

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

На правах рукописи

МУСИНА ВАЛЕРИЯ РАЙСОВНА

**ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ УГЛЕПОРОДНЫХ  
ОТВАЛОВ С УЧЕТОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНА (НА  
ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА)**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология  
(горно-перерабатывающая промышленность)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: д.т.н., проф. Батугин Андриан Сергеевич

Москва – 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВЕДЕНИЕ.....	7
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	12
1.1. Самовозгорание углепородных отвалов и их влияние на окружающую среду .....	12
1.1.1. О проблеме самовозгорания отвалов .....	12
1.1.2. Влияние углепородных отвалов на окружающую среду .....	15
1.1.3. Представление о механизме возгорания отвалов .....	17
1.1.4. Инженерные меры предотвращения самовозгорания .....	19
1.1.5. О рецидивах возгорания отвалов.....	22
1.2. Влияние современных геодинамических процессов на инженерную деятельность человека .....	22
1.2.1. Зональность проявлений геодинамически опасных явлений .....	22
1.2.2. Метод геодинамического районирования .....	23
1.2.3. Примеры применения методов геодинамического районирования .....	29
1.3. Взгляды на геодинамическое состояние Восточного Донбасса .....	30
1.4. Анализ исследований в области моделирования движения газов через горный массив .....	31
1.4.1. Теория массопереноса газов в горном массиве .....	31
1.4.2. Программное обеспечение, используемое при моделировании процессов массопереноса газа .....	34
1.4.4. Связь фильтрационных свойств с напряженным состоянием.....	37
1.5. Практика выбора мест для размещения углепородных отвалов.....	38
1.6. Цель и задачи исследования.....	40
ГЛАВА 2. ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА	41
2.1. Методика выделения блочных структур .....	41

2.2. Результаты выделения блочной структуры района Восточного Донбасса..	42
2.2.1. Выделение границ блоков I, II ранга.....	42
2.2.2. Анализ схемы блоков II-IV рангов .....	44
2.3. Геологическая интерпретация границ блоков.....	46
2.3.1. Анализ сопоставления схемы блоков со схемой тектонического районирования Донбасса.....	46
2.3.2 Анализ сопоставления схемы блоков с фрагментом карты разломов территории СССР и сопредельных стран .....	47
2.3.3 Анализ сопоставления схемы блоков с детальной тектоникой района, выявленной горными работами .....	48
2.3.4. Анализ сопоставления схемы блоков со схемой кайнозойской тектоники Донбасса и соседних территорий.....	51
2.4. О напряженном состоянии земной коры в районе Восточного Донбасса ...	52
Выводы .....	53
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИУРОЧЕННОСТИ ГОРЯЩИХ ОТВАЛОВ К ГЕОДИНАМИЧЕСКИ ОПАСНЫМ ЗОНАМ .....	55
3.1. Анализ характеристик углепородных отвалов Восточного Донбасса .....	55
3.1.2 Анализ влияния формы углепородных отвалов на их тепловое состояние .....	56
3.1.2 Анализ влияния высоты углепородных отвалов на их тепловое состояние.....	59
3.1.3 Анализ состава отвальной массы .....	61
3.2. Оценка параметров границ блоков.....	65
3.2.1. Подход к оценке ширины геодинамически опасных зон.....	65
3.2.2. Ширина ГОЗ и другие параметры границ блоков в районе Восточного Донбасса .....	68

3.3. Типизация взаимного расположения отвалов и ГОЗ .....	70
3.3.1. Геодинамическая позиция отвала ш. Несветаевская.....	71
3.4. Оценка приуроченности горящих углепородных отвалов к геодинамически опасным зонам .....	73
3.4.1. Подход к оценке приуроченности .....	73
3.4.2. Анализ положения горящих отвалов относительно ГОЗ в районе г. Шахты.....	74
3.4.3. Анализ положения горящих отвалов относительно ГОЗ в районе городов Шахты, Новошахтинск Ростовской области .....	77
3.4.4. Анализ положения негорящих отвалов относительно ГОЗ в районе городов Шахты, Новошахтинск Ростовской области .....	80
3.5. Оценка влияния ширины ГОЗ на получаемые результаты.....	82
3.6 Оценка достоверности вывода о приуроченности отвалов к границам блоков .....	85
3.7 Анализ влияния напряженного состояния массива на распределение горящих отвалов у границ блоков .....	87
Выводы .....	90
ГЛАВА 4. ОБОСНОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ ОПАСНЫЕ ЗОНЫ В ТЕЛО ОТВАЛА.....	91
4.1. Анализ возможных путей поступления воздуха в тело отвала через проницаемую зону.....	91
4.1.1. Анализ поступления воздуха в тело отвала с поверхности под действием ветра.....	91
4.1.2. Анализ поступления воздуха в тело отвала из горных выработок .....	92
4.2. Обоснование геометрической модели .....	93
4.3. Обоснование граничных условий.....	95



4.3.1. Обоснование значений проницаемости для элементов модели .....	95
4.3.2. Обоснование свойств и структуры массива в ГОЗ .....	98
4.3.3. Влияние анизотропии на проницаемость массива .....	101
4.3.4. Влияние напряженного состояния на пористость и проницаемость ...	102
4.3.5. Обоснование значений пористости для элементов модели .....	105
4.3.6. Граничные условия для модели .....	106
4.4. Результаты моделирования .....	107
Выводы .....	110
<b>ГЛАВА 5. ОБОСНОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ И ПОДХОД К ВЫБОРУ БЕЗОПАСНЫХ МЕСТ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ УГЛЕПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ ..</b>	<b>112</b>
5.1. Анализ нормативных и инструктивных документов по выбору мест размещения отвалов .....	112
5.2. Обоснование и подход к выбору мест для размещения отвалов .....	114
5.2.1. Обоснование размещения за пределами границ блоков .....	114
5.2.2 Обоснование выбора мест для размещения отвалов с учетом напряженного состояния горного массива .....	116
5.3. Методические рекомендации по выбору безопасных мест размещения углепородных отвалов на основе результатов геодинамического районирования .....	119
5.4. Пример выявления благоприятных участков для безопасного размещения углепородных отвалов .....	119
5.5 Предложение по использованию полученных результатов и задачи дальнейших исследований .....	122
Выводы .....	123
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>124</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>126</b>

ПРИЛОЖЕНИЯ.....	150
Приложение А. Патент РФ №2600948 .....	150
Приложение Б. Патент РФ № 2631915.....	151
Приложение В. Патент РФ №2657302 .....	152
Приложение Г. Акт о внедрении .....	153
Приложение Д. Методические рекомендации .....	154

## ВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Одним из видов экологической опасности является загрязнение атмосферы, почв и гидросферы продуктами горения, которые образуются в результате самовозгорания углепородных отвалов. Воздействие горящих углепородных отвалов на окружающую среду горнопромышленных районов является важной экологической проблемой в России и в других странах мира. Эта проблема сохраняется, несмотря на то, что разработаны мероприятия по тушению, рекультивации и пожаробезопасной укладке отвальной массы. Например, в Восточном Донбассе на 2015 год сформировано 202 отвала, из которых 33 находились в состоянии горения. На ряде отвалов наблюдаются рецидивы самовозгорания после проведения работ по тушению пожаров и рекультивации (например, отвал шурфа №3 шахты Южная: работы по тушению проведены в 2013 г., а по состоянию на конец 2014 г. отвал отнесен к горящим). Длительное существование проблемы самовозгорания отвалов говорит о том, что существуют еще какие-то неучтенные факторы, способствующие самовозгоранию. Одним из таких факторов, согласно развиваемой в диссертации гипотезе, может быть геодинамическая позиция отвала, т. е. его расположение в геодинамически опасной зоне (ГОЗ).

В «Инструкции по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов», 2011 г., пункт 8, есть требование выбирать месторасположение отвалов с учетом геодинамического районирования территорий. Однако не указано, как именно учитывать результаты геодинамического районирования при выборе мест расположения отвалов. Более того, на сегодняшний день даже не намечен подход к этому вопросу, например не проведены исследования по приуроченности горящих отвалов к геодинамически опасным зонам. В связи с этим представляется актуальным решение задачи установления влияния геодинамических условий района на тепловое состояние углепородных отвалов для снижения опасности их самовозгорания и связанных с этим вредных воздействий на окружающую среду горнопромышленных районов.

**Цель работы** - установить влияние геодинамических условий района на тепловое состояние углепородных отвалов для обоснований рекомендаций по их безопасному размещению.

**Идея работы** состоит в том, что углепородные отвалы более безопасно размещать за пределами геодинамически опасных и тектонически разгруженных зон, поскольку иначе создаются благоприятные условия для проникновения воздуха к отвальной массе и развитию процесса самовозгорания.

**Методы исследований включают:** анализ и обобщение научно-технической информации, метод геодинамического районирования, включающий изучение блочной структуры исследуемого района; компьютерное моделирование движения воздуха через проницаемые зоны в тело отвала; методы теории вероятности и математической статистики.

#### **Основные научные положения, выносимые на защиту:**

1. Горящие углепородные отвалы приурочены к геодинамически опасным зонам, что выражается в том, что их количество на единицу площади выше в несколько раз в этих зонах, чем на всей территории размещения отвалов.

2. Приуроченность горящих углепородных отвалов к геодинамически опасным зонам объясняется высокой проницаемостью этих зон, которая способствует массопереносу воздуха в тело отвала с пожароопасной скоростью с земной поверхности или из горных выработок.

3. Снижение проникновения воздуха в тело отвалов может быть достигнуто путем их размещения за пределами геодинамически опасных и тектонически разгруженных зон.

#### **Научная новизна работы** заключается в следующем:

- уточнено положение геодинамически опасных зон в районе городов Шахты, Новошахтинск Ростовской области и установлена приуроченность горящих углепородных отвалов к этим зонам;

- установлено, что при расположении отвала в геодинамически опасной или тектонически разгруженной зоне скорость массопереноса газов через нее в тело отвала достигает пожароопасных значений;

- обоснован подход к выбору мест безопасного размещения углепородных отвалов, предполагающий их размещение за пределами геодинамически опасных и тектонически разгруженных зон.

**Обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов подтверждаются:**

– представительным объемом статистических данных по тепловому состоянию и параметрам углепородных отвалов на территории Восточного Донбасса на 2015 год (202 отвала, из них 33 горящих и 63 имевших случаи возгорания);

– корректным заданием параметров и граничных условий компьютерной модели в соответствии с реальными параметрами техногенного массива и геодинамически опасной зоны при моделировании процесса массопереноса газов;

– положительными результатами вероятностной оценки приуроченности горящих углепородных отвалов к геодинамически опасным зонам: теоретически показано, что вероятность случайного попадания 17 из 34 горящих и перегоревших отвалов в ГОЗ ничтожно мала.

### **Практическая значимость и реализация полученных результатов**

В рамках диссертационного исследования разработаны «Методические рекомендации по выбору безопасных мест размещения углепородных отвалов на основе результатов геодинамического районирования». Безопасные места рекомендовано выбирать за пределами геодинамически опасных и тектонически разгруженных зон. Применение данных рекомендаций позволит выполнить требования п.8 «Инструкции по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов» (2011 г.) и повысить экологическую безопасность размещения углепородных отвалов. Рекомендации приняты к использованию ООО «Центром сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов», г. Махачкала. Результаты диссертационного исследования используются также в учебных курсах «Горнопромышленная экология»,

«Геодинамическая безопасность при освоении недр и земной поверхности» и «Инженерная защита окружающей среды» в НИТУ «МИСиС».

**Личный вклад автора** выразился в непосредственном участии на всех этапах исследований: при планировании работ, сборе и обобщении научно-технической информации; составлении актуальной базы данных теплового состояния и параметров углепородных отвалов Восточного Донбасса, карт блочного строения территории в районе гг. Шахты, Новошахтинск Ростовской области; проведении работ по компьютерному моделированию; анализе полученных данных и выявлении приуроченности горящих углепородных отвалов к геодинамически опасным зонам; обосновании методических рекомендаций по выбору мест безопасного размещения углепородных отвалов.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы были доложены: на Международном научном симпозиуме «НЕДЕЛЯ ГОРНЯКА» (Москва, 2016, 2017, 2018 гг.); на Международной научной школе им. академика С.А. Христиановича (Крым, Алушта, 2015, 2016 гг.); на International Conference “Data Intensive System Analysis for Geohazard Studies” (Sochi, 2016); на Всероссийском конкурсе научно-технического творчества молодежи НТТМ-2017 (Москва, 2017); на Международном научном симпозиуме WMESS – World Multidisciplinary Earthy Sciences Symposium, (Чехия, 2017, 2018); на Пятой международной тектонофизической школе-семинаре (Москва, 2017), на 22-й Международной выставке и конференции «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов – Mining Word Russia» (Москва, 2018), на 18th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference SGEM 2018 (Болгария, 2018).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 3 патента и 3 статьи в журналах, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России, 3 работы из баз Web of Science.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения, списка литературы из 220 наименований и 5 приложений, содержит 23 таблицы и 48 рисунков.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю д.т.н., проф. Батугину А. С. за постоянное внимание, консультации и огромную помощь на всех этапах обучения в аспирантуре и выполнения диссертации. Автор благодарен за предоставление данных, консультации и всестороннюю помощь сотрудникам Управления маркшейдерии, геологии и охраны природы ФГБУ «ГУРШ» д.т.н. Булаевой Н. М., к.т.н. Лиманскому А. В., инженерам Пономареву В. С. и Ахмадовой Г. Ф. Автор также благодарен докторам наук Мохову А. В. и Сим Л. А. за ценные консультации и к.т.н. Кобылкину А. С. за помощь в компьютерном моделировании.

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1. Самовозгорание углепородных отвалов и их влияние на окружающую среду

#### *1.1.1. О проблеме самовозгорания отвалов*

Проблема самовозгорания углепородных отвалов актуальна для многих горнопромышленных районов мира. Высота породных отвалов, формируемых за счет горных пород, выдаваемых на поверхность из шахт, достигает 50-70 м, а объем каждого из них – до миллиона кубометров и более.

При анализе факторов, влияющих на самовозгорание углепородных отвалов и мероприятий по предотвращению их самовозгорания, рассматривались работы и исследования отечественных и зарубежных (Украина, Китай, Польша, ЮАР, Германия, США, Австралия и др.) авторов в период с 1975 г. по настоящее время.

В Китае, Польше, России интенсивно разрабатываются системы мониторинга теплового состояния углепородных отвалов [105, 136, 196, 204, 216]. Предлагаются системы дистанционного мониторинга с использованием тепловизоров, намного облегчающие проведение наблюдений и осуществление контроля. Например, в работах [215, 217] авторы анализируют существующие способы мониторинга углепородных отвалов и прогнозирования мест возникновения очагов самовозгорания для быстрого предотвращения горения отвальной массы, что говорит об актуальности проблемы для горнопромышленных регионов. В работе [202] представлена трехмерная модель распределения температуры, в которой наблюдаемые зоны были разделены на три категории на основе разных температурных уровней. Предложенная методология может быть полезна при проведении мониторинга отвалов и своевременного определения местоположения потенциальных очагов для раннего предупреждения и предотвращения возгорания. Указывается, одновременно, что еще остается много неизученных вопросов по механизму самовозгорания отвалов,



но, несомненно, приток воздуха является определяющим фактором в этом процессе [204].

Авторами из ЮАР в работах в [198, 200, 212] предложены практические рекомендации для проектирования и технического обслуживания отвалов. Предлагаются способы выбора мест расположения отвалов, заключающиеся в следующем:

- в основании отвала не должно быть глинистых и сланцевых отложений, в связи с тем, что такие породы могут деформироваться и сжиматься в связи с изменением содержания в них влаги;
- основание должно быть ровным и твердым, свободным от выходов на земную поверхность полезных ископаемых;
- уголь и пустые породы должны складироваться вместе, для предотвращения самонагрева;
- породы следует укладывать ровными слоями и уплотнять;
- при проектировании отвала должна быть учтена дренажная система;
- предпочтительнее выбирать для размещения отвала долинообразное место для ограничения воздушного потока;
- при выборе размера и формы отвалов должны учитываться не только расчетная вместимость отвала, но и принципы, способствующие предотвращению самовозгорания отвальной массы;
- ось отвала должны быть выбрана в направлении господствующих ветров.

В работах [191, 208] исследуется состав выбросов газа при горении отвалов и обсуждаются возможные причины возгорания отвальной массы. Авторами отмечается, что процесс возгорания отвальной массы до конца не изучен, существует множество причин, способствующих возгоранию, но никто не отрицает, что основной причиной возгорания является поступление воздуха к телу отвала.

Проблема возгорания отвалов актуальна и для Германии. В работе Пала М. Х. [125] отмечается, что самовозгоранию отвалов способствует проникновение

кислорода к отвальной массе из-за их рыхлой насыпки. В 1967 г. в Германии были изданы директивы, содержащие правила и технологии отсыпки, в которых лимитировалась определенная высота отсыпки отвалов. Также отвалы предлагается рекультивировать и озеленять, чтобы использовать их как часть естественного ландшафта.

Большое внимание вопросам возгорания отвалов уделяется на Украине. Наибольшее число отвалов расположено в центральном и южном районах вблизи городов Донецк и Луганск, где уже почти 200 лет разрабатывается Донецкий угольный бассейн. Здесь были разработаны различные теории самовозгорания угля [60, 61], меры предотвращения самовозгорания и тушения породных отвалов, изданы Инструкция и Руководство по предупреждению самовозгорания, тушению, разборке и рекультивации породных отвалов [49, 152].

В Австралии кроме случаев самовозгорания отвалов, отмечаются также случаи самовозгорания угля при ведении открытых горных работ [205].

В России вопросам пожаробезопасной укладки породы в отвалы посвящены работы Навитного А. М., Терешенко Т. Л. [3, 57], вопросам тушения отвалов и экономической оценке мероприятий по устранению негативных экологических последствий ликвидации шахт работы Агапова А. Е. [2, 3], вопросам экологической безопасности горнопромышленных районов – работы Гамова М. И., Гордеева И. В., Каплунова Ю. В., Красавина А. П. [38, 67, 70, 97], вопросам экологического мониторинга горнопромышленных районов – работы Булаевой Н. М. [29, 30, 70], вопросам мониторинга теплового состояния отвалов – работы Пономарева В. С., Лиманского А. В. и др. [105, 129, 136], вопросам исследования распределения температур и выделения газов с поверхности горящего отвала – работы Портола В. А., Торосян Е. С., Луговцова Н. Ю. [137, 138]. В работе [39] разработана термобарохимическая модель горящего углепородного отвала на основе исследований горящих отвалов Восточного Донбасса, которая позволяет эффективнее проводить мероприятия по тушению отвалов и их рекультивации. На сегодняшний день имеется Инструкция по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов [69].

### *1.1.2. Влияние угленородных отвалов на окружающую среду*

В горнопромышленных районах России и мира возгорание отвалов, в которых складировается породная масса, является одной из наиболее актуальных экологических проблем. В процессе горения породных отвалов наносится трудно восполняемый вред природной среде, здоровью населения близлежащих территорий и биологическому оптимуму для животных данных районов.

Складируемая в отвалах горная масса является источником выбросов в окружающую среду газов, пыли, токсичных химических и радиоактивных веществ, мигрирующих в окружающий почвенный покров и воду в результате горения горной массы, выветривания, дегазации и выщелачивания.

Образующиеся при горении углесодержащих пород токсичные газы (оксид углерода, сероводород, сера, различные соединения азота и др.) распространяются на большие расстояния, превышая предельно-допустимые концентрации (ПДК) в прилегающих населенных пунктах. Установлено, что отвал высотой 65 м, объемом 1 млн м<sup>3</sup>, с площадью основания 3,5 га за год горения выделяет в атмосферу следующее количество газов: CO<sub>2</sub> – 37,5 т/год; CO – 1,25 т/год; азот и его соединения – 1 т/год; сера и ее соединения – 0,1 т/год; хлор – 0,05 т/год [179]. В поверхностные, грунтовые воды и в почву в результате горения постоянно поступают сульфаты, соединения азота аммонийного, хлориды.

Горящий породный отвал имеет санитарно-защитную зону 500 м, негорящий – 300 м, разнос вредных веществ и продуктов горения по розе ветров может составлять до 3 км. Таким образом, многие населенные пункты Восточного Донбасса являются санитарной зоной, в которой проживание становится опасным.

Исследованиями Донецкого института профзаболеваний установлена связь между выделениями вредных газов и пыли из породных отвалов, поглощаемыми населением, с заболеваемостью силикозами, пневмокониозами, легочным антракозом, фиброзом и другими профессиональными заболеваниями [182]. Кроме того, при эксплуатации горящих отвалов возможны внезапные сползания

горящих пород, их «взрывоподобные» выбросы, проникновение в горные выработки вредных веществ в растворенном в подземных водах состоянии.

Ситуацию усугубляет экологическая неграмотность населения: на терриконах организовываются несанкционированные свалки ТБО, которые могут провоцировать горение отвалов и быть источником заражения плодородного слоя почвы, являться источником возникновения серьезных инфекций.

В таблице 1.1 представлены основные факторы воздействия отвалов на окружающую среду.

Таблица 1.1. Факторы воздействия на окружающую среду породных отвалов

<b>Элементы окружающей природной среды</b>	<b>Характер негативного экологического воздействия и виды нарушений и загрязнений окружающей природной среды</b>	<b>Интегральные факторы, отражающие негативные воздействия породных отвалов</b>
1	2	3
Природный ландшафт	Образование техногенного ландшафта	Ухудшение среды обитания; затраты на рекультивацию территории, восстановление природного ландшафта
Земельные ресурсы	Изъятие из землепользования значительных территорий; непригодность земель для сельскохозяйственного, лесохозяйственного, водохозяйственного и других видов землепользования	Ухудшение экологической обстановки, загрязнение прилегающих территорий токсичными веществами; изменение естественного состава почв района; затраты на восстановление биологической продуктивности нарушенных земель
Атмосферный воздух	Образование и выделение пыли и газообразных вредных веществ (оксидов серы, бензопирена, сероводорода, азота, углеводорода и др.)	Загрязнение атмосферного воздуха, в том числе близлежащих населенных пунктов, ухудшение жизненных условий, неблагоприятное воздействие на здоровье населения, затраты на проведение профилактических мероприятий и тушение углепородных отвалов

Продолжение таблицы 1.1.

1	2	3
Поверхностные воды	Свободные изливы на поверхность фильтрата от породных отвалов, загрязненных минеральными солями, нефтепродуктами, фенолами, железом и т.д.	Ухудшение качества воды в природных водотоках и водоемах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения; ухудшение качества питьевой воды в поверхностных
Подземные воды	Проникновение в водоносные горизонты шахтных вод, загрязненных минеральными солями, нефтепродуктами, фенолами, железом и т.д.	водозаборах; снижение рыбохозяйственной ценности водотоков; ухудшение рекреационного потенциала территории; затраты на очистку вод

Как видим из таблицы 1.1, углепородные отвалы, а особенно горящие, являются одним из крупных источников загрязнения всех элементов окружающей среды, которая и без того значительно изменена в горнопромышленных районах [23, 25, 26, 46, 47, 51, 114, 124, 131, 157, 189, 190, 203].

### ***1.1.3. Представление о механизме возгорания отвалов***

В настоящее время в мире сложилось несколько основных взглядов на причины самовозгорания угля:

- 1) Пиритная теория;
- 2) Жизнедеятельность тионовых бактерий;
- 3) Взаимодействие отвальной массы с кислородом воздуха;
- 4) Влияние свойств и состава отвальной массы.

Пиритная теория самовозгорания углей появилась и имела признание во второй половине XIX века [169]. Согласно данной теории включения пирита под действием кислорода воздуха и воды преобразуются в сульфат железа со значительным выделением тепла, под действием которого возгораются углефицированные растительные остатки. Но со временем данная теория потеряла актуальность, так как было замечено, что не все угли с высоким содержанием пирита возгораются.

На смену пиритной теории пришла биохимическая теория возгорания, согласно которой возгорания провоцируются жизнедеятельностью тионовых бактерий [61, 155]. Микробиологическими исследованиями обнаружено, что в шахтных водах Донбасса содержатся тионовые бактерии. Влага и бактерии проникают через поры и трещины в породы и активизируют окислительные процессы.

В процессах самонагревания пород роль бактерий заключается в следующем:

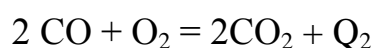
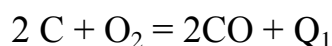
- расчленение поверхности пирита и увеличение его реакционноспособной поверхности;
- окисление серы и двухвалентного железа.

Кроме того, рядом исследований показано [52, 67, 127], что на склонность угля к самовозгоранию влияют свойства и состав отвальной массы, такие как:

- пористость;
- размер частиц;
- марка угля;
- степень метаморфизма угля;
- минералогический и петрографический состав
- влажность и др.

С учетом этих параметров разработаны рекомендации по противопожарному формированию отвалов, которые отражены в «Инструкции по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов» [69].

Наиболее распространенной в настоящее время является теория, согласно которой отвалы загораются вследствие взаимодействия отвальной массы с кислородом воздуха. В соответствии с теоретическими разработками Веселовского В.С. самовозгорание угля обуславливается химической активностью угля, притоком к нему воздуха и накоплением тепла, образующегося в результате окисления [32].



Это возможно за счет того, что пустые шахтные породы, поступающие на террикон, часто содержат много угля, на отдельных шахтах от 30 до 45%.

Обычно самовозгорание проявляется в форме тления, т.е. беспламенного горения материала при недостатке кислорода в зоне горения. При достаточном количестве кислорода тление может перейти в пламенное горение.

Как можно видеть, существующие представления о причинах самовозгорания угольных отвалов, так или иначе, предполагают поступление в отвал воздуха. Именно наличие кислорода в отвальной массе признается необходимым условием для возгорания [44, 45, 58, 59, 74].

#### ***1.1.4. Инженерные меры предотвращения самовозгорания***

Согласно требованиям нормативных и инструктивных документов [69], технология формирования и эксплуатация породных отвалов должны обеспечивать их пожаробезопасность, экологическую безопасность жизнедеятельности населения и охрану окружающей среды.

Существуют различные мероприятия и способы предупреждения самовозгорания отвалов [3, 53, 69].

1. Формирование отвалов без выступов, придание им округлой формы (создание плавных переходов). Это позволяет снизить воздухопроницаемость отвала и снизить количество воздуха, поступающего в него.

2. Выбор формы и высоты отвалов. Наиболее опасными в отношении самовозгорания и горения являются хребтовидные и конические отвалы. Кроме того, с увеличением высоты отвала любого вида степень подверженности горению возрастает. В связи с этим, предпочтительнее отсыпать отвалы плоской формы небольшой высоты.

3. Уменьшение угла откоса отвала (выполаживание). Угол откоса не должен превышать 20-25°, это в 1,5-2 раза снижает перепады давлений под действием ветра.

4. Послойное складирование пород с их последующим уплотнением транспортными средствами, катками, бульдозерами, скреперами. Для

эффективного уплотнения величина уплотняемого слоя не должна превышать 0,5-1 м.

5. Перекрытие слоев складированной породы негорючими (изолирующими материалами). Рекомендуется использовать для этих целей песок, глину, глинистый грунт, мелкую перегоревшую породу и т.п.

6. Снижение количества горючих веществ в отвальной массе и ее предварительное дробление до крупности менее 50 мм.

7. Обработка отвальной массы растворами антипирогенов. Наиболее эффективными считаются растворы хлористого кальция, хлористого аммония, фосфата аммония, сульфата алюминия, водного раствора глинистого грунта, водная суспензия гашеной извести. Они являются наилучшими ингибиторами по полноте и эффективности нейтрализации процессов образования газов, серной кислоты, серы и т.д.

Для тушения горящих отвалов в России и в мире используются такие антипирогены, как вода, глинистые и щелочные растворы. Глинистые растворы используются обычно в соотношении – вода : глина – от 1:6 до 1:8. Из щелочных жидкостей предпочтение отдается известковой суспензии 3-20%-й концентрации.

Выделяют 3 основных способа подачи антипирогенов в отвальную массу [35]:

1. Орошение;
2. Инъецирование, основанное на проиливании поверхностного слоя отвала;
3. Увлажнение массива через траншеи путем свободной фильтрации антипирогена.

При охлаждении с использованием воды предусматривается послойное тушение участков с последующей профилактикой возгорания последних глиной, суглинками, а также растворами антипирогенов.

Эффективное тушение горения породных отвалов достигается и с использованием хладагентов (вода, жидкий азот, пена различной кратности (отношению объема пены к объему раствора, содержащегося в ней) и др.).



Наилучшим хладагентом при тушении горящих пород с температурой выше 100 °С является вода и низкократные пены. Пенообразующая жидкость в большей степени снижает скорость сорбции кислорода углем, чем вода. В целом, пена и вода более эффективно замедляют развитие рецидива пожара, уменьшают генерацию тепла за счет снижения сорбционной активности находящегося в отвальной массе угля. Одновременно увеличиваются потери тепла в результате повышения влажности и коэффициента теплопроводности скоплений угля в породной массе [3, 145, 150].

В настоящее время для профилактики возгорания отвалов разработаны специальные схемы укладки отходов, которые не допускают поступление воздуха в тело отвала. Предварительно на площадках, планируемых для размещения углепородных отвалов, снимают верхний плодородный слой почвы, затем создают изолирующий слой из инертных материалов по периметру отвала на высоту каждого вновь формируемого яруса для предотвращения возникновения отдельных очагов горения на глубине и перемещения их от поверхности отвала в сторону его откоса. Одновременно по внешнему контуру ярусов формируют насыпи из инертных материалов, затем производят отсыпку и складирование породы выравнивающего слоя площадки с последующим уплотнением отвальной массы кулачковыми катками. После этого на откосах укладывают слой грунта и весной производят посадку саженцев. Таким образом, вся боковая поверхность отвала оказывается озелененной, что препятствует ветровой эрозии и поступлению воздуха в отвал [6, 153, 164, 168].

Как можно видеть, меры профилактики и борьбы с самовозгоранием отвалов направлены на предупреждение поступления воздуха к отвальной массе. Это еще раз указывает на то, что именно проникновение воздуха внутрь отвала признается основной причиной самовозгорания.

Несмотря на принимаемые меры предотвращения возгорания отвалов, технологии их тушения, способы укладки и рекомендации по безопасной эксплуатации, проблема возгорания углепородных отвалов до сих пор остается до конца нерешенной.

### ***1.1.5. О рецидивах возгорания отвалов***

На фоне случаев самовозгорания отвалов особо выделяются рецидивы этих явлений, когда самовозгорание повторяется после проведения мероприятий по тушению отвалов. Например, отвал шурфа №3 шахты Южная был потушен в 2013 году, уже в период действия новой инструкции [69] по предупреждению самовозгорания. Но по состоянию на 2015 год отвал вновь числился в списке горящих отвалов. На множественные случаи рецидивов возгорания указано, например, в работе [136]. В таблице 1.2 представлены примеры отвалов, повторно отнесенных к горящим по состоянию на 2015 год, после проведения работ по их тушению в период действия новой инструкции.

Таблица 1.2. Тепловое состояние отвалов на 2015 год

<b>Наименование отвала</b>	<b>Район расположения</b>	<b>Форма</b>	<b>Тепловое состояние</b>	<b>Работы по тушению</b>
отвал шурфа №3 ш. «Южная»	г. Шахты	плато	горит	2013
отвал ш. №13бис	п. Аютинский	кон	горит	2013
отвал №1 ЦОФ	Красносулинский р-н	плоск.	горит	2013
отвал ш. №6 ш. им. Кирова	п.им. Кирова	кон	горит	2013
отвал №7 ш. №143	п. Красный Шахтер	кон	горит	2013

Факты повторного возгорания отвалов говорят о том, что существует еще какая-то малоизученная причина, способствующая возгоранию отвалов. Согласно основной идеи диссертации, такой причиной может быть расположение отвалов в геодинамически опасных зонах.

## **1.2. Влияние современных геодинамических процессов на инженерную деятельность человека**

### ***1.2.1. Зональность проявлений геодинамически опасных явлений***

Геодинамика – наука о движении, силовом взаимодействии структурных элементов, составляющих земную кору, о землетрясениях, их энергии и прогнозе,

о горообразовании и других событиях, связанных с земной корой в ее естественном состоянии.

При освоении и эксплуатации недр необходимо рассматривать процессы и явления, происходящие в земной коре, как в ее естественном развитии, так и под влиянием техногенной деятельности человека. В связи с этим на основе достижений геомеханики и других наук о Земле возникла новая отрасль наук о Земле – геодинамика недр. Геодинамика недр рассматривает техногенные процессы и явления во взаимосвязи с естественными процессами и состоянием литосферы.

Существенное возрастание темпов и объемов добычи в XX веке привело к крупным осложнениям в работе горнодобывающих предприятий. К концу 1970-х годов из практики горных работ стало понятно, что геодинамические явления проявляются зонально как на шахтах при ведении горных работ, так и при других видах инженерной деятельности человека. Например, Коньков Г.А. выявил региональные линейные зоны выбросоопасности в Донбассе [91], Петухов И. М. отмечал зональность проявления горных ударов в шахтах [134].

Зональность проявления геодинамических явлений отмечают позже и другие авторы, например, [140, 181, 209]. В связи с этим возникла идея о заблаговременном выделении опасных зон, или геодинамическом районировании территорий. Поскольку было установлено, что опасность проявления горных ударов связана с напряженным состоянием массива и его структурным строением [134], то в появившемся методе геодинамического районирования основной упор был сделан на оценку этих параметров.

### ***1.2.2. Метод геодинамического районирования***

Метод геодинамического районирования является основным методом исследования геодинамики недр, который позволяет выделять блочное состояние земной коры, активные разломы и тектонически напряженные зоны, производить расчеты напряжений, проницаемости и влагоемкости пород и разрабатывать на этой основе профилактические меры для обеспечения безопасности и эффективности освоения и эксплуатации недр [24, 132].

В методе геодинамического районирования используется подход «от общего к частному». Считается, что земная кора состоит из плит, каждая из которых имеет свое вращательно-поступательное движение. Под влиянием напряжений, действующих на границах плит, они дробятся на крупные мегаблоки, которые определенным образом взаимодействуют между собой и под влиянием напряжений, возникающих на их контактах, делятся на блоки более низкого ранга и т.д. В конечном итоге приходят к микроблочному строению массива, динамическое взаимодействие блоков в котором будет определять степень геодинамической опасности.

Использование при создании метода геодинамического районирования принципа «от общего к частному» позволило получить возможность оперативного выделения блочной структуры, выявления взаимодействия и взаимозависимости элементов блочной структуры, классифицировать блоки по рангам (I, II, III, IV и т.д.), учитывая «главенство» блоков высшего ранга по отношению к низшему. Такое районирование месторождений (и других территорий) на блоки, определение характера подвижности по их границам (динамики взаимодействия), ориентировки и соотношения (величины) главных напряжений в блоках составляют существо способа оценки естественного тектонофизического и напряженного состояния массива горных пород в земной коре.

С учетом полученных результатов составляются карты геодинамического районирования территории месторождений (других территорий), которые, в свою очередь, предлагается использовать как основу для решения вопросов управления геодинамической безопасностью и эффективностью эксплуатации при освоении недр и земной поверхности [24].

Блочная структура массива выявляется по рельефу земной поверхности, поскольку считается, что рельеф и глубинные структуры тесно взаимосвязаны. По картам геодинамического районирования выявляются тектонически напряженные зоны, которые являются зонами повышенного риска. Одним из видов таких зон

повышенного риска являются сами границы блоков различного ранга, которые впоследствии получили название «геодинамически опасные зоны» (ГОЗ) [36].

В контексте влияния на условия ведения горных работ и вообще на инженерную деятельность человека, границы блоков, выделяемые по геоморфологическим признакам, в работах Батугиной И.М., Петухова И.М. первоначально получили название геодинамически активные зоны, через которые реализуются современные движения земной коры. Шабаров А.Н. сделал акцент на том, что, поскольку эти зоны являются опасными для инженерных сооружений, то правильнее их называть геодинамически опасные зоны (ГОЗ). Примерно к таким же выводам пришли и другие ученые. Так, в работах Воейковой О. А., Несмеянова С. А. [33], Макарова В. И., [110], Клещенко А. В. [79] геоморфологические аномалии рельефа (линеаменты) трактуются не только как элементы тектоники, но и как природные объекты, влияющие на инженерные сооружения и инженерную деятельность человека, а так же на здоровье населения, и называются геодинамически активные зоны.

Таким образом, с границами блоков, выраженных в рельефе земной поверхности и имеющих признаки современных движений, представители различных научных школ связывают аварии на различных инженерных сооружениях, а также считают, что эти границы блоков представляют собой зоны современного деформирования земной коры, табл. 1.3.

Таблица 1.3. Аналитический обзор современных представлений о воздействии современных блочных структур земной коры на инженерные сооружения

№ п/п	Автор	Организация	Основные результаты	Ссылка
1	2	3	4	5
1	Батугина И.М., Петухов И. М.	МГГУ, ВНИМИ	концепция блочно-иерархичного строения земной коры; границы блоков – это тектонически напряженные и разгруженные зоны, опасные для инженерных сооружений; границы блоков выражены в массиве как зоны повышенной нарушенности	[24, 132, 133]

Продолжение таблицы 1.3.

1	2	3	4	5
2	Иванов В. В., Сурунов Н. Ф., Игнатов Ю. М., Бузук Р.В.	КузГТУ	концепция иерархически-блочного строения земной коры, границы блоков- геодинамически опасные зоны	[65, 66]
2	Копп М. Л.	Геологический институт РАН	новейшие участки активизированных платформ секут более древние тектонические структуры	[92, 93]
3	Шабаров А. Н.	Санкт-Петербургский горный университет/ ВНИМИ	геодинамическое состояние массива влияет на безопасность народохозяйственных объектов	[183]
4	Адушкин В. В., Горбунова Э. М., Спивак А. А.	Институт динамики геосфер РАН	существуют геодинамические зоны, опасные для трубопроводов	[4]
5	Макаров В. И., Войенкова О.А.	Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН	геодинамически активные зоны влияют на инженерные сооружения и инженерную деятельность человека	[33, 109, 110]
6	Несмеянов С. А.	МГУ им. Ломоносова	геодинамически активные зоны влияют на инженерные сооружения и инженерную деятельность человека	[33, 119]
7	Мешеряков Ю. А.	АН СССР	современные движения земной коры влияют на овражную эрозию и характер развития речной сети	[113]
8	Рахимов В. Р.	ТПИ	к границам современных блоковых структур приурочены аварийные зоны в шахтах	[147, 148]
9	Сим Л. А.	ИФЗ РАН	современные геодинамические процессы и напряженное состояние массива оказывают влияние на инженерные сооружения, расположенные на поверхности	[159, 160]
10	Корчемагин В. А.	ДПИ Донецк	новейшие участки активизированных платформ секут более древние тектонические структуры	[92, 94, 159]

Продолжение таблицы 1.3.

