

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

Мусина Валерия Раисовна

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

Специальность 25.00.36 – Геоэкология  
(горно-перерабатывающая промышленность)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

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

Москва – 2018

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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.

Результаты диссертационной работы получены при поддержке госзадания № 11.1934.2017/ПЧ.

**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.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель, идея работы и научные положения, выносимые на защиту, отмечены научная и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** отмечается, что самовозгорание углепородных отвалов является актуальной экологической проблемой в горнопромышленных районах многих стран мира, занимающихся добычей угля: России, Украины, Польши, ЮАР, Китая, Германии и др. (Гамов М. И., Гордеев И. В., Каплунов Ю. В., Красавин А. П., Phillips H., Uludag S., Chabedi K., Wasilewski S., Skotniczny P., Wang Yun-jia, Sheng Yao-bin, Gu Qiang, Пал М. Х.). Одной из возможных причин самовозгорания признается поступление воздуха в тело отвала, инициирующего экзотермические реакции окисления угольного вещества (Веселовский В. С., Виноградова Л. П., Орлеанская Г. Л., Терпогосова Е. А). В настоящее время для профилактики возгорания отвалов разработаны специальные схемы укладки отходов и мероприятия по изоляции откосов и

основания отвалов, которые не допускают поступления воздуха в тело отвала (Агапов А. Е., Навитный А. М., Терешенко Т. Л., Инструкция по предупреждению ..., 2011 и др.).

Несмотря на существенные успехи в решении данного вопроса, проблема самовозгорания отвалов остается актуальной, в связи с чем развивается гипотеза, что самовозгорание отвалов связано с их размещением в геодинамически опасных зонах земной коры. Благодаря высокой проницаемости таких зон создается связь отвала с окружающей средой.

Также в главе отмечено, что многими учеными признается, что к геодинамически опасным зонам приурочены деформирующиеся стволы и горные выработки на рудниках и шахтах, места проявления горных ударов и техногенных землетрясений, внезапных выбросов, аварийных участков на трубопроводах, железных дорогах, на других инженерных объектах (Батугина И. М., Петухов И. М., Шабаров А. Н., Сим Л. А., Войекова О. А., Макаров В. И., Адушкин В. В., Турунтаев С. Б., Рассаков И. Ю.). Одним из индикаторов рельефа, по которым выделяются активные разломы, являются прямолинейные участки тальвегов балок и оврагов. В то же время многие отвалы были сформированы в балках и оврагах, как в малоценных землях. В связи с этим, возникла идея, что часть отвалов расположена в активных зонах земной коры (в геодинамически опасных зонах). В этом случае геодинамические процессы могут способствовать поступлению воздуха в тело отвала из окружающей среды или выработанного пространства.

В конце главы в соответствие с этой идеей были сформулированы цель работы и задачи исследования.

#### **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.

**Вторая глава** диссертации посвящена изучению и анализу геодинамического состояния Восточного Донбасса. Анализ публикаций показывает, что в данном регионе имеются геологические доказательства проявления тектонической активности и перестройки структурного плана в новейшее время. На основании метода геодинамического районирования и имеющихся результатов работ по этому направлению выделены границы блоков I-IV рангов, представляющие собой геодинамически опасные зоны. На основании геологической интерпретации границ блоков сделан вывод, что их можно рассматривать как зоны повышенной нарушенности и трещиноватости массива.

В главе также проанализировано напряженное состояние земной коры в районе Восточного Донбасса. 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 попадают в квадранты растяжения, а границы блоков северо-восточного простирания попадают в квадранты сжатия.

**В третьей главе** представлены исследования приуроченности горящих углепородных отвалов к ГОЗ, проведенные на территории Восточного Донбасса (г. Шахты, г. Новошахтинск, Ростовская область). Здесь изучено расположение отвалов относительно ГОЗ, их тепловое состояние, дифференцированно посчитано количество горящих и негорящих

углепородных отвалов на единицу площади (их удельное количество) в ГОЗ и вне ГОЗ, проведен анализ приуроченности горящих отвалов к геодинамически опасным зонам.

На рисунке 1 представлена схема расположения отвалов, имеющих случаи самовозгорания, в районе г. Шахты – г. Новошахтинск Ростовской области.

