д. с.-х. н., проф. И. Г. Зыкова. Волгоград: Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук, 2022. 372 с.

69 Иванов А.Н., Игнатьева М.Н. Типология воздействий - необходимый этап при оценке экономического ущерба // Экологическая и техносферная безопасность горнопромышленных регионов: сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-практич. конф. Екатеринбург, 09 апреля 2019 года. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2019. С. 300-305.

70 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 16-2016 "Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы" // Официальный сайт РОССТАНДАРТ [Электронный ресурс]. URL: <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1514720255949>.

71 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 17-2016 "Размещение отходов производства и потребления" // Официальный сайт РОССТАНДАРТ [Электронный ресурс]. URL: <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1514720302876>.

72 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 23-2017 «Добыча и обогащение руд цветных металлов» // Официальный сайт РОССТАНДАРТ [Электронный ресурс]. URL: <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1519208858907>.

73 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 25-2017 «Добыча и обогащение железных руд» // Официальный сайт РОССТАНДАРТ [Электронный ресурс]. URL: <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1519912170716>.

74 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 37-2017 «Добыча и обогащение угля» // Официальный сайт РОССТАНДАРТ [Электронный ресурс]. URL: <https://rst.gov.ru:8443/file->

service/file/load/1520858887341.

75 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 49-2017 «Добыча драгоценных металлов» // Официальный сайт РОССТАНДАРТ [Электронный ресурс]. URL: <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1520860530444>.

76 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 17-2021 "Размещение отходов производства и потребления" // Официальный сайт РОССТАНДАРТ [Электронный ресурс]. URL: <https://rst.gov.ru:8443/file-service/file/load/1640772659612>.

77 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 53-2022 "Ликвидация объектов накопленного вреда окружающей среде" // Официальный сайт РОССТАНДАРТ [Электронный ресурс]. URL: https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/NDT/sprav_NDT_2022.

78 Использование инструмента rosreestr2coord. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/rendrom/rosreestr2coord/blob/master/README.md>.

79 Кадастр ресурсов и перспективы комплексного использования отходов производства цветной металлургии Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1986. 90 с.

80 Казаков Л.К., Моторин Д.Н. Индикация и оценка экологических ситуаций в промышленных регионах // Экология и промышленность России. 1998. №4. С. 32-36.

81 Каретников В.Н. Исследование несущей способности и совершенствование конструкций шахтных крепей: дис. ... д-ра техн. наук. Тула, 1975. 481 с.

82 Каретников В.Н., Клейменов В.Б., Бреднев В.А. Автоматизированный расчет и конструирование металлических крепей подготовительных выработок. М.: Недра, 1984. 312 с.

83 Каталог образований (месторождений) техногенного характера.

[Электронный ресурс]. URL: <https://gisp.gov.ru/waste-treatment/industry/technogenic-deposits>.

84 Качурин Н.М., Левкин Н.Д., Комиссаров М.С. Геоэкологические последствия добычи угля в Подмосковном бассейне: монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. 286 с.

85 Качурин Н.М., Левкин Н.Д., Комиссаров М.С. Геоэкологические проблемы угледобывающих регионов: монография. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. 560 с.

86 Книгина Г.И. Строительные материалы из горелых пород. М.: Стройиздат, 1984. 44 с.

87 Комплексное освоение угольных и техногенных месторождений Подмосковного угольного бассейна / Д.Р. Каплунов, Н.М. Качурин, Г.В. Фридлиндер, М.П. Ганин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. № 4. С. 113-123.

88 Компьютерная система оценки параметров породных отвалов. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sworld.com.ua/konfer37/732.pdf>.

89 Коновалов В.Е. Технологические объекты горнопромышленного комплекса как объекты государственного учета // Изв. вузов. Горный журнал. 2012. № 4. С. 31-36.

90 Коняев В.П., Крючкова Л.А., Туманова Е.С. Техногенное минеральное сырье России и направление его использования // Информационный сборник. Вып.1. М: АО «Роснедра», 1994. 42 с.