1	2	3	4	5
11	Клещенков А. В.	ФИЦ ЮНЦ РАН	движения земной коры оказывают значительное влияние на развитие естественных ландшафтов и природно- технических систем; геодинамическая активность находит свое проявление на земной поверхности; существуют геодинамически активные зоны	[79]
13	Хань Юнь, Чжан Хунвэй, Лань Тайвэй	Ляонинский инженерный технологическ ий университет, г. Фусин, Китай	концепция иерархично-блочного строения земной коры, границы блоков – геодинамически активные зоны земной коры, формирующие напряженное состояние на месторождениях	[104, 201]
14	Цяо Цзяньюн, Чжао Цзинли	Пекинский горный институт, г. Пекин, Китай	концепция иерархично-блочного строения земной коры; границы блоков – геодинамически опасные зоны, выражены в рельефе и представлены в массиве как линейные зоны повышенной трещиноватости	[181]
	Юй Лицзян	Китайский геологический институт, г. Пекин, Китай	концепция иерархично-блочного строения земной коры; границы блоков – геодинамически опасные зоны, выражены в рельефе и представлены в массиве как линейные зоны повышенной трещиноватости	[181]
15	Рубцов Г. И.	УФ ВНИМИ	есть зоны современной геодинамической активизации и они выражены как зоны трещиноватости	[135]
16	Кузьмин Ю. О.	ИФЗ РАН	на участках платформ обнаружено проявление аномальных деформационных процессов, которые получили название суперинтенсивных движений земной коры	[100]
17	Сашурин А. Д.	ИГД УрО РАН	на различных участках земной коры обнаружено проявление суперинтенсивных движений земной коры	[156]
18	Журило А. А., Соловьев Н.Н., Харионовский В.В.	ВНИИГАЗ РАО «Газпром»	повешение аварийности газопроводов инициируется геодинамическими факторами	[56]

Продолжение таблицы 1.3.

1	2	3	4	5
19	Бугаев Е.Г.	НТЦ по ядерн. безоп. Рос. Тех. Надз. РФ	«детальные геодинамические и сейсмологические исследования районов размещения АС на территории Восточно-Европейской платформы показали, что территории доменов неоднородны и могут быть подразделены на квазиоднородные тектонические блоки, разделенные геодинамическими зонами соответствующих порядков».	[28]
20	Инструкция по предупреждению самовозгорания тушению и разборке породных отвалов	является неотъемлемой частью Правил безопасности в угольных шахтах (РД 05-94—95)	п. 8 предусматривает выбор мест для размещения отвалов с учетом геодинамического районирования	[69]
21	Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам	(РД 05-328-99)	п. 10 предусматривает выполнение геодинамического районирования на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам	[68]
22	Методические рекомендации по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам	утверждены приказом ФС по экологическому у, техническому и атомному надзору от 23.05.13 г. №216	предусматривают проведение геодинамического районирования при оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам	[112]

Анализ таблицы показывает, что учеными из различных научных школ и организаций признается существование современных геодинамически активных зон в земной коре, в том числе на платформах. Эти структуры часто не совпадают с более древними, а занимают по отношению к ним секущее положение и выражены как линейные зоны повышенной трещиноватости. Эти современные



структуры, называемые также геодинамически активные зоны или геодинамически опасные зоны, влияют на условия эксплуатации инженерных сооружения. Имеется ряд инструктивных документов, в которых требуется учитывать наличие геодинамически опасных зон при освоении месторождений полезных ископаемых.

### ***1.2.3. Примеры применения методов геодинамического районирования***

Впервые методические указания по применению метода геодинамического районирования были изданы в 1980 г. В 1983 г. появилась 2-я редакция методических указаний, а в 1990 г. на их основе были изданы методические указания «Геодинамика недр», которые были включены в Приложение № 4 инструкции по безопасному ведению горных работ [68]. К этому времени стало понятно, что изучение взаимодействия блоков земной коры, строения их границ на месторождениях, где есть возможность проводить наблюдения на различных горизонтах в горных выработках, позволяет получать выводы, которые могут быть использованы и в других областях освоения недр и земной поверхности.

В научной литературе за последние десятилетия описаны факты, свидетельствующие о влиянии современных геодинамических процессов на инженерные сооружения и состояние окружающей среды не только в тектонически активных, но и в традиционно относительно спокойных районах [100, 109, 171, 220]. В первую очередь это касается горнопромышленных районов.

Так, было отмечено деформирование стволов Таштагольского рудника, попавших на границу блоков земной коры [22, 24], возникновение сильных горных ударов на границах блоковых структур на месторождениях Кольского полуострова, Североуральского и Южноуральского бокситовых месторождений, сейсмическая активизация разломов в Кузбассе, Кировском руднике, а также на многих зарубежных месторождениях [11, 103, 104, 140, 148]. Отмечено, что к границам современных блоковых структур приурочены аварийные зоны на газо- и нефтепроводах, железных дорогах, месторождениях нефти, водопроводных сетях и на канализациях в городах [4, 10, 16, 183]. На границах блоков отмечены опасные зоны по развитию карста, оползней, техногенной сейсмичности,

деформации зданий, что в полной мере соответствует представлениям о границах блоков, как разновидности геодинамически опасных зон (ГОЗ).

К настоящему времени геодинамическая опасность приобрела выраженную экологическую составляющую. Геодинамическое состояние горного массива с выявлением активных разломов оценивают при планировании горных работ, проектировании и строительстве атомных станций и хранилищ отходов, застройке селитебных и промышленных зон [8, 9, 15, 50, 115, 118, 121, 139, 163, 211, 218]. Развиваются методы управления рисками при освоении недр [10, 72, 101, 162].

Таким образом, многочисленные исследования показывают, что существует влияние современных геодинамических процессов на инженерные сооружения. Это влияние особенно отчетливо проявляется на границах современных тектонических блоков земной коры.

### **1.3. Взгляды на геодинамическое состояние Восточного Донбасса**

Вопросы геодинамики, современных движений земной коры, выраженности в рельефе современных тектонических движений территорий Донбасса, Восточного Донбасса, Донецкого кряжа рассмотрены в работах Мещерякова Ю.А., Коппа М. Л., Вереды В.С., Корчемагина В.А. и др. [31, 92, 113]. Взгляды ученых сходятся в том, что территория Донбасса испытывает современные движения земной коры, а границы современных тектонических блоков выражены в рельефе земной поверхности как линеаменты различного ранга. В 1989-1990 гг. по заданию Госкомитета по науке и технике для шахтных полей Донбасса была выполнена комплексная работа по оценке геодинамического состояния территории и влияния геодинамически опасных зон на условия ведения горных работ [37, 146]. Эта работа показала, что на территории Донбасса, как и на других участках, существует система разноранговых блоков земной коры, к границам которых приурочены эпицентральные зоны внезапных выбросов угля и газа, проявление ложной кровли, другие горно-геологические явления. В современном тектоническом поле напряжений активизированы только крутопадающие участки крупных известных надвигов района, таких как Французский, Калининский и

других. В то же время, пологопадающие участки надвигов не совпадают с границами блоков и часто занимают по отношению к ним секущее положение.

Один из фрагментов карт блочного строения Донбасса захватывает район Донецкого кряжа и шахтных полей Восточного Донбасса.

#### **1.4. Анализ исследований в области моделирования движения газов через горный массив**

##### ***1.4.1. Теория массопереноса газов в горном массиве***

Теория движения газов в трещиноватой среде наиболее полно разработана учеными-горняками. В работе Пучкова Л. А., Сластунова С. В., Коликова К. С. фильтрация газа описывается системой дифференциальных уравнений следующего вида:

$$\begin{cases} P_2^2 - P_1^2 = \frac{m_1 \mu}{\alpha_1} \frac{\partial P_1}{\partial t} - \frac{K_1}{2\alpha_1} \nabla^2 P_1^2, \\ P_2^2 - P_1^2 = -\frac{m_2 \mu}{\alpha_1} \frac{\partial P_2}{\partial t}, \end{cases} \quad (1.1)$$

где  $P_1, P_2$  – текущее давление соответственно в трещинах и блоках, Па;

$m_1$  – трещиноватая пористость;

$m_2$  – фиктивная пористость блоков;

$K_1$  – проницаемость системы трещин, м<sup>2</sup>;

$\alpha_1$  – функция перетока (параметр, определяющий скорость газоотдачи блоков);

$\mu$  – вязкость газа, Па·с;

$t$  – текущее время, с.

Это уравнение используется авторами для описания движения газа по трещинам в скважину [143].

К основным параметрам, определяющим движение газа авторы относят проницаемость трещин  $K_1$ , функцию перетока газа из блоков трещиноватой среды  $\alpha_1$ , пористость трещин  $m_1$  и фиктивную пористость блоков  $m_2$ .

В работах Каркашадзе Г. Г. описывается дифференциальное уравнение массопереноса метана с учетом закона Дарси, уравнения Ленгмюра и закона сохранения масс [71]:

$$\operatorname{div} \left( \frac{C}{\mu} \rho \cdot \operatorname{grad} p \right) = \frac{\partial}{\partial t} \left[ m\rho + (1 - m) \frac{abp}{(1 + ap)} \right], \quad (1.2)$$

где  $m$  – пористость угля;

$a$  – коэффициент изотермы сорбции, 1/Па;

$b$  – предельная метаноёмкость угля, кг/м<sup>3</sup>;

$p$  – давление метана, Па;

$C$  – газопроницаемость пласта, м<sup>2</sup>;

$\mu$  – вязкость метана, Па·с.

Это уравнение используется Каркашадзе Г. Г. для моделирования процесса дегазации угольного пласта.

В работах Качурина Н. М. развиваются вопросы теории диффузии и фильтрации газов из горного массива на поверхность [76]. При диффузионном режиме движения газов движущей силой является градиент концентраций диффундирующих газов, а фильтрационное течение обусловлено градиентом давления газовой смеси. Диффузионный режим течения наблюдается при стабильном барометрическом давлении, а фильтрационный поток возникает в периоды падения атмосферного давления. При этом Качуриным Н. М. установлено, что газ двигается к поверхности за счет сил, которые описываются уравнениями:

1) для процесса фильтрации газов:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \kappa^2 \frac{\partial^2 p}{\partial z^2}, \quad (1.3)$$

где  $p$  – давление газовой смеси в подработанных горных породах;

$\kappa$  – пьезопроводность подработанных горных пород;

$z$  – вертикальная координата с началом отсчета, расположенным в выработанном пространстве.

Начальные и граничные условия для данного уравнения можно записать в следующем виде:

$$p(z, 0) = p(0, t) = p_0 = \text{const}, p(H, t) = p_0 - \alpha_p t, 0 \leq z \leq H,$$

где  $p_0$  – начальное давление газовой смеси в подработанных горных породах;

$\alpha_p$  – скорость падения атмосферного давления;

$H$  – глубина залегания отработанного угольного пласта.

После выполнения математических операций и преобразований Качурин Н. М. получает закономерность, позволяющую рассчитать, какое количество воздуха будет поступать в единицу времени к единичной площади, перпендикулярной фильтрационному потоку:

$$I_{уд}^{\phi} = \frac{2k}{\mu H} (p_0 + \alpha_p t), \quad (1.4)$$

где  $I_{уд}^{\phi}$  – скорость поступления воздуха к земной поверхности на подработанной территории;

$k$  – среднее значение газовой проницаемости подработанных пород;

$\mu$  – динамическая вязкость воздуха.

2) для процесса диффузии газа:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}, \quad (1.5)$$

где  $c$  – концентрация диффундирующего газа из выработанного пространства;

$D$  – коэффициент диффузии рассматриваемого газа в подработанных горных породах.

Начальное и граничное условия для данного случая имеют следующий вид:

$$c(z, 0) = 0; c(0, t) = c_0 = \text{const}, p(H, t) = c_a, 0 \leq z \leq H,$$

После преобразований Качурин Н. М. получает уравнение, которое целесообразно использовать для практических расчетов диффузионного потока:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} I_{уд}^{\partial} = I_{уд}^{\partial} |_{\infty} = \frac{D c_0}{H} \quad (1.6)$$

Вопросы массопереноса газов в горном массиве рассмотрены и в работах других ученых [27, 43, 81, 82, 188].

На практике имеются многочисленные свидетельства выхода газов по трещиноватым зонам на поверхность. По наблюдениям сотрудников Центров экологического мониторинга в горнопромышленных районах после закрытия шахт наблюдается вытеснение шахтных газов из затапливаемых горных выработок и выработанного пространства, выход на поверхность и скопление газов в колодцах, подвалах зданий и помещений, в пониженных участках местности [95, 96, 179].

Пучков Л. А. считает разломы земной коры проводящими каналами, участвующими в процессах дегазации земных недр [141].

Таким образом, разработаны теоретические вопросы диффузии и фильтрации газов в горном массиве, имеются многочисленные наблюдения за выходом газов из земных недр на поверхность, пористость, проницаемость массива являются основными его характеристиками, отвечающими за процесс фильтрации.

#### ***1.4.2. Программное обеспечение, используемое при моделировании процессов массопереноса газа***

Современное программное обеспечение в области компьютерного моделирования можно условно разделить на: системы автоматического проектирования (CAD), автоматического производства (CAM) и автоматического инженерного анализа (CAE). К первым двум относятся такие системы, как AutoCAD, DUCT, Pro/Engineer, Unigraphics и SolidsWorks. Они широко используются для компьютерного моделирования изделий сложной формы, с последующим выпуском чертежей и генерацией управляющих программ для станков с ЧПУ. Однако эти специализированные пакеты численного моделирования не обладают развитыми средствами инженерного анализа.

Среди CAE-систем инженерного анализа наибольшее распространение получили следующие системы: ABAQUS, ANSYS, COMSOL, NASTRAN. CAE-системы позволяют не только выполнить качественное моделирование систем

различной физической природы, но и исследовать отклик этих систем на внешние воздействия в виде распределения напряжений, температур, скоростей, электромагнитных полей и т.д. Использование таких программ помогает сократить цикл разработки, снизить стоимость изделий и повысить качества продукции. Рассмотрим подробнее программы, получившие наибольшее распространение в практике моделирования физических процессов.

ABAQUS представляет собой программный комплекс мирового уровня в области конечно-элементных прочностных расчетов, с помощью которых можно получать точные и достоверные решения для самых сложных линейных и нелинейных инженерных проблем, а также программа может использоваться для научно-исследовательских и учебных целей. Программа предназначена для решения традиционных задач конечно элементного анализа, таких как, статика, динамика, теплопередача в совокупности с контактными взаимодействиями и нелинейными свойствами материалов, основана на неявной схеме интегрирования. Разработана программа по модульному принципу. Основной отличительной особенностью программного обеспечения ABAQUS является то, что его можно использовать для анализа сильно нелинейных и быстротекущих процессов, не прибегая к сторонним программам [102].

COMSOL Multiphysics представляет собой мощнейшую интерактивную среду для моделирования и расчетов большинства научных и инженерных задач. Программа основана на дифференциальных уравнениях в частных производных (PDE) методом конечных элементов. Этот программный пакет позволяет расширять стандартные модели, использующие одно дифференциальное уравнение (прикладной режим) в мультифизические модели для расчета связанных между собой физических явлений. Расчет не требует глубокого знания математической физики и метода конечных элементов. Это возможно благодаря тому, что в программу встроены физические режимы, где коэффициенты PDE задаются в виде понятных физических свойств и условий, таких как: теплопроводность, теплоемкость, коэффициент теплоотдачи, объемная мощность и т.п. в зависимости от выбранного физического раздела. Преобразование этих

параметров в коэффициенты математических уравнений происходит автоматически. Взаимодействие с программой возможно стандартным способом – через графический интерфейс пользователя, либо программированием с помощью скриптов на языке COMSOL Script или языке MATLAB [71].

NASTRAN – программный продукт компании MSC Software, которая является разработчиком программного обеспечения для моделирования работы различных изделий. Основными покупателями продукта являются авиакосмические и автомобильные предприятия, производители электроники и других отраслей промышленности. MSC Nastran является главным продуктом компании, существующим на рынке уже более 40 лет. Он позволяет на этапе моделирования изделий выявить основные недостатки предлагаемой модели, за счет чего снижаются затраты на выпуск «нулевой» продукции и предотвращаются возможные аварии и риски, связанные с ее эксплуатацией [187].

ANSYS – это программный пакет конечно-элементного анализа, решающий задачи в различных областях инженерной деятельности (прочность конструкций, термодинамика, механика жидкостей и газов, электромагнетизм), включая связанные междисциплинарные задачи (термопрочность, магнитоупругость и т.п.). Программа существует на рынке уже более 35 лет, что дает ей преимущество перед более «молодыми» программами. В течение этого времени компания ANSYS Inc., непрерывно совершенствует технологию, создает гибкие и удобные системы численного моделирования для широкого круга отраслей производства, что позволяет различным компаниям выполнять полноценный анализ своих проектных разработок.

Несмотря на то, что программа ANSYS располагает богатыми и сложными возможностями, ее организационная структура и «дружеский» графический интерфейс пользователя делают изучение и применение программы очень удобным. Используется отвечающий современным требованиям интерфейс, обеспечивающий удобный интерактивный доступ к функциям, командам, документации и справочным материалам программы, создается своего рода путеводитель, обучающий пользованию программой шаг за шагом при



проведении анализа, что немаловажно при проведении моделирования для больших моделей с множеством деталей. Система меню наделена «интуитивными» свойствами, что позволяет целесообразно управлять программой. Результаты моделирования аэродинамических процессов пользуются доверием у пользователей [55].

Таким образом, программные продукты разработаны на основе современной теории движения газов и могут использоваться как инструмент для компьютерного моделирования переноса газов в массиве.

Все рассмотренные программы позволяют моделировать процессы массопереноса газа. Для моделирования процесса поступления воздуха в тело отвала через проницаемую зону в его основании будем использовать программу ANSYS, так как из всех программ она обладает наиболее удобным интерфейсом, мощности программы позволяют проводить моделирование для больших моделей, результаты моделирования аэродинамических процессов подтверждаются практическими данными и пользуются доверием у пользователей [83-86]. Также официальный полный пакет модулей данной программы есть в НИТУ «МИСиС».

#### ***1.4.4. Связь фильтрационных свойств с напряженным состоянием***

В работах Петухова И. М., Зубкова В. В., Ходырева Е. Д. было предложено геофильтрационное исследование проводить с учетом естественных полей напряжений, на основе геодинамического районирования [63, 133]. Принималось, что продуктивный нефтяной пласт представлен квазиизотропными трещиновато-пористыми коллекторами с хаотическим распределением систем трещин. В этом случае без учета блочной структуры месторождения пласт однороден по проницаемости, изменение которой отражают изменение проявления геодинамических факторов. Результаты моделирования, представленные в [41], показали, что изменение напряженного состояния существенным образом сказывается на картине геофильтрационных характеристик массива. Так, при сжатии блочного массива возникает относительно пригруженные и относительно

разгруженные участки горного массива, в которых проницаемость снижена и увеличена соответственно.

Связь между проницаемостью и напряженным состоянием массива подтверждается и экспериментальными данными [197, 199, 210].

Процессам сдвижения приписывают исключительную роль в геофильтрационном преобразовании массива [116]. Согласно работам Мохова А. В., в процессе сдвижения происходит существенное увеличение фильтрационных свойств пород, появление дрен с высокой водозахватной способностью и, нередко, существенное изменение гидрогеологического строения массива. По результатам наблюдений «вокруг шахт происходит снижение уровня подземных вод, изменение картины их выходов, прекращение или ослабление разгрузки на земную поверхность питания распределения сухих, водоносных, водоупорных частей массива, подтягивание к выработкам вод глубоких горизонтов, утечки поверхностных вод в выработки и прочее. Снижение уровня происходит нередко вплоть до нижнего горизонта разработки и может составлять сотни метров. Возможно осушение покровных отложений».

Таким образом, проведенный анализ показывает, что:

- разработана современная теория массопереноса газов в горном массиве;
- имеется программное обеспечение для моделирования процесса массопереноса газов;
- экспериментальными и теоретическими работами, а также моделированием установлена связь между напряженным состоянием массива и его проницаемостью, что может быть использовано для объяснения существования высокопроницаемых зон, проходящих под телом отвала.

### **1.5. Практика выбора мест для размещения углепородных отвалов**

При проектировании отвалов, в первую очередь выбирается площадь, подлежащая отводу. Она складывается из следующих площадей: под породный отвал, транспортные коммуникации и санитарно-защитные зоны (СЗЗ). В

настоящее время место расположения породных отвалов выбирается на землях, непригодных для сельскохозяйственного производства и других целей так, чтобы, в первую очередь, расстояние транспортирования породы от угольного предприятия до породного отвала было минимальным, что обусловлено экономической рентабельностью. Площадка под отвал должна быть свободна от залежей полезных ископаемых, имеющих промышленное значение при добыче открытым способом, на ней не должно быть выходов пластов угля.

Кроме того, отвалы не рекомендуется располагать с подветренной стороны жилых зданий, помещений общественного и коммунального назначения, а также стволов (шурфов), также необходимо учитывать направление господствующего ветра на данной территории.

Зачастую наиболее целесообразным считается расположение отвалов в балках и оврагах, отработанных карьерах с разработкой инженерных решений по отводу ливневых стоков, для предотвращения заболачивания и подтопления территории [3, 67, 69, 152].

Основные факторы, которые принимаются при выборе мест расположения отвалов это:

1. Расстояние транспортирования отвальной массы должно быть минимальным
2. Расположение на малоценных землях
3. Расположение с подветренной стороны от селитебных и общественных зон.
4. Расположение за пределами выходов пластов под наносы и геологических нарушений.

Таким образом, при выборе мест расположения отвалов не учитывается напряженное состояние массива и наличие геодинамически активных зон. Несмотря на то, что есть данные о влиянии геодинамических процессов на инженерные сооружения, что проницаемость массива связана с его напряженным состоянием, что многими авторами признается существование геодинамически активных зон, на практике это во внимание не принимается. В связи с этим и

возникла идея диссертации, которая заключается в том, что процессу самовозгорания способствует размещение отвала в геодинамически опасных зонах земной коры. Благодаря наличию геодинамически опасной зоны и ее высокой проницаемости возникает связь отвалов с окружающей средой, в том числе с областью ведения горных работ на угольных шахтах [19, 194, 207].

### **1.6. Цель и задачи исследования**

Исходя из вышеизложенного, в диссертационной работе сформулированы цели и задачи исследования.

Основной целью диссертационного исследования является установление влияния геодинамических условий района на тепловое состояние углепородных отвалов для обоснования рекомендаций по их безопасному размещению.

Задачи диссертационного исследования:

1. Определить особенности геодинамического состояния района размещения углепородных отвалов на основе анализа горно-геологических материалов и геодинамического районирования;
2. Выполнить анализ теплового состояния и параметров углепородных отвалов на территории Восточного Донбасса на 2015 год;
3. Исследовать пространственное распределение горящих углепородных отвалов относительно геодинамически опасных зон в районе Восточного Донбасса;
4. Исследовать с помощью компьютерного моделирования процесс поступления воздуха в тело отвала через геодинамически опасные зоны, представляющие собой более проницаемые участки горного массива;
5. Обосновать методические рекомендации по выбору безопасных мест размещения углепородных отвалов с учетом геодинамики района.

## ГЛАВА 2. ГЕОДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

Основные составляющие геодинамического состояния – это структурное строение и напряженное состояние массива. В разделе 2.2 и 2.3 приведены результаты выделения блочной структуры района Восточного Донбасса и геологическая интерпретация границ блоков, в разделе 2.4 приведен анализ напряженного состояния исследуемого района.

### 2.1. Методика выделения блочных структур

Метод геодинамического районирования позволяет выделить блочную структуру исследуемого района. Согласно разработкам Петухова И. М. , Батугиной И. М. границы блоков земной коры различных рангов определяются картографическим методом. При этом блоки I ранга выделяют по топографической карте масштаба 1:2500000, блоки II ранга – по топографическим картам масштаба 1:1000000 в пределах блока I ранга, в котором расположена исследуемая территория. Блоки III ранга выделяют по топографическим картам масштаба 1:200000, 1:100000 в пределах блока II ранга, к которому приурочена исследуемая территория. Блоки IV ранга выделяют по топографическим картам масштаба 1:25000 в пределах блока III ранга, в котором расположена исследуемая территория.

Первоначально при выделении блоков земной коры на карте определяются минимальная разница высот, достаточная для отнесения двух соседних участков к разным блокам [123]. Согласно методике геодинамического районирования за минимальную разницу высот можно принять  $0,1(H_{\max} - H_{\min})$ , где  $H_{\max}$  – максимальная высота рельефа, а  $H_{\min}$  – минимальная высота рельефа рассматриваемой территории без учета врезов речных долин. На карте отмечают опорные высоты, к которым относятся отметки водоразделов, отчетливо выраженные горизонтальные площадки (ступени) на склонах гор, а также пониженные выровненные участки. При этом во внимание не принимаются отметки склонов и речных долин. Опорные высоты позволяют оконтуривать

блоки линиями разломов. Выделение границ блоков осуществляется по следующим дешифровочным признакам рельефа:

- подножью склонов;
- последовательно размещенным спрямленным участкам речных долин;
- перегибу склона, отделяющему тектоническую ступень от более возвышенной части;
- тяготению к определенной линии русел разных рек и ручьев, в результате чего, последовательно соединяя эти русла, можно получить одну линию;
- приуроченности коленообразных изгибов речных долин к одной общей линии;
- линейному расположению седловидных перегибов или уступов двух или нескольких соседних гряд.

Всей поверхности выделенного блока условно приписывается наивысшая отметка в пределах этого участка. В результате исследуемая территория разбивается на блоки разной формы, разных размеров и разной абсолютной высоты [41].

## **2.2. Результаты выделения блочной структуры района Восточного Донбасса**

### ***2.2.1. Выделение границ блоков I, II ранга***

При исследовании блочного строения района частично использовались материалы по геодинамическому районированию Донбасса, выполненные в 1990 году [37, 146]. В частности, в этих работах приведена схема блочного строения 1-го ранга, которая захватывает рассматриваемую территорию. Исследуемый участок имеет площадь 36,8 тыс. км<sup>2</sup> и простирается с юга на север от г. Ростов-на-Дону до г. Луганск, а с запада на восток – от г. Горловка до р. Северский Донец. С юга территорию ограничивает граница блоков I ранга А-В, проходящая вдоль р. Маныч севернее г. Ростов-на-Дону и далее на запад, фиксируясь коленообразными изгибами нижнего течения р. Миус, рис. 2.1.

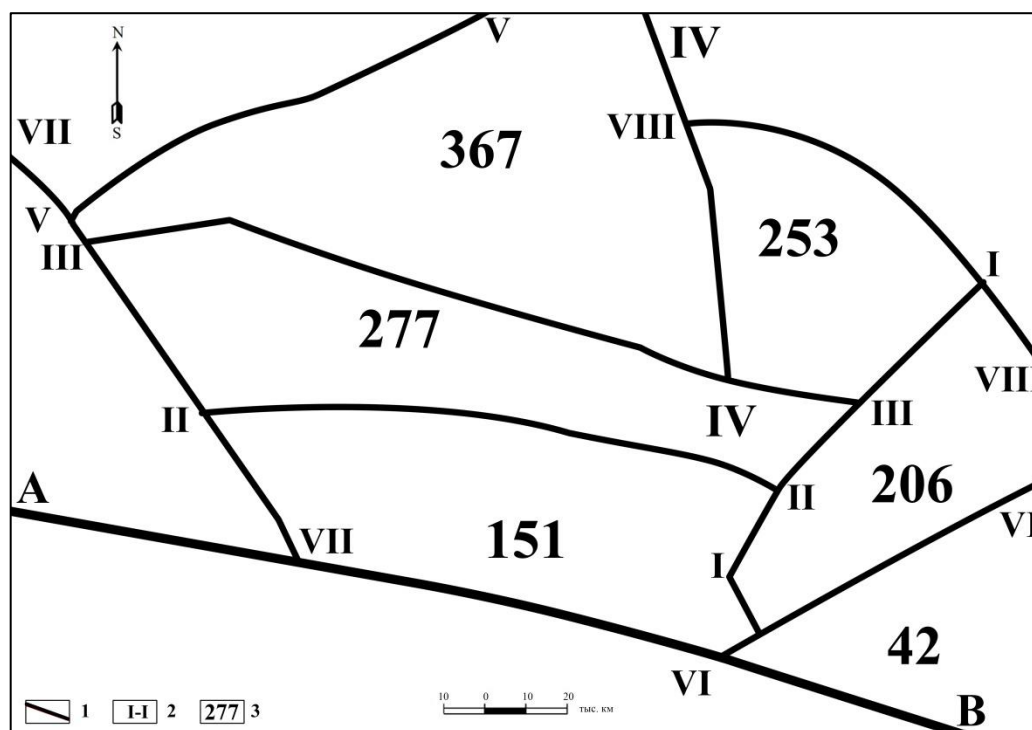


Рисунок 2.1 – Схема блоков I-II рангов: 1 – границы блоков (ГОЗ); 2 – обозначение границы блока; 3 – максимальная высотная отметка блока

Блоки II ранга выделялись согласно методике по топографической карте масштаба 1:1000000. Минимальная разница высот, достаточная для отнесения двух соседних участков к разным блокам, составляет 50 м. В результате изучаемый участок был разделен на 5 блоков II ранга: 367, 277, 253, 206 и 151, рис. 2.1.

Из границ блоков II ранга наибольший интерес представляют границы I-I, II-II, III-III, поскольку они расположены непосредственно в районе размещения углепородных отвалов вблизи городов Шахты и Новошахтинск.

Граница I-I разделяет блоки 253 и 206 (рис 2.1) имеет северо-восточное простираие. На севере фиксируется в районе поселка Синегорский Белокалитвинского района Ростовской области, южнее прослеживается через г. Шахты и на юге проходит вдоль р. Грушевка до г. Новочеркасск.

Границы блоков II-II и III-III имеют запад-северо-западное, близкое к субширотному простираие. Граница II-II разделяет блоки 277 и 151. На западе фиксируется вблизи г. Амвросиевка, далее простирается на восток через п. Майский до сочленения с границей I-I южнее г. Шахты. Граница III-III разделяет

блоки 367 и 277, проходит севернее границы II-II, практически параллельно ей. На западе фиксируется в районе п. Нижняя Крынка, далее простирается на юго-восток севернее п. Горняк до места сочленения с границей I-I.

### 2.2.2. Анализ схемы блоков II-IV рангов

Границы блоков III ранга выделялись по топографической карте 1:100000, а границы блоков IV ранга по топографической карте масштаба 1:25000. На рисунке 2.2 представлена объединенная схема блоков II-IV рангов района городов Шахты и Новошахтинск.

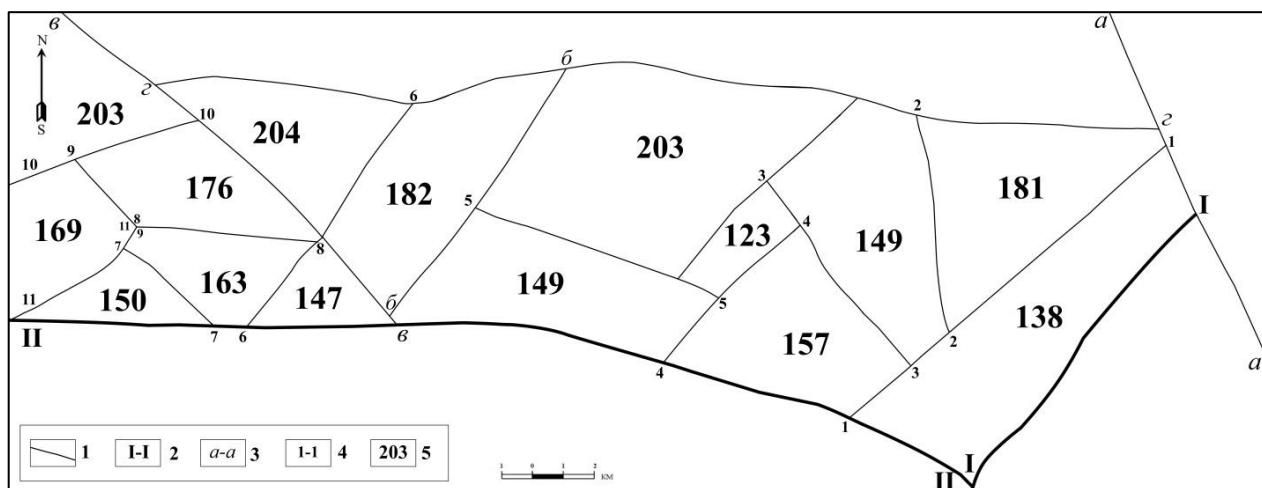


Рисунок 2.2 – Схема блоков II-IV рангов в районе городов Шахты и Новошахтинск Ростовской области: 1 – границы блоков (ГОЗ); 2 – обозначение границ блоков II ранга; 3- обозначение границ блоков III ранга; 4 – обозначение границ блоков IV ранга; 5 – максимальная высотная отметка блока.

По карте масштаба 1:25000 можно уточнить положение границ блоков II ранга.

Граница блоков I-I пересекает в северо-восточном направлении г. Шахты и прослеживается по коленообразным изгибам и спрямленным участкам русла р. Грушевка, а севернее г. Шахты по участку русла р. Кадамовка.

Граница блоков II-II на исследуемом участке фиксируется такими фрагментами рельефа, как: спрямленные и коленообразные участки русел рек, тальвеги балок и оврагов, седловина. С запада на восток эти фрагменты представлены: участком русла р. Большой Несветай ниже поселка Самбек; балкой, проходящей через поселок Нижнесолёный; седловиной в районе



высотной отметки 162 метра; верховьем балки Уюк; балками Бугултай и Цурюпа; серией оврагов на крутом берегу р. Аюта севернее поселка Новогригорьевка; верховьем балки Булухта в районе поселка Майский; коленообразным изгибом русла балки Турбута; далее граница проходит под отвалом ш. Южная и отвалом шурфа №3 ш. Южная; далее фиксируется спрямленным участком русла в нижнем течении р. Атюхта; коленообразным изгибом р. Грушевка; в месте сочленения границы I-I.

Границы блоков III ранга имеют северо-западное и северо-восточное простирание. Одна из них, условно названная разлом Несветаевский, имеет северо-западное простирание и проходит к юго-западу от г. Новошахтинска. В южной части г. Новошахтинск разлом фиксируется коленообразным изгибом р. Большой Несветай длиной около 500 м. Далее на северо-запад он проходит через район Ильичевка-Белышев, фиксируется 75-метровым коленообразным изгибом балки Большой Бугултай. Северо-западнее прослеживается по подножью склона, проходит под центральной частью отвала ш. «Несветаевская» и далее фиксируется коленообразным изгибом русла р. Большой Несветай в районе п. Личный труд и далее вдоль балки Большая Каменная в направлении п. Черников. Характер коленообразных изгибов тальвегов балок и речных русел характеризует разлом как левый сдвиг.

Граница блоков III ранга северо-западного простирания, условно названная разлом Кадамовский, на исследуемом участке с юго-востока на северо-запад проходит по коленообразному изгибу русла р. Кадамовка, верховьям балки Футбольная, севернее поселка Артем вдоль русла р. Грушевка.

Граница блоков III ранга, условно названная разлом Новопавловский, прослеживается от поселка Бугултай вдоль русла р. Малый Несветай до поселка Новопавловка и далее на северо-восток вдоль балки Хлопова до ее верховья.

Граница блоков III ранга, условно названная разлом Юбилейный, имеет субширотное простирание и прослеживается от поселка Шевченко на западе Новошахтинска до пересечения с Кадамовским разломом севернее г. Шахты. С запада на восток граница прослеживается вдоль балки Собачья, далее проходит

вдоль балки Соленая, фиксируется коленообразным изгибом верховьев балки Хлопова, где пересекается с разломом Новопавловский, далее идет вдоль безымянной балки, затем вдоль балки Таловая южнее поселка Юбилейный, далее на восток проходит через нижнюю часть балки Букина и идет вдоль перегиба склона на восток до пересечения с разломом Кадамовский.

Границы боков IV ранга в исследуемом районе имеют северо-западное, северо-восточное и меридиональное простирание [17].

### **2.3. Геологическая интерпретация границ блоков**

Для геологической идентификации границ блоков использовалось сопоставление полученной схемы блоков с тектоническими картами исследуемого района. Были использованы:

- схема тектонического районирования Донбасса, составленная Поповым В. С. с дополнениями Потапова И. И. [42];
- фрагмент карты разломов территории СССР и сопредельных стран, лист карты №5, составленный Сечкиной Л. В. [165];
- лист №29 из альбома схематических карт ... [5] с нанесенными элементами тектоники, выявленной при ведении горных работ;
- схема кайнозойской тектоники Донбасса и соседних территорий, составленная М. Л. Коппом и В. А. Корчемагиным [92].

Краткий анализ результатов сопоставления представлен ниже.

#### ***2.3.1. Анализ сопоставления схемы блоков со схемой тектонического районирования Донбасса***

В работе [42] представлена схема тектонического районирования Донбасса, составленная В. С. Поповым с дополнениями Потапова И. И. На данной карте исследуемый район попадает в зону крупных линейных складок, которые более подробно не детализированы, рис. 2.3.



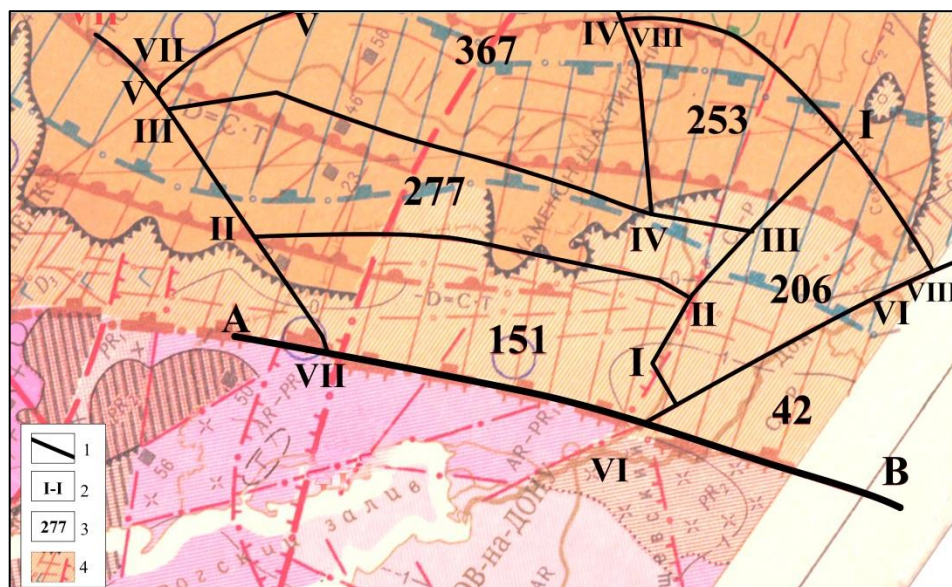


Рисунок 2.4 – Совмещенная схема границ блоков и карты разломов территории СССР и сопредельных стран: 1 – границы блоков (ГОЗ); 2 – обозначение границ блоков; 3 – высотная отметка блока; 4 – карта разломов территории СССР и сопредельных стран

Граница блоков I-I пространственно совмещается с Аксайско-Грушевским разломом северо-восточного простирания. Границы блоков II-II и III-III соответствуют по простиранию и местоположению границ крупной линейной тектонической структуры мезозойского возраста. Граница I ранга А-В совмещается с крупным разломом, проходящим севернее Таганрогского залива. Граница блоков VIII-VIII на участке от р. Северский Донецк г. Коксовый на востоке до г. Донецк на западе совмещается с крупным разломом мезозойского возраста. Учитывая мелкий масштаб карты разломов СССР и сопредельных стран (1:2 500 000), можем принять, что границы блоков II ранга I-I, II-II, III-III находят соответствие на тектонической карте. Вместе с тем граница блоков IV-IV и VII-VII занимают секущее положение относительно разломов различного возраста, показанных на карте [165].