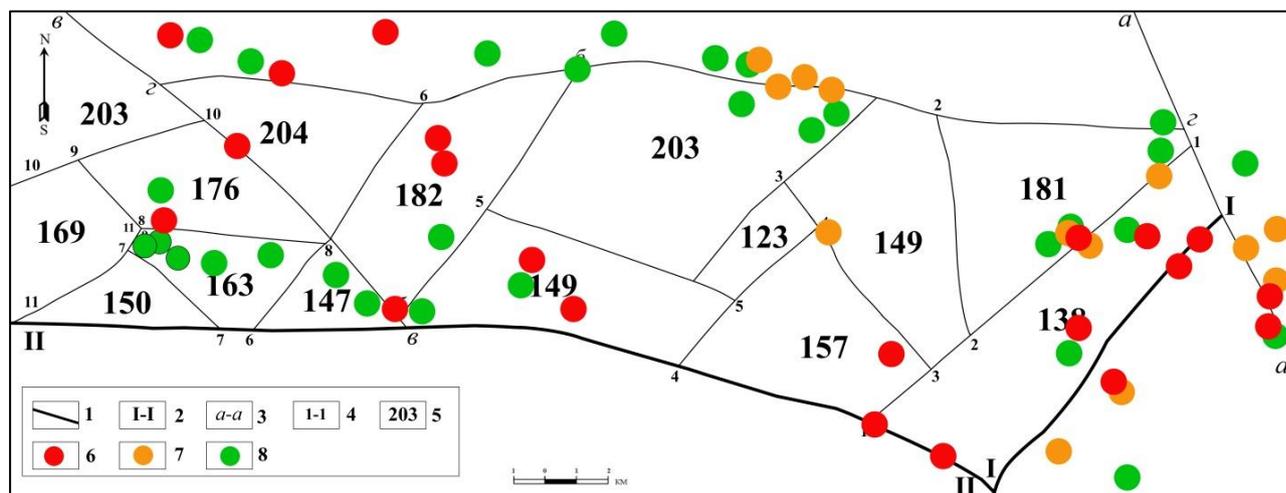


Рисунок 1 – Схема расположения отвалов, имеющих случаи самовозгорания в районе г. Шахты – Новошахтинск Ростовской области: 1 – ГОЗ; 2 – обозначение границ блоков II ранга; 3 – обозначение границ блоков III ранга; 4 – обозначение границ блоков IV ранга; 5 –высотная отметка блока; 6 – горящие отвалы; 7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

Исследуемый район занимает площадь  $S_0 = 657 \text{ км}^2$ . Здесь расположено 64 углепородных отвала, из которых 34 имели случаи возгорания, при этом 21 продолжали гореть в 2015 г. (табл.1). Из 34 отвалов, имевших случаи возгорания, 17 расположены на границах блоков земной коры различного ранга.

Таблица 1. Состояние углепородных отвалов в районе г. Шахты –  
Новошахтинск Восточного Донбасса на 2015 г.

| № п/п | Состояние     | Всего | Расположены на границах блоков |
|-------|---------------|-------|--------------------------------|
| 1     | Горящие       | 21    | 10                             |
| 2     | Перегоревшие  | 13    | 7                              |
| 3     | Не горящие    | 30    | 5                              |
|       | <b>ИТОГО:</b> | 64    | 22                             |

Для оценки приуроченности горящих углепородных отвалов к ГОЗ использован показатель:

$$c_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{ГОЗ}}}{\rho_{\text{Ф}}}, \quad (1)$$

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

$\rho_{\text{Ф.г.}}$  – удельное количество их расположения на исследуемой территории (фоновое значение), шт/км<sup>2</sup>.

Значения  $\rho_{\text{ГОЗ}}$  и  $\rho_{\text{Ф.г.}}$  рассчитаны соответственно по формулам (2) и (4):

$$\rho_{\text{ГОЗ}} = \frac{N_{\text{ГОЗ}}}{S_{\text{ГОЗ}}}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{ГОЗ}}$  – количество горящих отвалов, расположенных в ГОЗ;

$S_{\text{ГОЗ}}$  – площадь ГОЗ, которая рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{ГОЗ}} = B \cdot L, \quad (3)$$

где  $B$  – ширина ГОЗ, км

$L$  – длина ГОЗ, км.

Удельное количество горящих отвалов для всей исследуемой территории (фоновое значение) рассчитывается по формуле:

$$\rho_{\text{Ф.г.}} = \frac{N_{\text{Г.от.}}}{S_0}, \quad (4)$$

где  $N_{\text{Г.от.}}$  – количество горящих отвалов на исследуемой территории;

$S_0$  – площадь исследуемой территории.

Длина ГОЗ была измерена по топографической карте масштаба 1:25000 и составила  $L_{\text{ГОЗ}} = 203,63$  км.

Ширина ГОЗ в исследуемом районе была посчитана по формуле ВНИМИ:

$$B = 10 \cdot H, \quad (5)$$

где  $H$  – амплитуда взаимного смещения блоков, оцениваемая по разнице их высотных отметок.

В результате площадь ГОЗ была рассчитана для каждой границы блоков в отдельности. Общая площадь ГОЗ данного района составила  $S_{\text{ГОЗ}} = 89,35$  км<sup>2</sup>.

Удельное количество горящих отвалов в ГОЗ для рассматриваемой территории составило:

$$\rho_{\text{ГОЗ}} = \frac{17}{89,35} = 0,19 \text{ шт/км}^2 \quad (6)$$

Фоновое значение удельного количества горящих отвалов составило:

$$\rho_{\text{ф.г.}} = \frac{34}{657} = 0,05 \text{ шт/км}^2 \quad (7)$$

Откуда  $c_r = 0,19/0,05 = 3,7$ .