91 Королев В.А. Мониторинг геологической среды: учебник / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1995. 272 с.

92 Косолапов О.В. Типизация воздействий, оказываемых на окружающую среду при разработке месторождений полезных ископаемых // Известия Уральского государственного горного университета. 2014. № 2(34). С. 54-60.

93 Котлов В.Ф., Юдина Р.Н. Концептуальное моделирование геологической среды на основе системных представлений // Инженерная геология.

1991. № 1. С. 132-143.

94 Красавин А.П. Защита окружающей среды в угольной промышленности. М.: Недра, 1991. 219 с.

95 Кяббис М.Э. Экономический механизм комплексного освоения недр. М.: Недра, 1984. 489 с.

96 Лавров С.Б. Теоретические вопросы социальной экологии и география// Географо-экологические аспекты экономического и социального планирования. Л.: ГО СССР. 1980. С. 3-11.

97 Ласкорин Б.Н., Барский Л.А., Персиц В.Э. Безотходная технология минерального сырья. Системный анализ. М.: Недра, 1984. 250 с.

98 Левкин Н.Д. Оценка геоэкологической ситуации и способы снижения деструкции окружающей среды в угледобывающих промышленных регионах: дис. ... д-ра техн. наук. Тула, 2011. 234 с.

99 Левкин Н.Д., Мухина Н.Е. Вынос поллютантов с породных отвалов угольных шахт // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2012. № 1. С. 14-19.

100 Леонов П.А., Сурначев Б.А. Породные отвалы угольных шахт. М.: Недра, 1970. 112 с.

101 Лепихин А.П., Гельфенбуйм И.В., Басов В.Н. Оптимизация системы контроля техногенного воздействия на водные объекты // Химия, технология, пром. экология, нерг. соединения. 1999. № 2. С. 114-124.

102 Макаров А.Б. Техногенные месторождения минерального сырья // Соросовский образовательный журнал. 2000. № 8. С. 76-80.

103 Макаров А.Б. Техногенно-минеральные месторождения Урала: автореф. дис. ... д-ра геол.-минералогич. наук. Екатеринбург, 2007. 41 с.

104 Маковецкий О.А. Расчет и конструирование искусственного основания "структурный геотехнический массив": дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 2021. 363 с.

105 Малышева Н.А., Томаков П.И., Дранников С.А. Разработка мало-мощных и сложных угольных пластов открытым способом. М.: Недра, 1975.

240 с.

106 Медведев В.Т., Юргенсон Т.С. Роль системы мониторинга в оценке виброакустического загрязнения окружающей среды электрическими машинами // Электротехника. 1997. № 8. С. 36-38.

107 Меркулов В.А. Охрана природы на угольных шахтах. М.: Недра, 1981. 184 с.

108 Методические положения комплексной оценки воздействия породных отвалов шахт на окружающую среду / Н.Д. Лёвкин, С.З. Калаева, В.Л. Рыбак, С.М. Богданов // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2016. № 1. С. 43-51.

109 Михайлов В.Г., Хорешок А.А. Совершенствование механизмов обеспечения геоэкологической безопасности в области обращения с отходами // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 3. С. 40-54.

110 Мосинец В.Н., Грязнов М.В. Горные работы и окружающая среда. М.: Недра, 1978. 192 с.

111 Новоселов С.В., Мельник В.В., Агафонов В.В. Год экологии в России и пути решения геоэкологических проблем в Кузбассе // Уголь. 2017. № 3(1092). С. 78-79.

112 Оптимизация терриконовых ландшафтов: монография / Л.Г. Зубова [и др.] Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2010. 208 с.

113 Опыт ГК «Геоскан». Создание высокоточной трехмерной модели Тульской области. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.geoprofi.ru/technology/opyht-gk-geoskan-sozdanie-vyhskotochnoj-trekhmernoj-modeli-tulskoj-oblasti>.

114 Осипов Г.Л. Защита зданий от шума. М.: Стройиздат, 1972. 216 с.