### ***2.3.3 Анализ сопоставления схемы блоков с детальной тектоникой района, выявленной горными работами***

Схема блоков с элементами шахтной тектоники представлена на рисунке 2.5.

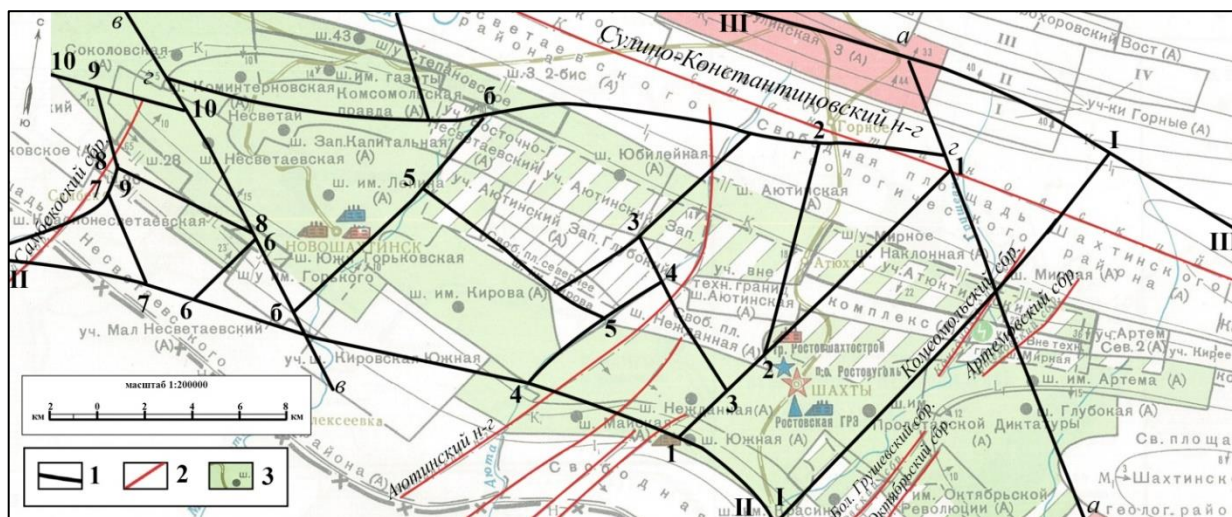


Рисунок 2.5 – Схема блоков с элементами шахтной тектоники: 1 – границы блоков (ГОЗ); 2 – разрывные нарушения района; 3 – карта шахтной тектоники Производственного объединения Ростовуголь (южная часть) [5].

Как видно из рисунка, границы блоков, имеющие северо-восточное простирание, являются поперечными относительно главных структурных элементов разломов (Шахтинско-Несветаевской синклинали). Часть границ блоков имеют почти продольное расположение относительно главных структурных элементов. Часть границ блоков северо-западного простирания занимает секущее положение.

В геологическом плане в пределах главной Шахтинско-Несветаевской синклинали геологоразведочными работами выявлено несколько поперечных поднятий (Аютинское, Керчинское и Кондаковское). Здесь интересно отметить, что границы между поперечными частями выражены в массиве резкими изменениями простирания каменноугольных пластов, иногда группами поперечных разрывов. То есть по геологическим данным границы между поперечными частями представляют собой не крупные поперечные разрывы, а широкие зоны повышенной нарушенности. Наиболее крупные разрывные нарушения района представлены на рисунке 2.5.

Некоторые из них, такие как Большой Грушевский, Октябрьский, Староозовский сбросы, имеют почти вертикальное падение. Также крутопадающим являются Комсомольский сброс ( $60-75^{\circ}$ ), Самбековский сброс ( $75-85^{\circ}$ ), Артемовский сброс ( $68-70^{\circ}$ ).



На рисунке 2.5 видно, что некоторые из границ блоков совмещаются с крупными нарушениями района. Так, граница I-I проходит вдоль Большого Грушевского сброса и фактически накладывается на Комсомольский сброс, амплитуда которого достигает 8-10 метров и затухает в южном направлении. Граница блоков IV ранга, условно названная Атюхтинским разломом, в районе поля шахты Нежданная представлена группой разрывных нарушений, амплитуда которых затухает к ядру складки в северо-восточном направлении. Также граница блоков IV ранга, условно названная разлом Аютинский, пространственно совмещается с Аютинским надвигом одним из наиболее крупных поперечных разрывов (амплитуда до 35 м).

Одним из примеров границ блоков, занимающих секущее положение, является Несветаевский разлом северо-западного простирания. Наиболее близкий к нему Самбековский сброс с амплитудой около 35 м, наблюдающийся в обнажениях пород карбона по р. Большому Несветаю, имеет северо-восточное и близмеридиональное простирание с крутым ( $75-85^\circ$ ) падением сместителя, т.е. Несветаевский разлом занимает секущее положение относительно крупных дизъюнктивов района.

В то же время Самбековский сброс совмещается с границей блоков IV ранга, условно названной Самбековским разломом.

Таким образом, как видно из приведенного анализа, часть границ блоков совпадают с крупными нарушениями района (граница I-I и Комсомольский сброс, разлом Аютинский и Аютинский надвиг и др.), другая часть границ блоков совмещается с группами мелких тектонических нарушений и зонами затухания более крупных нарушений (Атюхтинский разлом, южная часть Грушевского разлома в блоке 138); еще одна часть границ блоков занимает секущее положение (Несветаевский и Кадамовский разломы).

Объяснение существования поперечных и секущих новейших и современных разломов в данном районе можно найти, например, в работах Коппа М. Л. и Корчемагина В. А., представленные далее в п. 2.3.4.

### 2.3.4. Анализ сопоставления схемы блоков со схемой кайнозойской тектоники Донбасса и соседних территорий

На рисунке 2.6 представлена схема кайнозойской тектоники Донбасса и соседних территорий с выделением района проведения диссертационных исследований.

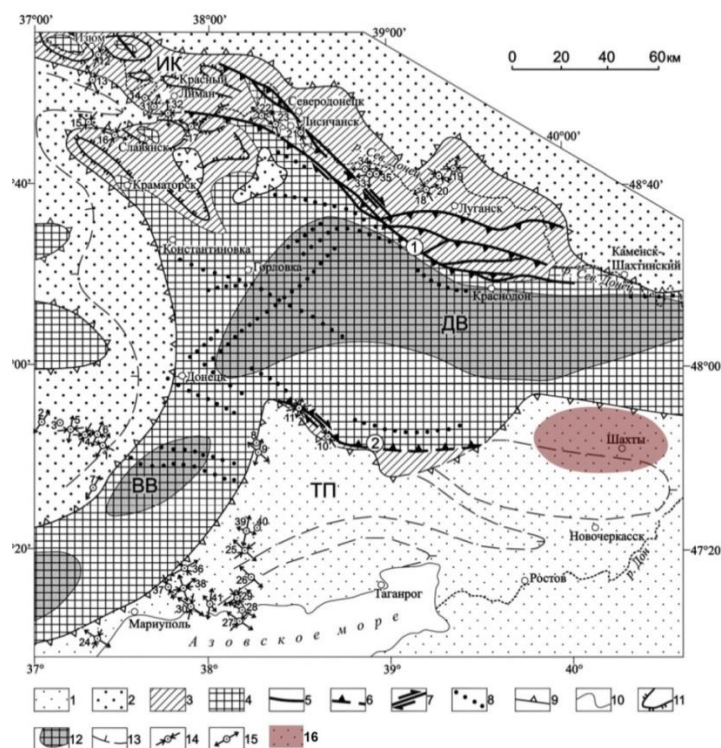


Рисунок 2.6 – Схема кайнозойской тектоники Донбасса и соседних территорий [92]: 1-4 – тектонические комплексы (1 – позднеальпийский (новейший) позднемиоцен-четвертичного возраста, 2 – альпийский нерасчлененный (ларамийско-позднеальпийский) эоцен-четвертичного возраста, 3 – альпийский доорогенный комплекс триас-палеоценового возраста на северо-западе территории и мел-олигоценового – на юго-востоке, 4 – доальпийские комплексы); 5-7 – разрывы, развивавшиеся на альпийском этапе (5 – без разделения по кинематике, 6 – взбросы и надвиги, 7 – сдвиги); 8 – разрывы доальпийские и с неясным верхним возрастным пределом; 9 – подошва альпийского орогенного комплекса; 10 – граница альпийского доорогенного и доальпийского комплексов; 11 – структурные линии внутри альпийского доорогенного комплекса (бергштрихи – по погружению структур); 12 – поднятия, образующие Донецко-Приазовский неотектонический мегавал; 13 – структурные линии внутри

альпийского орогенного комплекса; 14-15 – ориентация главных осей напряжений/деформаций; 16 – район диссертационных исследований; Региональные кайнозойские структуры: ИК – Изюмско-Краматорская зона ларамийских складок, ДК – Донецкий новейший вал, ВВ – Волновахский новейший вал, ТП – Тузловский прогиб. Зоны разрывов: 1 – Северодонецкая, 2 – Персиановская.

В данной работе [92] указывается, что в кайнозое в регионе Донбасса проявились две орогенические эпохи: раннеальпийская (условно ларамийская – конец мела-палеоцен) и поздне-альпийская, или новейшая, (неоген-четвертичный период). Район гг. Шахты, Новошахтинск расположен в новейшем тектоническом комплексе позднемиоцен-четвертичного возраста, рассеченном структурными линиями неустановленной кинематики. Для рассматриваемого вопроса важно, что существуют геологические доказательства перестройки тектонического плана в данном регионе и появления новых тектонических элементов в новейшее время. Например, Донецко-Североазовский неотектонический мегавал выходит далеко за пределы Донецкого складчатого сооружения и пересекает его границу с Украинским щитом. В восточной части региона ареал новейших деформаций выходит за пределы Днепровско-Донецкого авлакогена. Отмечена также новейшая реактивация некоторых крупных нарушений района. Например, как видно на рисунке 2.6 Северодонецкий и Персиановский надвиги были активизированы как правые сдвиги.

Таким образом, имеются геологические доказательства проявления тектонической активности в данном регионе в новейшее время и перестройки структурного плана в новейшее время. Этим можно объяснить существование здесь поперечных и диагональных секущих границ блоков.

#### **2.4. О напряженном состоянии земной коры в районе Восточного Донбасса**

Согласно современным представлениям, на многих участках земной коры действует сдвиговое или взбросовое поле напряжений, т.е. направление максимального сжатия горизонтально [22, 62, 64, 98, 99]. В районе Донбасса



напряженное состояние в основном изучалось методами тектонофизики [37, 94, 146]. Также были проведены работы измерения напряжений методами разгрузки [88]. В. А. Корчемагиным показано, что кайнозойские и, по-видимому, современные поля напряжений характеризуются направлением максимального сжатия, ориентированного северо-запад – юго-восток.

В работе [88] приводятся результаты измерения величин напряжений на шахтах Донецка методом гидроразрыва. Авторы приходят к выводу, что максимальное сжатие в регионе ориентировано горизонтально и превышает вертикальную составляющую в 2,4 – 3,5 раза.

В конце 1980-х годов в Донбассе были проведены комплексные исследования, включающие выделение современной блочной структуры шахтных полей и оценку напряженного состояния блоков. При тектонофизическом анализе границ блоков в районе шахт им. Калинина и им. Газеты Социалистический Донбасс в г. Донецке (1990 г.) А. С. Батугин получил, что локальное поле напряжений в районе Донбасса характеризуется северо-западным направлением оси максимального сжатия ( $135^\circ$ ) [37, 146]. Ось минимального сжатия ориентирована горизонтально в направлении северо-восток, ось промежуточных напряжений вертикальна.

Таким образом, можем принять, что в изучаемом районе расположения угольных отвалов действует сдвиговое поле напряжений с ориентировкой максимального сжатия в направлении юго-восток – северо-запад. В этом поле напряжений вертикально ориентированные границы блоков северо-западного простирания, такие как Кадамовский, Несветаевский разломы, граница блоков II ранга II-II, попадают в квадранты растяжения, а границы блоков северо-восточного простирания, такие как I-I, Аютинский, Атюхтинский и некоторые другие разломы, попадают в квадранты сжатия.

### **Выводы**

Установлены следующие особенности геодинамического состояния исследуемого района:

1. Границы блоков II ранга хорошо выражены в рельефе и разделяют разновысотные блоки с амплитудой 50 м и имеют корреляцию с региональными тектоническими разрывами, такими как Манычский, Аксайско-Грушевский и другими разломами, показанными на тектонических схемах масштабов 1:2500000 – 1:1000000.

2. Границы блоков III-IV рангов прямолинейные, хорошо выражены в рельефе, фиксируются балками, коленообразными изгибами их тальвегов а также русел мелких речек. В тектоническом строении массива эти границы частично выражены разрывными нарушениями с амплитудой в первые десятки метров, представлены группами мелкоамплитудных разрывов, зонами затухания разрывов, резкими изгибами простирания углепородной толщи, что позволяет рассматривать их, как зоны повышенной трещиноватости и мелкой нарушенности.

3. В изучаемом районе действует сдвиговое поле напряжений с ориентировкой максимального сжатия в направлении юго-восток – северо-запад, что создает различные тектонофизические условия в зонах разломов: для разломов северо-восточного простирания условия относительного сжатия, а для разломов северо-западного простирания условия относительного растяжения.

## ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИУРОЧЕННОСТИ ГОРЯЩИХ ОТВАЛОВ К ГЕОДИНАМИЧЕСКИ ОПАСНЫМ ЗОНАМ

### 3.1. Анализ характеристик углепородных отвалов Восточного Донбасса

На территории Восточного Донбасса сформировано 202 отвала, занимающих территорию более 1 000 га. Из всех сформированных отвалов 33 горят, 15 разобрано, а 63 имели случаи возгорания, но либо потухли самостоятельно, либо были потушены и рекультивированы. Наиболее опасная экологическая ситуация сложилась в Шахтинском и Новошахтинском угольных районах данного региона, где расположена практически половина всех горящих и имевших случаи самовозгорания отвалов (табл. 3.1). Кроме того, на сегодняшний день ряд отвалов находится в черте населенных мест (рис. 3.1).

Таблица 3.1. Состояние отвалов на территории Восточного Донбасса

Угольный район	Количество отвалов	Количество горящих	Разобрано	Горевшие
Шахтинский	74	16	6	26
Новошахтинский	43	11		
Шолоховский	48	4	6	18
Гуковский	23	2	1	11
Донецкий	14	0	0	8
ИТОГО:	202	33	13	63



Рисунок 3.1 – Отвалы Шахтинского и Новошахтинского районов

На сегодняшний день не существует единого мнения относительно природы самовозгорания углепородных отвалов. Многочисленными исследованиями

установлено, что развитие процесса самовозгорания углепородных отвалов зависит от ряда горнотехнических и горно-геологических условий, среди которых наибольшее значение имеют:

- петрологический состав;
- метаморфизм углей;
- влажность и сернистость исходного материала;
- температура окружающей среды;
- условия их образования;
- способ добычи;
- структура разрабатываемых пластов;
- размер и форма отвалов;
- газовая среда и парциальное давление кислорода в отвале [38, 39].

Из этих характеристик, на возгораемость отвалов в наибольшей мере могут влиять форма, высота отвала и состав отвальной массы [3, 34, 155 и др.]. Проанализируем эти характеристики для отвалов Восточного Донбасса.

### ***3.1.2 Анализ влияния формы углепородных отвалов на их тепловое состояние***

Существует мнение, что основной характеристикой, благоприятствующей возгоранию, является форма отвалов [3, 154]. Проанализируем долю горящих отвалов в зависимости от их формы.

Как видно из рисунка 3.2, чуть больше половины (55%) горящих отвалов имеют коническую или хребтовидную формы.

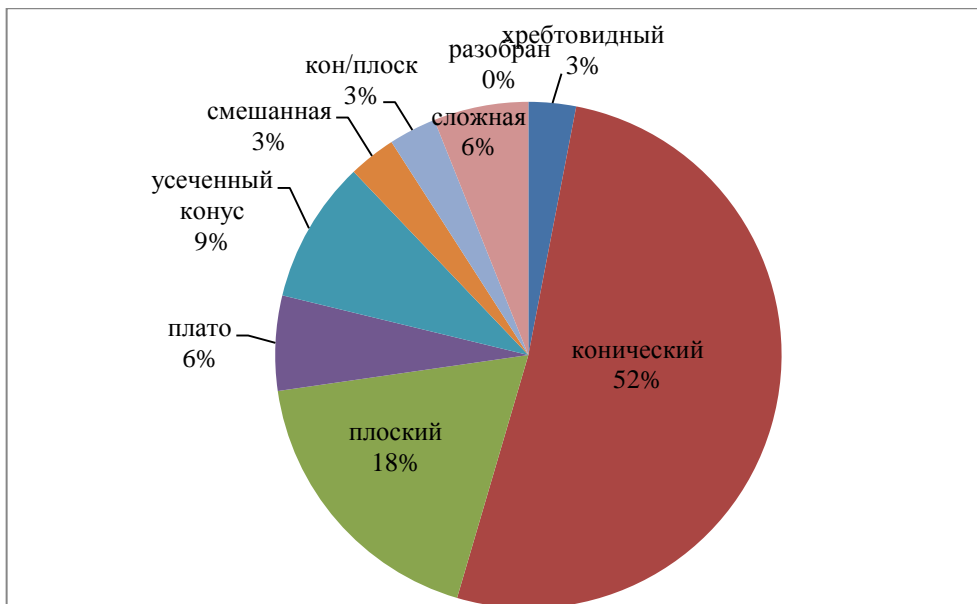


Рисунок 3.2 – Круговая диаграмма долей горящих отвалов в зависимости от их формы

Но с другой стороны, как видно из рисунка 3.3 доля отвалов конической и хребтовидной формы от общего числа всех отвалов так же составляет половину (49%). Поэтому для данного района нельзя сделать вывод, что конические или хребтовидные отвалы больше склонны к возгоранию.

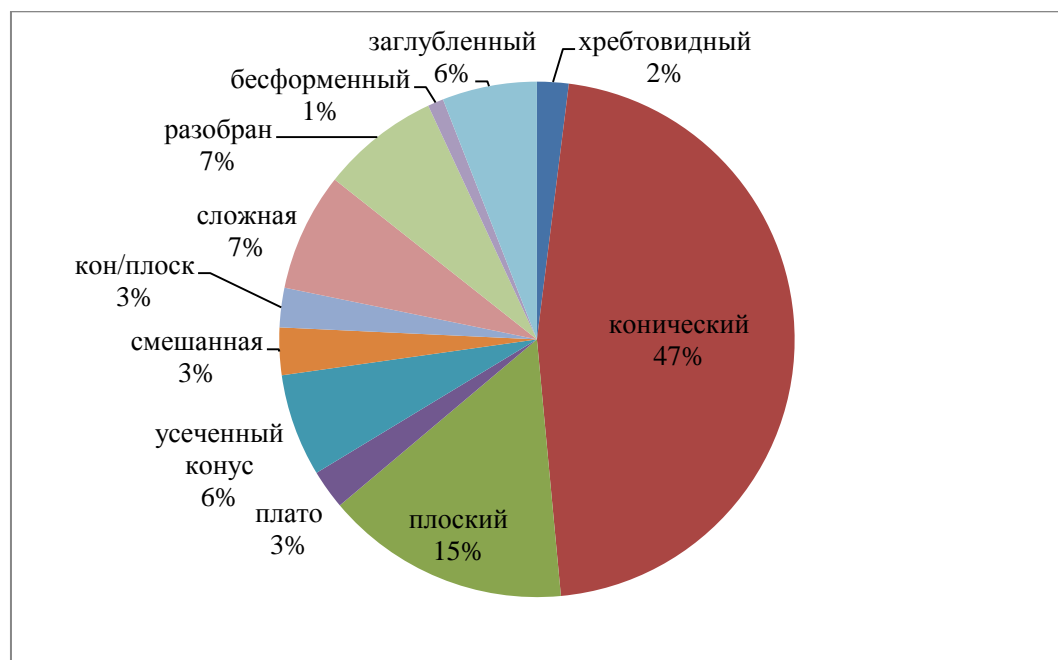


Рисунок 3.3 – Круговая диаграмма долей отвалов от их общего числа в зависимости от формы

Проанализируем долю горящих отвалов от общего числа для всех основных форм отвалов, сформированных на территории Восточного Донбасса (рис. 3.4.).

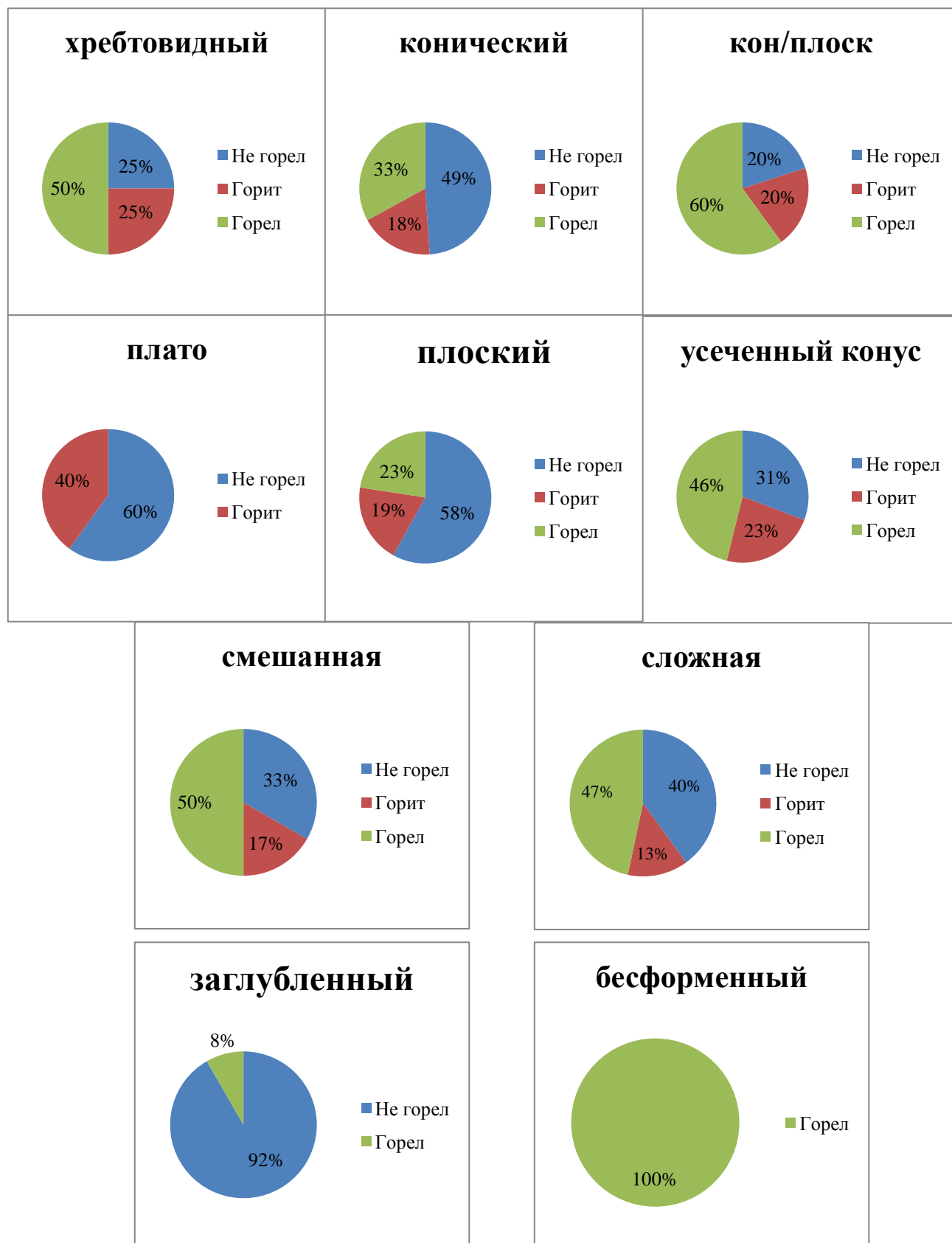


Рисунок 3.4 – Круговые диаграммы долей горящих, перегоревших и негорящих отвалов для различных форм отвалов.

Как видно по диаграммам, рис. 3.4., доля горящих отвалов в среднем составляет 15-20 % для отвалов любой формы, т.е. мало зависит от нее для данного района.

И действительно, как видно на рисунке 3.5, доля горящих отвалов колеблется в интервале 15-25 %, следовательно, для дальнейших рассуждений можем принять, что в данном районе доля горящих отвалов не связана с их формой. Поэтому при дальнейшем анализе форму отвалов, как фактор, способствующих их возгоранию, можем не учитывать.

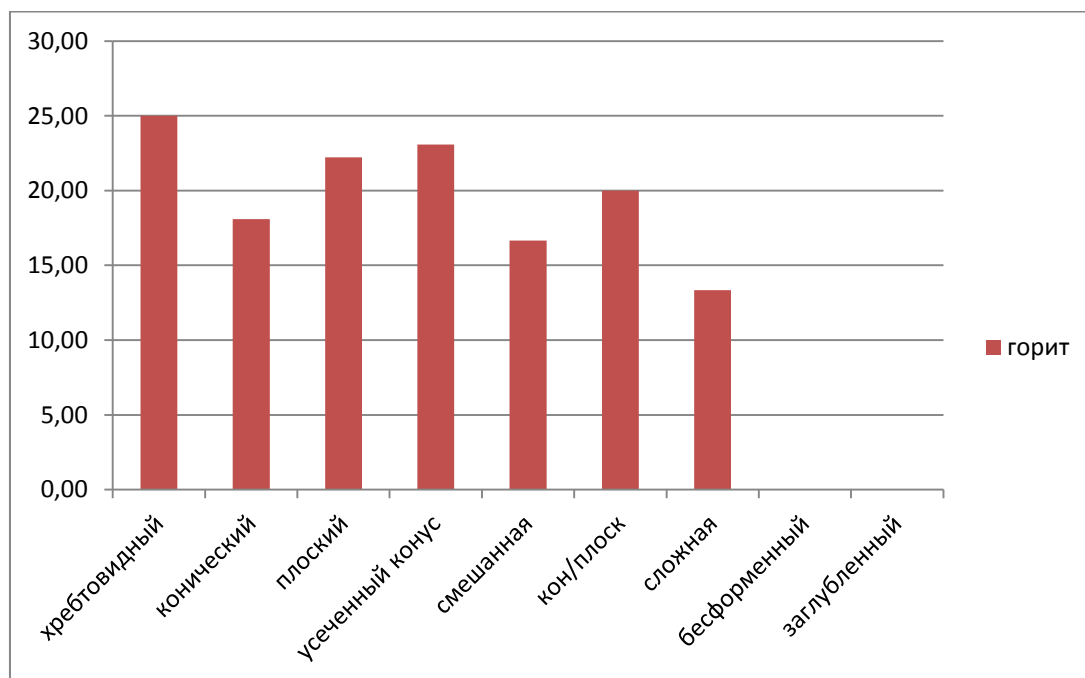


Рисунок 3.5 – Гистограмма долей горящих отвалов в зависимости от их формы

### ***3.1.2 Анализ влияния высоты угленородных отвалов на их тепловое состояние***

Среди ряда ученых, занимающихся проблемой возгорания отвалов, сложилось мнение, что с увеличением высоты отсыпки отвала увеличивается вероятность его возгорания [3, 122, 144]. Построим диаграммы распределения высоты отсыпки для горящих и негорящих отвалов, рис. 3.6 и 3.7.

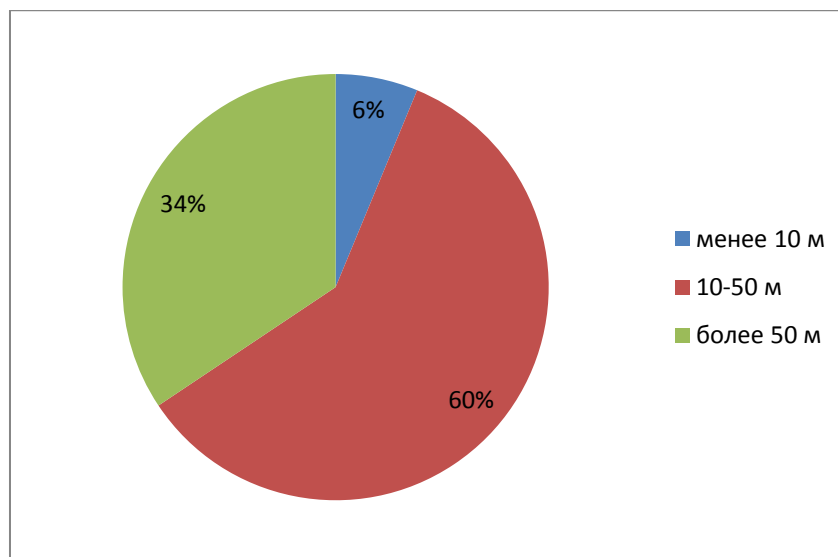


Рисунок 3.7 – Распределение по высоте горящих и перегоревших отвалов на изучаемой территории (Шахтинский и Новошахтинский район)

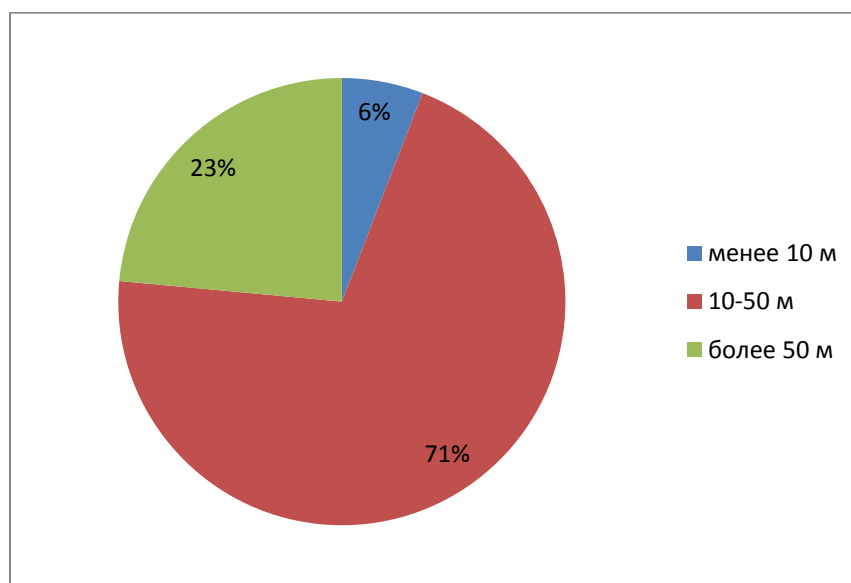


Рисунок 3.8 – Распределение по высоте горящих и перегоревших углепородных отвалов, расположенных в ГОЗ

Как видно из диаграмм, доля горящих и перегоревших отвалов в диапазоне высот 10-50 м составляет 60% от их общего количества. Доля горящих и перегоревших отвалов в этом же диапазоне высот, но расположенных в ГОЗ больше, и составляет 71%, или подавляющее большинство. С другой стороны, доля высоких горящих и перегоревших отвалов (более 50 м) составляет в среднем 34%, а в ГОЗ – 23%. Из этих данных видно, что горящие и перегоревшие отвалы, которые сосредоточены в ГОЗ, в подавляющем большинстве попадают в средний диапазон высот, а доля высоких горящих и перегоревших отвалов даже ниже



среднего значения. Иначе говоря, не наблюдается приуроченности высоких горящих отвалов к ГОЗ.

### ***3.1.3 Анализ состава отвальной массы***

#### *Анализ литологического состава отвальной массы*

Формирование отвалов происходит за счет горных пород, выдаваемых на поверхность из шахт, вскрышных слоев угольных разрезов в результате проходки выработок по горному массиву (52 %), а также отходов, образующихся в результате их ремонта (48%) [34].

Поэтому средний литологический состав углепородных отвалов отражает состав разрабатываемой угленосной толщи. Исследованиями установлено, что породный отвал в среднем состоит из следующих горных пород [34]:

- аргиллиты – 60-80 %;
- алевролиты – 10-30 %;
- песчаники – 4-10 %;
- известняки – менее 6%;
- примеси угля – 5-20%

Кроме того, отвалы содержат долю техногенных материалов от ремонта горных выработок – деревянные крепи, металлические изделия, провода пластика и др.

Таким образом, литологический состав отвальной массы включает:

- аргиллиты;
- алевролиты;
- примеси кусков дерева;
- песчаники;
- известняки;
- угольные остатки;
- анкерит (окаменелое дерево);
- доломит;
- технический мусор;

- металлические изделия.

Отвалы Восточного Донбасса в этом смысле имеют типичный состав, не отличающийся от средних показателей.

#### *Анализ химического состава отвальной массы*

Исследованиями химического состава отвальной массы углепородных отвалов в районе Восточного Донбасса установлено, что в целом отвалы состоят из главных (содержание более 1%) и рассеянных элементов (содержание менее 1%) [34]. Главные представлены следующими элементами:

- углерод, водород, кислород, азот;
- золообразующими элементами углей;
- вмещающими породами (кремний, алюминий, железо, кальций, магний, калий, натрий);
- токсичными компонентами (сера).

Породы отвалов наряду с другими минералами содержат гетит, гематит, ярозит. Зачастую в углепородных отвалах содержатся легкорастворимые соли. Отвалы Восточного Донбасса относятся к наиболее засоленным породам наряду с Подмосковным бассейном (от 1, 5 до 4,3 %) [34].

Считается, что химическую активность отвальной массы во многом определяет наличие в них различных соединений серы. Исследования отвальной массы действующих углепородных отвалов шахт Донбасса показали, что породы 14,4 % отвалов содержат более 5% серы, 25,6 % отвалов – 3,5 %, 22,3 % отвалов – 1,5-3 % и 15,6 % отвалов – менее 0,5 % серы [34]. В настоящее время пока не установлено, какое содержание серы и ее соединений способствует самовозгоранию отвальной массы. Так, угли Кузбасса и вмещающие их породы имеют небольшое количество серы (0,4-1 %). Однако отвальные массы этого бассейна не менее склонны к самовозгоранию, чем породные отвалы Донбасса, где содержание серы более значительно.

### *Анализ гранулометрического состава отвальной массы*

Складированная в отвалах горная масса неоднородна по своему гранулометрическому составу. На рисунке 3.8 приведен пример гранулометрического состава пробы отвальной горелой породы.

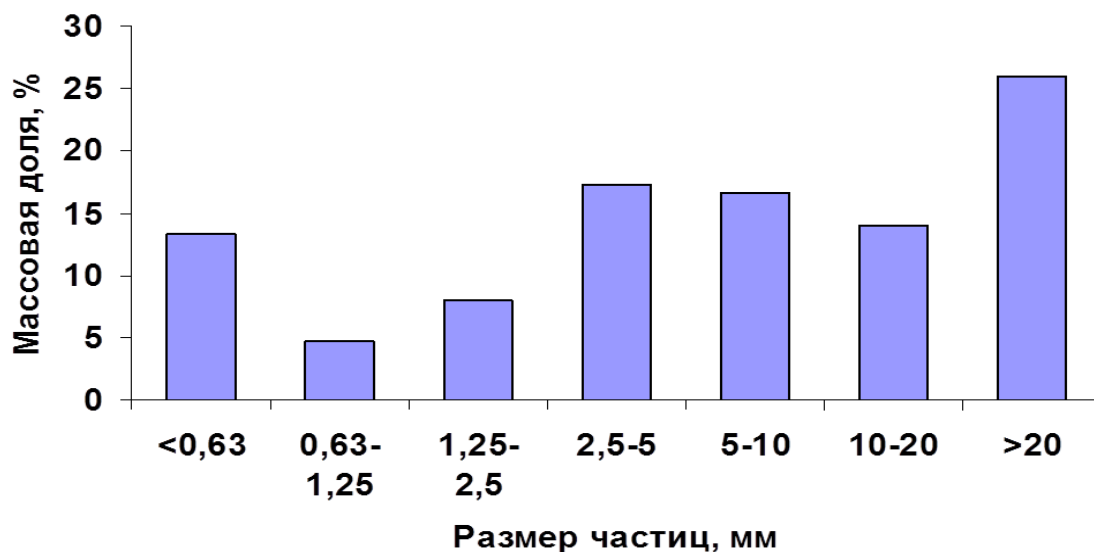


Рисунок 3.8 – Гранулометрический состав пробы отвальной горелой породы ш. Ольховская [34].

Для получения представления о внутреннем гранулометрическом исследовании отвалов В. М. Меркуловым было проведено натурное физико-механическое моделирование процессов сегрегации отвальной массы в лабораторных условиях [111]. Материалом для моделирования была дробленая горная порода, гранулометрический состав которой с учетом масштабов моделирования соответствовал составу пород, поступающих в углепородный отвал. Исследование позволило сделать вывод, что при отсыпке отвалов происходит естественная сегрегация кусков отвальной массы: более крупные куски под действием инерции катятся к подножью и скапливаются в нижней части отвала; мелкие куски, насыщенные включениями углефицированного вещества (до 25 – 30 % и более), остаются в верхней части отвала (от разгрузочной рамы до нижнего положения решетаков, по которым пропускается порода по склону); посередине располагаются куски отвальной массы средних размеров.

Выделенные зоны примерно равны по мощности и с учетом выявленных отличий были названы: крупноблоковой – более 150 мм, среднеблоковой – 50-150 мм и мелкоблоковой – менее 50 мм (рис. 3.9).

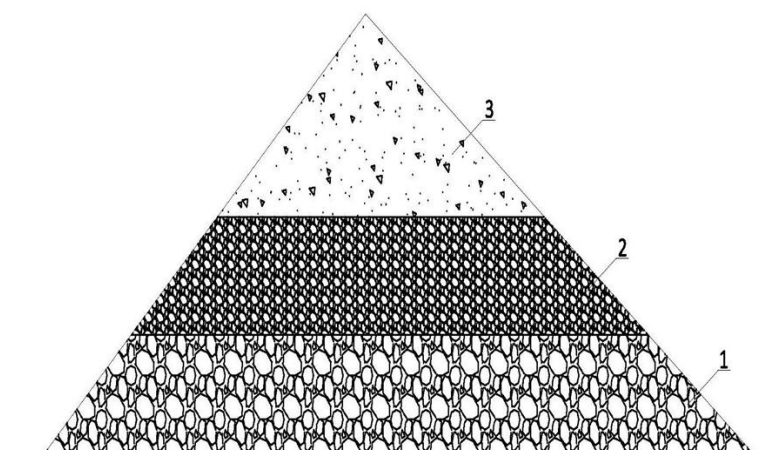


Рисунок 3.9 – Структура отвала по гранулометрическому составу [34]: зоны: 1 - крупноблоковая; 2 - среднеблоковая; 3 – мелкоблоковая

Аналогичные зоны естественной сепарации материала по гранулометрическому составу в теле отвала приведены и в работе В.Н. Труфанова, В. Г. Рылова и Ф. В. Мещанинова [172]. Авторы отмечают, что «большое значение для реализации процессов самовозгорания шахтных отвалов имеет отмечаемая многими исследователями неоднородность внутреннего строения терриконика, возникающая вследствие гравитационного фракционирования мелко- и крупнокусового материала углеотходов в процессе формирования отвала» (рис. 3.10).