Таким образом, результаты вычислений показывают, что удельное количество горящих углепородных отвалов в ГОЗ в 3,8 раз выше такового на всей площади, рис. 2:

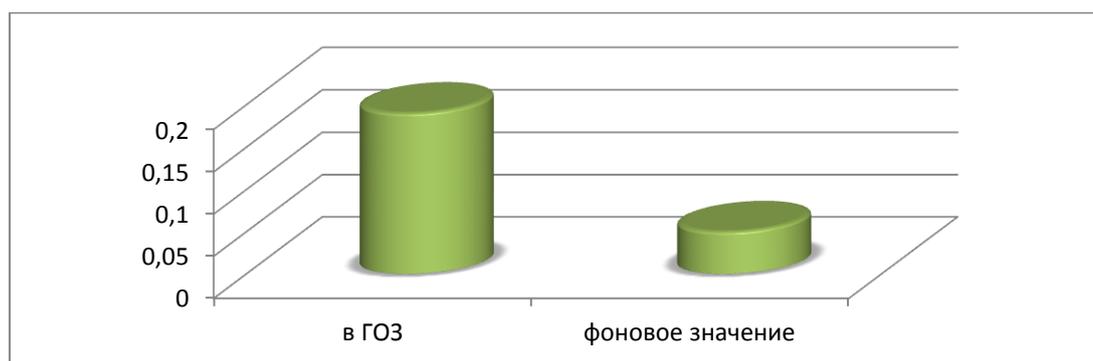


Рисунок 2 – Диаграмма распределения удельного количества горящих углепородных отвалов на исследуемом участке

Такие же расчеты были проведены для негорящих отвалов. В данном районе расположено 30 негорящих отвалов ( $N_{\text{нг.от.}}$ ), из которых лишь 5 ( $N_{\text{нг.гоз}}$ ) попадает на границы блоков земной коры (рис.1, табл.1).

Удельное количество негорящих отвалов в ГОЗ равно:

$$\rho_{\text{нг.гоз}} = \frac{N_{\text{нг.гоз}}}{S_{\text{гоз}}} = \frac{5}{89,35} = 0,06 \text{ шт/км}^2 \quad (8)$$

Удельное количество негорящих отвалов для всей исследуемой территории (фоновое значение) равно:

$$\rho_{\text{ф.нг.}} = \frac{N_{\text{нг.от.}}}{S_0} = \frac{30}{657} = 0,05 \text{ шт/км}^2 \quad (9)$$

Отсюда для негорящих отвалов показатель приуроченности составляет  $c_{\text{н.г}} = 0,06/0,05 = 1,2$ .

Таким образом, удельное количество негорящих углепородных отвалов в ГОЗ лишь в 1,2 раза выше фонового значения на всей площади, рис. 3:

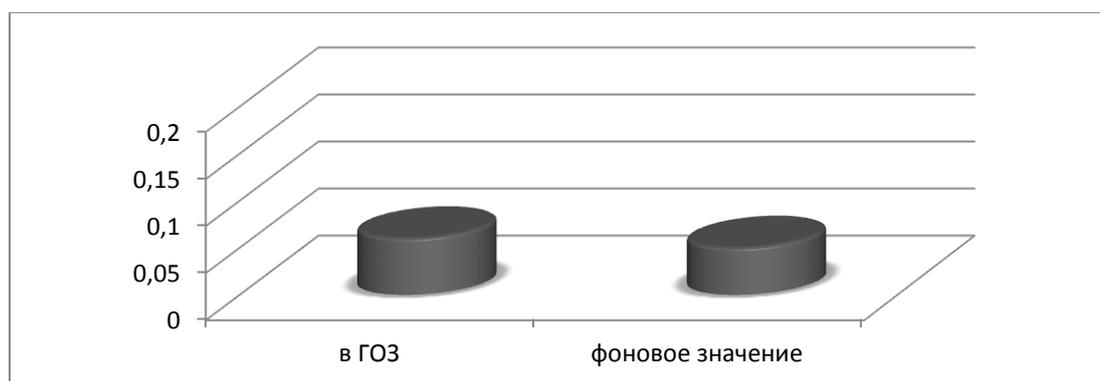


Рисунок 3– Диаграмма распределений удельного количества негорящих углепородных отвалов на исследуемом участке

Из приведенных расчетов видно, что по показателю  $c = \rho_{\text{гоз}}/\rho_{\text{ф}}$  к ГОЗ приурочены именно горящие отвалы, поскольку удельное количество их расположения в этих зонах  $\rho_{\text{гоз}}$  в несколько раз больше фонового значения  $\rho_{\text{ф}}$ .

Далее были проведены исследования по влиянию на значение  $c_{\text{г}} = \rho_{\text{гоз}}/\rho_{\text{ф}}$  ширины ГОЗ, оцениваемой на основе других известных подходов (Шерман С.И., 1987, Инструкция РД05-328-99, Батугин А.С., 2015), табл. 2.

Таблица 2. Влияние ширины ГОЗ на величину показателя  $c_r$  в исследуемом районе

| Ширина ГОЗ | Площадь ГОЗ | Кол-во горящих отвалов в ГОЗ, шт | Удельное количество горящих отвалов в ГОЗ, $\rho_{\text{ГОЗ}}$ (шт/км <sup>2</sup> ) | $c_r = \frac{\rho_{\text{ГОЗ}}}{\rho_{\text{Ф}}}$ |
|------------|-------------|----------------------------------|--|---|
| 50         | 10,18       | 11                               | 1,08   | 20,88   |
| 100        | 20,36       | 12                               | 0,59   | 11,39   |
| 200        | 40,73       | 16                               | 0,39   | 7,59  |
| 400        | 81,45       | 19                               | 0,23   | 4,51  |

Из таблицы видно, что при увеличении ширины ГОЗ значение показателя  $c_r = \rho_{\text{ГОЗ}}/\rho_{\text{Ф}}$  не опускается ниже 4,5, что можно расценивать, как доказательство приуроченности горящих отвалов к ГОЗ.

Для оценки достоверности полученных результатов возьмем случай, когда ширина ГОЗ оценена расчетным методом, так как отношение  $\rho_{\text{ГОЗ}}/\rho_{\text{Ф}}$  для этого случая является минимальным.