115 Способ выбора мест размещения углепородных отвалов: пат. № 2657302 С1 РФ. № 2017133143; заявл. 22.09.17; опубл. 13.06.18. Бюл. №17. 1 с.

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

117 Пашкевич М. А. Оценка воздействия техногенных массивов на природную среду в горно-промышленных регионах: дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2001. 356 с.

118 Педан М.П., Мищенко В.С., Яновский В.И. Система кадастров природных ресурсов строительства. Киев: Вища школа, 1986. 200 с.

119 Переяславцев Е.Л. Математическая модель для исследования взаимодействия крепи некругового очертания с упрочненным массивом пород // Механика подземных сооружений. Тула. 1982. С. 145-154.

120 Перспективы утилизации хвостов обогачения Садонских руд / В.И. Голик, Б.С. Цидаев, Н.М. Качурин, В.В. Вернигор // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т. 12. № 1(43). С. 128-136.

121 Перязева Е. Г., Плюснин А.М., Гунин В.И. Миграция тяжелых металлов в окружающей среде // Экология и промышленность России. 2001. № 10. С. 29-31.

122 Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Наука, 1977. 664 с.

123 Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса: монография. / Л.Г. Зубова [и др.]. Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. 144 с.

124 Поляков В.В., Ефимов В.И., Корчагина Т.В. Эколого-экономический анализ воздействия предприятий угольной отрасли на окружающую среду: монография. М.: Изд-во МГГУ, 2006. 172 с.

125 Породные отвалы ликвидированных шахт подмосковного бассейна как источник выбросов пыли в атмосферу / Н.М. Качурин, Н.Д. Левкин, С.З. Калаева, Я.В. Чистяков // Экология и промышленность России. 2016. Т. 20, № 5. С. 47-51.

126 Породные отвалы угольных шахт России / С. З. к. Калаева, С. М. Богданов, Н. О. Лукин, А. А. Огер // Известия Тульского государственного

университета. Науки о Земле. 2016. № 1. С. 3-23.

127 Принципы и методы геосистемного мониторинга / А.М. Грин [и др.] М.: Наука, 1989. 168 с.

128 Проблемы экологической безопасности освоения месторождений при подземной добыче угля / Н.М. Качурин, А.П. Соломатин, Л.Л. Рыбак, В.Л. Рыбак // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2012. № 2. С. 17-31.

129 Проект технологии захоронения породных отвалов / Е.Н. Шевченко, Н.Н. Киселев, В.Ф. Филатов, Н.А. Дуброва // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2014. № 14. С. 143-149.

130 Процессы тепломассообмена на породных отвалах шахт Кузбасса / Н.М. Качурин, С.А. Воробьев, Л.Л. Рыбак, Р.В. Сидоров // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. № 2. С. 48-56.

131 Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс]. URL: <https://pkk.rosreestr.ru/>.

132 Публичная кадастровая карта. Описание функций [Электронный ресурс]. URL: https://pkk.rosreestr.ru/help/pkk_help.pdf.

133 Распределение земель Российской Федерации по угольям в разрезе субъектов Российской Федерации на 01.01.2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rosreestr.ru>.

134 Рациональное природопользование в горной промышленности / под общ. ред. проф. В.А. Харченко. М.: изд-во МГГУ, 2000. 442 с.

135 Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.

136 Рыбак В.Л. Совершенствование методов прогноза переноса пыли, диффузии жидких и газообразных примесей в зонах действия породных отвалов угольных шахт: дис. ... канд. техн. наук. Тула, 2016. 172 с.

137 Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Экс В.В. Классификация техногенных георесурсов в свете перспектив комплексного освоения рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-

технический журнал). 2012. № 2. С. 318-324.

138 Савченков В.Е., Сычев А.И., Фридзон К.Я. Две стороны проблемы углеотвалов: экологическая опасность и перспективы полезного использования // Тульский экологический бюллетень. 2003. Выпуск 1. С. 63-68.

139 Сайт наблюдаемого и моделируемого климата «Meteoblue» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.meteoblue.com/ru/>.