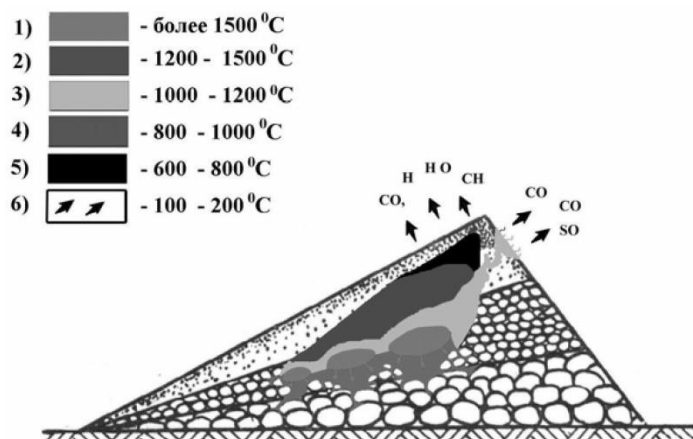


Рисунок 3.10 – Гравитационная сегрегация отвальной массы при отсыпке отвала [172].

Таким образом, анализ формы, высоты, вещественного состава отвалов на рассматриваемой территории Восточного Донбасса показывает, что эти характеристики можно принять как не оказывающие выраженного влияния на условия их возгорания.

Для дальнейшего анализа важно, что складываемая в отвалах горная масса имеет естественную сепарацию по гранулометрическому составу. Нижний слой, составляющий примерно 15-20 % высоты всего отвала, состоит из крупных кусков и является более проницаемой зоной, откуда может происходить движение воздуха к местам скопления угля, располагающихся, как правило, в мелкоблоковой зоне.

### **3.2. Оценка параметров границ блоков**

Основными параметрами границ блоков земной коры являются:

- ширина;
- ранг;
- расположение относительно осей главных напряжений (тектонофизические характеристики);
- длина.

#### ***3.2.1. Подход к оценке ширины геодинамически опасных зон***

Ширина зоны влияния разрывных нарушений оценивается по структурным и динамическим признакам, а также по характеру воздействия на инженерные сооружения или ведение горных работ. Ширина зон, выделяемых по этим показателям, различна. Например, изменение технологических свойств пород вблизи дизъюнктива характерно лишь для участков, расположенных вблизи сместителя, тогда как тектоническая трещиноватость, связанная с образованием дизъюнктивов, образует относительно более широкую зону влияния. Ширина зоны влияния тектонических нарушений по результатам шахтных и полевых наблюдений достигает сотен метров и зависит от их длины и амплитуды [7, 14, 21, 68, 121, 180].

Так, в Инструкции [68] при оценке ширины зоны опасной по горным ударам вблизи тектонического нарушения используют формулу:

$$B = 2\sqrt{H}, \quad (3.1)$$

где  $B$  – среднее значение ширины нарушенной (опасной) зоны в каждом крыле нарушения;

$H$  – нормальная амплитуда смещения.

В то же время, по данным шахтных исследований ширина зоны развития трещиноватости вблизи сместителя составляет от 7 до  $14H$  [40, табл. 10] и в среднем оценивается по формуле:

$$B_{\text{тр}} = 10H \quad (3.2)$$

Для наклонных сместителей авторами работы [Разрывные нарушения] предлагается формула:

$$B_{\text{тр}} = 6R, \quad (3.3)$$

где  $R$  – истинная амплитуда перемещения.

По данным сопоставления схемы блочного строения территории района г. Полысаево и материалов по проявлению техногенной сейсмичности из работ Еманова А. Ф с соавторами [54, 55] следует, что при подработке границы блоков IV ранга почти 72% всех зарегистрированных сейсмических событий произошло на расстоянии 200 метров по обе стороны от границы блоков [12, 13]. На этом основании ширина зоны влияния границы блоков оценена в 400 метров. В районе границы блоков III ранга в районе г. Полысаево 83% всех событий (103 из 124) произошло в зоне шириной 800-1200 метров, а 97% событий произошло в зоне шириной 1200-1600 метров (600-800 метров в каждую сторону от границы блоков). На этом основании ширина влияния границы блоков III ранга была оценена в 800-1200 метров или  $10H$  [11].

В работе Шермана С. И., Борнякова С. А., Буддо В. Ю. ведено понятие «область динамического влияния разлома», под которой понимается «часть окружающего разлом во всех трёх измерениях пространства, на котором проявляются остаточные (пластические или разрывные) и упругие следы деформаций, вызванные формированием разлома и подвижками по нему» [185,

186]. Ширина такой области оценивается по формуле (3.4) и меняется более чем на порядок на небольшом расстоянии.

$$M \approx H + 0,01 \lg \eta + 0,03 \lg V - c \quad (3.4)$$

где  $M$  – область активного динамического влияния;

$H$  – толщина деформируемого слоя;

$\eta$  – вязкость;

$V$  – скорость деформирования;

$C$  – свободный член уравнения,  $\sim 0,2-1$

На рисунке 3.11 из работы Шермана С. И. [186], видно, что ширина зоны влияния зависит от степени дизъюнктивной выраженности разлома.

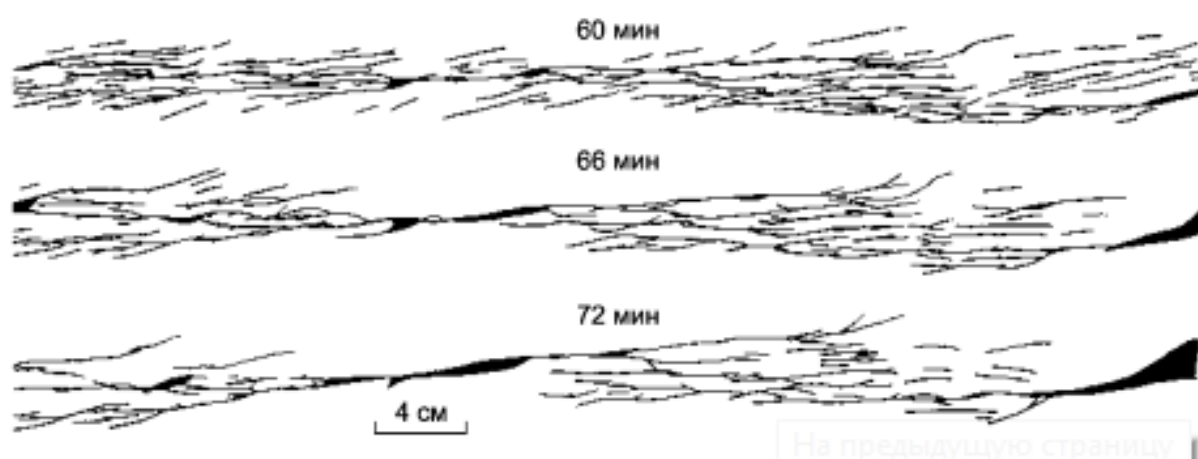


Рисунок 3.11 – Схема разрывов трещин в постоянном поле напряжений [186].

Границы блоков, как мы предполагаем, и это мнение соответствует мнению многих геологов (таблица по авторам), представлены зонами трещин, а дизъюнктивная составляющая у них слабо выражена. В этом случае ширину зоны влияния можно оценивать по максимуму, используя формулу  $10H$ . В дальнейшем при расчете ширины зон влияния границ блоков и оценки площадей, занятых под отвалы, будем использовать формулу 3.2.

Таким образом, примем, что ширина зоны влияния нарушений зависит от амплитуды смещения. Амплитуду взаимного смещения блоков мы можем оценить по разнице высотных отметок блоков. Для блоков IV ранга эта разница находится в диапазоне 10-25 м, а для блоков III ранга 25-50 м, для блоков II ранга

– более 50 м. В таблице 3.2 приведены данные по оценке ширины границ блоков по формулам 3.1, 3.2.

Таблица 3.2. Ширина зоны влияния ГОЗ

Амплитуда	Формула 3.1	Формула 3.2
10	6	100
25	10	250
50	14	500

Учитывая, что по формуле 3.1 в первую очередь определяется ширина зоны изменения физико-механических свойств пород, примем для наших исследований формулу 3.2.

### ***3.2.2. Ширина ГОЗ и другие параметры границ блоков в районе Восточного Донбасса***

Методом геодинамического районирования в исследуемом районе были выделены геодинамически опасные зоны, выраженные границами блоков различных рангов, рис. 2.2:

- 2 границы блоков II ранга (I-I и II-II);
- 4 границы блоков III ранга (*а-а* – Кадамовский разлом, *б-б* – Новопавловский разлом, *в-в* – Несветаевский разлом и *г-г* – Юбилейный разлом);
- 12 границ блоков IV ранга (1-1 – Атюхтинский разлом, 2-2, 3-3, 4-4 – Аютинский разлом, 5-5, 6-6, 7-7, 8-8, 9-9, 10-10, 11-11 – Самбековский разлом, 12-12).

Определим длину границ блоков (ГОЗ) и амплитуду их взаимного смещения по топографической карте масштаба 1:25 000, а ширину зон влияния (т.е. ширину ГОЗ) рассчитаем по формуле (3.2), табл. 3.3.



Таблица 3.3. Параметры границ блоков в исследуемом районе Восточного  
Донбасса

Граничащие блоки	Амплитуда, м	Ширина, км	Длина, км	Площадь, км <sup>2</sup>
1	2	3	4	5
138-I	50	0,5	11,75	5,88
138-181	43	0,43	9,50	4,09
138-149	11	0,11	1,63	0,18
138-157	19	0,19	2,75	0,52
138-II	120	1,2	4,50	5,40
138-Кадамовский разлом	20	0,2	2,63	0,53
181-149	32	0,32	7,25	2,32
181-Юбилейный разлом	25	0,25	8,13	2,03
181-Кадамовский разлом	20	0,2	0,63	0,13
149-157	8	0,08	5,75	0,46
149-Юбилейный разлом	25	0,25	2,88	0,72
149-123	26	0,26	1,75	0,46
149-203	54	0,54	3,38	1,82
157-123	34	0,34	3,75	1,28
157-149	8	0,08	2,75	0,22
157-II	120	1,2	6,75	8,10
123-149	26	0,26	1,50	0,39
123-203	80	0,8	4,50	3,60
203-149	54	0,54	7,13	3,85
203-182	21	0,21	5,75	1,21
203-Юбилейный разлом	25	0,25	8,50	2,13
149-II	120	1,2	8,88	10,65
149-Несветаевский разлом	20	0,2	0,50	0,10
182-149	33	0,33	4,88	1,61
182-Юбилейный разлом	25	0,25	5,25	1,31
182-204	22	0,22	5,25	1,16
182-Несветаевский разлом	20	0,2	3,50	0,70
204-Юбилейный разлом	25	0,25	1,88	0,47
204-Несветаевский разлом	20	0,2	5,75	1,15
147-176	29	0,29	0,25	0,07
147-169	22	0,22	3,75	0,83

Продолжение таблицы 3.3.

1	2	3	4	5
147-П	120	1,2	5,25	6,30
169-176	7	0,07	6,25	0,44
169-163	6	0,06	0,75	0,05
169-150	19	0,19	4,13	0,78
169-П	120	1,2	1,13	1,35
176-163	13	0,13	3,13	0,41
176-203	27	0,27	4,50	1,22
163-150	13	0,13	4,50	0,59
163-203	50	0,5	2,25	1,13
163-П	120	1,2	0,25	0,30
150-П	120	1,2	6,50	7,80
203-Несветаевский разлом	20	0,2	7,25	1,45
Кадамовский разлом	20	0,2	10,50	2,10
I-I	50	0,5	4,25	2,13
<b>Всего</b>			<b>203,63</b>	<b>89,35</b>

### 3.3. Типизация взаимного расположения отвалов и ГОЗ

Площадь отвалов Восточного Донбасса составляет от 0,04 до десятков гектаров, т.е. их линейные размеры составляют от первых десятков до нескольких сотен метров. При этом ширина границ блоков составляет от 50 до 1200 м. С учетом этих данных можно составить следующую типизацию относительного расположения отвалов и ГОЗ (рис. 3.12).

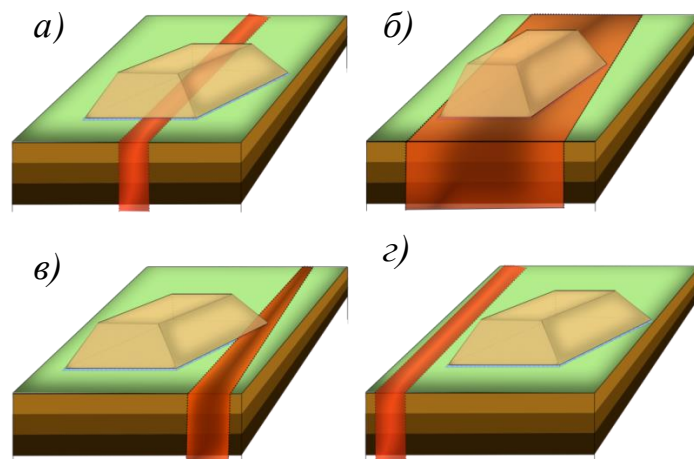


Рисунок 3.12 – Типизация взаимного расположения отвалов и ГОЗ: а) пересекает ГОЗ; б) расположен в ГОЗ; в) касается ГОЗ; г) ГОЗ проходит в стороне

Тип а) характеризует случай, когда ГОЗ пересекает углепородный отвал. Тип б) характеризует случай, когда ширина ГОЗ больше ширины отвала, в результате чего отвал полностью расположен в ГОЗ. Тип в) характеризует случай, когда отвал касается ГОЗ. Тип г) характеризует ситуацию, когда ГОЗ проходит в стороне от углепородного отвала, не касаясь его.

В качестве примера рассмотрим взаимное расположение отвала ш. Несветаевская с ГОЗ.

### ***3.3.1. Геодинамическая позиция отвала ш. Несветаевская***

Отвал ш. Несветаевская был сформирован путем объединения нескольких отвалов, эксплуатируемых шахтой Несветаевская, и зачастую называется объединенный отвал шахты Несветаевская. Он расположен в западной части района в г. Новошахтинск Ростовской области (рис. 3.13). Рассматриваемая территория представляет собой пологую безлесную равнину с уклоном на юг к долине реки Большой Несветай и балке Бельшева [151]. Склад отвальной массы формировался на центральной промышленной площадке шахты. С северной и западной стороны к отвалу примыкают промплощадки действующих предприятий. Отвал ш. Несветаевская был запущен в эксплуатацию в 1932 году. В то время отвалы сооружались без мер противопожарной защиты. В 1997 году эксплуатация породного отвала была остановлена [126].

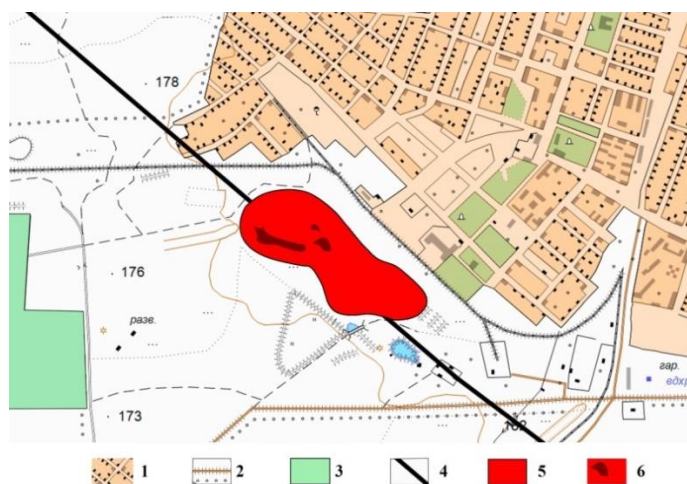


Рисунок 3.13 – Расположение отвала ш. Несветаевская: 1 – жилая зона, 2 – дороги, 3 – лес, 4 – разлом Несветаевский, 5 – отвал Несветаевский, 6 – очаги возгорания

На 2010 год отвал имел площадь основания  $154\,500\text{ м}^2$  и объем –  $2940000\text{ м}^3$ . Значительная часть отвала рекультивирована, но без озеленения. В связи с этим на настоящий момент отвал имеет сложную форму. В северной части отвал представляет собой усеченный конус с максимальной высотой 27 м. Южная часть состоит из четырех совмещенных вершин с максимальной высотой 39 м.

Отвал является горящим и отнесен к категории «очень опасен». Общая площадь очагов горения с температурами от 80 до  $434\text{ °C}$  достигает  $13\,000\text{ м}^2$ , что составляет более 8% всей площади отвала. Кроме того, результатами температурной съемки породного отвала были выявлены места аномальных температур 40-80 °C, что свидетельствует о продолжающемся процессе самонагрева отвальной массы и возникновении новых очагов возгорания [126, 136, 151].

По результатам температурной съемки, проведенной в 2010 году, на отвале выявлены четыре очага горения, расположенных на бортах северной и южной части отвала и на центральной вершине южной части [105, 136], показанные на рис. 3.13. На всей площади очагов наблюдается выход газа по трещинам на поверхность, скопление пятен элементарной серы, различных растворимых химических соединений белого цвета (сульфатов  $\text{SO}_4$ ) [151]. Очаги горения имеют линейную форму.

По результатам геодинамического районирования отвал ш. Несветаевская расположен на границе блоков земной коры III ранга, условно названной разлом Несветаевский (рис. 3.13), имеет северо-западное простирание и проходит к юго-западу от г. Новошахтинска.

Геологическая интерпретация Несветаевского разлома позволяет заключить, что он имеет самостоятельную трассу, которая отличается от трасс крупных известных разрывных тектонических нарушений района. Как уже было сказано в главе 2, Несветаевский разлом занимает секущее положение относительно крупных дизъюнктивов района (Самбековского сброса). На основании имеющихся результатов исследований по двум шахтным полям в г. Донецке

можем принять, что Несветаевский разлом может быть выражен в массиве как зона повышенной трещиноватости [37, 146].

Это характерный пример для типа а), рис. 3.12. В дальнейшем принимаем, что при любом из взаимных расположений типа а), б) или в), (рис. 3.12) отвал приурочен к ГОЗ.

### **3.4. Оценка приуроченности горящих углепородных отвалов к геодинамически опасным зонам**

#### **3.4.1. Подход к оценке приуроченности**

Оценим приуроченность горящих и негорящих углепородных отвалов к ГОЗ на основании анализа удельного количества горящих и негорящих отвалов на всей исследуемой территории (фоновое значение) и удельного количества горящих и негорящих отвалов в ГОЗ и вне ГОЗ. При оценке приуроченности условно разделим все отвалы на исследуемой территории на горящие (горящие отвалы и отвалы, имевшие случаи возгорания) и негорящие отвалы. Для оценки приуроченности отвалов к ГОЗ воспользуемся следующими формулами:

1) фоновое значение удельного количества горящих отвалов:

$$\rho_{\text{ф.г.}} = \frac{N_{\text{г.от.}}}{S_0}, \quad (3.5)$$

где  $\rho_{\text{ф.г.}}$  – фоновое значение удельного количества горящих отвалов в исследуемом районе, шт/км<sup>2</sup>;

$N_{\text{г.от.}}$  – количество горящих отвалов в исследуемом районе, шт;

$S_0$  – площадь исследуемой территории, км<sup>2</sup>.

2) фоновое значение удельного количества негорящих отвалов:

$$\rho_{\text{ф.нг.}} = \frac{N_{\text{нг.от.}}}{S_0}, \quad (3.6)$$

где  $\rho_{\text{ф.нг.}}$  – фоновое значение удельного количества негорящих отвалов в исследуемом районе, шт/км<sup>2</sup>;

$N_{\text{нг.от.}}$  – количество негорящих отвалов в исследуемом районе, шт.

3) удельное количество углепородных отвалов в ГОЗ:

$$\rho_{\text{ГОЗ}} = \frac{N_{\text{ГОЗ}}}{S_{\text{ГОЗ}}}, \quad (3.7)$$

где  $\rho_{\text{ГОЗ}}$  – удельное количество отвалов в ГОЗ, шт/км<sup>2</sup>;

$N_{\text{ГОЗ}}$  – количество отвалов в ГОЗ, шт;

$S_{\text{ГОЗ}}$  – площадь ГОЗ, км<sup>2</sup>.

4) площадь ГОЗ:

$$S_{\text{ГОЗ}} = B \cdot L, \quad (3.8)$$

где  $B$  – ширина ГОЗ, км;

$L$  – длина ГОЗ, км.

5) удельное количество углепородных отвалов вне ГОЗ:

$$\rho_{\text{вне ГОЗ}} = \frac{N_{\text{вне ГОЗ}}}{S_0 - S_{\text{ГОЗ}}}, \quad (3.9)$$

где  $\rho_{\text{вне ГОЗ}}$  – удельное количество отвалов вне ГОЗ, шт/км<sup>2</sup>;

$N_{\text{вне ГОЗ}}$  – количество отвалов вне ГОЗ, шт.

Для оценки приуроченности отвалов к ГОЗ проанализируем, во сколько раз удельное количество отвалов в ГОЗ выше фонового значения по следующей формуле:

$$c_1 = \frac{\rho_{\text{ГОЗ}}}{\rho_{\text{ф}}} \quad (3.10)$$

где  $\rho_{\text{ф}} = \rho_{\text{ф.г.}}$  при проведении расчетов для горящих отвалов,

и  $\rho_{\text{ф}} = \rho_{\text{ф.нг.}}$  при проведении расчетов для негорящих отвалов.

Также проанализируем, во сколько раз удельное количество отвалов в ГОЗ выше удельного количества отвалов вне ГОЗ по следующей формуле:

$$c_2 = \frac{\rho_{\text{ГОЗ}}}{\rho_{\text{вне ГОЗ}}} \quad (3.11)$$

### **3.4.2. Анализ положения горящих отвалов относительно ГОЗ в районе г. Шахты**

В Шахтинском угольном районе сложилась наиболее неблагоприятная экологическая обстановка. В исследуемом районе находится 29 углепородных

отвалов, из них 19 отвалов имели случаи возгорания, при этом 10 продолжают гореть в настоящее время, табл. 3.4.

Таблица 3.4. Состояние углепородных отвалов в районе г. Шахты Ростовской области на 2015 г.

№ п/п	Состояние	Всего	Расположены на границах блоков
1	Горящие	11	7
2	Имевшие случаи возгорания	8	3
3	Негорящие	11	3
	<b>ИТОГО:</b>	<b>29</b>	<b>13</b>

Из 19 отвалов, имевших случаи возгорания, 10 расположены на границах блоков земной горы. На рисунке 3.14 представлена схема расположения горящих и перегоревших отвалов в районе г. Шахты Ростовской области.

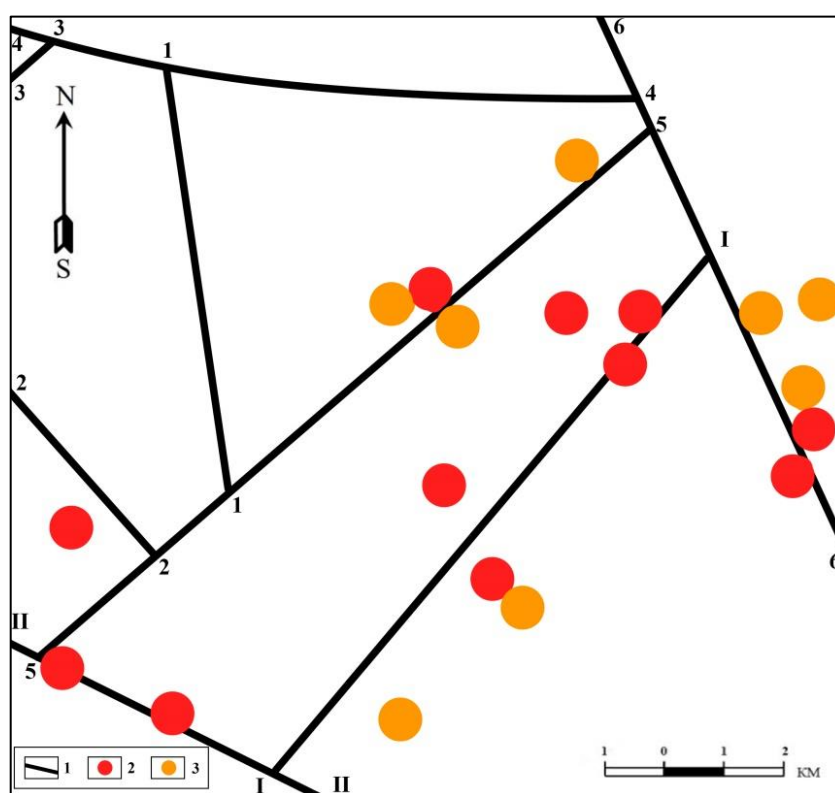


Рисунок 3.14 – Схема расположения отвалов, имеющих случаи самовозгорания в районе г. Шахты Ростовской области: 1 – границы блоков (ГОЗ); 2 – горящие отвалы; 3 – перегоревшие отвалы

Проанализируем положение горящих и перегоревших отвалов относительно ГОЗ для данной территории. Ширина, длина и площадь ГОЗ, амплитуда максимального смещения блоков для данного района представлены в таблице 3.5.

Общая площадь исследуемой территории составляет:

$$S_0 = 228 \text{ км}^2$$

Таблица 3.5. Характеристики ГОЗ района г. Шахты

Граничащие блоки	Амплитуда, м	Ширина, км	Длина, км	Площадь, км <sup>2</sup>
138-I	50	0,5	11,75	5,88
138-181	43	0,43	9,50	4,09
138-149	11	0,11	1,63	0,18
138-157	19	0,19	2,75	0,52
138-II	120	1,2	4,50	5,40
138-Кадамовский разлом	20	0,2	2,63	0,53
181-149	32	0,32	7,25	2,32
181-Юбилейный разлом	25	0,25	8,13	2,03
181-Кадамовский разлом	20	0,2	0,63	0,13
149-157	8	0,08	4,75	0,38
149-Юбилейный разлом	25	0,25	2,88	0,72
149-203	54	0,54	1,00	0,54
157-II	120	1,2	1,38	1,65
203- Юбилейный разлом	25	0,25	0,88	0,22
Кадамовский разлом	20	0,2	10,50	2,10
<b>ИТОГО</b>	<b>592</b>	<b>5,92</b>	<b>70,13</b>	<b>26,67</b>

По материалам таблицы 3.5 площадь ГОЗ для района г. Шахты составляет:

$$S_{\text{ГОЗ}} = 26,67 \text{ км}^2$$

Оценим и сравним удельное количество горящих отвалов на всей территории и на границах геодинамически активных блоков (шт/км<sup>2</sup>).

Удельное количество горящих отвалов на изучаемой территории  $\rho_{\phi}$  (фоновое значение) по формуле (3.6) составит:

$$\rho_{\phi.г.} = \frac{N_{\text{г.от.}}}{S_0} = \frac{19}{228} = 0,08 \text{ шт/км}^2 \quad (3.12)$$

Удельное количество горящих отвалов на границах блоков  $\rho_{\text{ГОЗ}}$  по формуле (3.7) составит:

$$\rho_{\text{ГОЗ}} = \frac{N_{\text{ГОЗ}}}{S_{\text{ГОЗ}}} = \frac{10}{26,67} = 0,37 \text{ шт/км}^2 \quad (3.13)$$



Представим распределение удельного количества  $\rho_{\text{ГОЗ}}$  и  $\rho_{\text{ф.г.}}$  в виде диаграммы (рис.3.15)

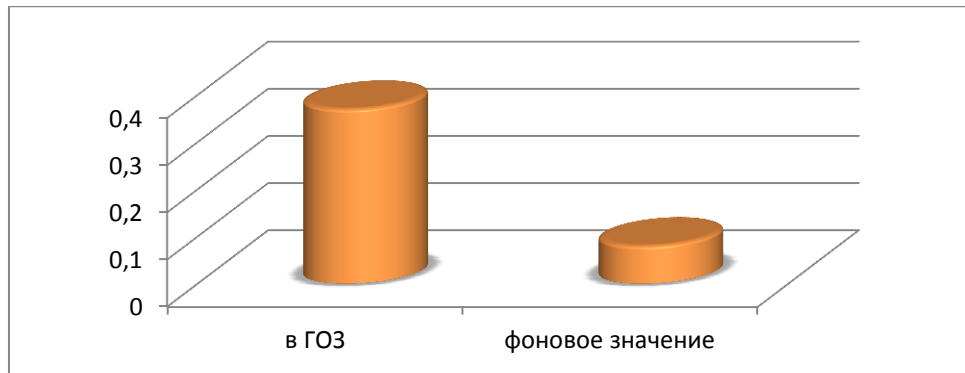


Рисунок 3.15– Распределение удельного количества горящих отвалов в ГОЗ и на всей территории в районе г. Шахты

По формуле (3.10) определим, во сколько раз удельное количество горящих углепородных отвалов в ГОЗ выше фонового значения для района исследования:

$$c_1 = \frac{\rho_{\text{ГОЗ}}}{\rho_{\text{ф.г.}}} = \frac{0,37}{0,08} = 4,6 \quad (3.14)$$

Таким образом, удельное количество горящих углепородных отвалов в ГОЗ в 4,6 раз выше фонового значения для данной территории, что говорит об их приуроченности к этим зонам [195].

### ***3.4.3. Анализ положения горящих отвалов относительно ГОЗ в районе городов Шахты, Новошахтинск Ростовской области***

На основании данных состояния отвалов в районе Восточного Донбасса и карты блоков, (Глава 2) проведем анализ положения горящих отвалов относительно ГОЗ для всей исследуемой территории. Общая площадь района исследований вытянута с запада на восток от г. Новошахтинск до г. Шахты Ростовской области и составляет:

$$S_0 = 657 \text{ км}^2$$

На данной территории методом геодинамического районирования выделены геодинамически опасные зоны, выраженные границами блоков различных рангов (Глава 2). На рисунке 3.16 представлена схема расположения отвалов в исследуемом районе.

Площадь ГОЗ рассчитаем по формуле (3.8):

$$S_{\text{ГОЗ}} = B \cdot L,$$

Результаты расчетов площади ГОЗ представлены в таблице 3.3. По данным этой таблицы площадь ГОЗ на данной территории составляет:

$$S_{\text{ГОЗ}} = 89,35 \text{ км}^2$$

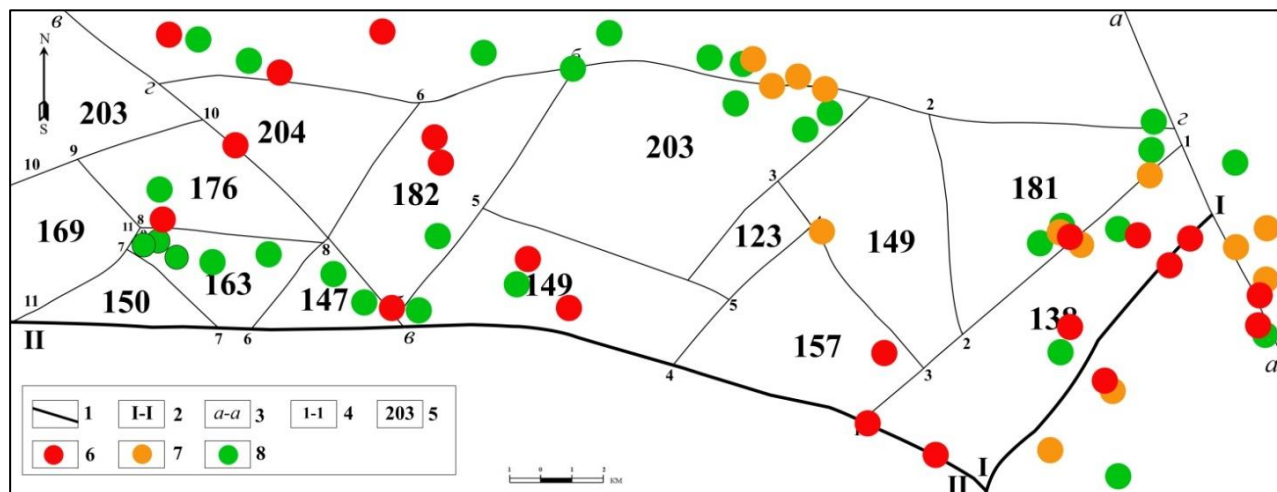


Рисунок 3.16 – Схема расположения отвалов относительно границ блоков в районе гг. Шахты, Новошахтинск Ростовской области: 1 – ГОЗ; 2 – обозначение границ блоков II ранга; 3 – обозначение границ блоков III ранга; 4 – обозначение границ блоков IV ранга; 5 – высотная отметка блока; 6 – горящие отвалы; 7 – перегоревшие отвалы; 8 – негорящие отвалы

На рассматриваемой территории находится 64 углепородных отвала, 34 из которых имели случаи возгорания, при этом 21 продолжали гореть в на 2015 г. (таблица 3.6). Из 34 отвалов, имевших случаи возгорания, 17 расположены на границах блоков земной коры различного ранга (рисунок 3.16).

Таблица 3.6. Актуальное состояние углепородных отвалов в районе гг. Шахты, Новошахтинск Восточного Донбасса

№ п/п	Состояние	Всего	Расположены на границах блоков	% в ГОЗ от общего числа
1	Горящие	21	10	47,6
2	Перегоревшие	13	7	53,8
3	Негорящие	30	5	16,7
	<b>ИТОГО:</b>	64	22	

Удельное количество горящих отвалов (горящие и имевшие случаи возгорания) на границах блоков рассчитаем по формуле (3.7):

$$\rho_{\text{ГОЗ}} = \frac{N_{\text{ГОЗ}}}{S_{\text{ГОЗ}}} = \frac{17}{89,35} = 0,19 \text{ шт/км}^2 \quad (3.15)$$

Фоновое значение удельного количества горящих отвалов для данного района составляет (формула 3.5):

$$\rho_{\text{ф.г.}} = \frac{N_{\text{г.от.}}}{S_0} = \frac{34}{657} = 0,05 \text{ шт/км}^2 \quad (3.16)$$

Представим распределение удельного количества  $\rho_{\text{ГОЗ}}$  и  $\rho_{\text{ф.г.}}$  в виде диаграммы (рис. 3.17)

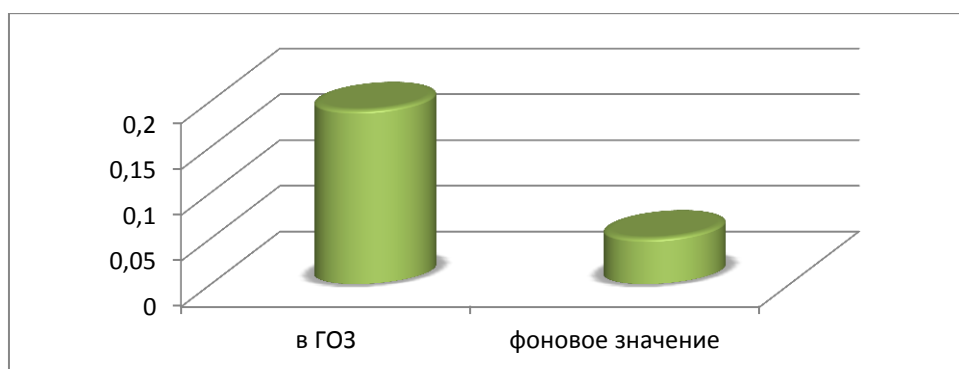


Рисунок 3.17 – Распределение удельного количества горящих отвалов в ГОЗ и на всей территории

Определим, во сколько раз удельное количество горящих углепородных отвалов в ГОЗ выше фонового значения района исследования (по формуле 3.10):

$$c_1 = \frac{\rho_{\text{ГОЗ}}}{\rho_{\text{ф.г.}}} = \frac{0,19}{0,05} = 3,8 \quad (3.17)$$

Таким образом, мы видим, что при весьма малой площади ГОЗ удельное количество горящих отвалов в нем в 3,8 раз больше, чем фоновое значение по данной территории. Это можно расценивать как доказательство приуроченности горящих отвалов к ГОЗ.

Также сравним во сколько раз удельное количество горящих углепородных отвалов в ГОЗ выше, чем удельное количество горящих отвалов, расположенных вне ГОЗ.

Удельное количество горящих отвалов вне ГОЗ найдем по формуле (3.9):

$$\rho_{\text{вне ГОЗ}} = \frac{N_{\text{вне ГОЗ}}}{S_0 - S_{\text{ГОЗ}}} = \frac{17}{657 - 89,35} = 0,03 \text{ шт/км}^2 \quad (3.18)$$

Представим распределение удельного количества  $\rho_{\text{ГОЗ}}$  и  $\rho_{\text{вне ГОЗ}}$  в виде диаграммы (рис. 3.18)

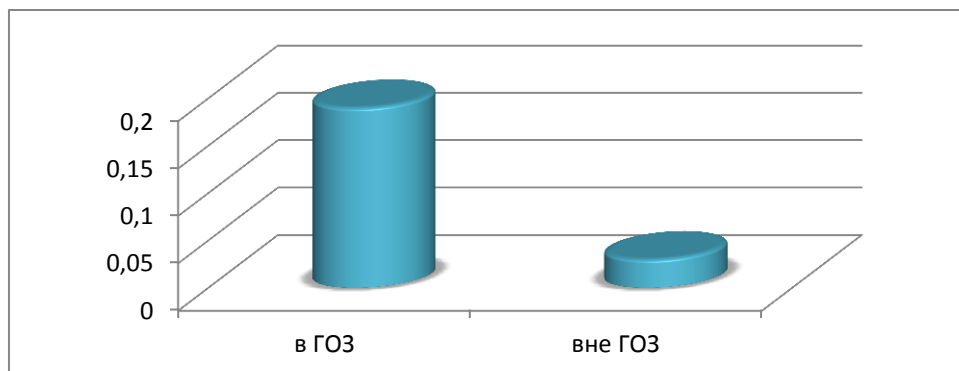


Рисунок 3.18 – Распределение удельного количества горящих отвалов в ГОЗ и вне ГОЗ в районе исследования

Определим, во сколько раз удельное количество горящих углепородных отвалов в ГОЗ выше удельного количества горящих отвалов вне ГОЗ по формуле (3.11):

$$c_2 = \frac{\rho_{\text{ГОЗ}}}{\rho_{\text{вне ГОЗ}}} = \frac{0,19}{0,03} = 6,3 \quad (3.19)$$

Таким образом, удельное количество горящих отвалов в ГОЗ в 6,3 раз выше удельного количества горящих отвалов вне ГОЗ, что подтверждает вывод о приуроченности горящих отвалов к ГОЗ.

#### ***3.4.4. Анализ положения негорящих отвалов относительно ГОЗ в районе городов Шахты, Новошахтинск Ростовской области***

Выполним аналогичные расчеты для негорящих углепородных отвалов рассматриваемого района.

В данном районе расположено 30 негорящих отвалов, из которых лишь 5 (16,7 %) попадает на границы блоков земной коры (рис. 3.16).