Из предположения, что горящие углепородные отвалы распределены случайным образом, геометрическая вероятность попадания 1 отвала в зону влияния границы блоков  $P_{\text{гд}}$ , составит:

$$P_{\text{гд}} = \frac{S_{\text{ГОЗ}}}{S_0} = \frac{89,35}{657} = 13,6 \% \quad (10)$$

Вероятность  $B$  того, что из  $n=34$  горящих отвалов на границу блоков случайно попадет менее  $x=17$  отвалов оценена по формуле (Справочник по вероятностным расчетам..., 1970):

$$B(x; n; P_{\text{гд}}) = \sum_{i=0}^{x-1} b(i; n; P_{\text{гд}}) = 1 - \sum_{i=x}^n b(i; n; P_{\text{гд}}) \quad (11)$$

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

Т.к.  $(1/n)$  и  $P_{\text{гд}}$  малы, можно воспользоваться аппроксимацией:

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

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

По полученным данным построен график  $\tilde{\Psi}(x; \mu)$ , (рис. 4). Как видно из графика, при  $x > 8$  значение  $\tilde{\Psi}$  становится очень малым, а при  $x = 14$  график обрывается. Это значит, что вероятность того, что из  $n=34$  горящих отвалов в ГОЗ случайно попадут  $x = 17$ , пренебрежимо мала.

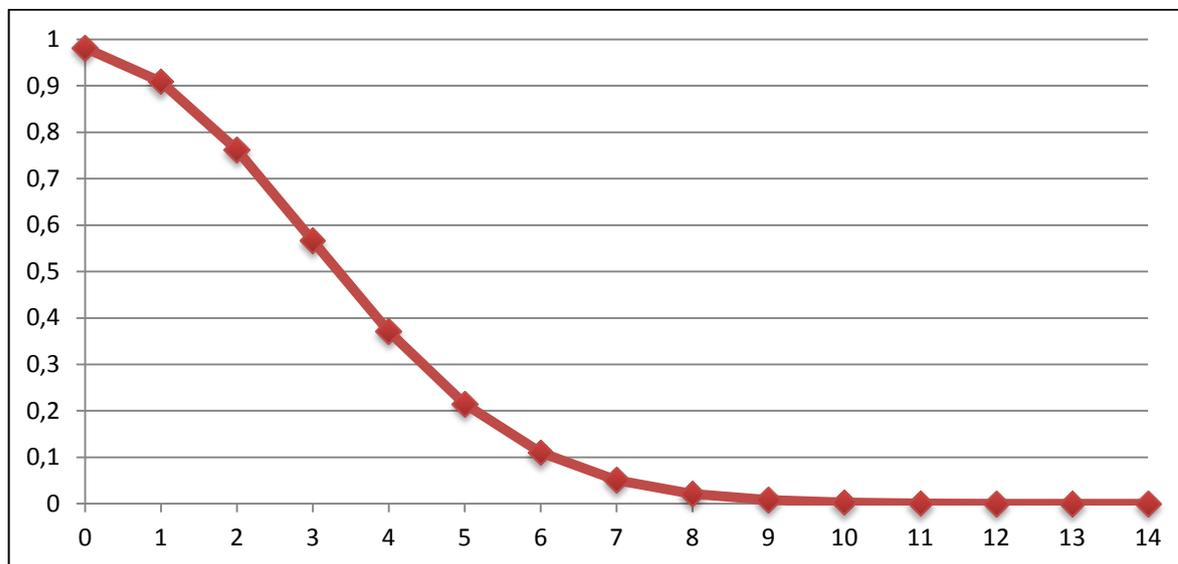


Рисунок 4 – График функции  $\tilde{\Psi}=f(x;\mu)$  при  $\mu=4$

Отсюда следует, что с формальной точки зрения первое научное положение достоверно.

На основе результатов, полученных в третьей главе, было сформулировано первое научное положение, представленное выше.

**Четвертая глава** посвящена объяснению феномена приуроченности горящих отвалов к ГОЗ и моделированию процесса массопереноса воздуха в тело отвала с земной поверхности или из горных выработок через ГОЗ.

Факты загазованности подвальных помещений, наблюдения выхода газов на поверхность водоемов свидетельствуют об активном протекании процессов массопереноса газов из массива на поверхность. Теоретические вопросы массопереноса рассмотрены в работах Пучкова Л. А., Качурина Н. М., Стась Г. В., Каркашадзе Г. Г. и др. ученых. Практически и теоретически изучены пористость и проницаемость горного массива, связь этих параметров с напряженным состоянием (Ходырев Е. И., Зубков В. В., Ericghen К., Сластунов С.В., Коликов К.С., Силаев В.В. и др.), разработаны программные продукты.

Все это создает основу для моделирования процесса поступления воздуха в тело отвала через геодинамически опасную зону и проверку выдвинутой идеи.

При разработке модели объектом исследования являлся горный массив с участком земной поверхности, углепородный отвал и атмосфера над ними. При построении модели принято, что отвал расположен в геодинамически опасной зоне (ГОЗ), которая пересекает горные выработки. Принято, что ширина ГОЗ меньше ширины отвала. Разработанная геометрическая модель в масштабе 1:1 имеет размеры, близкие к реальным (табл. 3, рис. 4).