140 Сайт оперативного мониторинга погоды и климата «Погода и климат». [Электронный ресурс] – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/>.

141 Саранчук В.И., Буравцова О.О., Галушко А.Г. Влияние отвалов породы угольных шахт на окружающую среду // Вестник АН УССР. 1979. №12. С.65-69.

142 Сарычев В.И., Рябов Г.Г., Сушков С.Л. Селективная отработка участков шахтных полей с ограниченными запасами в подмосковном угольном бассейне / Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2014. № 4. С. 109-122.

143 Сафронов В.П., Сафронов В.В. Бурошнековые установки и способ разработки месторождений строительных песков / Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2010. № 1. С. 201-202.

144 Секисов Г.В., Таскаев А.А., Секисов А.Г. Природно-техногенные минеральные объекты // Известия Академии наук Киргизской ССР. Серия: Физико-технические и математические науки. 1987. № 4. С. 49-56.

145 Сизов А.П., Карфидова Е.А. Образовательный вектор национального проекта "Экология". Объекты накопленного экологического ущерба // Сергеевские чтения: геоэкологические аспекты реализации национального проекта «Экология». Диалог поколений : Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Москва, 24 марта 2020 года. Том Выпуск 22. М.: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2020. С. 12-14.

146 Системный анализ параметров устойчивого развития угледобы-

вающего региона в свете нарастания экологических проблем (на примере Кемеровской области - Кузбасса) / А.А. Хорешок, Н.В. Кудреватых, О.Б. Шевелева, Е.В. Слесаренко // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13, № 4(50). С. 505-517.

147 Сладкопевцев С.А., Сизов А.П., Анциферов А.Ю. Методика мониторинга загрязнений в почвах в целях кадастровой оценки земель // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. Т. 63, № 2. С. 211-216.

148 Совет Федерации поддержал предложения производителей по использованию отходов недропользования [Электронный ресурс]. URL: https://tpprf.ru/ru/interaction/committee/komdrag/news/338593/?COMMITTEE_CODE=komdrag&ARTICLE_ID=338593&.

149 Соколов Э.М., Качурин Н.М., Мелехова Н.И. Рекультивация отвалов отработанных шахт подмосковного бассейна // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2010. № 1. С. 102-105.

150 Способ разработки хвостохранилищ: патент №2177548 С1 РФ. №2000109645/03; заявл. 17.04.00; опубл. 27.12.2001. Бюл. 36. 1с.

151 Справочник. Открытые горные работы / [К.Н. Трубецкой и др.] М.: Горное бюро, 1994. 590 с.

152 Сравнительный анализ современных методов мониторинга техногенных объектов / Ю.Н. Малышев [и др.] // Горная промышленность. 2017. № 6(136). С. 46-49.

153 Ступин А.Б., Аревадзе И.Ю. Оценка геодинамического состояния, прогнозирование и управление геоекологической безопасностью породных отвалов // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки». 2008. № 2. С.106-109.

154 Сурначев Б.А. Условия самовозгорания и горения конических породных отвалов в Прокопьевском районе Кузбасса // Изв. вузов. Горный журнал. 1959. № 6. С.28-33.

155 Таловская А.В., Жорняк Л.В., Язиков Е.Г. Минералогия техногенных образований: учебное пособие. М.: Издательство Юрайт, 2019. 159 с.

156 Терриконы / Л.Г. Зубова [и др.] Луганск: Изд-во «Ноулидж», 2015. 712 с.

157 Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду / Мормиль С.И. [и др.]; под ред. Ю.А. Боровкова. Екатеринбург: НИА–Природа, ДПР по Уральскому региону, АООТ «ВНИИЗАРУБЕЖГЕОЛОГИЯ», Геологическое предприятие «Девон», 2002. 206 с.

158 Технологические схемы рекультивации терриконов и плоских породных отвалов шахт и обогатительных фабрик / ВНИИОСуголь. Пермь: ВЦ Статуправления, 1981. 158 с.

159 Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов: учебное пособие / Л.И. Быков [и др.]. СПб.: Недра, 2006. 824 с.