Удельное количество негорящих отвалов на границах блоков рассчитываем по формуле (3.7):

$$\rho_{\text{ГОЗ}} = \frac{N_{\text{ГОЗ}}}{S_{\text{ГОЗ}}} = \frac{5}{89,35} = 0,06 \text{ шт/км}^2 \quad (3.20)$$

Фоновое значение удельного количества негорящих отвалов для рассматриваемой территории рассчитаем по формуле (3.6):

$$\rho_{\text{ф.нг.}} = \frac{N_{\text{нг.от.}}}{S_0} = \frac{30}{657} = 0,05 \text{ шт/км}^2 \quad (3.21)$$

Представим распределение удельного количества  $\rho_{\text{ГОЗ}}$  и  $\rho_{\text{ф.нг.}}$  в виде диаграммы (рис. 3.19)

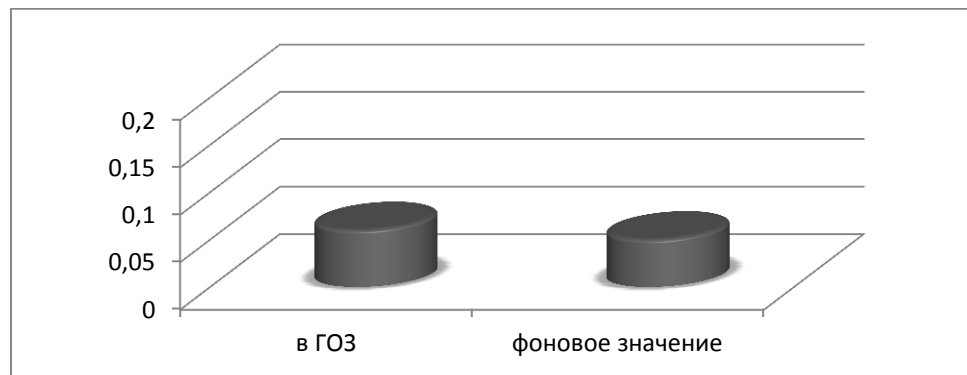


Рисунок 3.19 – Распределение удельного количества негорящих отвалов в ГОЗ и на всей территории

По формуле (3.10) определим, во сколько раз удельное количество негорящих углепородных отвалов в ГОЗ выше фонового значения района исследования:

$$c_1 = \frac{\rho_{\text{ГОЗ}}}{\rho_{\text{ф.нг.}}} = \frac{0,06}{0,05} = 1,2 \quad (3.22)$$

Как видно из рисунка 3.19 удельное количество негорящих углепородных отвалов в ГОЗ лишь незначительно превышает фоновое значение для данной территории, что нельзя расценивать как приуроченность негорящих отвалов к границам блоков земной коры (ГОЗ).

Также оценим, во сколько раз удельное количество негорящих отвалов в ГОЗ выше, чем удельное количество негорящих отвалов вне ГОЗ.

Удельное количество негорящих отвалов вне ГОЗ рассчитаем по формуле (3.9):

$$\rho_{\text{вне ГОЗ}} = \frac{N_{\text{вне ГОЗ}}}{S_0 - S_{\text{ГОЗ}}} = \frac{25}{657 - 89,35} = 0,04 \text{ шт/км}^2 \quad (3.23)$$

Представим распределение удельного количества  $\rho_{\text{ГОЗ}}$  и  $\rho_{\text{вне ГОЗ}}$  для негорящих углепородных отвалов в виде диаграммы (рис. 3.20):

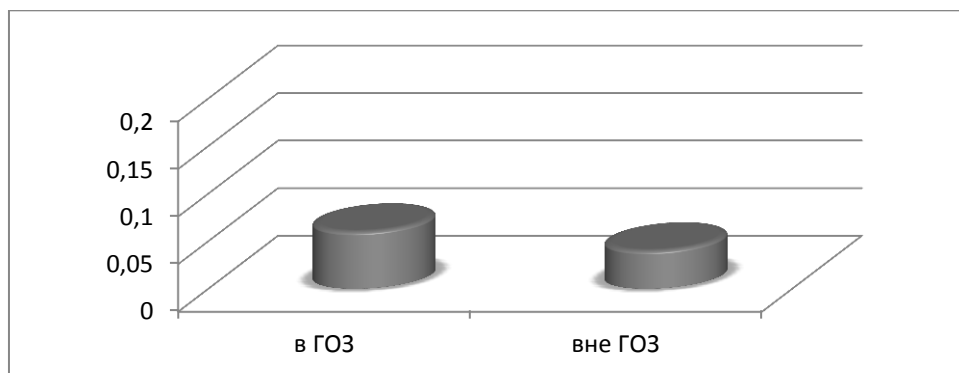


Рисунок 3.20 – Распределение удельного количества негорящих углепородных отвалов ГОЗ и вне ГОЗ в районе исследования

Определим, во сколько раз удельное количество негорящих углепородных отвалов в ГОЗ выше удельного количества негорящих отвалов вне ГОЗ по формуле (3.11):

$$c_2 = \frac{\rho_{\text{ГОЗ}}}{\rho_{\text{вне ГОЗ}}} = \frac{0,06}{0,04} = 1,5 \quad (3.24)$$

Как видно из рисунка 3.20, удельное количество негорящих отвалов в ГОЗ незначительно превышает удельное количество негорящих отвалов вне ГОЗ.

Проведенные расчеты показывают, что к границам блоков земной коры (ГОЗ) имеют приуроченность именно горящие отвалы (их удельное количество в этих зонах в несколько раз выше фонового значения и удельного количества вне ГОЗ), чего нельзя сказать о негорящих отвалах (у них значения удельного количества в ГОЗ, удельного количества вне ГОЗ и фонового значения удельного количества для данного района отличаются незначительно (в 1,2 – 1,5 раза)).

Таким образом, горящие углепородные отвалы на территории Восточного Донбасса приурочены к геодинамически опасным зонам, что выражается в том, что их удельное количество в этих зонах выше в несколько раз фонового удельного количества (среднего для исследуемой территории).

### 3.5. Оценка влияния ширины ГОЗ на получаемые результаты

Можно видеть, что приведенные выше оценки опираются на значения ширины ГОЗ, которое, как было показано в разделе 3.2.1, может изменяться в

определенных пределах. В связи с этим проведем оценку влияния ширины границ блоков на получаемый результат. Если в предыдущих расчетах была использована переменная ширина ГОЗ, зависящая от амплитуды взаимного смещения блоков, то теперь выполним аналогичные расчеты при разных значениях ширины ГОЗ. Примем, что ширина ГОЗ одинакова для всех границ блоков и составляет:

- 50 м;
- 100 м;
- 200 м;
- 400 м.

Такой диапазон данных позволит охватить все возможные оценки значений ширины ГОЗ: от оценки, даваемой при определении опасности горных ударов, до практических данных, получаемых в сейсмически активных территориях.

Изменения в ширине ГОЗ в первую очередь влияют на общую площадь ГОЗ и на количество горящих отвалов, пропавших в ГОЗ.

Длина ГОЗ для исследуемой территории составляет  $L = 203,63$  км (табл. 3.3). Площадь ГОЗ рассчитаем по формуле 3.8. Результаты расчетов площади ГОЗ при разной ширине ГОЗ представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7. Изменение площади ГОЗ и количества горящих отвалов в зависимости от ее ширины

Оцениваемые параметры	Ширина ГОЗ (В), м			
	50	100	200	400
Количество горящих отвалов в ГОЗ ( $N_{г.от.}$ ), шт	11	12	16	19
Площадь ГОЗ ( $S_{гоз}$ ), км <sup>2</sup>	10,18	20,36	40,73	81,45

По данным таблицы 3.7 можно видеть, что при уменьшении ширины ГОЗ уменьшается количество приуроченных к ней отвалов, но одновременно уменьшается и общая площадь ГОЗ.

Рассчитаем удельное количество горящих отвалов в ГОЗ по формуле (3.2) и сравним полученное значение с фоновым (формула 3.4):

1) для ширины ГОЗ 50 метров:

$$\rho_{50} = \frac{11}{10,18} = 1,08 \text{ шт/км}^2 \quad (3.25)$$

$$c_{50} = \frac{1,08}{0,05} = 21,6 \quad (3.26)$$

2) для ширины ГОЗ 100 метров:

$$\rho_{100} = \frac{12}{20,36} = 0,59 \text{ шт/км}^2 \quad (3.27)$$

$$c_{100} = \frac{0,59}{0,05} = 11,8 \quad (3.28)$$

3) для ширины ГОЗ 200 метров:

$$\rho_{200} = \frac{16}{40,73} = 0,39 \text{ шт/км}^2 \quad (3.29)$$

$$c_{200} = \frac{0,39}{0,05} = 7,8 \quad (3.30)$$

4) для ширины ГОЗ 400 метров:

$$\rho_{400} = \frac{19}{81,45} = 0,23 \text{ шт/км}^2 \quad (3.31)$$

$$c_{400} = \frac{0,23}{0,05} = 4,6 \quad (3.32)$$

Полученные данные сведены в таблицу 3.8.

Таблица 3.8. Влияние ширины ГОЗ на оценку приуроченности к ним горящих отвалов

Ширина ГОЗ	Площадь ГОЗ	Кол-во горящих отвалов в ГОЗ, шт	Удельное количество горящих угленосных отвалов в ГОЗ, $\rho_{\text{ГОЗ}}$ (шт/км <sup>2</sup> )	Отношение $\rho_{\text{ГОЗ}}/\rho_{\text{ф}}$
50	10,18	11	1,08	21,6
100	20,36	12	0,59	11,8
200	40,73	16	0,39	7,8
400	81,45	19	0,23	4,6

На основе полученных данных построим диаграмму зависимости удельного количества горящих отвалов от ширины ГОЗ, рис. 3.21.



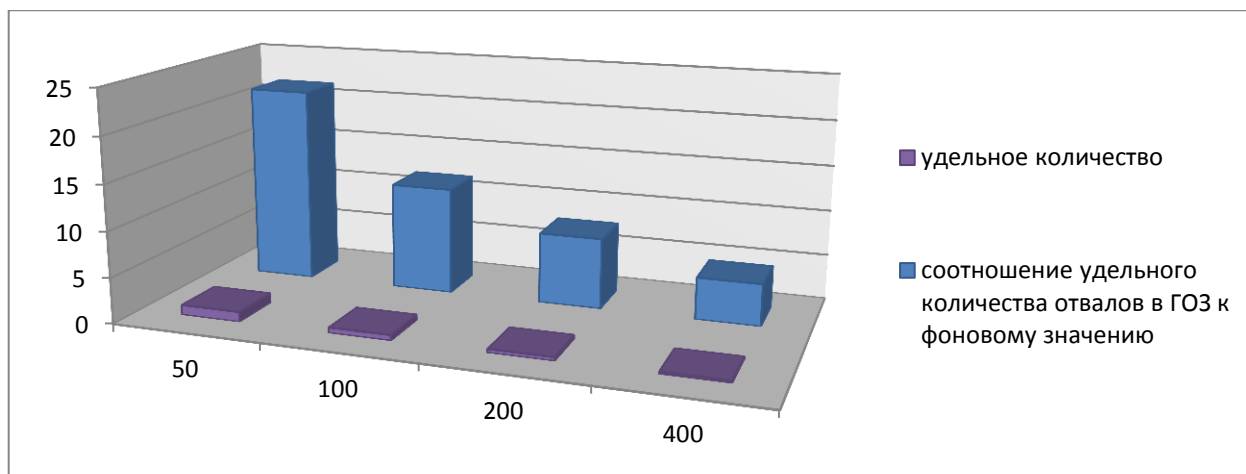


Рисунок 3.21 – Зависимость удельного количества горящих отвалов в ГОЗ от ее ширины

Как видно из рисунка 3.21 и таблицы 3.8, при увеличении ширины ГОЗ удельное количество горящих отвалов в таких зонах снижается. Однако при любой ширине ГОЗ можно видеть, что удельное количество горящих отвалов в этих зонах от 4,6 до 21,6 раза выше фонового значения для данной территории. Ранее, при переменном значении ширины ГОЗ (п. 3.4.3) мы получили, что удельное количество горящих отвалов в ГОЗ выше фонового значения в 3,8 раза, что, как мы видим, является минимальным значением из возможных. Превышение удельного количества горящих отвалов над фоновым в разы, а не в проценты, безусловно, свидетельствует о приуроченности горящих отвалов к границам блоков. Тем не менее, выполним формальную оценку достоверности данного вывода.

### 3.6 Оценка достоверности вывода о приуроченности отвалов к границам блоков

Дадим формальную оценку достоверности вывода о приуроченности горящих отвалов к границам геодинамически активных блоков. Для этого возьмем расчеты из п. 3.4.3 для района городов Шахты, Новошахтинск Ростовской области. Оценим вероятность того, что 17 горящих отвалов из 34 попали на границы блоков случайно.

Предположим, что горящие углепородные отвалы распределены случайным образом. Тогда геометрическая вероятность попадания 1 отвала в зону влияния границы блоков  $P_{гд}$  составит:

$$P_{гд} = \frac{S_{гоз}}{S_0} = \frac{89,35}{657} = 13,6 \% , \quad (3.33)$$

где  $S_{гоз}$  – площадь ГОЗ,  $км^2$ ;

$S_0$  – площадь исследуемой территории,  $км^2$ .

Найдем вероятность  $B$  того, что из  $n=34$  горящих отвалов на границу блоков случайно попадет менее  $x=17$  отвалов по формуле [1, стр. 72]:

$$B(x; n; P_{гд}) = \sum_{i=0}^{x-1} b(i; n; P_{гд}) = 1 - \sum_{i=x}^n b(i; n; P_{гд}) \quad (3.34)$$

В данном случае  $i = x - 1 = 17 - 1 = 16$

Поскольку величины  $P_{гд}$  и  $(1/n)$  малы (порядка 0,1), воспользуемся аппроксимацией:

$$B(x; n; P_{гд}) \approx 1 - \tilde{\Psi}(x; n; P_{гд}), \quad (3.35)$$

где  $\tilde{\Psi}(x; n; P_{гд}) = \tilde{\Psi}(x; \mu)$  - распределение Пуассона.

Для рассматриваемого случая имеем:  $\mu = n \times P_{гд} = 34 \times 0,12 = 4,08$ .

Значения функции  $\tilde{\Psi}(x; \mu)$  найдем по таблице VII Справочника по вероятностным расчетам [1]. Фрагмент данной таблицы представлен в таблице 3.9.

Таблица 3.9. Значения функций  $\tilde{\Psi}(x; \mu)$ , при  $\mu = 4$

<b>x</b>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Ψ</b>	1	0,9817	0,9084	0,7619	0,5665	0,3712	0,2149	0,1107	0,0511	0,0214	0,0081	0,0028	0,0009	0,0003	0,0001	,	,	,

На основе полученных данных (табл. 3.9) построим график функции  $\tilde{\Psi} = f(x; \mu)$ , рис. 3.22.

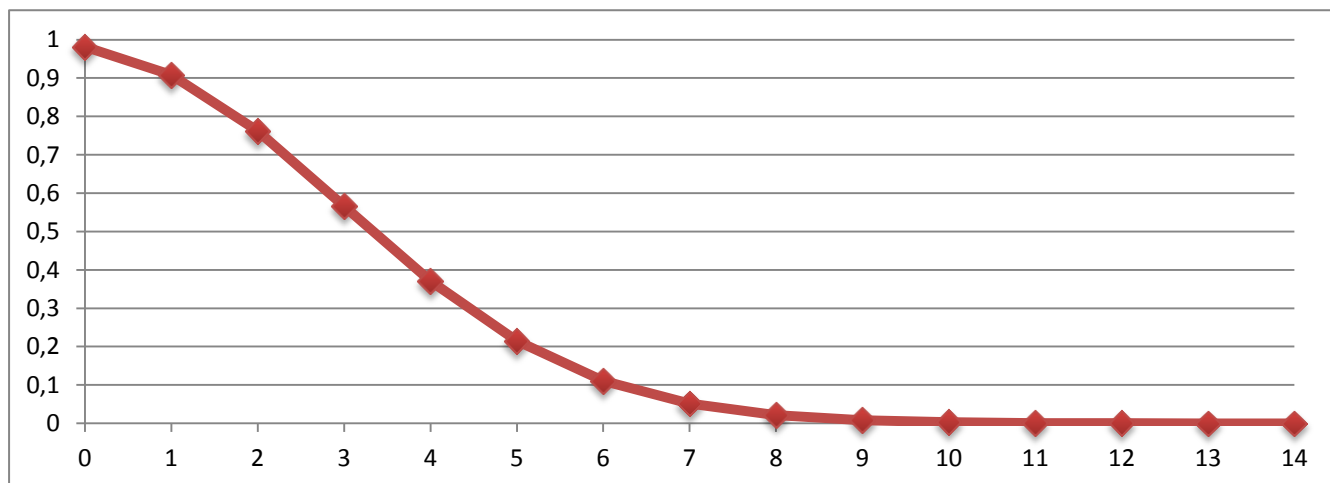


Рисунок 3.22 – График функции  $\tilde{\Psi} = f(x; \mu)$  по материалам таблицы 3.9 при  $\mu = 4$

Из рисунка 3.22 и таблицы 3.9 видно, что при  $x > 7$  значение  $\tilde{\Psi}$  становится очень малым, т.е. вероятность того, что из  $n = 34$  горящих отвалов в ГОЗ случайно попадут  $x = 17$  пренебрежимо мала, что формально подтверждает вывод о приуроченности горящих отвалов к границам блоков [18].

### 3.7 Анализ влияния напряженного состояния массива на распределение горящих отвалов у границ блоков

Согласно основной идее диссертации, раскрытые трещины в ГОЗ создают более благоприятные условия для массопереноса газов. В то же время результаты имеющихся исследований показывают, что для различно ориентированных трещин создаются различные тектонофизические условия, влияющие на условия их раскрытия [19, 48, 120, 149, 160, 192, 214]. В работе [19] представлены теоретические стереограммы значений  $\hat{\sigma} = \sigma_{ш}/\sigma_n$  (здесь  $\sigma_{ш}$  - шаровой тензор;  $\sigma_n$  – нормальное напряжение на поверхности трещины) для различных видов напряженного состояния и соотношений главных напряжений. Независимо от значений напряжений, при  $\hat{\sigma} > 0$  поверхность трещины зажата девиаторными напряжениями, а при  $\hat{\sigma} < 0$  – девиаторные напряжения растягивающие (т.е. трещина разгружена).

Региональное поле напряжений в районе Восточного Донбасса характеризуется субгоризонтальным направлением максимального сжатия,

действующим в секторе простираций  $90-180^\circ$  (СЗ и ЮВ сектора). Изучение локального поля напряжений в районе г. Донецка показывает, что ось максимального сжатия ориентирована горизонтально в направлении СЗ ( $135^\circ$ ), ось минимального сжатия ориентирована горизонтально в направлении СВ, ось промежуточных напряжений вертикальна. В работе [88] приводятся результаты измерения величин напряжений на шахтах Донецка методом гидроразрыва. По этим данным максимальное сжатие в регионе ориентировано горизонтально и превышает вертикальную составляющую в 2,4 – 3,5 раза. Таким образом, можем принять, что в изучаемом районе расположения угольных отвалов действует сдвиговое поле напряжений с ориентировкой максимального сжатия в направлении ЮВ-СЗ.

В этом поле напряжений вертикально ориентированные границы блоков 4-4 и 2-2 (рис. 3.23) северо-западного простираения попадают в квадранты растяжения, а границы блоков 1-1 и 3-3 северо-восточного простираения – в квадранты сжатия. На границах блоков, попадающих в квадранты растяжения, согласно предлагаемой гипотезе, могут создаваться более благоприятные условия для деформации оснований отвалов и поступления воздуха к хранящемуся углеродному материалу [17].

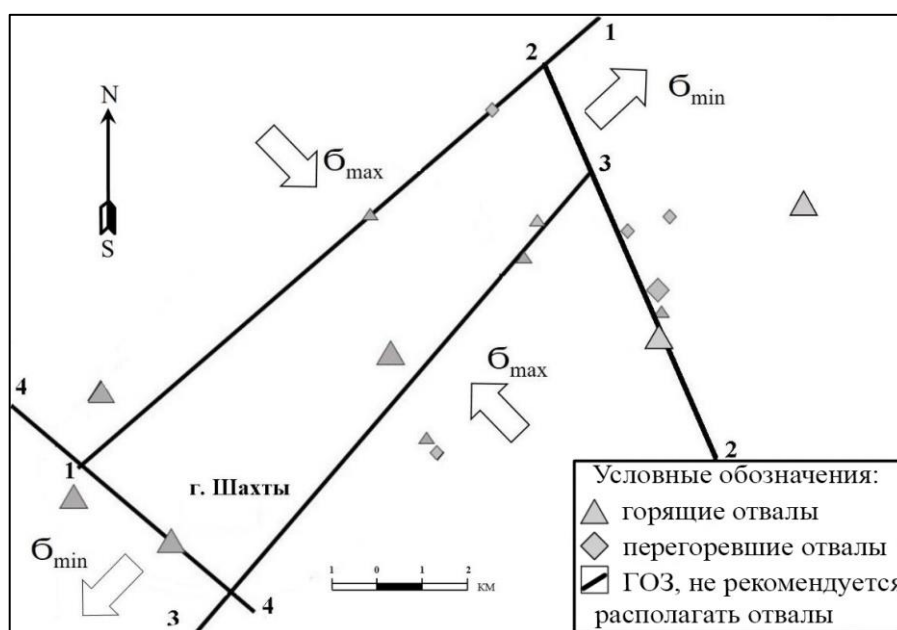


Рисунок 3.23 – Тектонофизическая схема района г. Шахты с отвалами

Как уже указывалось, в исследуемом районе находится 27 отвалов, из них 16 отвалов имели случаи самовозгорания. 16 отвалов, имевших случаи самовозгорания, 9 расположены на границах блоков земной горы, табл. 3.10.

Таблица 3.10. Актуальное состояние отвалов в районе г. Шахты

№ п/п	Состояние	Всего	Расположены на границах блоков
1	Горящие	11	6
2	Перегоревшие	5	3
3	Негорящие	11	2
	ИТОГО:	27	11

9 горящих отвалов, попадающих на границы блоков земной коры, примерно поровну распределены между границами северо-восточного и северо-западного простираний, однако общая длина границ северо-западного направления (границы растяжения) меньше, из-за чего удельное количество отвалов на этих границах (шт/км) примерно в 1,7 раза выше, табл. 3.11.

Таблица 3.11. Удельное количество отвалов со случаями возгорания на границах блоков земной коры

Положение границ блоков в современном поле напряжений	Кол-во отвалов, имевших случаи возгорания	Общая длина границ блоков, км	Удельное количество отвалов со случаями возгорания на границах блоков, шт/км
Границы, расположенные в секторах растяжения	5	18,8	0,27
Границы, расположенные в секторах сжатия	4	25	0,16

Статистические данные здесь не вполне представительны, но все же наблюдается отличие в удельном количестве отвалов на границах с различными тектонофизическими условиями в 1,7 раза. Это можно объяснить тем, что на границах блоков земной коры с условиями растяжения создаются более

благоприятные условия для разрушения изолирующего слоя отвала и поступления воздуха в его тело через трещины.

### **Выводы**

1. Результаты анализа пространственного распределения отвалов показывают, что горящие отвалы приурочены к ГОЗ. Эта приуроченность проявляется в том, что удельное количество горящих отвалов в этих зонах выше фонового значения в 3,8 – 21,6 раз.

2. Во всем диапазоне значений ширины зон влияния границ блоков (ГОЗ), оцениваемой на основе различных известных подходов, получаем устойчивый результат: удельное количество горящих отвалов выше фонового значения в 3,8 – 21,6 раз.

3. Формальная проверка достоверности этого вывода показывает, что вероятность того, что горящие отвалы сконцентрированы в ГОЗ случайно, пренебрежимо мала.

4. Расчеты, выполненные для горящих и негорящих отвалов, показывают, что к геодинамически опасным зонам имеют приуроченность именно горящие отвалы, тогда как для негорящих отвалов такой приуроченности не наблюдается.

5. Установлено влияние напряженного состояния блочного массива горных пород на распределение горящих отвалов в районе г. Шахты: удельное количество (шт/км) горящих отвалов на границах блоков, находящихся в условиях растяжения, в 1,7 раза больше чем на границах блоков, находящихся в условиях сжатия.

## **ГЛАВА 4. ОБОСНОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ ОПАСНЫЕ ЗОНЫ В ТЕЛО ОТВАЛА**

### **4.1. Анализ возможных путей поступления воздуха в тело отвала через проницаемую зону**

Полученная выше приуроченность требует рационального объяснения, в связи с чем, возникает научно-техническая задача исследовать с помощью компьютерного моделирования процесс поступления воздуха в тело отвала через геодинамически опасные зоны, представляющие собой более проницаемые участки горного массива. Согласно основной идее диссертации, воздух в тело отвала может поступать через ГОЗ. В этом случае можно представить два основных варианта

1. Воздух поступает с поверхности, проникая в ГОЗ под действием ветра в пониженных участках рельефа.
2. Воздух поступает из горных выработок, пересекаемых ГОЗ.

#### ***4.1.1. Анализ поступления воздуха в тело отвала с поверхности под действием ветра***

Имеющиеся результаты исследований по тектонике, тектонофизике и геодинамическому районированию, как указано в главах 1 и 2 показывают, что геодинамически активная зона выражена в массиве, как линейная зона повышенной нарушенности и трещиноватости. Рассмотрим возможные пути поступления воздуха в тело отвала через геодинамически опасные зоны, интерпретируемые как высокопроницаемые участки массива. Как известно, геодинамически опасные зоны, выражены в рельефе земной поверхности рядом геоморфологических индикаторов (излучины рек, оврагов, подножья склонов и др.). В связи с этим можно представить себе ситуацию, когда геодинамически опасная зона выражена уступом в рельефе.

Например, разлом Несветаевский в районе поселка Бугултай фиксируется коленообразным изгибом р. Малый Несветай. Отметка русла р. Малый Несветай

немного менее чем 80 метров, а подножье отвала ш. №5/309 имеет отметку 100 м. Здесь высота уступа, который пересекает Несветаевский разлом, составляет 20 метров.

Далее Несветаевский разлом в центральной части поселка Бельшево пересекает балку Бельшеву, фиксируясь коленообразным изгибом тальвега этой балки. Разница высотных отметок между тальвегом и верхней частью балки составляет 10 метров. Затем в 500-1000 метрах к юго-востоку от поселка Черников разлом Несветаевский фиксируется коленообразным изгибом р. Большой Несветай. Отметка тальвега здесь составляет менее чем 160 метров, а отметки борта долины р. Большой Несветай превышают 200 метров. Здесь мы видим, что высота уступа в рельефе, который пересекает Несветаевский разлом, составляет не менее 40 метров [117].

Исходя из вышеизложенного, в компьютерной модели для моделирования поступления воздуха с поверхности примем среднюю высоту уступа рельефа 20 метров.

#### ***4.1.2. Анализ поступления воздуха в тело отвала из горных выработок***

Практика последних лет газохимического мониторинга в горнопромышленных районах показывает, что шахтные газы могут поступать в атмосферу через подработанный массив [77, 141, 170, 173, 179]. Например, одним из видов негативного воздействия на окружающую среду в работе [179] признается «вытеснение шахтных газов из затапливаемых горных выработок и выработанного пространства, выход на поверхность и скопление газов в колодцах, подвалах зданий и помещений, в пониженных участках местности». Здесь мы видим, что скопление газа в колодцах, подвалах, пониженных участках местности свидетельствует о том, что газ на поверхность поступает не через горные выработки, а через подработанный массив, т.е. подработанный трещиноватый массив является проводником шахтных газов. Теоретическое обоснование этих процессов можем найти в работах Н. М. Качурина, например [73, 76], В. М. Маевской [108].



Примем во внимание, что ГОЗ, как правило, представляют собой зоны повышенной трещиноватости и нарушенности массива (таблица 1.3). Например, упомянутый выше Несветаевский разлом, на котором находится два горящих отвала (Несветаевский и отвал шахты №5/309), пересекает шахтные поля шахт Несветаевская, Соколовская, Западная Капитальная, Краснонесветаевская и шахты им. газеты «Комсомольская правда». На этом основании в компьютерной модели можем принять, что ГОЗ, как линейные зоны повышенной проницаемости связывают горные выработки и отвалы, расположенные на земной поверхности.

Таким образом, движение газов через трещиноватую среду из глубины на поверхность является фактом, подтвержденным на многочисленных примерах и имеющим теоретические оценки. На основании этого примем, что вторым путем поступления воздуха в тело отвала является ГОЗ, проходящая через горные выработки. В связи с этим требуется разработка и обоснование соответствующей геометрической модели для компьютерного моделирования.

#### **4.2. Обоснование геометрической модели**

Модель состоит из 3 основных элементов: отвала, массива горных пород и геодинамически опасной зоны, каждый из которых состоит из подэлементов. Также была начерчена поверхность, связывающая ГОЗ и горные выработки. При построении модели принято, что отвал расположен в ГОЗ, которая пересекает горные выработки. Принято, что ширина ГОЗ меньше ширины отвала, а поверхность отвала покрыта изолирующим противопожарным слоем толщиной 0,3 м. Для проведения моделирования с использованием программных средств ANSYS масштаб модели принят 1:1 [193].

Разработанная геометрическая модель представлена на рисунке 4.1.

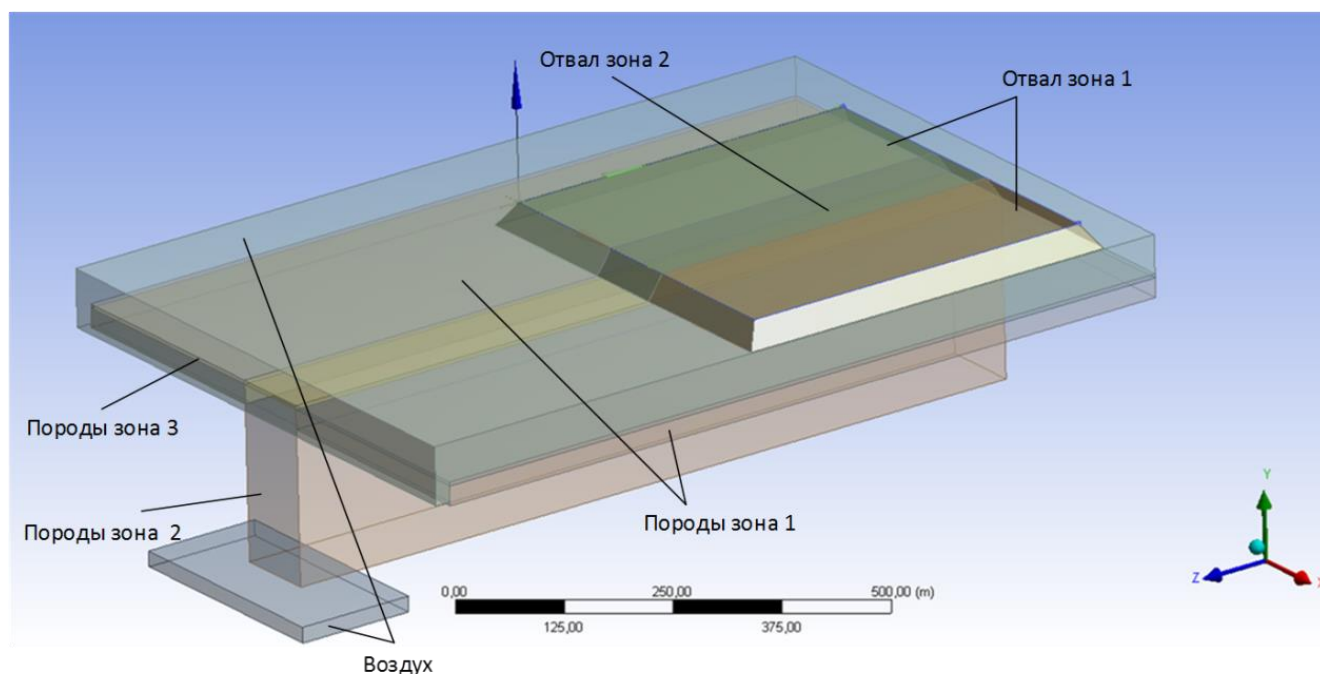


Рисунок 4.1 – Геометрическая модель

В таблице 4.1 представлены основные размеры для каждого из элементов и подэлементов геометрической модели: длина, ширина и высота.

Таблица 4.1. Параметры геометрической модели

Название	Описание	Длина, м	Ширина, м	Высота, м
Породы, зона 1	Горные породы, на которых расположен отвал	1 000	700	25
Породы, зона 2	Геодинамически опасная зона	1 000	100	225
Породы, зона 3	Глинистый слой	1 000	700	5
Отвал, зона 1	Тело отвала	500	500	30
Отвал, зона 2	Отвал над геодинамически опасной зоной	500	100	30
Отвал, зона 3	Борта отвала	Слой 0,3 м		
Атмосфера	Атмосферный воздух	1 000	700	50

Для каждого из элементов и подэлементов необходимо задать граничные и начальные условия, необходимые для компьютерного моделирования. Основными параметрами, с которыми работает программа ANSYS, являются такие свойства массива, как пористость и проницаемость. Другими важными

параметрами являются граничные условия, к которым относятся распределение давления в различных участках модели и скорость движения воздуха.

### **4.3. Обоснование граничных условий**

Начальные и граничные условия заданы для каждого домена геометрической модели. В домене «атмосфера» граничные условия заданы на 5 поверхностях: на поверхности 1 скорость движения воздуха задана 10 м/с, а на поверхностях 2, 3, 4, 5 задано давление 0 Па. В домене «геодинамически опасная зона» входной параметр задан на поверхности 1 (предполагаемое место связи горных выработок и геодинамически опасной зоны). Здесь задано давление 1 000 Па, имитирующее давление, создаваемое вентилятором главного проветривания в шахте. Эта поверхность является общей у ГОЗ и горной выработки.

Пористость и проницаемость горных пород в различных зонах, слагающих почву под отвалом, а также в зонах самого отвала и ГОЗ изменяется в различных диапазонах в зависимости от условий.

Таким образом, для моделирования необходимо обосновать проницаемость и пористость для каждого из элементов модели.

#### ***4.3.1. Обоснование значений проницаемости для элементов модели***

Как было показано в п. 3.1.3, отвальная масса при отсыпке углепородных отвалов распределяются следующим образом: крупные куски пород под действием сил тяжести и инерции скатываются к подножью отвала, тогда как более мелкие фракции остаются в верхней части отвала. Соответственно проницаемость отвала неоднородна. Кроме того, некоторые отвалы для предотвращения их самовозгорания уплотняются катками, что снижает проницаемость отвальной массы. На рисунке 4.2 представлено распределение коэффициента воздухопроницаемости отвальной массы в зависимости от степени уплотнения при различной влажности по данным Агапова А. Е., Навитний А. М. и др. [3].

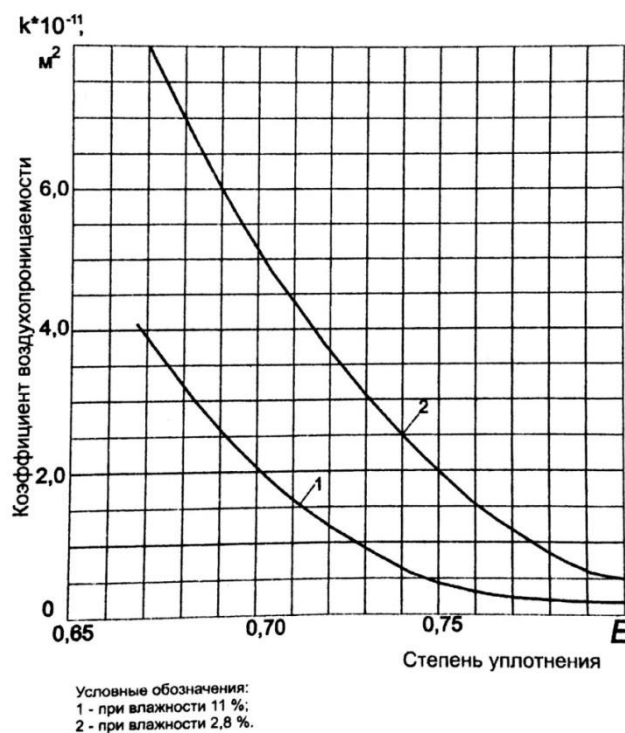


Рисунок 4.2 – Зависимость коэффициента воздухопроницаемости отвальной массы от степени уплотнения [3].

В таблице 4.2. представлена оценка проницаемости отвальной массы по разным источникам.

Таблица 4.2. Оценка проницаемости углепородного отвала

Вид пород	Коэффициент проницаемости, $\text{м}^2$	Источник
Глыбы и щебень в осыпях и обвалах	$(0,05 - 1) \cdot 10^{-8}$	[80]
Уплотненная отвальная масса	$(0,1 - 1) \cdot 10^{-10}$	[3]
Обрушенные породы	$1,41 \cdot 10^{-8}$	[158]

Массив горных пород также неоднороден по проницаемости. Данные по проницаемости угольных пластов и пород нетронутого массива можно взять из работ Пучкова Л. А., Сластунова С. В., Коликова К. С., McKee [143, 210]. Также в работе Тиаб Д., Доналдсон Э. Ч. [166] представлены графики распределения пористости и проницаемости для различных пород, рис. 4.3, рис. 4.4.

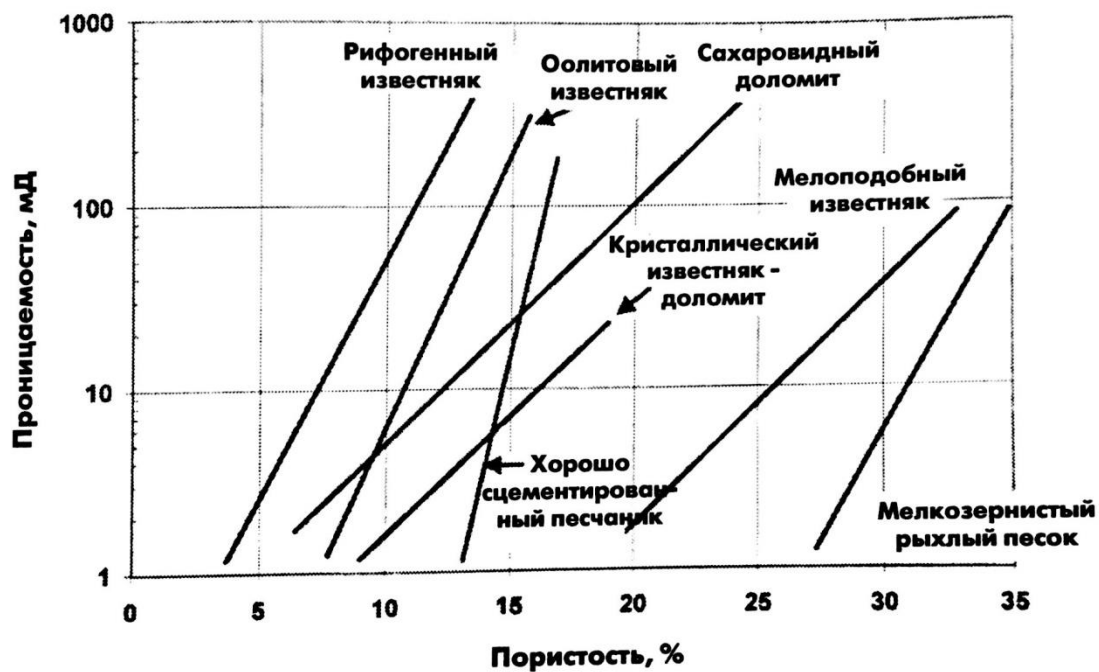


Рисунок 4.3 – Пористость и проницаемость пород по Тиаб Д., Доналдсон Э.Ч. [166].



Рисунок 4.4 – Распределение пористости и проницаемости различных типов пород [166].

В таблице 4.3. представлена оценка проницаемости массива горных пород на основании данных из указанных справочных материалов.