Таблица 3. Параметры элементов геометрической модели

| Название       | Описание                                   | Длина,<br>м | Ширина,<br>м | Высота,<br>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           |

Принято, что поверхность отвала покрыта изолирующим противопожарным слоем толщиной 0,3 м (отвал, зона 3 на рис. 5). Зона отвала, находящаяся над геодинамической активной зоной, имеет более высокую пористость и проницаемость по сравнению с зонами отвала, находящимися над ненарушенным массивом горных пород (табл. 3).

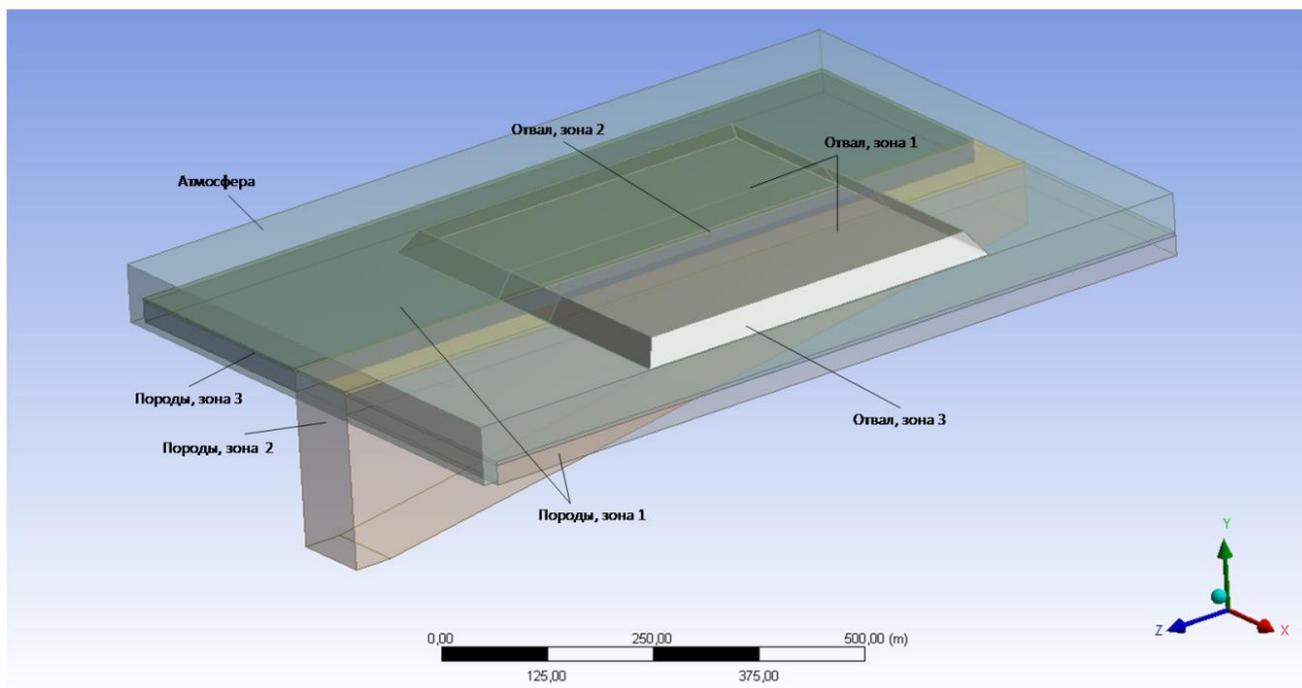


Рисунок 5 – Геометрическая модель исследуемого объекта

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 активная 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 шахты. Пористость и проницаемость горных пород в различных зонах, слагающих почву под отвалом, а также в зонах самого отвала представлены в таблице 4. Данные характеристики были выбраны из справочной литературы (Tiab D., Donaldson E., Агапов А. Е., Кобранова В.Н. и др.).

Таблица 4. Начальные и граничные условия

| Название зоны  | Описание                                   | Пористость, % | Проницаемость, м <sup>2</sup> |
|----------------|--|---------------|-------------------------------|
| 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 | $10^{-15} - 10^{-14}$ |

Моделирование проводилось в 2 стадии, основанные 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 в системе вентиляции.

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

Модель аэродинамической связи отвала с областью ведения горных работ основана на гипотезе аэродинамической связи тела отвала с близ расположенной шахтой 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. 6, рис.7). Расчеты дали адекватные результаты по исследуемому параметру (скорость и направление движения потока воздуха).