160 Тимакова М.С., Шульгина О.В. Историко-географические особенности и современные проблемы развития Подмосковского угольного бассейна (на примере территории Тульской области) // Вестник МГПУ. Сер. Естественные науки. 2013. № 2 (12). С. 91–101.

161 Трахтенберг И.М., Колесников В.С., Духовенко В.П. Тяжёлые металлы во внешней среде: Современные гигиенические и токсические аспекты. Минск: Навука і техниш, 1994. 288 с.

162 Трехмерная визуализация неблагоприятных природных условий для корректировки кадастровой стоимости земель / Е.И. Аврунев, Н.В. Гатина, М.В. Козина, В.К. Попов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 1. С. 181-190.

163 Трофимов В.Т., Королев В.А., Герасимова А.С. Классификация техногенных воздействий на геологическую среду // Геоэкология. 1995. № 5. С. 96-107.

164 Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Никитин М.Б. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия // Горный журнал. 1989. № 12. С. 6-9.

165 Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Экологические аспекты технологической парадигмы минерально-сырьевого комплекса при устойчивом развитии природы и общества // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 1. С. 18-38.

166 Трушкова Е.А. Минимизация антропогенного воздействия поверхностного стока с терриконов на бассейн водосбора: дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2003. 210 с.

167 Управление отходами в современной России / А.В. Шевчук [и др.]. М.: Совет по изучению производительных сил Всероссийской академии внешней торговли, 2021. 560 с.

168 Усманова Т.В., Рихванов Л.П. Условия образования скоплений ценных компонентов как классификационный признак техногенных месторождений // Фундаментальные исследования. 2013. № 8-3. С. 745-749.

169 Усманова Т.В. Техногенные минеральные ресурсы юга Центральной Сибири: дис. ... канд. геол.-минералог. наук. Томск, 2014. 226 с.

170 Хасанова Г.Г. Методические принципы кадастровой оценки техногенно-минеральных образований Среднего Урала: дис. ... канд. геол.-минералог. наук. Екатеринбург, 2003. 223 с.

171 Чайников В.В. Научные и практические основы системной оценки техногенных месторождений: дис. ... д-ра эконом. наук. Москва, 1999. 314 с.

172 Чантурия В.А., Шадрунова И.В., Горлова О.Е. Инновационные процессы глубокой и экологически безопасной переработки техногенного сырья в условиях новых экономических вызовов // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13, № 2(48). С. 224-237.

173 Шелагуров В.В. Техногенные месторождения, методы их изучения и оценки // Отечественная геология. 1996. № 12. С. 34-42.

174 Экологический мониторинг аэрогазодинамических и тепловых процессов при закрытии угольных шахт : монография / М.В. Грязев [и др.] Тула: Тульский государственный университет, 2020. 265 с.

175 Экология: горное дело и природная среда: учебник для вузов / А.С. Астахов [и др.] М.: Академия горных наук, 1999. 367 с.

176 4 Steps for Making an Excellent 3D Model With a Drone [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.dronedeploy.com/4-steps-for-making-an-excellent-3d-model-with-a-drone-25dc35f1df62>.

177 Environmental danger of worked and liquidated coal mines open areas / N.M. Kachurin, S.A. Vorobev, D.N. Shkuratckiy, S.M. Bogdanov // 5th International Symposium Mining and Environmental Protection (10–13. June 2015). Vrdnik. Serbia, 2015. P. 141-149.

178 Sloberg J. Analysis of large rock slopes. Doctoral thesis, June, 1999. 365 p.

179 Tichanek F., Tichanek R. Contribution to the solution of thermally active reclamation of coal waste heaps // 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM Proceedings. Albena, 2014. P. 777-791.

180 What Are Ground Control Points (GCPs) and How Do I Use Them? [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.dronedeploy.com/what-are-ground-control-points-gcps-and-how-do-i-use-them-4f4c3771fd0b>.

181 Дощувальна установка для вивчення ерозії ґрунтів: пат. № 62336А України, № 2003032004; заявки 06.03.03; опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12, 1 с.