Таблица 4.3. Оценка проницаемости массива горных пород

Вид пород	Автор	Коэф-т прон-ти, м <sup>2</sup>
1. Песчаники, гравелиты, конгломераты и др. пористые сцементированные	Кобранова В. Н., Керкис Е. Е.	$(0,1-1) \cdot 10^{-11}$
2. Породы трещиноватые обломочные, сцементированные		$(0,1-1) \cdot 10^{-11}$
3. Алевриты, песчаники		$(0,1-1) \cdot 10^{-12}$
4. Слаботрещиноватые магматические, метаморфические и осадочные породы		$(0,1-1) \cdot 10^{-12}$
5. Антрацит и сухие каменные угли		$(0,1-1) \cdot 10^{-12}$
6. Песчаник	Тиаб Д., Доналдсон Э.Ч.	$(0,1-5) \cdot 10^{-13}$
7. Угольный пласт	Сластунов С.В., Коликов К.С.	от $10^{-14}$

Проницаемость трещиноватых пород изучали Кобранова В. Н., Керкис Е. Е. [78, 80]. В таблице 4.4 представлена оценка проницаемости ГОЗ на основании данных из справочных материалов.

Таблица 4.4. Оценка проницаемости ГОЗ

Вид пород	Коэффициент проницаемости, м <sup>2</sup>
Сильно трещиноватые породы	До $1,5 \cdot 10^{-9}$
Сильно закарстованные	$(0,1-5) \cdot 10^{-9}$

Проанализируем имеющиеся данные по проницаемости естественных и техногенных массивов и факторы, влияющие на значения проницаемости.

#### 4.3.2. Обоснование свойств и структуры массива в ГОЗ

Как уже указывалось, ГОЗ отличаются повышенной густотой (шт/м) трещин (таблица 1.3). Например, на Североуральском бокситовом руднике (СУБРе) в нарушенных зонах густота трещин одного направления достигает 10-15 шт/м, а размеры отдельных блоков – 10х10х15 см и даже 7х7х10 см в то время как за

пределами тектонически активных зон густота трещин составляет 1-3 шт/м [135, стр.128]. По исследованию трещиноватости угольных месторождений известны работы Р. Г. Коломина. В тектонически нарушенных зонах им обнаружено и измерено от 6 до 12 систем трещин. Под системой трещин большинство исследователей понимают ряд параллельных или близких к параллельным трещин, поражающих толщу горных пород. Объединение в одну систему пересекающихся в пространстве трещин, как правило, не допускаются. Например, в Анжеро-Судженском районе Кузбасса по песчанику и углю пласта Андреевский в тектонически нарушенной зоне Коломиным Р.Г. описаны следующие системы трещин, табл. 4.5, [89, приложение 3].

Таблица 4.5. Системы трещин в Анжеро-Судженском районе Кузбасса

<b>№ системы трещин</b>	<b>Элементы залегания системы трещин (аз.пад./угол пад.)</b>	<b>Густота трещин (шт/м)</b>
1	264/75	4
2	65/60	15
3	345/85	6
4	30/60	2
5	150/60	12
6	75/80	6
7	210/70	12
8	300/65	10
9	50/70	15
10	105/80	4
11	345/55	2
12	275/80	1

Как видим, породы и уголь интенсивно трещиноваты, размеры отдельных блоков пород составляют в поперечнике от 7 см.

Таким образом, если в обычных условиях в массиве фиксируются 2-4 систем трещин с густотой 1-3 шт/м, то в тектонически нарушенных зонах до 12 систем трещин с густотой 10-15 шт/м, что безусловно увеличивает проницаемость массива.

Исходя из вышеизложенного, можем принять справочные данные по трещиноватым породам как основу для оценки проницаемости ГОЗ.

Однако, в ряде случаев, по-видимому, реальная проницаемость ГОЗ может быть значительно выше справочных значений для трещиноватых пород, поскольку при деформировании массива и смещении блоков пород по неровным поверхностям скольжения могут возникать открытые каналы для движения газов за счет зияния неровностей поверхностей скольжения.

Например, в работе [99] указано, что в результате движения блоков пород по неровным поверхностям смещения возникает ситуация, при которой крылья нарушения контактируют выступами, в то время как микровпадины создают каналы и тектонически разгруженные зоны, рис. 4.5.

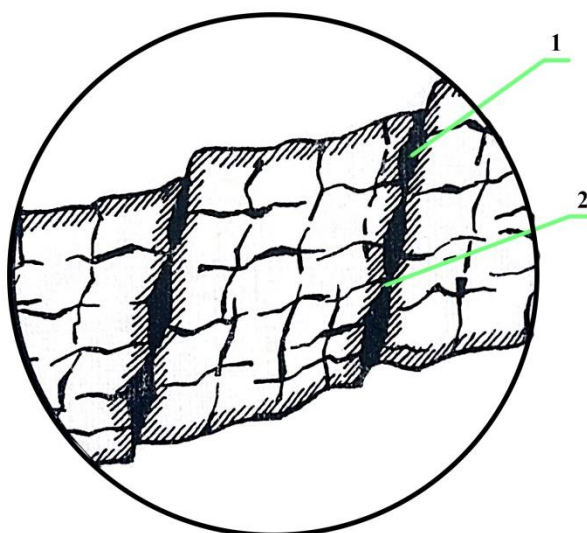


Рисунок 4.5 – Схема образования тектонически напряженных и разгруженных зон по Петухову И. М.: 1 – тектонически разгруженные зоны, 2 – тектонически напряженные зоны

На рисунке показаны контакты выступов и впадин, которые интерпретируются как тектонически напряженные и разгрузочные зоны. Одновременно можно видеть, что контакт двух впадин формирует высокопроницаемый канал.

В работе [140] описана морфология сместителя разрывных нарушений. Указано, что расстояние между валами (выступами) сместителя может достигать 1, 2 и более метров при их амплитуде 0,1 – 0,5 м. Смещение по таким сместителям в направлении, не совпадающим с направлением валов, могут приводить к образованию макроканалов, благоприятных для движения флюидов. Подобные



модели смещения блока пород по неровным сместителям в настоящее время общепризнаны, например, в работах Клауса Э., рис. 4.6 [197], а также Wittke W. [219].

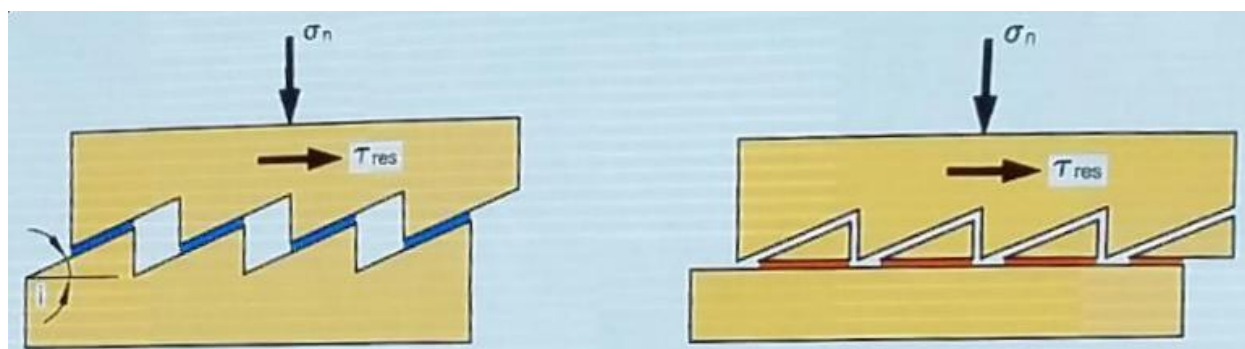


Рисунок 4.6 – Образование зияющих макроканалов для движения флюидов при смещении пород по неровным сместителям [197].

Существует масса примеров, показывающих, что разломные зоны могут обладать очень высокой проницаемостью. Например, на ш. им. 23 съезда КПСС ПО «Ровенькиантрацит» при проходке 28 откаточного штрека и бурении водопонижающих скважин диаметром 112 мм на зону Михайловского сброса был отмечен водоприток в размере 180 м<sup>3</sup>/час. В течение следующих 3 лет из зоны Михайловского сброса производилась откачка подземных вод, но первоначальный приток в штрек удалось снизить лишь до 100 м<sup>3</sup>/час. Убедившись в очень высокой проницаемости этого сброса, специалисты приняли решение о проведении тампонажных работ. После тампонажа зоны Михайловского сброса и проведения через нее 28 откаточного штрека были задокументированы многочисленные трещины раскрытием от 0,1 до 7 см, заполненные плотным тампонажным камнем [161]. Этот пример показывает, что в нарушенной зоне раскрытие трещин может достигать нескольких сантиметров, что обеспечивает проницаемость, намного превышающую справочные значения.

#### ***4.3.3. Влияние анизотропии на проницаемость массива***

В петрофизике для выражения степени неоднородности пласта часто использует анизотропию проницаемости, т.е. различие в проницаемости в зависимости от направления. Например, в работе [166, стр. 140] пласты с вертикальными трещинами имеют более высокую проницаемость в вертикальном

направлении и низкую проницаемость в горизонтальном направлении. Вертикальная и горизонтальная проницаемость могут различаться более чем на порядок [166, стр. 146].

Как уже указывалось, на некоторых сильно нарушенных участках массива наблюдается до 12 систем трещин, в этом случае, по-видимому, анизотропией проницаемости можно пренебречь. Однако в случае преобладания 1-2 систем трещин, выраженных в массиве как мелкоамплитудные нарушения, попадающие в области высоких касательных напряжений современного поля напряжений, анизотропия проницаемости может проявляться очень отчетливо за счет эффекта образования зияющих каналов, как это описано выше, рис. 4.5, 4.6.

В связи с этим можно полагать, что значения проницаемости, указанные в таблице 4.4 для пород зоны ГОЗ могут быть еще увеличены на порядок.

#### ***4.3.4. Влияние напряженного состояния на пористость и проницаемость***

Влияние напряжений на пористость и проницаемость горного массива рассмотрено в работах по петрофизике, нефтяной геологии, геомеханике [41, 63, 199, 210]. Добрынин В. М. на большом экспериментальном материале доказал, что существует линейная связь между сжимаемостью порового пространства и логарифмом порового давления в диапазоне давлений от 1-2 МПа до 170-200 МПа.

McKee получил зависимость проницаемости от эффективного напряжения при экспериментальном исследовании образцов угля (рисунок 4.7). По полученным данным при возрастании эффективного напряжения от 7 МПа до 17 МПа, т.е. почти в 2 раза, проницаемость породы (песчаника, угля, глины и гранита) уменьшается со 110 мкД до 9 мкД, т.е. больше чем на порядок [166, 210].

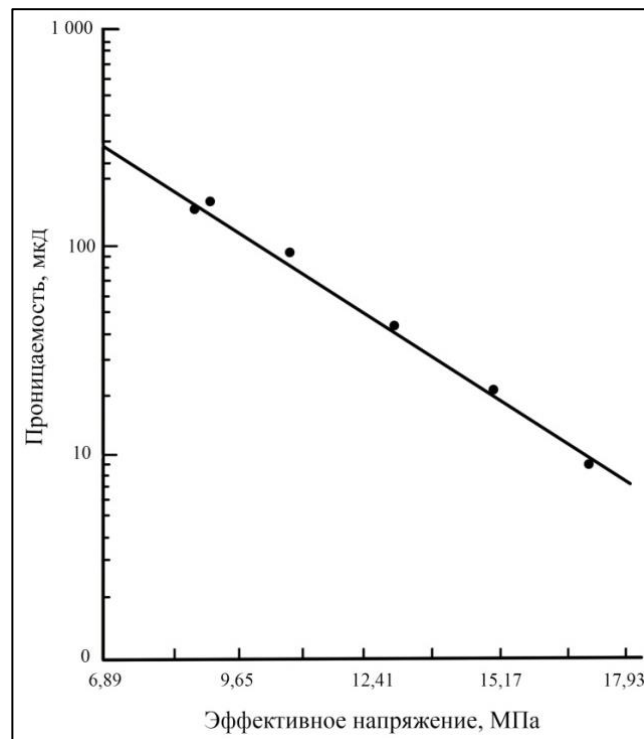


Рисунок 4.7 – Зависимость проницаемости от эффективного напряжения [210].

В докладе Клауса Э. на конференции EUROCK-2018 приведены примеры влияния напряженного состояния на коэффициент фильтрации массива для решения задач водопритока к высокоскоростным туннелям железной дороги в Германии, рис. 4.8.

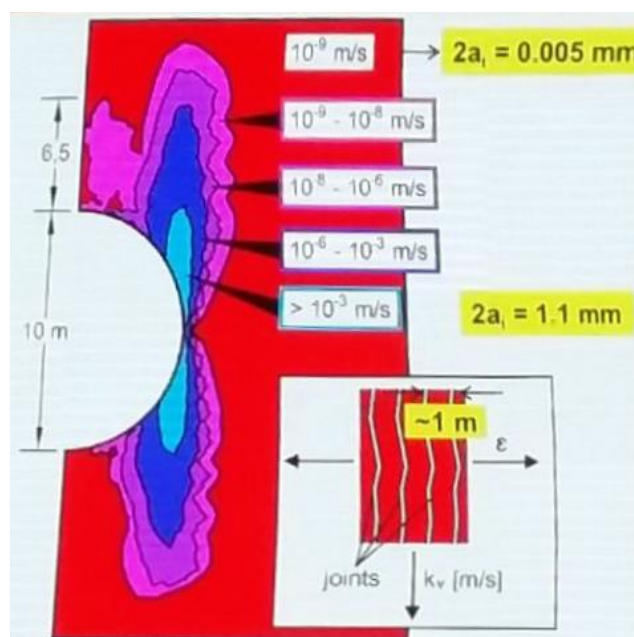


Рисунок 4.8 – Изменение скорости фильтрации вблизи контура туннеля [219]

На рисунке видно, что скорость фильтрации массива меняется от  $10^{-9}$  до  $10^{-3}$  и более м/с, т.е. на несколько порядков.

В работах Петухова И. М. приведены примеры моделирования напряжений и проницаемости в блочном массиве горных пород методом граничных интегральных уравнений (ГИУ), рис. 4.9 и 4.10. Из них видно, что при уменьшении напряжения в массиве от -1,8 до -0,2, проницаемость увеличивается в 5 раз.

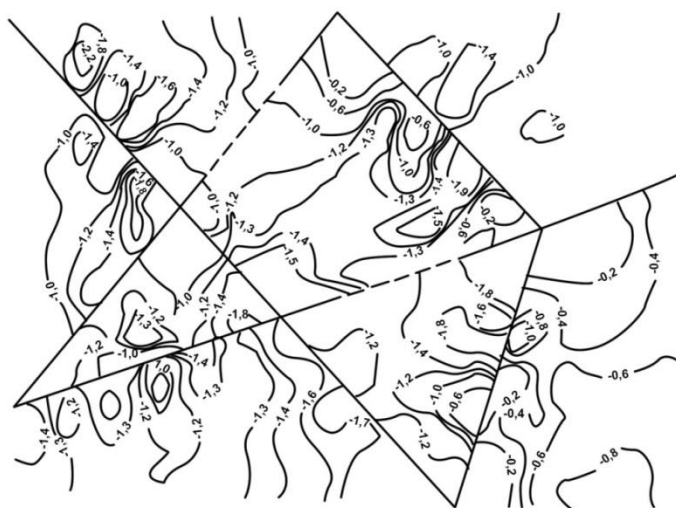


Рисунок 4.9 – Карта главных напряжений [41]



Рисунок 4.10 – Изолинии значений коэффициента проницаемости, по [41]

Таким образом, в зависимости от напряженного состояния горного массива значения проницаемости в тектонически напряженных и тектонически разгруженных зонах могут отличаться на порядок и более. Это учтено при

использовании справочных материалов для задания граничных условий для моделирования.

#### **4.3.5. Обоснование значений пористости для элементов модели**

Значение пористости горных пород широко представлены в справочной литературе [78, 80, 106, 166]. Углевмещающая толща Восточного Донбасса представлена традиционным комплексом осадочных отложений: песчаники, аргиллиты и алевролиты. Осредненные свойства по пористости этих пород представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6. Пористость пород

Название пород	Автор			
	Тиаб Д., Доналдсон Э. Ч.	Ломтадзе В. Д.	Керкис Е. Е.	Кобранова В. Н.
Песчаник	12-30 %	16-26 %	5-20 %	0,5-40 %
Алевролит	10-30 %	14-30 %	5-20 %	1-50 %
Глина	13-21 %	-	15-40 %	4-75 %

У Кобрановой В. Н. представлен широкий диапазон пористости для песчаников: от 1 до 40%. Пористость 1% присуща песчаникам с высоким содержанием цемента, а пористость 40% характерна для трещиноватых массивов. У Тиаба Д., Доналдсона Э. Ч. диапазон пористости хорошо сцементированного песчаника указан от 14 до 16 % (рисунок 4.3). У Ломтадзе В. Д. для песчаника указан диапазон 16-26 %, а у Керкиса Е. Е. – 5-20%.

Пористость алевролитов по данным этих же авторов близка к пористости песчаников.

Таким образом, для массива можем взять значение пористости из середины указанного в справочной литературе интервала, примерно 15%.

Учитывая, что ГОЗ представляет собой трещиноватую зону массива горных пород, пористость для этой зоны возьмем ближе к крайнему значению пористости для песчаников и алевролитов – 20-25 %.

Пористость глинистого слоя, расположенного в верхней части земной коры и на бортах отвала, по оценкам различных авторов, имеет широкий диапазон: в среднем от 13 до 50 %. Для исследования возьмем пористость глинистого слоя выше пористости массива горных пород – 16-20%

Отвальная масса весьма неоднородна по фракционному составу: в нижней части крупнообломочные породы с пористостью 20-35 %, а в верхней части тонкодисперсные породы с пористостью 25-50 %, табл. 4.7.

Таблица 4.7. Пористость отвальной массы

Название пород	Значение пористости, %
Глыбы и щебень в осыпях и обвалах без заполнителя	20-35
Суглинки, супеси	25-50

Учитывая, что общая пористость пород равна суммарному объему открытых и закрытых пор, примем для отвала пористость в диапазоне 30-35 %.

#### 4.3.6. Граничные условия для модели

На основании вышеуказанных справочных материалов были заданы граничные условия: пористость и проницаемость для каждого элемента и подэлемента модели, используемые для моделирования движения воздуха в тело отвала, табл. 4.8.

Таблица 4.8. Начальные и граничные условия

Название зоны	Описание	Пористость, %	Проницаемость, $\text{м}^2$
Породы, зона 1	Горные породы, на которых расположен отвал	15	$10^{-14} - 10^{-11}$
Породы, зона 2	ГОЗ	20-25	до $10^{-8}$
Породы, зона 3	Глинистый слой	16-20	$10^{-15} - 10^{-14}$
Отвал, зона 1	Тело отвала	30-35	$10^{-11} - 10^{-8}$
Отвал, зона 2	Отвал над ГОЗ	30-35	до $10^{-8}$
Отвал, зона 3	Борта отвала	16-20	$10^{-15} - 10^{-14}$

Таким образом, была создана компьютерная модель и заданы граничные и начальные условия, на основании фактических данных из справочных материалов [78, 80, 106, 166].

#### **4.4. Результаты моделирования**

Моделирование проводилось в 2 стадии, и основывалось на предположении, что при наличии ГОЗ воздух в тело отвала может поступать двумя путями:

1. За счет давления, создаваемого ветром на участках рельефа, где ГОЗ выходит на поверхность.
2. За счет движения воздуха из горных выработок по проницаемой ГОЗ под действием избыточного давления, создаваемого вентиляцией

Известны работы по моделированию движения воздуха в районе отвала [75, 76], но разрабатываемая модель отличается наличием проницаемой ГОЗ, выраженной уступом рельефа. Высота уступа принята равной 20 м. Моделирование показало, что воздух,двигающийся на уступ рельефа, проникает в массив горных пород на несколько метров, а затем выходит в атмосферу. Такая же ситуация складывается и в случае, когда поток воздуха непосредственно набегает на отвал (рис. 4.11).

Модель аэродинамической связи отвала с областью ведения горных работ основана на гипотезе аэродинамической связи тела отвала с близ расположенной горной выработкой по геодинамически опасной зоне. После внесения в модель начальных и граничных условий, характеризующих параметры области ведения горных работ и сил, которые могут влиять на возможность создания условий для самовозгорания отвалов, было проведено компьютерное моделирование с визуализацией результатов (рис. 4.11). Расчеты дали адекватные результаты по исследуемому параметру (скорость и направление движения потока воздуха) [207].

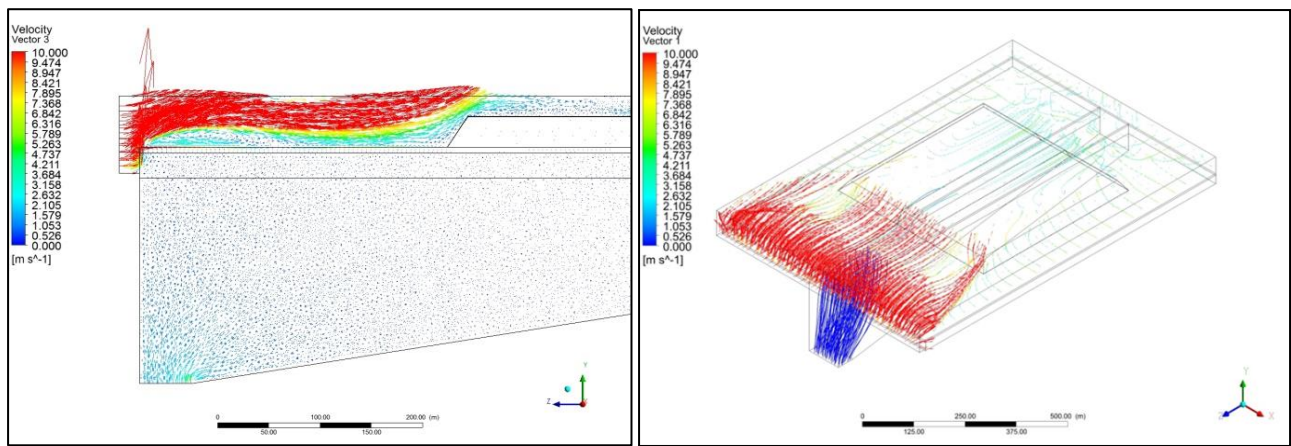


Рисунок 4.11 – Вектора движения воздуха при набегании воздуха с уступа рельефа

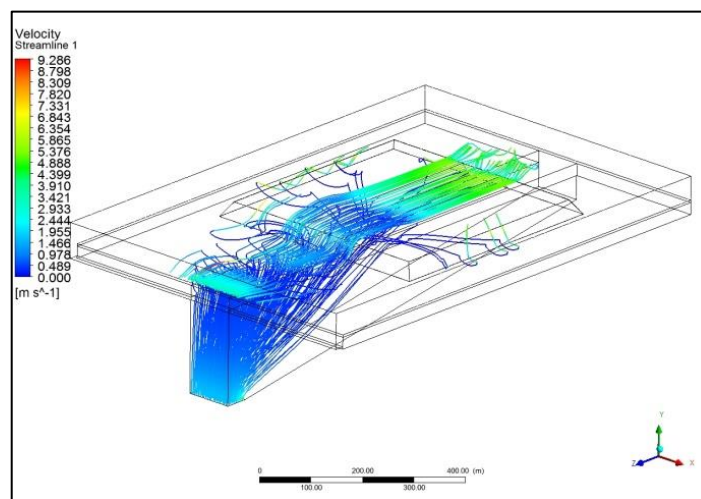


Рисунок 4.12 – Вектора движения воздуха при наличии аэродинамической связи отвала с горными выработками по геодинамически опасной зоне

Геодинамически опасная зона, проходящая в основании отвала, моделировалась как более высокопористый и проницаемый массив (табл. 4.8). Глубина проникновения воздуха в тело отвала зависит от пористости и проницаемости отвала, поэтому в ГОЗ глубина проникновения воздуха больше. Наиболее благоприятная ситуация для проникновения воздуха в тело отвала создается, когда отвал расположен в ГОЗ, пересекающей область ведения горных работ. Даже на удалении отвала от выработок на расстояние 500 м и избыточном давлении 1000 Па, воздух из шахты может глубоко проникать в тело отвала. Известно, что избыточное давление, создаваемое вентилятором главного проветривания шахт, может достигать 8 000 Па. При таком давлении и наличии аэродинамической связи горных выработок с поверхностью, осуществляемой по



проницаемой геодинамически опасной зоне, воздух может поступать в тело отвала, что при определенных условиях способствует его самовозгоранию.

На рисунке 4.13 представлены результаты моделирования процесса массопереноса газов из горных выработок через ГОЗ и через массив горных пород.

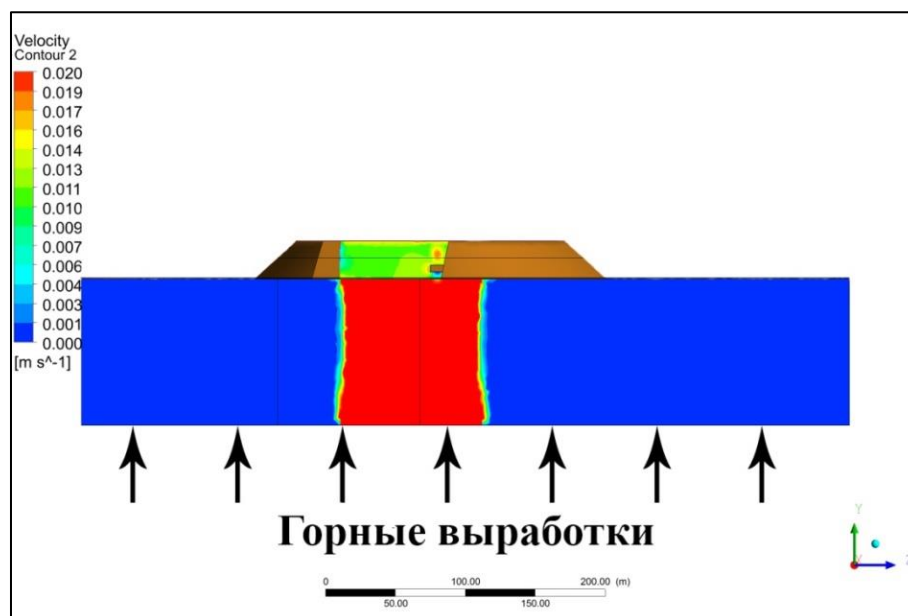


Рисунок 4.13 – Массоперенос газов из горных выработок в тело отвала

Как видно из рисунка, на участках без ГОЗ скорость движения газов находится в самом низу диапазона: 0 – 0,001 м/с, что в целом не противоречит представлениям о массопереносе газов из недр на земную поверхность [76, 77]. В ГОЗ скорость движения воздуха находится в диапазоне 0,019 – 0,02 м/с, что более чем на порядок выше, т.е. именно ГОЗ является каналом для массопереноса газа.

В работах Маевской В. М., Пучкова Л. А., Калединой Н. О. и Кобылкина С. С. [107, 108, 142, 206] указывается, что процесс самонагревания угля зависит от соотношения между генерацией тепла и теплоотдачей. Имеется в виду, что поток воздуха доставляет к скоплению угольного вещества кислород, инициирующий процесс самонагревания угля (генерация тепла) и, в то же время, поток воздуха выносит часть тепла из угольного скопления, что подавляет процесс самонагревания угля (теплоотдача). Следовательно, существует интервал скоростей фильтрации воздуха через скопление угольного вещества, при котором

создаются наиболее благоприятные условия для самонагрева угля. Такие скорости фильтрации были названы пожароопасными.

Так, для условий шахт Кузбасса пожароопасной считается скорость фильтрации воздуха  $0,1 - 0,9 \text{ м}^3/\text{мин} \cdot \text{м}^2$  или в перерасчете в единицы СИ:  $0,002 - 0,015 \text{ м/с}$ .

Таким образом, можем сравнить результаты моделирования с имеющимися оценками пожароопасной скорости фильтрации воздуха.

Как видно из рисунка 4.4., скорость движения воздуха в ГОЗ составляет:  $0,019 - 0,02 \text{ м/с}$ . При поступлении воздуха в тело отвала скорость потока воздуха снижается и находится в интервале от  $0,009$  до  $0,014 \text{ м/с}$ , т.е. попадает в пожароопасный диапазон. Т. е. результаты моделирования показывают, что воздух не только может поступать через ГОЗ в отвал, но и скорость его поступления может находиться в пожароопасном диапазоне. Это говорит о том, что геодинамически опасная зона, проходящая в основании углепородного отвала, повышает опасность самовозгорания отвальной массы.

### **Выводы**

1. Разработана компьютерная модель, объясняющая механизм массопереноса газов с поверхности и горных выработок в тело отвала, отличающаяся учетом геодинамической структуры земной коры.

2. Параметры высокопроницаемой зоны горного массива, необходимые для обоснования геометрической модели, могут быть получены из результатов геодинамического районирования.

3. Справочные материалы по петрофизическим свойствам горных пород позволяют обосновать граничные условия для моделирования поступления воздуха в тело углепородного отвала через ГОЗ.

4. При наличии более проницаемой геодинамически опасной зоны под телом отвала создаются условия для проникновения воздуха в тело отвала как с земной поверхности, так и из горных выработок.

5. Ситуация, когда геодинамически опасная зона пересекает область ведения горных работ вблизи отвала, является более благоприятной для

поступления воздуха в отвал, чем ситуация, когда воздух проникает в тело отвала за счет ветра.

6. Скорость поступления воздуха в тело отвала через ГОЗ может находиться в пожароопасном диапазоне.

7. Результаты моделирования показывают, что именно ГОЗ является каналом для массопереноса газов в тело отвала.

8. Установленная выше приуроченность горящих отвалов к ГОЗ находит свое подтверждение и объяснение результатами компьютерного моделирования.

## **ГЛАВА 5. ОБОСНОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ И ПОДХОД К ВЫБОРУ БЕЗОПАСНЫХ МЕСТ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ УГЛЕПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ**

### **5.1. Анализ нормативных и инструктивных документов по выбору мест размещения отвалов**

Согласно Конституции Российской Федерации, каждый гражданин имеет право на благоприятную окружающую среду, каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам, которые являются основой устойчивого развития, жизни и деятельности народов, проживающих на территории Российской Федерации [90, ст. 42].

Отвалы являются источником выбросов в атмосферу загрязняющих веществ и пыли, они загрязняют поверхностные и грунтовые воды, приводят к деградации и изменению химического состава почв, нарушают биологический оптимум для человека и животных. Поэтому при эксплуатации отвалов необходимо руководствоваться федеральным законом № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 г. Он определяет правовые основы в области охраны окружающей среды, обеспечивающие сбалансированное решение социально-экономических задач, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Данный закон регулирует отношения в части взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду как важнейшую составляющую окружающей среды [176].

Горящие углепородные отвалы относятся к опасным производственным объектам, так как температура в очагах их возгорания может достигать нескольких сотен градусов, а также при горении отвалов может происходить обрушение их откосов. Поэтому при эксплуатации отвалов необходимо руководствоваться Федеральным законом № 116-ФЗ «О промышленной

безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 г., который определяет основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности эксплуатирующих опасные производственные объекты юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к локализации и ликвидации последствий указанных аварий [178].

Отвалы являются местом хранения отходов (отвальной массы), образующейся при добыче полезных ископаемых. Поэтому деятельность по обращения с отвалами регулируется федеральным законом № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 г., который определяет правовые основы обращения с отходами в целях предотвращения вредного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую среду [174].

«Атмосферный воздух является жизненно важным компонентом окружающей среды, неотъемлемой частью среды обитания человека, растений и животных». При горении отвалы выбрасывают в окружающую среду вредные химические вещества и газы, которые значительно превышают ПДК прилегающих территорий и являются источником загрязнения атмосферного воздуха. Федеральный закон № 96-ФЗ «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 г. устанавливает правовые основы охраны атмосферного воздуха. Таким образом, организации, занимающиеся эксплуатацией углепородных отвалов должны соблюдать требования данного закона [175].

Многие углепородные отвалы располагают в черте населенных пунктов. Поэтому при их эксплуатации необходимо соблюдать требования федерального закона 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 г., который направлен на обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения, как одного из основных условий реализации конституционных прав граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду [177].

Во исполнение Конституции РФ, а также вышеописанных законодательных актов Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 23 декабря 2011 года был выпущен приказ №738 «Об утверждении инструкции по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов». Данная инструкция предназначена для организаций, занимающихся проектированием, эксплуатацией, тушением и разборкой породных отвалов угольных шахт, разрезов и обогатительных фабрик и содержит требования, обеспечивающие безопасную эксплуатацию данных объектов [69].

В разделе I пункте 8 Инструкции указывается, что «местоположение проектируемых отвалов выбирают с учетом геодинамического районирования территории...». Анализ законодательных, инструктивных и методических документов показал, что нигде не отражено, как именно выбирать месторасположение отвалов с учетом геодинамического районирования и учитывать напряженное состояние при выборе места размещения проектируемого отвала. Более того, на сегодняшний день даже не намечен подход к этому вопросу и не изданы методические указания.

Таким образом, возникает научная задача обоснования выбора местоположения отвалов с учетом результатов геодинамического районирования территории.

## **5.2. Обоснование и подход к выбору мест для размещения отвалов**

### ***5.2.1. Обоснование размещения за пределами границ блоков***

Согласно развиваемой гипотезе о влиянии ГОЗ на состояние отвалов при размещении отвала на границах блоков земной коры, т.е. в геодинамически опасной зоне (ГОЗ) может происходить деформация изолирующего слоя в основании отвала или на его бортах, что способствует установлению аэродинамической связи между телом отвала и проницаемой зоной в его основании (рис. 5.1). Как показывают результаты моделирования, при установлении такой связи, в тело отвала попадает кислород, который может инициировать процесс возгорания горючих компонентов отвальной массы.

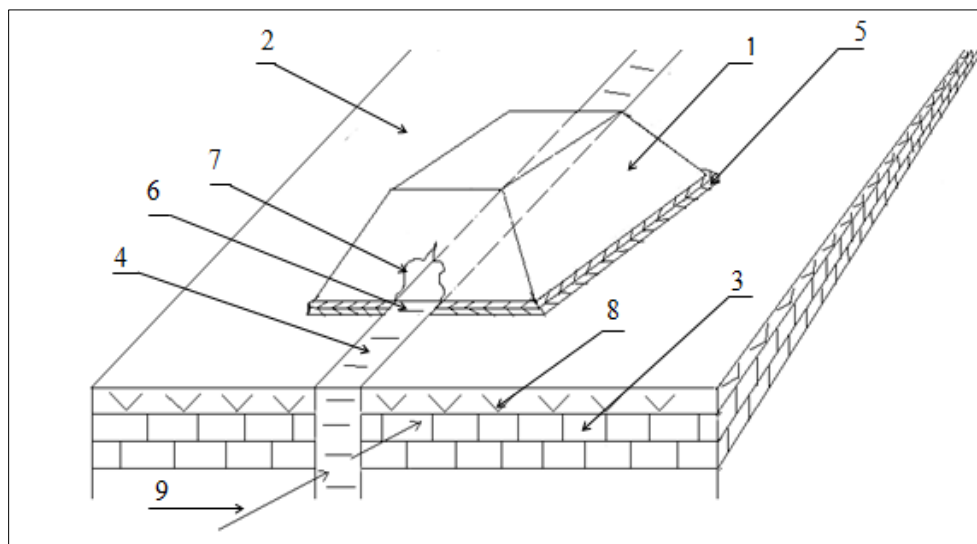


Рисунок 5.1 – Схема расположения углепородного отвала в ГОЗ: 1 – углепородный отвал; 2 – земная поверхность; 3 – массив горных пород; 4 – ГОЗ; 5 – изолирующий слой; 6 – зона разрушения изолирующего слоя в основании; 7 – зона разрушения изолирующего слоя на бортах; 8 – наносы; 9 – движение воздуха

Для предотвращения возгорания складированной отвальной массы предлагается размещать углепородные отвалы за пределами границ блоков земной коры. Для этого с помощью метода геодинамического районирования на основе использования топокарт, аэро- и космоснимков разных масштабов, геологических, геофизических, геоморфологических и других материалов производят выделение границ геодинамически активных блоков, оценивают ширину их влияния (В), осуществляют идентификацию этих зон на местности и сопоставляют их с планируемым местом размещения углепородных отвалов на земной поверхности [128].

Ширина В зон влияния геодинамически активных границ блоков (ширина геодинамически опасной зоны) определяется путем регистрации и анализа пространственного размещения сейсмических событий или путем измерения амплитуды взаимного вертикального смещения блоков и дальнейшего расчета по формуле  $V=10H$ , где  $H$  – амплитуда относительно смещения блоков. Поскольку ширина геодинамически опасной зоны намного меньше размеров углепородных отвалов, а размеры отвалов меньше размеров отдельных блоков, существует возможность располагать отвалы за пределами геодинамически опасных зон.

Например, по данным геодинамического районирования объединенный породный отвал ш. «Несветаевская» расположен в ГОЗ, на Несветаевском активном разломе земной коры 2 ранга (п. 2.2.2). Ширина ГОЗ составляет здесь 200 м при ширине отвала около 300 м [117]. Для предотвращения попадания отвала в ГОЗ необходимо было при его проектировании сдвинуть его на юго-запад на 500 м, рис. 5.2.

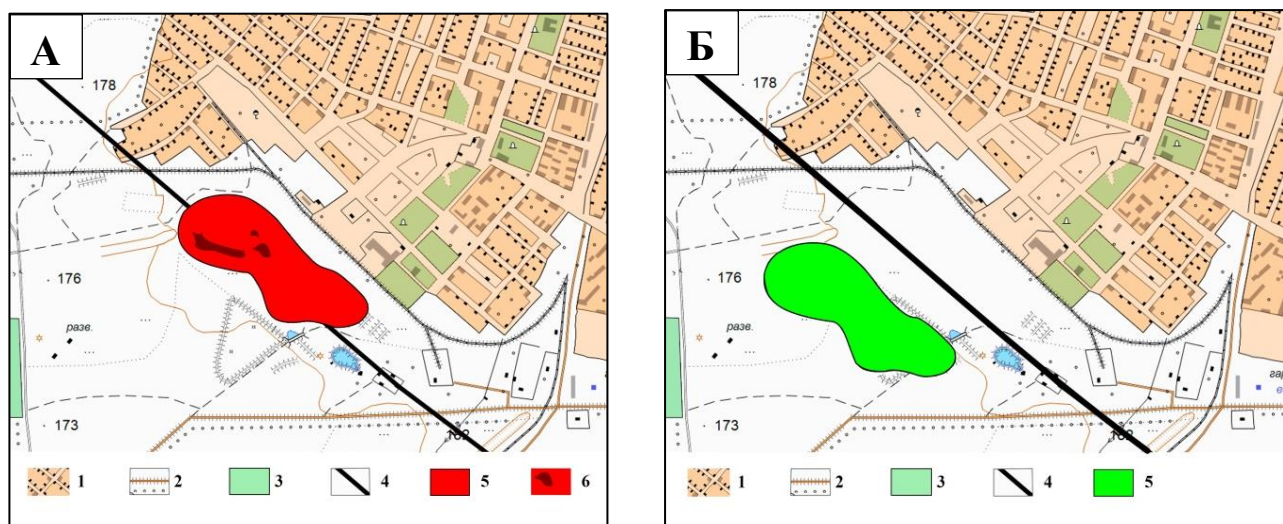


Рисунок 5.2 – Схема расположения отвала ш. Несветаевская: А – фактическое расположение отвала; Б – рекомендуемое место расположения; 1 – жилая зона, 2 – дороги, 3 – лес, 4 – разлом Несветаевский, 5 – отвал Несветаевский, 6 – очаги возгорания

### **5.2.2 Обоснование выбора мест для размещения отвалов с учетом напряженного состояния горного массива**

Поскольку напряженное состояние массива влияет на его проницаемость, то помимо выделения геодинамически опасных зон на территории планируемого места расположения отвалов необходимо провести оценку напряженного состояния массива. Блоки земной коры находятся в непрерывном взаимодействии между собой и под воздействием тектонических напряжений находятся в сложном напряженном состоянии. Неоднородности массива приводят к появлению тектонически напряженных и разгруженных зон, резко контрастирующих между собой по величинам (отличие в 3-5 раз и более) максимальных напряжений [133], рис. 5.3.