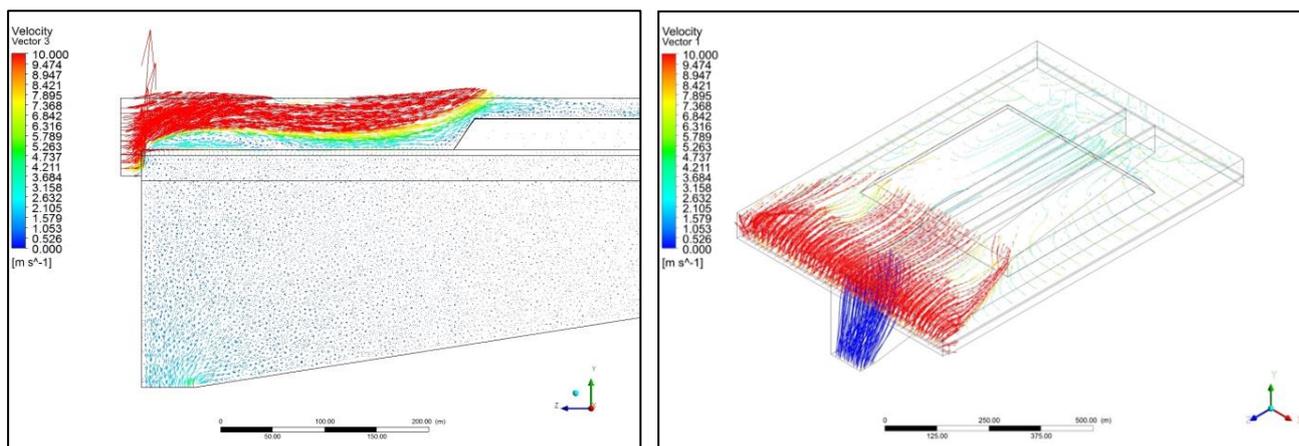


Рисунок 6 – Вектора движения воздуха при набегании воздуха с уступа рельефа

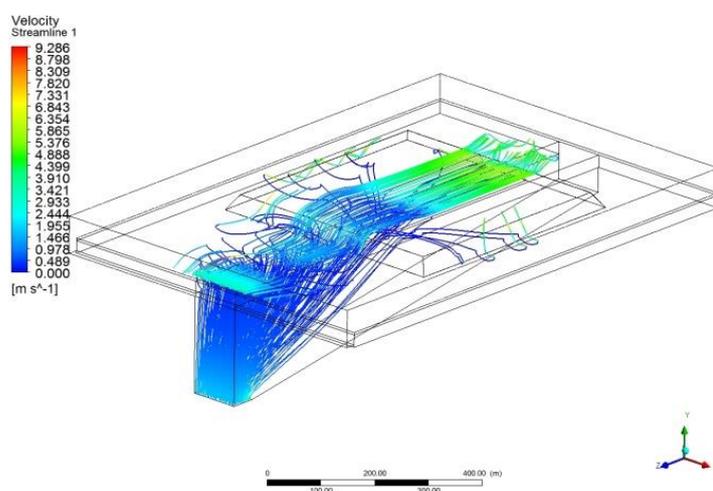


Рисунок 7 – Вектора движения воздуха при наличии аэродинамической связи отвала с горными выработками по геодинамически активной зоне

Геодинамически опасная зона, проходящая в основании отвала, моделировалась как более высокопористый и проницаемый массив. Предварительные результаты моделирования показывают, что в тело отвала воздух может проникать как с поверхности, за счет набегания потока воздуха (рис. 6), так и снизу, за счет аэродинамической связи с шахтой (рис. 7). 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.

В работах Маевской В. М., Пучкова Л. А., Калединой Н. О. и Кобылкина С. С. указывается, что существует интервал пожароопасных скоростей фильтрации воздуха через скопление угольного вещества, при котором создаются наиболее благоприятные условия для самонагрева угля. 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:  $0,002 - 0,015 \text{ м/с}$ . На рисунке 8 представлены результаты моделирования массопереноса газов из горных выработок в тело отвала.

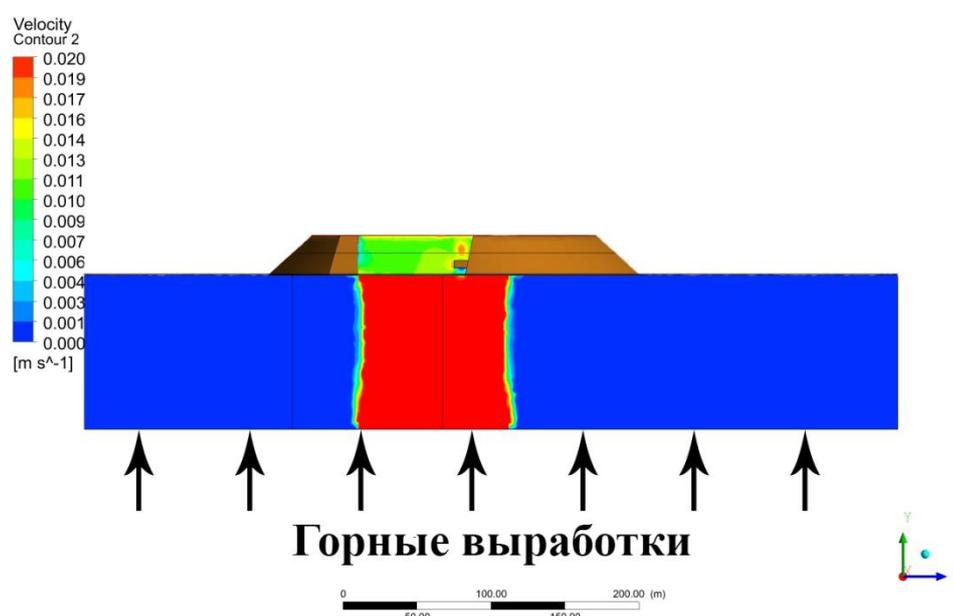


Рисунок 8 – Массоперенос газов из горных выработок в тело отвала

Как видно из рисунка 8, 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. Таким образом, 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.

По результатам моделирования сделаны выводы, что при наличии более проницаемой геодинамически опасной зоны под телом отвала создаются

условия для проникновения воздуха в тело отвала, как с поверхности, так и из горных выработок. 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. Скорость поступления воздуха в тело отвала через ГОЗ может находиться в пожароопасном диапазоне. Таким образом, установленный факт приуроченности горящих отвалов к ГОЗ находит свое подтверждение и объяснение результатами компьютерного моделирования.