182 Куценко М.В. Вступ до географічних інформаційних систем та моделювання стану довкілля. Навч. Посібник. Харків: Екограф, 2008. 204 с.

183 Аэрогазодинамика и перенос пыли техногенных минеральных образований / Н. М. Качурин, Д. О. Прохоров, Д. А. Амбарцумов, И. А. Ерогин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 1. С. 531-543.

184 Аэродинамические характеристики прудов-отстойников закрытых фабрик по обогащению угля / Г.В. Стась, Т.В. Корчагина, Д.О. Прохоров, Г.Э. Колесников // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 2. С. 14-23.

185 Басова И.А., Прохоров Д.О., Пьянков С.В. О создании реестра техногенных минеральных образований // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2021. Т. 26. № 6. С. 107-116.

186 Басова И.А., Прохоров Д.О., Пьянков С.В. Предложения по охране земель от негативного воздействия техногенных минеральных образований // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2021. Т. 26. № 5. С. 135-144.

187 Выбор технологий и направлений снижения техногенного воздействия минеральных образований на окружающую среду / Н.М. Качурин, Г.В. Стась, Д.О. Прохоров, О.А. Гаврина // Устойчивое развитие горных территорий. 2024. Т. 16, № 1(59). С. 283-291.

188 Дистанционный геоэкологический мониторинг влияния техногенных минеральных образований на окружающую среду / Д.О. Прохоров, Г.В. Стась, В.И. Сарычев, Я.Г. Небылова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 4. С. 105-115.

189 Кадастр породных отвалов угольных шахт Тульской области / Д.О. Прохоров, А.П. Саламатин, С.А. Ишутина, Р.О. Халилов // «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» 12-я Международная конференция. Материалы конференции. Тула: Изд-во ТулГУ. 2016. Том 2. С. 264-270.

190 Копылов А.Б., Прохоров Д.О., Сушков С.Л. Совершенствование расчетной модели для исследования напряженного состояния породных отвалов угольных шахт // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики : Материалы конференции, Тула-Минск-Донецк, 02–03 ноября 2016 года / Под общ. ред. Р.А. Ковалева. Том 1. Тула-Минск-Донецк: Тульский государственный университет, 2016. С. 387-392.

191 Методические положения комплексной экологической оценки воздействия породных отвалов шахт на окружающую среду / В.И. Ефимов,

Г.В. Стась, Т.В. Корчагина, Д.О. Прохоров // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 3. С. 18-28.

192 Моделирование воздействий водной эрозии техногенных минеральных образований на окружающую среду / Н.М. Качурин, Д.О. Прохоров, Г.Г. Лускин, Д.А. Амбарцумов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 3. С. 293-304.

193 Моделирование параметров зон влияния вертикальной фильтрации загрязнителя и водной эрозии техногенных минеральных образований / Н.М. Качурин, Д.О. Прохоров, Д.А. Амбарцумов, И.А. Ерогин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 1. С. 544-554.

194 Мониторинг земель, занятых техногенными минеральными образованиями / И.А. Басова, Д.О. Прохоров, С.В. Пьянков, Л.К. Трубина // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2022. Т. 27. № 4. С. 138-149.

195 Прогнозирование загрязнения окружающей среды в результате деформаций техногенных минеральных образований / Д. О. Прохоров, Р. А. Ковалев, К. А. Головин, В. П. Сафронов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. № 4. С. 76-85.

196 Прохоров Д.О. Геомеханическое обеспечение горных работ при рекультивации терриконов угольных шахт // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 2. С. 163-171.

197 Прохоров Д.О. Инвентаризация техногенных образований Подмосковского угольного бассейна // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений : сб. докладов IX Международной научно-технической конференции, Екатеринбург, 06–07 апреля 2020 года. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2020. С. 226-231.

198 Прохоров Д.О. Карьер-полигон ТБО - перспективное комплексное производство // Известия Тульского государственного университета.