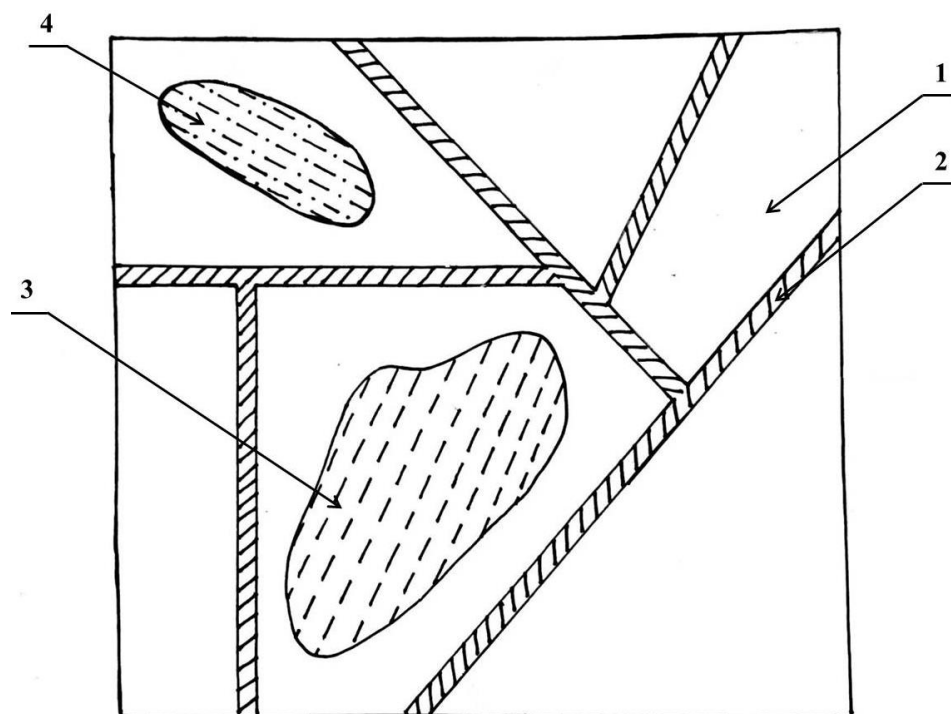


Рисунок 5.3 – Схема напряженного состояния массива: 1 – земная поверхность; 2 – геодинамически опасные зоны; 3 – тектонически напряженная зона; 4 – тектонически разгруженная зона.

В тектонически напряженных зонах под действием высоких напряжений происходит сжатие пород и закрытие трещин, а в тектонически разгруженных зонах развиваются деформации растяжения и происходит раскрытие трещин. В результате этого, как уже указывалось, проницаемость массива при одних и тех же других условиях ниже за пределами тектонически разгруженных зон. Поэтому при расположении отвала за пределами тектонически разгруженных зон сжатие и закрытие трещин в массиве препятствует поступлению воздуха в его тело через основание и тем самым способствует снижению опасности возгорания углепородной массы.

Наоборот, при расположении углепородного отвала в тектонически разгруженной зоне в его основании могут развиваться деформации растяжения, сопровождающиеся раскрытием трещин, что с течением времени приведет к разрушению изолирующего слоя в основании и на бортах отвала, повышению его проницаемости и создаст условия для поступления воздуха в тело отвала за счет тяги, возникающей от ветрового напора и перепада давления по высоте отвала.

Напряженное состояние массива и выделение тектонически разгруженных зон может быть установлено путем инструментальных измерений напряжений различными методами, а также методами тектонофизики, геофизики, математического и физического моделирования [41] и представлено в виде карт изолиний или различных схем, пригодных для выбора участка для размещения углепородного отвала.

Таким образом, перед выбором мест расположения отвалов, необходимо с помощью известных методов произвести оценку напряженного состояния горного массива, найти тектонически разгруженные зоны и провести их идентификацию на местности. После произвести сопоставление их с планируемым местом размещения углепородного отвала на земной поверхности. Участок для размещения углепородных отвалов следует выбирать за пределами тектонически разгруженных зон (рис. 5.4).

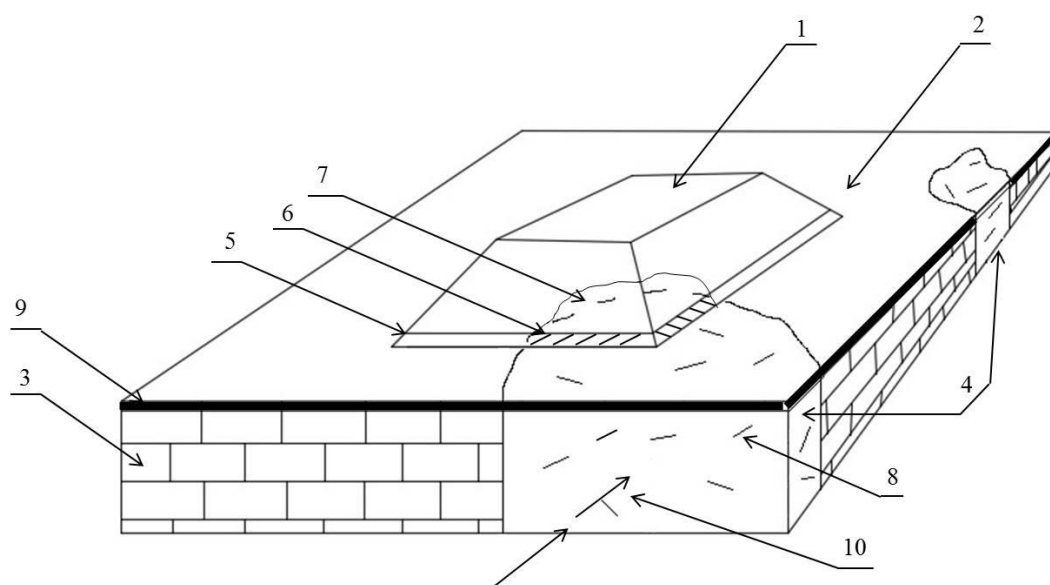


Рисунок 5.4 – Схема размещения отвала [130]: 1 – углепородный отвал, 2 – земная поверхность, 3 – массив горных пород, 4 – тектонически разгруженные зоны, 5 – изолирующий слой, 6 – зона разрушения изолирующего слоя в основании отвала, 7 – зона разрушения изолирующего слоя на бортах, 8 – трещины растяжения в массиве пород и на поверхности, 9 – наносы, 10 – движение воздуха

### **5.3. Методические рекомендации по выбору безопасных мест размещения углепородных отвалов на основе результатов геодинамического районирования**

Для обеспечения требований пункта 8 «Инструкции о предупреждении самовозгорания, тушении и разборке углепородных отвалов» [69] на основе результатов проведенных исследований предлагается следующая методика выбора мест для безопасного размещения углепородных отвалов с учетом геодинамического районирования, Приложение Д.

1. Выполнить выделение блочной структуры района
2. Определить местоположение границ блоков с привязкой их на местности и оценкой ширины зоны влияния границ блоков. Ширина границ блоков оценивается по формуле:  $B = 10 H$ , где  $H$  – амплитуда границ блоков.
3. Выполнить оценку напряженного состояния массива методами тектонофизики с применением методов математического моделирования
4. Места для размещения отвалов с учетом полученных результатов выбирать:
  - за пределами границ блоков земной коры;
  - за пределами тектонически разгруженных зон.

### **5.4. Пример выявления благоприятных участков для безопасного размещения углепородных отвалов**

Рассмотрим в качестве примера район г. Шахты Ростовской области.

1. На территории района выделены границы блоков II-IV рангов, рис. 5.5.

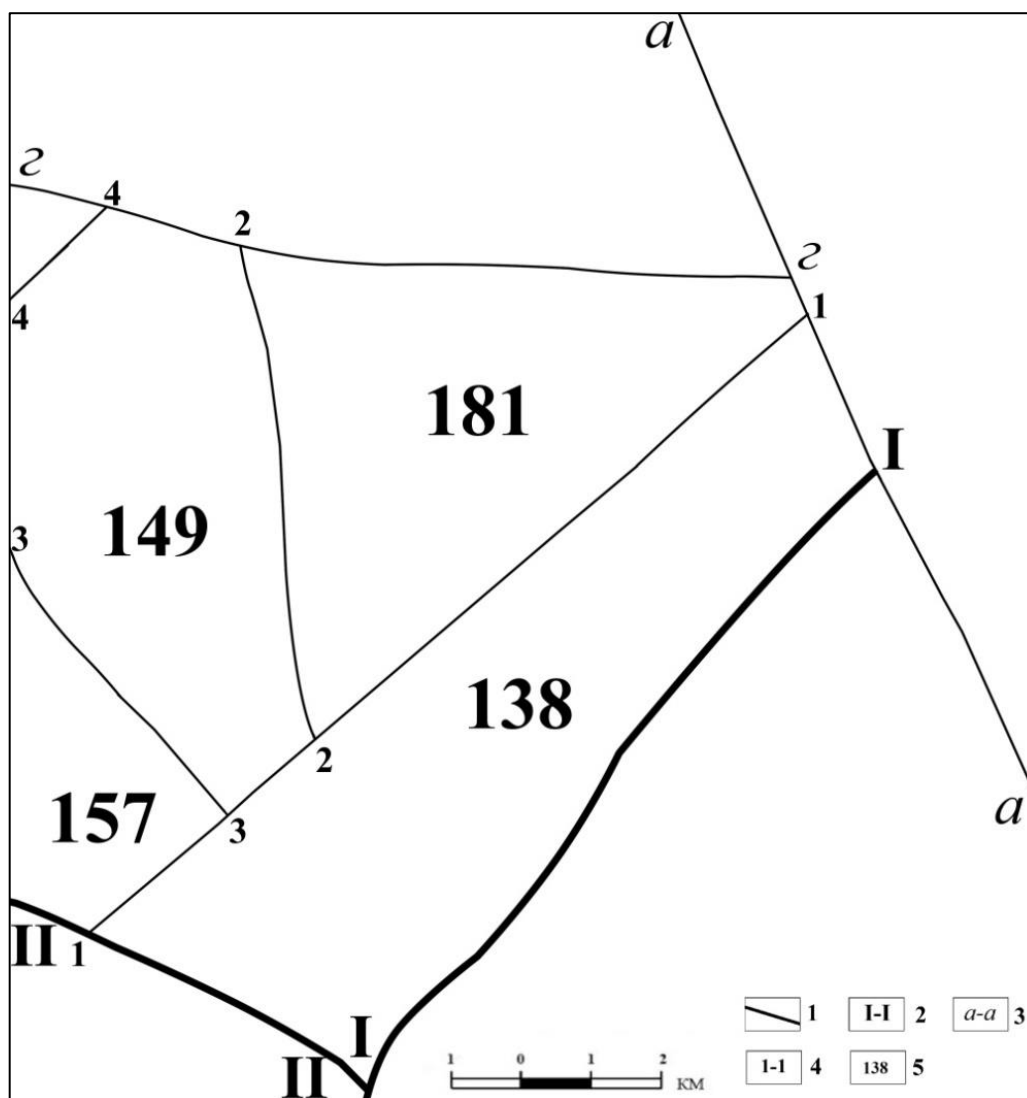


Рисунок 5.5 – Схема границ блоков II-IV рангов г. Шахты: 1 – границы блоков (ГОЗ); 2 – обозначение границ блоков II ранга; 3 – обозначение границ блоков III ранга; 4 – обозначение границ блоков IV ранга; 5 – высотная отметка блока

2. Границы блоков идентифицированы на местности. Например, граница блоков III ранга северо-западного простирания, условно названная разлом Кадамовский (*a-a*), на исследуемом участке с юго-востока на северо-запад проходит по коленообразному изгибу русла р. Кадамовка, верховьям балки Футбольная, севернее поселка Артем вдоль русла р. Грушевка.

Ширина зоны влияния границ блоков по формуле  $B = 10H$ , а результаты представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Оценка ширины зоны влияния границ блоков в районе г. Шахты

Граничащие блоки	Амплитуда Н, м	Ширина В, км
138-I	50	0,5
138-181	43	0,43
138-149	11	0,11
138-157	19	0,19
138-II	120	1,2
138-Кадамовский разлом	20	0,2
181-149	32	0,32
181-Юбилейный разлом	25	0,25
181-Кадамовский разлом	20	0,2
149-157	8	0,08
149-Юбилейный разлом	25	0,25
149-203	54	0,54
157-II	120	1,2
203- Юбилейный разлом	25	0,25
Кадамовский разлом	20	0,2
<b>ИТОГО</b>	<b>592</b>	<b>5,92</b>

3. В изучаемом районе расположения угольных отвалов действует сдвиговое поле напряжений с ориентировкой максимального сжатия в направлении ЮВ-СЗ. В этом поле напряжений границы блоков северо-восточного простирания работают как левые сдвиги, а границы блоков северо-западного простирания – как правые сдвиги, рис. 5.5. При взаимодействии границ блоков по указанному тектонофизическому механизму в тылу сдвигов создаются тектонически разгруженные зоны, а в их фронтальной части – тектонически напряженные. При наложении одноименных зон правых и левых сдвигов образуются интегральные тектонически напряженные и разгруженные зоны [160, 184, 185, 213]. Размеры зон могут быть оценены по результатам математического моделирования, на рис. 5.5 показана только тектонофизическая схема.

4. С учетом проведенных исследований, в районе г. Шахты Ростовской области наиболее благоприятных мест для безопасного размещения отвалов с учетом геодинамики района располагаются в северо-восточном углу блока 181, в южной части блока 157, в южной части блока 138, (рис. 5.6).

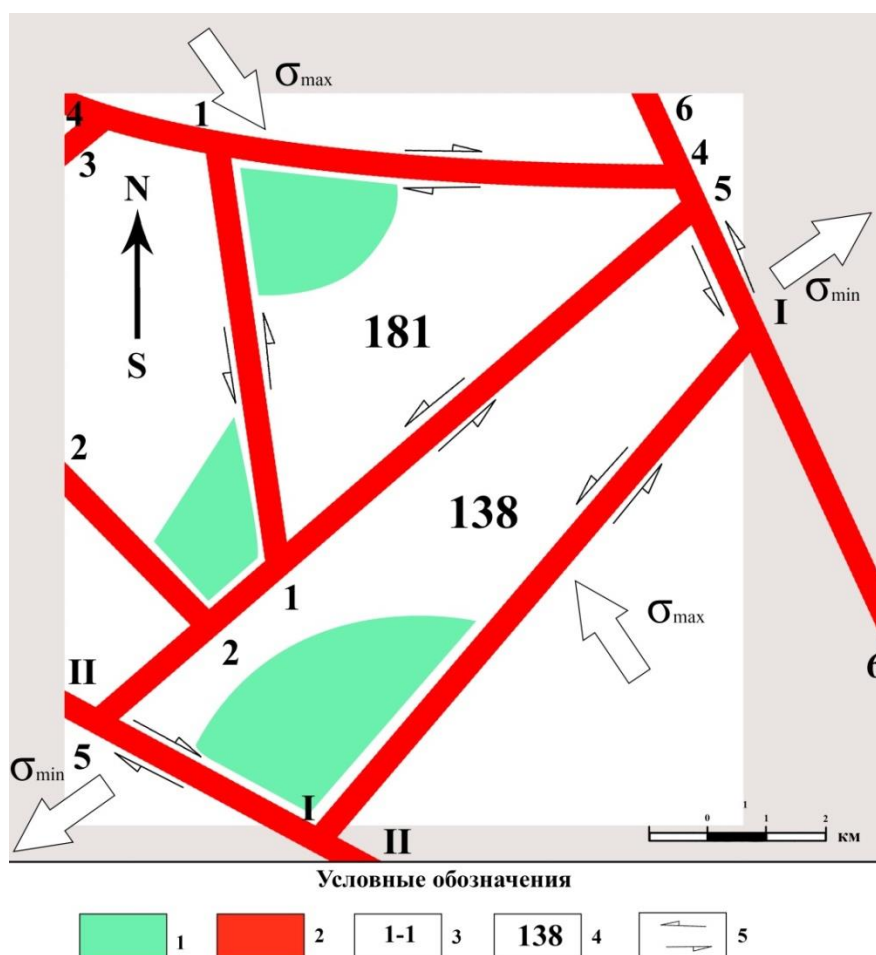


Рисунок 5.6 – Схема наиболее благоприятных мест размещения отвалов: 1 – рекомендуемые места для размещения отвалов с учетом геодинамики района; 2 – не рекомендуемые места для размещения отвалов с учетом геодинамики района; 3 – обозначение ГОЗ; 4 – высотная отметка блока; 5 – направление сдвижения блоков.

### 5.5 Предложение по использованию полученных результатов и задачи дальнейших исследований

Полученные результаты встраиваются в общую концепцию взаимодействия глобальных и локальных геодинамических процессов при освоении недр и земной поверхности.

Полученные результаты могут быть использованы:

1. При разработке проектной документации по размещению углепородных отвалов.

2. При планировании профилактических мероприятий по тушению отвалов, расположенных в геодинамически опасных зонах.

3. При проведении экологической экспертизы проектной документации по размещению углепородных отвалов.

4. В учебном процессе для студентов горных специальностей. Например, на кафедре БЭГП НИТУ «МИСиС» научные достижения постоянно внедряются в учебные процессы [87]. Полученные в диссертационном исследовании результаты используются в учебных курсах «Горнопромышленная экология», «Геодинамическая безопасность при освоении недр и земной поверхности» и «Инженерная защита окружающей среды».

### **Выводы**

1. Предложен способ выбора мест размещения углепородных отвалов, отличающийся тем, что производят выделение границ геодинамически активных блоков земной коры (ГОЗ), определяют ширину зоны их влияния и площадки для размещения отвалов располагают за пределами этих зон.

2. Предложен способ выбора мест расположения углепородных отвалов, отличающийся тем, что выполняют оценку напряженного состояния массива, и место для расположения отвала выбирают за пределами тектонически разгруженных зон горного массива.

3. Разработана методика выбора безопасных мест размещения углепородных отвалов, которая включает этапы:

- выполнить выделение блочной структуры района;
- идентифицировать ГОЗ на местности, оценить ширину зоны влияния границ блоков;
- выполнить оценку напряженного состояния массива;
- места для размещения отвалов выбирать за пределами границ блоков и тектонически разгруженных зон.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся научной квалификационной работой, на основе выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований по приуроченности горящих углепородных отвалов к геодинамически опасным зонам решена актуальная научная задача установления влияния геодинамических условий района на тепловое состояние углепородных отвалов, что имеет важное значение для снижения опасности их самовозгорания и связанных с этим вредных воздействий на окружающую среду горнопромышленных районов.

Основные научные и практические результаты, выводы и рекомендации, полученные лично автором в результате исследований:

1. Проведена геологическая интерпретация границ блоков II-IV рангов для данного района. Сделан вывод, что границы блоков выражены в массиве как зоны повышенной тектонической нарушенности и трещиноватости и рассматриваются далее как геодинамически опасные зоны (ГОЗ) для отвалов.

2. На основании анализа имеющейся информации проанализировано состояние 202 отвалов на территории Восточного Донбасса с характеристиками их теплового состояния (горит / не горит), формы, высоты, площади.

3. Установлена приуроченность горящих углепородных отвалов к геодинамически опасным зонам (ГОЗ), которая заключается в том, что их количество на единицу площади в этих зонах выше в несколько раз, чем на всей территории. В диссертационной работе исследована территория площадью 657 км<sup>2</sup> в районе г. Шахты и Новошахтинск, на которой проанализировано положение 64 углепородных отвалов (из них 34 горящих или перегоревших) относительно ГОЗ. Получено, что при относительно небольшой площади ГОЗ количество горящих углепородных отвалов в них в 3,8 – 21,6 раз выше, чем количество их расположения на всей территории.

4. Приуроченность горящих углепородных отвалов к ГОЗ объяснена установлением аэродинамической связи между телом отвала и проницаемой зоной (ГОЗ) в его основании. Результаты компьютерного моделирования



позволяют сделать вывод, что скорость массопереноса газов с поверхности или из горных выработок в тело отвала может достигать пожароопасных значений.

5. Обоснован подход к выбору безопасных мест размещения углепородных отвалов, базирующийся на результатах геодинамического районирования и отличающийся тем, что площадки для размещения углепородных отвалов располагают за пределами зон влияния границ геодинамически активных блоков земной коры (ГОЗ), а также за пределами тектонически разгруженных зон.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абезгауз Г. Г., Тронь А. П., Копенкин Ю. Н., Коровина И. А. Справочник по вероятностным расчетам. М.: Воениздат, 1970. – 536 с.
2. Агапов А. Е. Экономическая оценка мероприятий по устранению негативных экологических последствий ликвидации шахт: дис. ... кан. эконом. наук: 08.00.05/ Агапов Александр Евгеньевич. – М., 2003. – 165 с.
3. Агапов А. Е. Навитний А. М., Терещенко Т. Л. и др. Техно-технологические решения по формированию пожаробезопасных параметров и тушению горящих отвалов (терриконигов). Справочное пособие (Книга 1). Москва-Шахты: изд-во ЮРО АГНРФ. – 2008.
4. Адушкин В. В., Горбунова Э. М., Спивак А. А. Геодинамические проблемы строительства нефтегазопроводов на севере Европейской части России. / II Международное рабочее совещание. 24-27 июня 1997. – СПб: ВНИМИ, 1997, с. 210-218.
5. Альбом схематических карт угольных и сланцевых бассейнов и месторождений СССР (по состоянию разведанности и освоенности промышленностью на 1.1.1975 г.)/ сост. и подгот. к изд. Московской тематической партией «Союзуглегеологии» по материалам Министерств угольной промышленности СССР и УССР, Министерств геологии СССР и РСФСР и их организаций, Геологического фонда «Союзуглегеологии» Минуглепрома СССР, Института Центргипрошахт, производственных объединений по добыче угля сланца; гл. ред. Г. И. Луговой; общ. рук. Ю. В. Никитина. – Лист №26. – Москва, 1976.
6. Анализ работы плоских породных отвалов (отчет) Укр НИИпроект, Киев. – 1974.
7. Артеменко П. Г., Шевченко Е. Н., Ягмур А. Б., Дроздова Н. А. Активизация зон тектонических нарушений при затоплении ликвидируемых шахт как фактор угрозы безопасности смежных действующих шахт. Труды РАНИМИ. 2017. № 4 (19). С. 142-148.

8. АС №1121429, СССР. Способ оценки регионального напряженного состояния массива горных пород / Батугина И.М., Петухов И.М., Винокур Б.Ш., Батугин А.С., Гущенко О.И. Опубл. В Б.И. 1984, №34 ил.: 3 с.
9. АС №1241778, СССР. Способ выделения напряженных участков горного массива / Батугина И.М., Петухов И.М., Винокур Б.Ш., Батугин А.С. – 1986.
10. Батугин А. С., Болотный Р. А. Оценка геодинамического риска для территории мегаполисов (на примере г. Реутова Московской области)//ГИАБ, № 4. 2009. С.132-134.
11. Батугин А. С., Головки И. В., Мусина В. Р. О структурной приуроченности проявлений техногенной сейсмичности к границам блоков земной коры в горнопромышленном районе Кузбасса//Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах выработках: Материалы XXV Международ. науч. школы. – Симферополь: Крымский федеральный университет, 2015. – с. 14-17.
12. Батугин А. С., Головки И. В., Семенов В. А., Мусина В. Р. Изменение функционального зонирования населенных пунктов, как мера снижения геодинамического риска селитебных территорий в горнопромышленных районах//Актуальные проблемы современной науки– 2015. №3. С. 272-277
13. Батугин А. С., Головки И. В., Семенов В. А., Мусина В. Р., Мухитдинов Ш. Р. Оценка ширины зон влияния границ блоков по данным проявления техногенной сейсмичности в горнопромышленном районе Кузбасса//ГИАБ, 2015. №7. С. 211-214.
14. Батугин А. С. Классификация участков земной коры по степени геодинамической опасности // Труды научного симпозиума «Неделя Горняка – 2009». 2009. С. 246-254.
15. Батугин А. С. К оценке геодинамического риска//ГИАБ, 2006. №9. С. 44-52.
16. Батугин А. С., Кужелева А. С., Батугина И. М. Роль метода геодинамического районирования при геоэкологическом обосновании

безопасного размещения инженерных объектов на примере экогорода Новое Ступино// ГИАБ. 2011. Отдельный выпуск №8 «Экология, метанобезопасность». С. 305-308.

17. Батугин А. С., Мусина В. Р. Анализ геодинамических условий района расположения горящих углепородных отвалов // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах выработках: Материалы XXVI Международ. науч. школы. – Симферополь: Крымский федеральный университет, 2016. – с. 46-50.

18. Батугин А. С., Мусина В. Р. Анализ тектонофизических условий мест расположения горящих углепородных отвалов Восточного Донбасса. Материалы пятой молодежной тектонофизической школы-семинара. Москва, 2017. С. 180-182.

19. Батугин А. С., Мусина В. Р., Пономарев В. С. Анализ геодинамических условий самовозгорания углепородных отвалов//Труды международного научного симпозиума «Неделя горняка-2018»: ГИАБ. – № 1 (специальный выпуск 1), 2018. С. 283-293.

20. Батугин А. С. Совершенствование методов оценки геодинамического состояния блочного массива горных пород в целях повышения экологической безопасности освоения недр и земной поверхности: автореф. дисс. докт. техн. наук: 25.00.36/ Батугин Андриан Сергеевич. – М., 2008. – 39 с.

21. Батугин А. С. О закономерности отражения границ блоков в горном массиве. Проблемы геодинамической безопасности. II Международное рабочее совещание. 24-27 июня 1997. – СПб.: ВНИМИ, 1997. – 350 с.

22. Батугин С. А., Шаманская А. Т. Исследование напряженного состояния массива горных пород методом разгрузки в условиях Таштагольского железнорудного месторождения.//ФТПРПИ. – 1965. №2.

23. Батугина И. М., Батугин А. С., Фусинь Ю., Каплунов В. Ю. Вопросы геодинамической и геоэкологической безопасности при ликвидации горных предприятий//Мониторинг. Наука и технологии. 2012. № 2. С. 11-17.

24. Батугина И. М., Петухов И. М. Геодинамическое районирование месторождений при проектировании и эксплуатации рудников. – М.: Недра, 1988. – 166 с.
25. Беседовала Л. М. "Хакаснедра": Какую опасность несут угольные разрезы [Электронный ресурс] // Информационное агентство «Хакасия». URL: <http://www.19rus.info/index.php/ekonomika-i-finansy/item/43288-nedra>
26. Борисенко А. В. Геоэкологическое обоснование системы дегазации ликвидированных угольных шахт: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36/ Борисенко Александр Викторович. – М., 2012. – 263 с.
27. Борисенко А. В., Иванов Ю. М., Волков М. А. Факторы, определяющие перспективные участки заложения скважин для извлечения метана из ликвидированных и действующих шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) / МГГУ. – 2011. -№3. – С. 196-201.
28. Бугаев Е.Г. О структурированной и рассеянной сейсмичности, жесткости очагов землетрясений и нелинейности графиков повторяемости магнитуд // Геодинамика и тектонофизика. 2011. Том 2. №3. С. 244–265. doi: 10.5800/GT2011-2-3-0045.
29. Булаева Н. М. Информационно-аналитическая система комплексного экологического мониторинга // Мониторинг. Наука и технологии. 2015, №4 (25). С. 45-56.
30. Булаева Н. М., Мусалов Ш. М. Модуль синхронизации мониторинговых данных в информационной системе «GEM GIS» // Мониторинг. Наука и технологии. 2017, №1 (30). С. 38-45.
31. Вереда В. С. О современных вертикальных движениях земной коры в Донбассе // Геофизический сборник АН УССР. 1972, вып. 45.- С. 61-66.
32. Веселовский В. С., Виноградова Л. П., Орлеанская Г. Л., Терпогосова Е. А. Методическое руководство по прогнозу и профилактике самовозгорания угля. — М.: ИГД им. Скочинского, 1971. — 60 с.

33. Воейкова О. А., Макаров В. И., Несмеянов С. А. Изучение приповерхностных новейших разрывных нарушений платформ при инженерных изысканиях. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2007. №3. С.267-280.

34. Воробьев А. Е., Шамшиев О. Ш. Геолого-минералогические особенности псевдовулканических проявлений на горящих угольных терриконах. [Электронный ресурс]: [http://vorobiev-alexandr-egorovich.narod.ru/index/0-4#\\_Toc377773751](http://vorobiev-alexandr-egorovich.narod.ru/index/0-4#_Toc377773751)

35. Временное руководство по профилактике и тушению эндогенных пожаров на разрезах. Челябинск, НИИОГР, 1982. – 92 с.

36. Временные указания по выявлению и контролю зон риска возникновения аварий и чрезвычайных ситуаций при освоении недр и земной поверхности на основе результатов геодинамического районирования. ВНИМИ, Санкт-Петербург, 1997. – 12 с.

37. Выполнение комплексных исследований по раскрытию характера взаимодействия блоков земной коры, микрогеодинамических процессов и предварительной оценки напряженного состояния горного массива двух шахтных полей Донбасса: отчет о НИР/ Петухов И. М., № гос. регистрации 02399057100. Ленинград, 1990.

38. Гамов М. И., Гордеев И. В. Основные факторы и экологические последствия самовозгорания отвалов угольных шахт Восточного Донбасса// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, №. 2 (194), 2017, с. 92-100.

39. Гамов М. И., Рылов В. Г., Мещанинов Ф. В., Наставкин А. В. Термобарогеохимическое моделирование процессов преобразования породных отвалов угольных шахт Восточного Донбасса // ГИАБ. 2016. №11. С. 158-168.

40. Гарбер И. С., Григорьев В. Е., Дупак Ю. Н., Любич Г. А., Мишин Н. И. Разрывные нарушения угольных пластов (по материалам шахтной геологии). Недра, 1979. 190 с.

41. Геодинамическое районирование недр. Методические указания. Под ред. Петухова И.М. и Батугиной И.М.-Л.: ВНИМИ, 1990. 129 с.
42. Геология СССР. Том XLVI, Ростовская, Волгоградская, Астраханская области и Калмыцкая АССР. Геологическое описание. Коллектив авторов, редактор Ф. А. Белов. М., изд-во «Недра», 1969, стр. 666.
43. Гершун О. С. Движение воздуха через зоны обрушения шахт Донбасса. Изв. ДГИ, т.40, Днепропетровск, 1961.
44. Глузберг Е. И. Математическая модель самовозгорания угля// Изв. ВУЗов. Горный журнал, 1971, №4, с. 62-66.
45. Глузберг Е. И. Теоретические основы прогноза и профилактики шахтных эндогенных пожаров. – М.: Недра, 1986. – 161 с.
46. Горные науки: освоение и сохранение недр Земли / Под ред. К. Н. Трубецкого/ М.: изд-во Академии горных наук, 1997. – 478 с.
47. Гридина Е. Б. Переход от отвалообразования к складированию как заключительному технологическому процессу открытых горных работ//Народное хозяйство республики Коми, №1. – 2005. – 14 с.
48. Гущенко О. И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений / Поля напряжений и деформаций в литосфере. – М.: Наука, 1979. С. 7-25.
49. ДНАОП 1.1.30-5.37-96. Інструкція із запобігання самозапалюванню, гасіння та розбирання породних відвалів
50. Дорожко А. Л. Неотектоника, геодинамически активные зоны Москвы и их геоэкологическое значение: дис. ... канд. геолого-мин. наук: 25.00.36/ Дорожко Анастасия Леонидовна. – М., 2014. – 140 с.
51. Дузь А. И. и др. Охрана среды и использование отходов угольного производства. – Донецк: Донбасс, 1990. С.110.
52. Егоров М. Ф. Технологические схемы отвалообразования, снижающие возникновение эндогенных пожаров на отвалах// Уголь, №4. 1991.

53. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Лескова Е. В., Фатеев А. В., Семин А. Ю. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физическая мезомеханика. – 2009. – т. 12. – № 1. – С. 37–43.
54. Еманов А. Ф., Еманов А. А., Лескова Е. В., Фатеев А. В., Демидова А. А., Кузнецова Ю. В., Семин А. Ю., Ворона У. И., Рубцова А. В. Наведенная сейсмичность в районе г. Полысаево [Электронный ресурс]: <http://gs.sbras.ru/content/> Геофизическая служба СО РАН.
55. Жидков А. В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород, 2006, 115 с.
56. Журило А. А., Соловьев В. В., Харионовский В. В. Геодинамические проблемы устойчивости магистральных газопроводов. / II Международное рабочее совещание. 24-27 июня 1997. – СПб: ВНИМИ, 1997. – С. 193-198.
57. Зайденварг Е. В., Навитний А. М., Семикобыла Я. Г. Научные основы комплексного экологического мониторинга района закрываемых шахт. – М.: Росинформуголь, 2002. – 226 с.
58. Захаров Е. И., Качурин Н. М. Математическое описание процесса самонагрева угля // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2013. №1. С.58-70
59. Захаров Е. И., Качурин Н. М., Малахова Д. Д. Механизм процесса самонагрева угля и перехода его в самовозгорание // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2013. №2. С.42-51
60. Зборщик М. П., Осокин В. В. Горение пород угольных месторождений и их тушение. – Донецк: ДонГТУ, 2000. – 180 с.
61. Зборщик М. П., Осокин В. В. Природа самовозгорания и тушения отвальных пород угольных месторождений// Уголь украины, март-апрель, 2015. С. 76-78.
62. Зубков А. В., Феклистов Ю. Г., Липин Я. И., Худяков С. В., Криницын Р. В. Деформационные методы определения напряженного состояния пород на



объектах недропользования // Проблемы недропользования. 2016. №4 (11). – С. 41-49.

63. Зубков В. В., Ходырев Е. Д., Батугин А. С. Прогноз зон повышенной проницаемости тектонически нарушенных нефтяных месторождений // Геодинамика месторождений. Кемерово, 1991, с. 34-37.

64. Зыков В. С. Факторы и свойства горного массива, определяющие вид опасности по геодинамическим явлениям// Вестник КузГТУ. 2014. – № 5 (105). – С. 9-17.

65. Иванов В. В. Сурунов Н. Ф., Бузук Р. В. Оценка дополнительных напряжений блоков земной коры, обусловленных её современными движениями / В.В. Иванов, // Вестник КузГТУ. – 2006. - №3. – С. 11-12.

66. Игнатов Ю. М. Компьютерный прогноз геологического строения и геомеханических свойств с помощью анализа цифровых моделей массива горных пород / Ю. М. Игнатов, И. В. Махраков, М. Ю. Игнатов // Вестник КузГТУ. – 2006. - Г,В№5. – С. 72-75.

67. Игошин В. М., Каплунов В. Ю. Об отходах угольной отрасли, проблемах их утилизации, складирования, формирования пожаробезопасных отвалов, тушения и рекультивации. - М.: ЦНИЭИуголь, 2007. – 16 с.

68. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам (РД 05-328-99).

69. Инструкция по предупреждению самовозгорания, тушению и разборке породных отвалов. Серия 05. Выпуск 27. — М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. — 40 с.

70. Каплунов Ю. В., Лиманский А. В., Булаева Н. М. Разработка методической основы формирования актуальной базы данных экологического мониторинга окружающей среды при ликвидации шахт и разрезов// Мониторинг. Наука и технологии. 2010. №4. С. 6-18.

71. Каркашадзе Г. Г. Моделирование физических процессов горного производства – М.: МГГУ, 2013, – 98 с.

72. Касьянова Н. А. Экологические риски и геодинамика. – М.: Научный мир, 2003. – 332 с.
73. Качурин Н. М., Васильев П. В., Воробьев С. А., Рыбак Л. Л. Аэрогазодинамические и теплофизические процессы, обусловленные ликвидацией угольных шахт Кузбасса // Известия ТулГУ. Науки о Земле. №3. 2015. С. 15-23.
74. Качурин Н. М., Воробьев С. А., Рыбак Л. Л., Сидоров Р. В. Процессы тепломассообмена на породных отвалах шахт Кузбасса // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2015. №2. С.48-56
75. Качурин Н. М., Стась Г. В., Левин А. Д., Рыбак В. Л. Аэродинамика породных отвалов угольных шахт // Известия ТулГУ. Науки о Земле. №1. 2016. С. 3-23.
76. Качурин Н. М., Стась Г. В., Корчагина Т. В., Змеев М. В. Геомеханические и аэрогазодинамические последствия подработки территорий горных отводов шахт Восточного Донбасса // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2017. №1. С.170-181
77. Качурин Н. М., Шкуратский Д. Н., Рыбак Л. Л., Сидоров Р. В. Метановыделение на земную поверхность для территорий горных отводов ликвидированных шахт Кузбасса // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2015. №2. С.42-48
78. Керкис Е. Е. Методы изучения фильтрационных свойств горных пород. Л., Недра, 1975.
79. Клещенко А. В. Геоморфологические и газогеохимические индикаторы современных движений земной коры: дис. ...канд. географ. наук: 25.00.25 / Клещенко Алексей Владимирович. – Краснодар, 2010. – 144 с.
80. Кобранова В. Н. Петрофизика. Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра. – 1986. – 392 с.
81. Кобылкин А. С., Кобылкин С. С. Газовыделение из выработанного пространства в горные выработки выемочного участка// Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование 2015. С. 90-91.

82. Кобылкин А. С., Кобылкин С. С. Исследование движения воздуха через неоднородную пористую среду// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 8. С. 224-228.

83. Кобылкин А. С., Кобылкин С. С. Способ обнаружения эндогенных пожаров на основе компьютерного моделирования// Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр Тезисы докладов II Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого. 2016. С. 418-420.

84. Кобылкин А. С., Мещеряков Д.А., Кобылкин С. С. Новый способ расчета параметров ударно-воздушных волн в шахтах// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S12. С. 22-26.

85. Кобылкин А. С. Фильтрация газов в пористой среде// Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых Материалы 13-ой Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 2016. С. 246-248.

86. Кобылкин С. С. Обоснование метода расчёта параметров вентиляции шахт на основе объемного моделирования аэрогазодинамических процессов: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03/ Кобылкин Сергей Сергеевич. – М., 2011. – 161 с.

87. Коликов К. С., Каледина Н. О., Кобылкин С. С. Кафедра «Безопасность и экология горного производства»: прошлое, настоящее и будущее// Горный журнал, №3. 2018.

88. Колоколов О. В., Князев М. В., Притыскач В. П., Доценко В. И. Определение параметров тензора напряжений на шахтах центрального района Донбасса / Геодинамическое районирование недр. Сб. науч. трудов. Кемерово. 1991. С. 31-33.