На основе результатов, полученных в четвертой главе, было сформулировано второе научное положение, представленное выше.

**Пятая глава** посвящена обоснованию подхода к выбору мест безопасного размещения углепородных отвалов с учетом геодинамического состояния района и разработке соответствующих методических рекомендаций.

В сложившихся подходах к выбору мест расположения отвалов (экономическом, экологическом, геолого-геомеханическом) не учитываются геодинамические условия района. В то же время проведенные диссертационные исследования (анализ фактического материала и компьютерное моделирование) показывают, что геодинамика района может создавать благоприятные условия для самовозгорания углепородных отвалов. Развиваемый подход к выбору безопасных мест размещения отвалов базируется на исследовании геодинамики района и предполагает размещение отвалов за пределами зон влияния границ геодинамически активных блоков земной коры (ГОЗ) и тектонически разгруженных зон.

Данный подход направлен на устранение возможности возникновения аэродинамической связи между размещенными в отвале породами и проницаемыми зонами в его основании. Имеется ввиду, что техническим результатом данного подхода является предотвращение самовозгорания складированной горной массы за счет исключения возможности поступления воздуха в отвал через проницаемые зоны в его основании.

Ожидаемый результат может быть достигнут следующим образом:

Способ 1 (патент РФ №260048). В предполагаемом районе размещения углепородного отвала производят выделение геодинамически активных блоков и их границ, определяют ширину зон влияния границ геодинамически активных блоков (ширину геодинамически опасных зон) и выбирают место для размещения отвала за пределами зон влияния границ геодинамически активных блоков (ГОЗ), рис. 9.

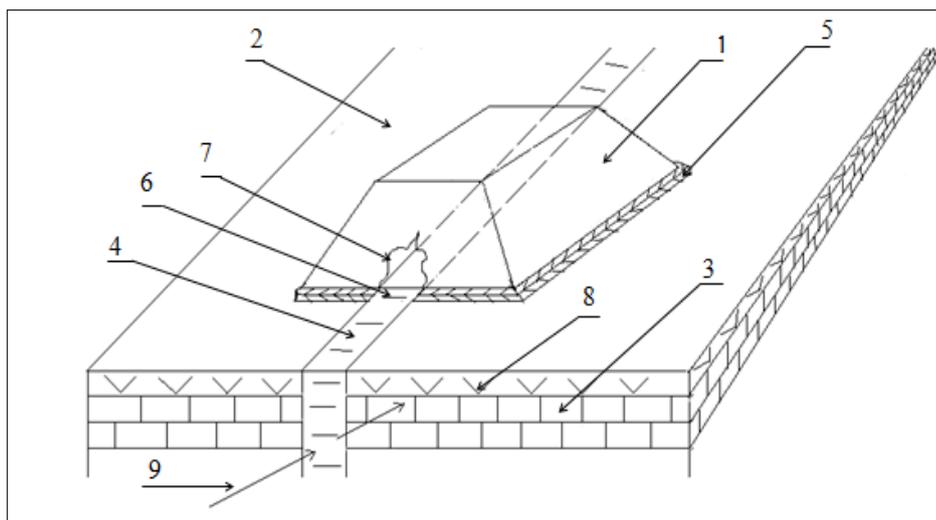


Рисунок 9 – Схема расположения углепородного отвала в ГОЗ: 1 – углепородный отвал; 2 – земная поверхность; 3 – массив горных пород; 4 – ГОЗ; 5 – изолирующий слой; 6 – зона разрушения изолирующего слоя в основании; 7 – зона разрушения изолирующего слоя на бортах; 8 – наносы; 9 – движение воздуха

Способ 2 (патент РФ №2657302). В предполагаемом районе размещения углепородного отвала выполняют оценку напряженного состояния массива, и место для размещения отвала выбирают за пределами тектонически разгруженных зон горного массива, рис.10.

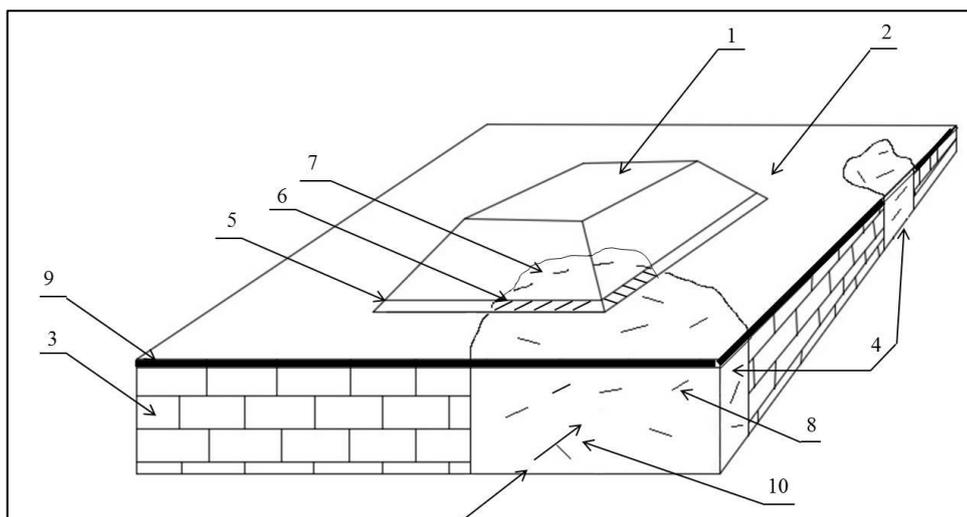


Рисунок 10 – Схема расположения отвала в тектонически разгруженных зонах: 1 – угленородный отвал, 2 – земная поверхность, 3 – массив горных пород, 4 – тектонически разгруженные зоны, 5 – изолирующий слой, 6 – зона разрушения изолирующего слоя в основании отвала, 7 – зона разрушения изолирующего слоя на бортах, 8 – трещины растяжения в массиве пород и на поверхности, 9 – наносы, 10 – движение воздуха.