Науки о Земле. 2011. № 1. С. 166-170.

199 Прохоров Д.О. Методика определения геометрических параметров породных отвалов угольных шахт // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 4. С. 64-71.

200 Прохоров Д.О., Сушков С.Л. Оценка экологической опасности породных отвалов угольных шахт на основе данных дистанционного зондирования // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. № 1. С. 51-63.

201 Прохоров Д.О. Разработка метода прогнозирования проявлений горного давления при механизированной отработке пологих угольных пластов в слабых вмещающих породах: дис. ... канд. техн. наук. Тула, 2000. 153 с.

202 Прохоров Д.О., Снежко И.И. Проблемы учета и регистрации отвалов горных пород в государственных кадастрах // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. № 1. С. 17-29.

203 Прохоров Д.О. Прогнозирование геомеханических ситуаций при добыче известняка // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2010. № 2. С. 173-178.

204 Прохоров Д.О. Создание цифровой модели породного отвала угольной шахты на основе съемки беспилотным летательным аппаратом // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. № 1. С. 64-72.

205 Прохоров Д.О. Учет и регистрация отвалов горных пород в государственных кадастрах // 55-я научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава ТулГУ: сборник докладов, Тула, 04 – 08 февраля 2019 года / под ред. М. С. Воротилина. Часть 1. Тула: Тульский государственный университет, 2019. С. 227-234.

206 Развитие идеи акад. А.Н. Крылова по расчету инженерно-строительных сооружений, взаимодействующих с податливой средой, методом

начальных параметров / А.Б. Копылов, В.Ю. Котов, Д.О. Прохоров, А.Е. Харламов // Транспортное строительство. 2013. № 10. С. 29-31.

207 Разработка метода прогнозирования поведение породных отко-сов в зоне влияния выемочно-погрузочных работ при открытой добыче по-лезных ископаемых / Е.В. Жидкова, Д.О. Прохоров, С.А. Зуйков, М.В. Борц // «Рудничная аэрология и безопасность». Первая Всероссийская научно-тех-ническая интернет-конференция. Тула: Изд-во ТулГУ. 2005. С. 130-132.

208 Ранжирование техногенных минеральных образований по сте-пени влияния на окружающие земли / Д. О. Прохоров, Г. В. Стась, А. И. Бол-гова, С. М. Овсянников // Известия Тульского государственного универси-тета. Науки о Земле. 2022. № 1. С. 113-124.

209 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611070 Российская Федерация. Программа прогнозирования по-ведения породного массива: № 2022610348 : заявл. 13.01.2022 : опубл. 19.01.2022. Бюл. № 1. 1 с.

210 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021613532 Российская Федерация. Программа автоматизирован-ного расчета крепей горных выработок "Крепёж Каретникова": № 2021612589: заявл. 01.03.2021: опубл. 10.03.2021. Бюл. № 3. 1 с.

211 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617512 Российская Федерация. Программа для геоэкологиче-ского дистанционного зонального мониторинга техногенных минеральных образований «ГеоТМО»: № 2023616686: заявл. 05.04.2023: опубл. 11.04.2023. Бюл. № 4. 3 с.

212 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022666300 Российская Федерация. Программа прогнозирования де-формаций техногенных минеральных образований "Полярная" : № 2022665252 : заявл. 15.08.2022 : опубл. 30.08.2022. Бюл. № 9. 1 с.

213 Снижение или исключение негативного воздействия насыпных

техногенных минеральных образований на окружающую среду / Д. О. Прохоров, Г. В. Стась, А. И. Болгова, М. Ю. Шамрин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 1. С. 125-138.

214 Совершенствование классификации техногенных минеральных образований / Д.О. Прохоров, В. Д. Кухарь, В.И. Сарычев, А.А. Подколзин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. № 4. С. 501-512.

215 Состояние окружающей среды в регионах размещения горного производства / Т.В. Корчагина, Г.В. Стась, Д.О. Прохоров, А.Е. Коряков // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2019. № 4. С. 40-53.