89. Коломин Р. Г. Трещиноватость угленосных отложений СВ части Кузнецкого бассейна и ее влияние на разведку и эксплуатацию каменноугольных месторождений: дис. ... канд. геолого-мин. наук/ Коломин Рудольф Георгиевич. – Томск, 1964. – 170 с.

90. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993): офиц. текст. – М.: Айрис-Пресс, 2017. – 64 с.

91. Коньков Г.А. О связи новейших и современных тектонических движений с метаноносными и выбросными зонами в условиях Донецкого бассейна. – ДАН СССР, 1962, т. 143, № 3, с. 670-673.
92. Копп М. Л., Корчемагин В. А. Кайнозойские поля напряжений/деформаций Донбасса и их вероятные источники. Геологія. С. 37-49.
93. Копп М. Л. Мобилистическая неотектоника платформ Юго-Восточной Европы / Отв. ред. академик Ю.Г. Леонов. - М.: Наука, 2004. - 340 с.: ил. - (Тр. ГИН РАН; Вып. 552). ISBN 5-02-002753-7 (в пер.).
94. Корчемагин В. А., Рябоштан Ю. С. Тектоника и поля напряжений Донбасса // Поля напряжений и деформаций в земной коре. М., Наука, 1987, с.164-170.
95. Косов О. И. Малышева А. А. Соколова О. В. Экологические проблемы использования подземных вод ликвидируемых шахт в угледобывающих районах Восточного Донбасса //Эколого-экономические проблемы природопользования в горной промышленности. Шахты: ЮРО АГН РФ, 2007. № 10. С. 108.
96. Косов О. И. Соколова О. В. Проблемы экологической безопасности территорий горных отводов ликвидируемых шахт Восточного Донбасса // Уголь. 2007. №6. С. 56.
97. Красавин А. П. Защита окружающей среды в угольной промышленности. – М.: Недра, 1991, с. 60.
98. Криницын Р. В. Мониторинг напряженного состояния массивов руд и пород в очистных блоках шахты «Магnezитовая» // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. №4. – С. 18-21.
99. Кропоткин П. Н. Напряженное состояние земной коры по измерениям в горных выработках и геофизическим данным / Проблемы теоретической и региональной тектоники. – М. 1971. – с.238-253.
100. Кузьмин Ю. О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. – М.: Агентство экологических новостей, 1999. 220 с.

101. Куликова Е. Ю., Корчак А. В., Левченко А. Н. Стратегия управления рисками в городском подземном строительстве. – М.: МГГУ, 2005. – 207 с.
102. Лавриненков А. Д., Якимов И. Д., Левадный Е. В., Бойко А. Б., Остапов А. В., Зигинов Н.В. Электронное методическое пособие «SIMULIA Abaqus. Решение прикладных задач». – Москва: ТЕСИС, 2015. – 121 с.
103. Лазаревич Т.И. Проблемы геодинамической безопасности при разработке месторождений Кузбасса/ Проблемы геодинамической безопасности. II международное рабочее совещание 24-27 июня 1997. –СПб.:ВНИМИ, 1997. С. 270-277.
104. Лань Тяньвэй, Чжан Хунвэй, Батугина И. М. и др. Изучение геодинамических условий проявления горных ударов на угольных шахтах месторождения Цзинси в Китае// ГИАБ. – 2014. - №7. – С. 247-257.
105. Лиманский А. В. Основные недостатки и направления совершенствования мониторинга экологических последствий ликвидации предприятий угольной промышленности России // Уголь. 2010. №9. С. 68-71.
106. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1984. 511 с.
107. Маевская В. М., Бонецкий В. А., Поликвров А. Г. Распределение давления и скорости воздуха в выработанном пространстве // Вентиляция шахт и предупреждение эндогенных пожаров. Труды ВостНИИ, т. 26, 1975, с. 28-39.
108. Маевская В. М. Изучение факторов, обуславливающих пожароопасность шахтопластов. Научно-исследовательские работы ВостНИИ за 1960-62 гг., М.: Недра, 1964, с. 95-97.
109. Макаров В. И., Дорожко А. Л., Макарова Н. В., Макеев В. М. Геодинамически активные зоны платформ // Геоэкология. 2007. №2. С.99-110.
110. Макаров В. И. Современная геодинамика платформенных территорий и проблема активных разломов и трещиноватости в связи с решением инженерно-геологических и геоэкологических задач // Сергеевские чтения. Вып.2. М.: ГЕОС, 2000. С.157-163.
111. Меркулов В. А. Охрана природы на угольных шахтах. М., 1981.– 181с.

112. Методические рекомендации по оценке склонности рудных и нерудных месторождений к горным ударам. Утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 23 мая 2013 года № 216.

113. Мещеряков Ю. А. Рельеф и современная геодинамика. М.: Наука, 1981. — 278 с.

114. Мирзаев Г. Г., Иванов А. Б. и др. Экология горного производства. — М.: Недра, 1991, с. 320.

115. Морозов В. Н., Татаринов В. Н., Колесников И. Ю., Каган А. И., Татаринова Т. А. Геодинамическая безопасность подземной изоляции высокоактивных радиоактивных отходов в Нижнеканском массиве // Экология промышленного производства. 2013. № 1 (81). С.12-18.

116. Мохов А. В. О проницаемости горных пород в зоне сдвижения на каменноугольных месторождениях (по материалам подработок затопленных выработок) // Доклады РАН, 2013. Том 452. — №3. — С. 300-302.

117. Мусина В. Р. Геодинамическая позиция горящего углепородного отвала шахты Несветаевская // ГИАБ, 2018. №7. С. 219-228.

118. Мусина В. Р. К актуальности вопроса анализа данных о влиянии геодинамически опасных зон на инженерные объекты // Геоинформационные технологии — инструмент повышения эффективности и безопасности горного производства. М.: Исследования по геоинформатике: труды Геофизического центра РАН, т. 5, №2, BS5004, с. 118-125. <https://doi.org/10.2205/2017BS045>.

119. Несмеянов С. А. Введение в инженерную геотектонику. — М.: Научный мир, 2004. — 216 с.

120. Никитин Л. В., Одинцев В. Н. Образование протяженных сомкнутых трещин отрыва в хрупких горных породах // Докл. АН СССР. 1987. - Т. 294. - № 4. — С. 814-817.

121. Ниметулаева Г. Ш. Обеспечение экологической безопасности территории Бахчисарайского района Крыма при оползневых явлениях на основе

геодинамического районирования недр : автореферат дис. кандидата технических наук : 25.00.36 / Моск. гос. гор.ун-т. - Москва, 2004. - 23 с.

122. Обобщение опыта и разработка наиболее рациональных схем и параметров автомобильного отвалообразования на Сибайском, Блявинском и Учалинском карьерах (отчет). УНИПромедь. – Свердловск, 1953.

123. Орлова А. В. Блочные структуры и рельеф. М.: Недра, 1975, 232 с.

124. Оценка экологической устойчивости геологической среды к природным и техногенным воздействиям. Серия «Геоэкологические исследования и охрана недр». – М.: Геоинформмарк, 1995, с. 30.

125. Пал М. Х. Энергия и защита окружающей среды. – Падерборн: Изд-во FIT-Verlag, 1996. – 449 с.

126. Паспорт углепородного отвала шахты «Несветаевская» ОАО «Ростовуголь». Люберцы, 2010.

127. Патент России №2035593. Способ складирования и хранения отвальных пород на горнодобывающих предприятиях/ Бубнов В. К., Воробьев А. Е., Чекушина Т. В., Бубнов В. В. МПК №92010321103. E21C41/26, опублик. 20.05.1995.

128. Патент РФ № 260048. Способ выбора мест для размещения углепородных отвалов/ Батугин А. С., Булаева Н. М., Мусина В. Р., Пономарев В. С., опублик. 27.10.2016, бюл. №30.

129. Патент РФ № 2631915. Способ мониторинга углепородных отвалов/ Батугин А. С., Булаева Н. М., Мусина В. Р., Пономарев В. С., опублик. 28.09.2017, бюл. №28.

130. Патент РФ №2657302. Способ выбора мест размещения углепородных отвалов/ Батугин А. С., Коликов К. С., Каркашадзе Г. Г., Мусина В. Р., опублик. 13.06.2018, бюл. № 17.

131. Петров К. М. Геоэкология. – СПб.: СПбГИЮ, 1994, с. 216.

132. Петухов И. М., Батугина И. М. Геодинамика недр. М.: Недра коммюникейшенс. 1999. -218 с.

133. Петухов И. М., Батугина И. М. Геодинамика недр. М.: Недра. 1996. 217с.
134. Петухов И. М. Горные удары на угольных шахтах. М.: Недра. 1972.
135. Петухов И. М., Егоров П.В., Винокур Б.Ш. Предотвращение горных ударов на рудниках. М.: Недра, 1984.
136. Пономарёв В. С. Разработка предложений по технологической платформе мониторинга комплексной диагностики безопасности угольных районов// Мониторинг. Наука и технологии. – 2013. №1. – С. 42-47.
137. Портола В. А. Локализация очагов подземных пожаров с поверхности. Кемерово. 2001. – 176 с.
138. Портола В. А., Луговцова Н. Ю., Торосян Е. С. Исследование распределения температур и выделение газов с поверхности горящего отвала // ГИАБ. 2012. №7, с. 125-129.
139. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях – СПб.: ВНИМИ, 1998. – 291 с.
140. Прогноз и предотвращение горных ударов на рудниках./Под ред. И.М. Петухова, А.М. Ильина, К.Н. Трубецкого (авт. Петухов И.М., Шабаров А.Н., Батугин А.С. и др.) М.: Изд. АГН. 1997. 377 с.
141. Пучков Л. А. Аэродинамика подземных выработанных пространств. – М.: Изд. МГГУ, 1993, 267 с.
142. Пучков Л. А. Режим движения воздуха в выработанном пространстве. Известия ВУЗов. Горный журнал, 1965, №10, с. 70-75.
143. Пучков Л. А., Сластунов С. В., Коликов К. С. Извлечение метана из угольных пластов. – М.: Издательство МГГУ, 2002. – 383 с.
144. Разработка второй редакции нормативов проектирования породных комплексов угольных шахт (отчет). Укр НИИпроект. – Киев-Москва. – Центргипрошахт, - 1971.
145. Разработка новых методов тушения терриконов и породных отвалов: отчет о НИР – РОСНИИГД, Кемерово, 2003.



146. Разработка теоретических основ геодинамического районирования и картирования месторождений полезных ископаемых [Проведение комплексных исследований по выявлению характера взаимодействия блоков, микрогеодинамических процессов и ориентировочной оценки напряженного состояния массива горных пород в пределах двух шахтных полей]: отчет о НИР (промежуточ.) / ВНИМИ; рук. Петухов И. М.; исполн.: Шабаров А. Н. и др. – Ленинград, 1990. – 203 с. - № ГР01900011246.

147. Рахимов В. Р., Казаков А. Н., Мухитдинов Ш. Р. Геодинамическое районирование как основа для выявления блочной структуры золоторудных месторождений Узбекистана// Научно-технический и производственный журнал Вестник Узбекистана. №32. 2008. С. 44-48.

148. Рахимов В. Р., Казаков А. Н., Мухитдинов Ш. Р. Оценка напряженно-деформированного состояния склонных к горным ударам золоторудных месторождений Узбекистана на базе геодинамического районирования // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2007. – №4. – С.63-67 (05.00.00; №7).

149. Ребецкий Ю. Л. Тектонические напряжения и прочность горных массивов. Москва, 2007. – 406 с.

150. Результаты исследований температурных аномалий вокруг очага самовозгорания, влияния различных хладогентов на свойства породных отвалов и терриконов (промежуточный): отчет о НИР – РОСНИИГД, Кемерово, 2002.

151. Рекомендации по выявлению на горных отводах ликвидируемых шахт техногенных источников негативного влияния на окружающую природную среду методом дистанционного зондирования беспилотными летательными аппаратами: отчет о НИР (4 этап) / ФГУП ННЦ ГП - ИГД им. А. А. Скочинского; рук. Лиманский А. В., исполн.: Пономарев В. С. [и др.]. – Люберцы, 2011 г.

152. Руководство по предупреждению самовозгорания, тушению, разборке и рекультивации породных отвалов угольных шахт и обогатительных фабрик КД 12.09.0801 – 99 (Минтопэнерго Украины 2004 г.).

153. Русский И. И. Технология отвальных работ и рекультивация на карьерах. – М.: Недра, 1979. – 221 с.

154. Саранчук В. И. Экологические проблемы хранения пород в отвалах угольных предприятий // Химия твердого топлива, вып. 2, 1998. – С. 81-86.
155. Саранчук В. И., Баев Х. А. Теоретические основы самовозгорания угля М.: Недра, 1976, с. 151.
156. Сашурин А. Д. Современная геодинамика и развитие катастроф на объектах недропользования // Труды международной конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр земли» - Новосибирск: ИГД СО РАН, 2004. С. 369-372.
157. Семикобыла Я. Г. Прогноз допустимого техногенеза природных ресурсов района открытой угледобычи. – М.: Росинформуголь, 2000, с. 146.
158. Силаев В. В. Исследование аэродинамики выработанных пространств мощных пластов крутого падения: дисс. ... канд. техн. наук/ Силаев Владимир Васильевич. – М., 1970. – 213 с.
159. Сим Л. А., Корчемагин В. А., Рапопорт А. Б. Значение тектонофизических исследований в решении практических задач // Электрон. науч.-информ. журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН», № 1(26)'2008, М.:ИФЗ РАН, 2008.
160. Сим Л.А., Маринин А.В., Жиров Д.В. Новые данные о напряженно-деформированном состоянии Кольского п-ова // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. №14. С.164-166.
161. Спичак Ю. Н., Ткачев В. А., Кипко А. Э. Охрана окружающей среды и рациональное использование месторождений полезных ископаемых: Учеб. для техникумов. – М.: Недра, 1993. – 170 с.
162. Степанов В. В. Геодинамическая опасность промышленных объектов. М. 2001. С. 100.
163. Татаринов В. Н., Морозов В. Н., Кафтан В. И., Каган А. Я. Геодинамический мониторинг как основа сохранения биосферы при захоронении радиоактивных отходов // Международный научно-технический и производственный электронный журнал «Науки о Земле». 2014. № 3. С.47-60.

164. Технологические схемы центральных (районных) комплексно-механизированных породных отвалов производительностью 1000 – 5000 т в сутки. – М. – Центрогипрошахт. – 1973.

165. Тектоническая карта: Карта разломов СССР и сопредельных стран/ сост. подг. к изд. Картографическая группа ВСЕГЕИ; отв. ред. Сечкина Л. В. – 1 : 2 500 000. – Лист №5.

166. Тиаб Д., Доналдсон Э.Ч. Петрофизика: Теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов / Перевод с английского. – М.: ООО «Премииум Инжиниринг», 2009. – 868 с.

167. Токарева О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования земли: Уч. пособие. – Томск.: Изд-во ТПУ, 2010, – 149 с.

168. Токмаков П. И., Тюлькин А. П. Рациональное использование земельных отводов Кузбасса//Уголь, 1977, - №5. С. 39-41.

169. Травин А. Б. Методика петрографического исследования каменных углей с изучением их склонности к самовозгоранию Тр. горно-геологического института, 1956. – 25 с.

170. Требин Г. Ф. Фильтрация жидкостей и газов в пористых средах. Гостоптехиздат, М., 1959. – 160 с.

171. Трифионов В.Г. Позднечетвертичный тектогенез. М...: Наука, 1983. 244с.

172. Труфанов В.Н., Рылов В. Г., Мещанинов Ф. В. Пирометаморфогенная трансформация шахтных углеотходов в горящих терриконидах Восточного Донбасса// Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, №. 1, 2006, с. 88-94.

173. Уткин В. И. Газовое дыхание Земли // Соровский образовательный журнал, № 1, 1997, с. 57-64.

174. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-ФЗ [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_19109/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/).

175. Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_22971/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/).

176. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/).

177. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 № 52-ФЗ [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_22481/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/).

178. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.1997 № 116-ФЗ [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15234/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15234/).

179. Харионовский А. А., Васева В. Н., Каплунов В. Ю. и др. Экологический мониторинг при ликвидации шахт и разрезов /Под общей ред. А. П. Красавина, А. В. Навитного, Ю. В. Каплунова – Пермь: МНИИЭКО ТЭК, 2010. – 315 с.

180. Хотченков Е. В., Батугин А. С., Батугина И. М. Результаты геодинамического районирования как основа совершенствования горно-экологического мониторинга карстовых процессов//Мониторинг. Наука и технологии. №2. 2013. С.14-23.

181. Цяо Цзаньюн, Батугин А. С., Батугина И. М. и др. Условия проявления геодинамических явлений на шахте Хуафэн в Китае. М.: Спутник+. 2016. – 144 с.

182. Черкесова Э. Ю., Цурак Л. А. Региональные, социально-экологические последствия ликвидации угольных шахт (г. Шахты, Ростовской области) // ГИАБ. 2004. №7. С. 142-146.

183. Шабаров А. Н., Гусева Н. В. и др. Выделение геодинамически опасных зон по трассе проектируемого газопровода Ямал-Белосток. / П

Международное рабочее совещание. 24-27 июня 1997. – СПб: ВНИМИ, 1997. – С. 199-209.

184. Шабаров А. Н., Дупак Ю. Н., Батугин А. С. Тектонически напряженные и разгруженные зоны в горном массиве//Уголь. 1994. № 7. С. 28-30.

185. Шерман С. И., Борняков С. А., Буддо В. Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования). Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1983. – 110 с.

186. Шерман С. И. Сейсмический процесс и прогноз землетрясений: тектонофизическая концепция. Ответственный редактор Соболев Г. А. Новосибирск: Академическое издательство “Гео” СО РАН, 2014. 359 с.

187. Шимкович Д. Г. MSC.visual Nastran for Windows. Часть I. Основы работы. Методическое пособие. 125 с.

188. Шувалов Ю. В., Павлов И. А., Смирняков В. В., Соловьев В. Б. Геомеханическое обоснование аэродинамической модели выработанного пространства// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал), № 10, 2000, с. 28-30.

189. Экологические проблемы горного производства. – М.: ИПКОН, 1993, с.158.

190. Эколого-географический анализ состояния природной среды: проблема устойчивости геоэкосистем. – СПб.: СПбГУ, 1995, с. 97.

191. Akinshipe O., Kornelius, G. The quantification of atmospheric emissions from complex configuration sources using reverse dispersion modeling. International Journal of Environmental Science and Technology, vol. 14, Issue 11, 2017, pp. 2367-2378. DOI: 10.1007/s13762-017-1316-0.

192. Anderson E. M. The dynamics of faulting. Oliver and Boyd, Edinburgh, 2 ed., 1951, 206 pp.

193. Batugin A. S., Kobylkin A. S., Musina V. R., Krasnoshtanov D. Validation of the geometrical model and boundary conditions for modeling the process of air intake into the body of a coal waste dump taking into account area geodynamics // 18<sup>th</sup>

International Multidisciplinary Scientific GeoConference: Science and technologies in geology, exploration and mining, SGEM, 2018, Issue 1.3, pp. 1111-1118.

194. Batugin A. S., Musina V. R., Justification of the choice of locations for the coal rock dumps on the basis of data geodynamic zoning // Book of Abstracts of the International Conference "Data Intensive System Analysis for Geohazard Studies", Sochi. – 2016. – P. 42, doi: 10.2205/2016BS08Sochi.

195. Batugin A. S., Musina V. R., Golovko I. V. Analysis of Geodynamical Conditions of Region of Burning Coal Dumps Location// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 95, 2017. doi: 10.1088/1755-1315/95/4/042023 [http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/95/4/042023/pdf].

196. Ciesielczuk J. Coal Mining and Combustion in the Coal Waste Dumps of Poland (Book Chapter). Coal and Peat Fires: A Global Perspective., vol. 3, pp. 464-473, 20 November 2014, doi: 10.1016/B978-0-444-59509-6.00016-8.

197. Claus E. Advanced Rock Mechanics design for tunnels of high-speed lines of the German railways // Key Lecture in the 2018 European rock mechanics symposium (Eurock 2018, Saint Petersburg, Russia, 22–26 may 2018).

198. Denis J., Pone N., Kim A.A. Hein, Glenn B. Stracher, Harold J. Annegarn, Robert B. Finkleman, Donald R. Blake, John K. McCormack, Paul Schroeder. The spontaneous combustion of coal and its by-products in the Witbank and Sasolburg coalfields of South Africa. International Journal of Coal Geology, №72, 2007, pp. 124 – 140.

199. Dobrynin V. M. Effect of overburden pressure on some properties of sandstones. Soc. Petrol Engr. J., Dec. 1962, pp. 360-366.

200. Goldbach O. D. Recent research in seismology in South Africa. The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Hard Rock Safe Safety Conference. 2009. Pp. 149-174.

201. Han Jun, Zhang Hong-wei and Li Sheng. Study of rockburst based on the hierarchy of rock mechanics system. 2009 7th International Symposium on Rockburst and Seismicity in Mines., 8: pp. 427-434, 2009.

202. Hu Z., Xia Q. An integrated methodology for monitoring spontaneous combustion of coal waste dumps based on surface temperature detection. ) *Applied Thermal Engineering*, 122, 2017, pp. 27-38. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.019.

203. Hu Z.-q., Zhang M.-l., Chen S.-h., Ma B.-g., Zhao Y.-l., Li J. Pollution generation, migration and in situ control measures on coal refuses. *Procedia Earth and Planetary Science*, 1 (1), 2009, pp. 1186-1190. DOI: 10.1016/j.proeps.2009.09.182.

204. Jendrus R. Environmental protection in industrial areas and applying thermal analysis to coal dumps // *Polish journal of Environmental Studies*, vol. 26, issue 1, 2017, pp. 137-146.

205. John N. Carras, Stuart J. Day, Abou Saghafi, David J. Williams. Greenhouse gas emissions from low-temperature oxidation and spontaneous combustion at open-cut coal mines in Australia // *International Journal of Coal Geology*. – 2009. – №78. – Pp.161–168.

206. Kaledina N. O., Kobylkin S. S., Kobylkin A. S. The calculation method to ensure safe parameters of ventilation conditions of goaf in coal mines// *Eurasian Mining*. 2016. № 1 (25). Pp. 41-44.

207. Kobulkin A. S., Musina V. R., Batugin A. S., Ponomarev V. S., Vorobyeva O. V. Modeling of aerodynamic process for coal waste dump located in geodynamically dangerous zone// *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018.

208. Kurakov Yu. I. The effect of coal mine dumps on the atmospheric conditions // *Khimiya Tverdogo Topliva*, vol. 6, 2005, pp. 70-76.

209. Lan Tianwei, Zhang Hongwei, Li Sheng, Han Jun, Song Weihua, A. S. Batugin, Tang Guoshui. Numerical study on 4-1 coal seam of Xiaoming mine in ascending mining [J]. *The Scientific World Journal*, 2015.3-4 pages. Article ID 516095. doi:10.1155/2015/516095.

210. McKee C. R., Bumb A. C. and Koenig R. A. Stress-dependent permeability and porosity of coal and other geologic formations. *Soc. Petrol. Engr. Form. Eval.*, March 1988, pp. 81-91.

211. Morozov V. N. and Tatarinov V. N. Tectonic processes development with time in the areas of HLW disposal from expert assessment to prognosis. *Int. Nuclear Energy science and Technology.*, vol. 2, No 1/2, pp. 65-74, 2006, doi: 0.1504/IJNEST.2006.010648.

212. Phillips H., Uludag S. and Chabedi K. Prevention and control of spontaneous combustion. Best practice guidelines for surface coal mines in South Africa. Coaltech research association annual colloquium. 2011. – pp. 129.

213. Segell P., Pollard D. D. Mechanics of discontinuous faults // *J. Geophys. Res.*, 1980. B85, No 8. Pp. 4337-4350.

214. Sim L. A., Zhirov D. V., Smaglichenko T. A. and Smaglichenko A. V. Results of the neotectonic stress state study in the eastern part of Baltic shield. *Geoph. Research Abstr.*, vol.12, EGU2010-3599, EGU General Assembly 2010.

215. Wang Yun-jia, Sheng Yao-bin, Gu Qiang, Sun Yue-yue, Wei Xiu-jin and Zhang Zhi-jie. Infrared thermography monitoring and early warning of the spontaneous combustion of coal gangue pile. *The international archives of the photogrammetry, remote and spatial information sciences.* 2008. Vol. 37, part B8, pp. 203-206.

216. Wang G., Liu Q., Yan G., Sun L., Qu H., Han Q. Control system of spontaneous combustion in coal mine in China // *Tehnicki Vjesnik*, vol. 24, Issue 1, 2017, pp. 291-300.

217. Wasilewski S., Skotniczny P. Mining waste dumps – modern monitoring of thermal and gas activities. *Gospodarka surowcami mineralnymi – mineral resources management.* Vol. 31, 2015, pp. 155 – 182.

218. Wegerif J., Galavazi M., Hamilton I. and Razak Z. B. A. Tackling geohazards - A case study from the Turkmenistan shelf, Caspian Sea (Conference Paper). / *Proceedings of the 1st International Symposium on Frontiers in Off shore Geotechnics ISFOG.* 2005. pp. 913-918. PerthWA, Australia, 19-21 September 2005, code 88586.

219. Wittke W. Rock Mechanics based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM). Publisher: Verlag Ernst & Sohn GmbH & Co. KG, Berlin, 2014. ISBN-Nr.: 978-3-433-03079-0.



220. Xu W., Gao Z. W. and Yang Y. Y. Late quaternary activity research of the northern marginal fault of Emei Platform, Shanxi Province (J) // Dizhen Dizhi.1 December 2014. Vol. 36, issue 4, pp. 1064-1076, doi: 10.3969/j.issn.0253-4967.2014.04.01.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение А. Патент РФ №2600948

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2600948

СПОСОБ ВЫБОРА МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ  
УГЛЕПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015149051

Приоритет изобретения 17 ноября 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 05 октября 2016 г.

Срок действия патента истекает 17 ноября 2035 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





## Приложение Б. Патент РФ № 2631915

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2631915

**Способ мониторинга углепородных отвалов**

Патентообладатель: *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (RU)*

Авторы: *Батугин Андриан Сергеевич (RU), Булаева Нуржаган Маисовна (RU), Мусина Валерия Раисовна (RU), Пономарев Владимир Сергеевич (RU)*

Заявка № 2016119777

Приоритет изобретения 23 мая 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 28 сентября 2017 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 23 мая 2036 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





## Приложение В. Патент РФ №2657302

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2657302

**Способ выбора мест размещения углепородных отвалов**

Патентообладатель: *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС" (RU)*

Авторы: *Батугин Андриан Сергеевич (RU), Коликов Константин Сергеевич (RU), Каркашадзе Гиоргий Григорович (RU), Мусина Валерия Раисовна (RU)*

Заявка № 2017133143

Приоритет изобретения 22 сентября 2017 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 13 июня 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 22 сентября 2037 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

## Приложение Г. Акт о внедрении



### ООО «Центр сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов»

367027, Республика Дагестан, г. Махачкала,  
ул. Селивантьева, дом 2, тел: +7(926)067-59-67,  
+7(909)481-16-22, e-mail: [monitoringST@mail.ru](mailto:monitoringST@mail.ru)

ИНН 0561050342, КПП 057301001, БИК 044525745,  
к/с 30101810345250000745, р/с 40702810600000085687  
Филиал № 7701 Банка ВТБ (ПАО) Г. МОСКВА

Исх. № 108 от 03 октября 2018 г.

УТВЕРЖДАЮ



Генеральный директор  
ООО «Центр сопряженного мониторинга  
окружающей среды и природных ресурсов»

Н. М. Булаева

«03» октября 2018 г.

### АКТ

внедрения результатов диссертационной работы **Мусиной Валерии Раисовны** на тему «Обоснование безопасного размещения углепородных отвалов с учетом геодинамических условий района (на примере **Восточного Донбасса**)», выполненной на кафедре «Безопасность и экология горного производства» ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС».

Разработанные в ходе выполнения диссертационных исследований Мусиной В. Р. на тему «Обоснование безопасного размещения углепородных отвалов с учетом геодинамических условий района (на примере Восточного Донбасса)» «Методические рекомендации по выбору безопасных мест размещения углепородных отвалов на основе результатов геодинамического районирования» приняты к использованию в плановых работах ООО «Центр сопряженного мониторинга окружающей среды и природных ресурсов».

Ведущий специалист  
ООО «ЦСМОСИПР»

Гаджиханов А.С.

д.т.н., проф. каф. «БЭГП»  
ФГАОУ ВО НИТУ «МИСиС»

Батугин А. С.

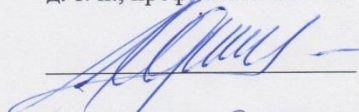


## Приложение Д. Методические рекомендации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»  
МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

«УТВЕРЖДАЮ»  
Проректор по науке и инновациям  
ФГАОУ ВО «ННТУ «МИСиС»  
д. т. н., проф. Филонов М.Р.

  
« 6 » сентября 2018 г.

### МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ по выбору безопасных мест размещения углепородных отвалов на основе результатов геодинамического районирования

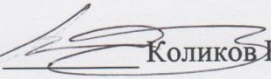
Москва

2018

Разработчики: аспирант Мусина В. Р., д.т.н., проф. Батугин А. С.

Рассмотрено на заседании кафедры «БЭГП» и рекомендовано для использования в учебных курсах «Горнопромышленная экология», «Геодинамическая безопасность при освоении недр и земной поверхности» и «Инженерная защита окружающей среды».

«5» сентября 2018 г., протокол № 1

Заведующий кафедрой  Коликов К. С.

«5» сентября 2017 г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

1. Общие положения.....	4
2. Основные этапы работ по выбору мест для безопасного размещения углепородных отвалов.....	4
3. Содержание и порядок выполнения работ по геодинамическому районированию территории размещения углепородных отвалов.....	5
ПРИЛОЖЕНИЕ. ....	6



## 1. Общие положения

Настоящие «Методические рекомендации...» разработаны в соответствии с учетом требования п. 8 «Инструкции о предупреждении самовозгорания, тушении и разборке углепородных отвалов», утвержденной приказом №738 от 23.12.11 г. и являющейся неотъемлемой частью «Правил безопасности в угольных шахтах» (РД 05-94—95).

«Методические рекомендации...» предназначены для использования в профильных организациях, работающих в области обеспечения экологической безопасности горнопромышленных регионов.

В основу настоящих методических рекомендаций положены результаты исследований приуроченности горящих углепородных отвалов к геодинамически опасным зонам, выполненных на примере территорий Восточного Донбасса.

## 2. Основные этапы работ по выбору мест для безопасного размещения углепородных отвалов

Основные этапы работ по выбору мест для безопасного размещения углепородных отвалов включают:

1. Выявление геодинамически активной блочной структуры территории.
2. Оценку ширины зоны влияния границ блоков (ГОЗ).
3. Оценку напряженного состояния участка земной коры с выявлением тектонически разгруженных зон.
4. Выбор мест для размещения углепородных отвалов за пределами геодинамически опасных и тектонически разгруженных зон.

### 3. Содержание и порядок выполнения работ по геодинамическому районированию территории размещения углепородных отвалов

1. Выявление блочной структуры земной коры района размещения углепородных отвалов проводится в соответствии с методическими рекомендациями работы «Геодинамика недр. Методические указания», Л.:ВНИМИ, 1990 (Приложение №4 к «Инструкции по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам» (РД 05-328-99)).

2. Оценка ширины геодинамически опасной зоны (ГОЗ).

К ГОЗ относят зону влияния границы блоков. ГОЗ имеет иерархический ранг, соответствующий рангу границы блоков.

Ширину ГОЗ оценивают по формуле:

$$B=10 \cdot H,$$

где  $H$  – амплитуда взаимного смещения блоков, оцениваемая по разнице их высотных отметок.

3. Напряженное состояние массива оценивают в соответствии с методическими рекомендациями из работы «Геодинамика недр. Методические указания», Л.:ВНИМИ, 1990, инструментальными, геофизическими, тектонофизическими методами, а также методами математического, физического моделирования. К тектонически разгруженным зонам (ТРЗ) относят:

- территории, расположенные в угловых частях блоков с тектонофизическими условиями «растяжение»;

- территории, для которых по результатам моделирования величина максимального сжатия снижена вдвое по сравнению с заданным граничным значением.

4. Выбор безопасных участков для размещения углепородных отвалов. Участки для размещения углепородного отвала выбирают за пределами ГОЗ и ТРЗ.



# ПРИЛОЖЕНИЕ.

Выбор безопасных участков для размещения углепородных отвалов на примере одного из районов Ростовской области.

В качестве примера рассмотрен район г. Шахты Ростовской области.

1. Выявление блочной структуры земной коры района.

На территории района выделены границы блоков II-IV рангов, рис. 1.

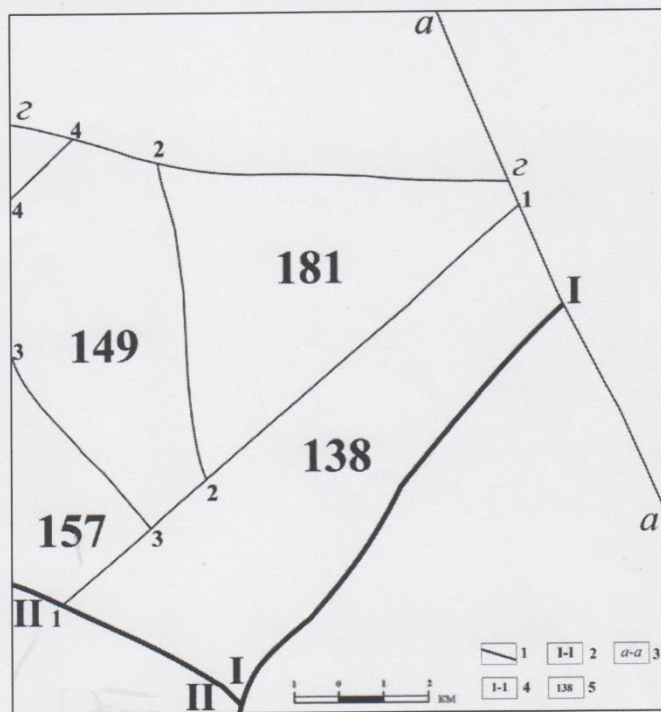


Рисунок 1– Схема границ блоков II-IV рангов в районе г. Шахты: 1 – границы блоков (ГОЗ); 2 – обозначение границ блоков II ранга; 3 – обозначение границ блоков III ранга; 4 – обозначение границ блоков IV ранга; 5 – высотная отметка блока

Границы блоков идентифицированы на местности. Например, граница блоков III ранга северо-западного простирания, условно названная разлом Кадамовский (*a-a*), на исследуемом участке с юго-востока на северо-запад проходит по коленообразному изгибу русла р. Кадамовка, верховьям балки Футбольная, севернее поселка Артем вдоль русла р. Грушевка.

## 2. Оценка ширина геодинамически опасной зоны (ГОЗ).

ГОЗ отождествлены с зонами влияния границ блоковых ширина оценена по формуле  $B = 10H$ , где  $H$  – амплитуда взаимного смещения блоков. Результаты оценки ширины ГОЗ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оценка ширины ГОЗ в районе г.Шахты

Граничащие блоки	Амплитуда $H$ , м	Ширина ГОЗ, $B$ (км)
138-I	50	0,5
138-181	43	0,43
138-149	11	0,11
138-157	19	0,19
138-II	120	1,2
138-Кадамовский разлом	20	0,2
181-149	32	0,32
181-Юбилейный разлом	25	0,25
181-Кадамовский разлом	20	0,2
149-157	8	0,08
149-Юбилейный разлом	25	0,25
149-203	54	0,54
157-II	120	1,2
203- Юбилейный разлом	25	0,25
Кадамовский разлом	20	0,2
<b>ИТОГО</b>	<b>592</b>	<b>5,92</b>

## 3. Оценка напряженного состояния.

Оценка напряженного состояния проведена на основе анализа тектонофизической схемы района. В изучаемом районе расположения угольных отвалов действует сдвиговое поле напряжений с ориентировкой максимального сжатия в направлении ЮВ-СЗ. В этом поле напряжений границы блоков северо-восточного простирания работают как левые сдвиги, а границы блоков северо-западного простирания – как правые сдвиги, рис. 2. При взаимодействии границ блоков по указанному тектонофизическому механизму в тылу сдвигов создаются тектонически разгруженные зоны, а в их фронтальной части – тектонически напряженные. При наложении одноименных зон правых и левых сдвигов образуются интегральные тектонически разгруженные зоны с тектонофизическими условиями



«растяжение». Размеры зон могут быть оценены по результатам математического моделирования, на рис. 2 показана только тектонофизическая схема.

4. Выбор безопасных участков для размещения углепородных отвалов. С учетом проведенных исследований в районе г. Шахты Ростовской области участки для безопасного размещения отвалов с учетом геодинамики района располагаются в северо-восточном углу блока 181, в южной части блока 157, в южной части блока 138, (рис. 2).

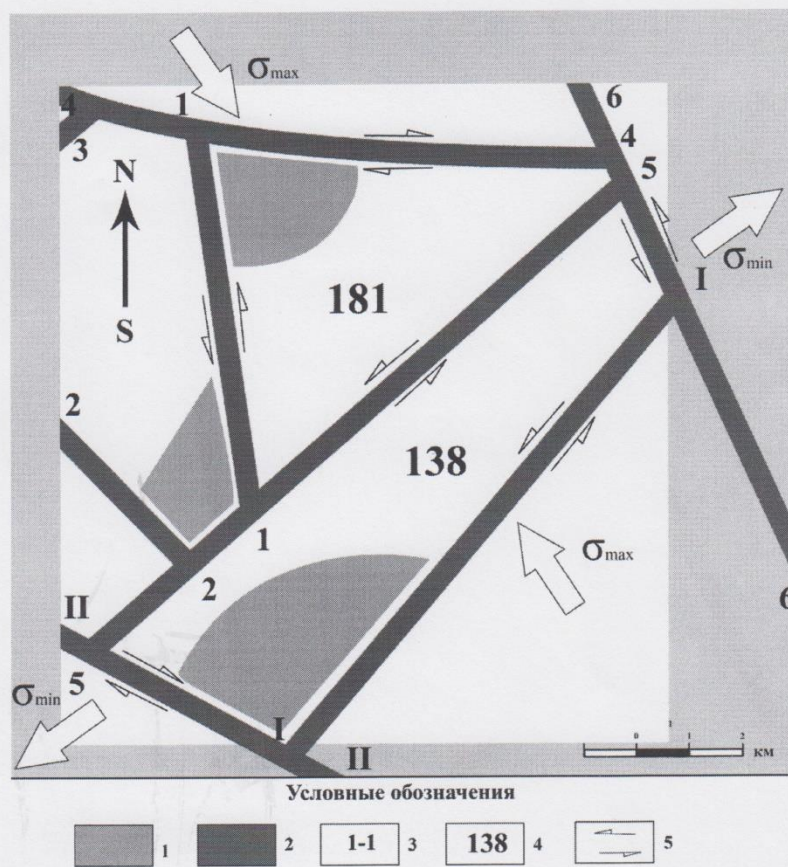


Рисунок 2 – Схема наиболее благоприятных мест размещения отвалов: 1 – рекомендуемые места для размещения отвалов с учетом геодинамики района; 2 – не рекомендуемые места для размещения отвалов с учетом геодинамики района; 3 – обозначение ГОЗ; 4 – высотная отметка блока; 5 – направление сдвижения блоков.