Предлагаемые способы основаны на имеющихся результатах исследований, показывающих, что проницаемость массива в тектонически разгруженных и в тектонически напряженных зонах может отличаться на порядок.

На основе результатов проведенных исследований предлагается следующая методика выбора мест для безопасного размещения с учетом геодинамического районирования.

1. Выявить блочную структуру района.
2. Определить местоположение границ блоков с привязкой их на местности и оценкой ширины зоны влияния границ блоков. Ширина зоны влияния каждой границы блоков оценивается по формуле:  $V = 10 N$ , где  $N$  – амплитуда смещения блоков по данной границе.
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.

На основе предлагаемой методики для района г. Шахты Ростовской области разработана схема наиболее благоприятных мест для безопасного размещения отвалов с учетом геодинамики района, рис.11.

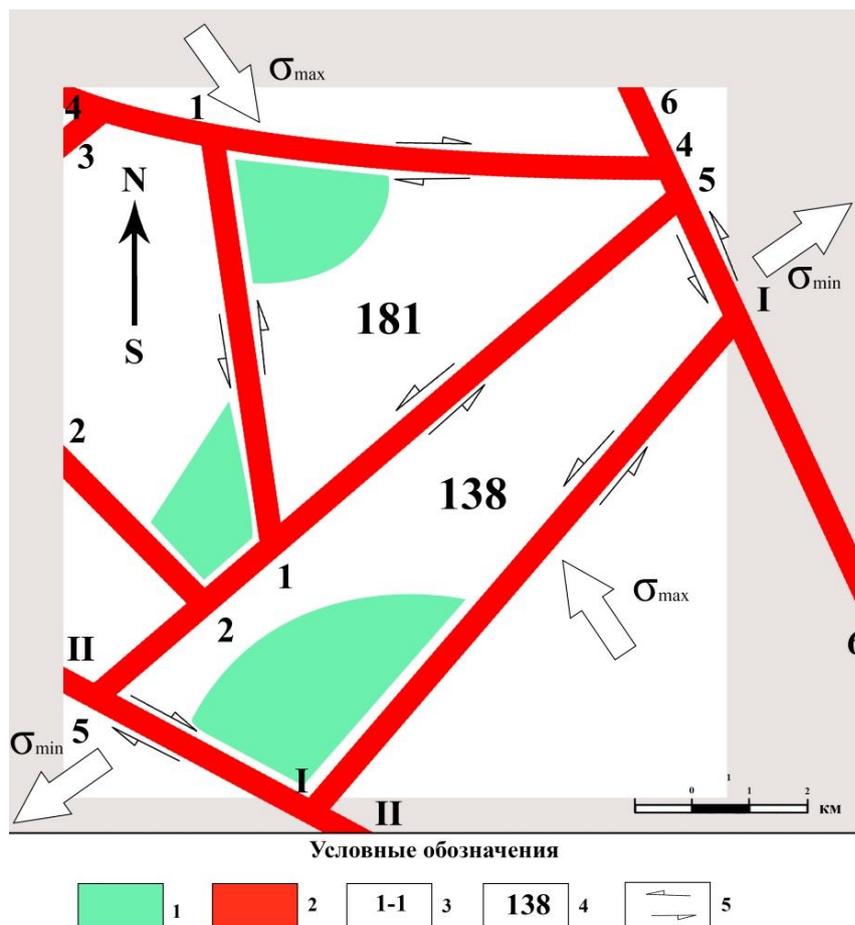


Рисунок 11 – Схема наиболее благоприятных мест размещения отвалов: 1 – рекомендуемые места для размещения отвалов с учетом геодинамики района; 2 – не рекомендуемые места для размещения отвалов с учетом геодинамики района; 3 – обозначение ГОЗ; 4 – высотная отметка блока; 5 – направление сдвижения блоков.

На основе результатов, полученных в пятой главе, было сформулировано третье научное положение, представленное выше, и разработаны «Методические рекомендации по выбору безопасных мест размещения

углепородных отвалов на основе результатов геодинамического районирования».

## **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.

#### **Основные результаты диссертационного исследования опубликованы**

##### **в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:**

1. 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.

2. 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.

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

##### **В прочих изданиях:**

4. 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 Geo Conference:

Science and technologies in geology, exploration and mining, SGEM, 2018, Issue 1.3, pp. 1111-1118 (включена в базы данных Web of Science и Scopus).

5. 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 (включена в базы данных Web of Science и Scopus).

6. 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

7. 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 (включена в базы данных Web of Science и Scopus).

8. 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.

9. 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>

10. 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.

11. 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.

12. 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.

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

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

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