216 Способ консервации и изоляции промышленных отвалов: пат. 2636174 РФ. № 2016139713; заявл. 10.10.16; опубл. 21.11.17. Бюл. №33. 1 с.

217 Способ разборки конических и хребтовых техногенных минеральных образований: патент № 2773166 РФ. № 2021131581; заявл. 27.10.21; опубл. 31.05.22. Бюл. №16. 1 с.

218 Техногенное воздействие минеральных образований на компоненты окружающей среды / Н.М. Качурин, Д.О. Прохоров, Г.Г. Лускин, Д.А. Амбарцумов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. № 3. С. 305-314.

219 Разработка технологии консервации потенциальных техногенных месторождений / Н. М. Качурин, Г.В. Стась, Д. О. Прохоров, К. А. Головин // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2024. № 3. С. 257-266.

220 Обоснование технологии освоения техногенных месторождений/ Н.М. Качурин, Г.В. Стась, Д.О. Прохоров, О.А. Гаврина // Устойчивое развитие горных территорий. 2024. Т. 16, № 3(61). С. 264-286.

Приложение А



Приложение Б

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2773166**Способ разборки конических и хребтовых техногенных минеральных образований**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тулский государственный университет" (ТулГУ) (RU)*

Авторы: *Прохоров Дмитрий Олегович (RU), Головин Константин Александрович (RU), Качурин Александр Николаевич (RU), Стась Галина Викторовна (RU), Хмелевский Максим Викторович (RU)*

Заявка № **2021131581**Приоритет изобретения **27 октября 2021 г.**Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **31 мая 2022 г.**Срок действия исключительного права на изобретение истекает **27 октября 2041 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 68b90077e14e400a94e3bd24145d5c7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 20.05.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов

Приложение В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021613532

**Программа автоматизированного расчета креней
горных выработок «Крепь Каретникова»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (ТулГУ) (RU)*

Авторы: *Копылов Андрей Борисович (RU), Коряков Александр Евгеньевич (RU), Павлюченкова Ирина Романовна (RU), Прохоров Дмитрий Олегович (RU), Сарычев Владимир Иванович (RU), Середин Олег Сергеевич (RU), Сушков Сергей Леонидович (RU), Туляков Сергей Петрович (RU)*

Заявка № 2021612589

Дата поступления 01 марта 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 10 марта 2021 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г. П. Иалиев

Приложение Г

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022611070

Программа прогнозирования поведения породного массива

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (ТулГУ) (RU)*

Авторы: *Павлюченкова Ирина Романовна (RU), Прохоров Дмитрий Олегович (RU), Середин Олег Сергеевич (RU)*



Заявка № 2022610348

Дата поступления 13 января 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 19 января 2022 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 0x75699c00034e785438083df819a6cd1
Владелец: **Ивлиев Григорий Петрович**
Действителен с 24.12.2021 по 24.12.2022

Г.П. Ивлиев

Приложение Д

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022666300

**Программа прогнозирования деформаций техногенных
минеральных образований «Полярная»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тулльский государственный университет» (ТулГУ) (RU)*

Авторы: *Прохоров Дмитрий Олегович (RU), Середин Олег
Сергеевич (RU), Копылов Андрей Валериевич (RU)*



Заявка № 2022665252

Дата поступления **15 августа 2022 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **30 августа 2022 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 6Bb80077e14e5f9f0a94eabd24145d5c7
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 20.02.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов

Приложение Е

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023617512

**Программа для геоэкологического дистанционного
зонального мониторинга техногенных минеральных
образований «ГеоТМО»**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования «Тульский
государственный университет» (ТулГУ) (RU)*

Авторы: *Проخورов Дмитрий Олегович (RU), Середин Олег
Сергеевич (RU), Ларин Александр Олегович (RU), Соболев
Кирилл Александрович (RU), Проخورов Петр Дмитриевич
(RU)*



Заявка № 2023616686

Дата поступления 05 апреля 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 11 апреля 2023 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 69b90077e34c40f0a94e6bd24145d5c7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 26.05.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов