

*На правах рукописи*

**Кондакова Вероника Николаевна**



**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ  
В ОТВАЛАХ С УЧЁТОМ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОГЕНЕЗА**

*Специальность 2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопро-  
мысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело  
и геометрия недр*

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2024

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

**Научный руководитель:**

кандидат геолого-минералогических наук

*Поспехов Георгий Борисович*

**Официальные оппоненты:**

*Бахаева Светлана Петровна*

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», кафедра маркшейдерского дела и геологии, профессор;

*Середин Валерий Викторович*

доктор геолого-минералогических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», кафедра инженерной геологии и охраны недр, заведующий кафедрой.

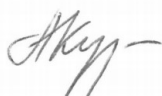
**Ведущая организация** – открытое акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу», г. Белгород.

Защита диссертации состоится **26 июня 2024 г. в 15:00** на заседании диссертационного совета ГУ.8 Горного университета по адресу 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 2, ауд. 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 26 апреля 2024 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



КУЗИН  
Антон Александрович

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Уголь играет значительную роль в топливно-экономическом балансе России. По данным Минприроды России, объём добычи угля за период с 2011 по 2021 вырос на 30%. Ожидается, что эта тенденция сохранится: энергетическая стратегия России подразумевает увеличение добычи угля до 490 млн т в год к 2035 г. Помимо роста добычи, отмечается увеличение темпов накопления отходов добычи и переработки угля. На долю угольной промышленности приходится 67% промышленных отходов в России, ежегодный объём накопления которых оценивается в 5 млрд т. Ежегодный прирост накопленных отходов углепереработки составляет примерно 12 млн тонн, что составляет 3% от всех отходов, образующихся в стране за год.

Накопленные отходы переработки угля оказывают масштабное и длительное воздействие на окружающую среду, а под их складирование изымается большое количество земельных ресурсов, поэтому решение проблем накопления и утилизации отходов угольных обогатительных фабрик является ключевой отраслевой задачей. В рамках её решения рассматривается возможность отказа от повсеместно применявшейся технологии гидронамыва в пользу селективной укладки частично обезвоженных с помощью вакуумных фильтр-прессов отходов флотации и гравитационного обогащения в отвалы. Это обуславливает необходимость изучения отходов углеобогащения с целью исследований механизма формирования их свойств и разработки рекомендаций по контролю поведения техногенных массивов с учётом процессов техногенеза при формировании «сухих» отвалов углеобогачительных фабрик. Следовательно, проблема разработки инженерно-геологического обоснования размещения отходов углеобогащения в отвалах является актуальной.

### **Степень разработанности темы исследования**

Вопросами инженерно-геологического и геомеханического изучения отвальных сооружений занимались А. М. Гальперин, Р. Э. Дашко, М. Е. Певзнер, В. Г. Зотеев, А. В. Киянец, О. Ю. Крячко, С. П. Бахаева и др. Вопросы напряженно-деформированного состояния массивов, сложенных техногенными породами, изучались А. М. Гальпериным, Г. Т. Трунковой, П. Л. Ивановым, Ю. И. Кутеповым, Н. А. Кутеповой, Г. Л. Фисенко, А. В. Жабко, В. В. Мосейкиным, П. С. Шпаковым, В. В. Ческидовым и др.

Результаты изучения физико-механических свойств различных типов отходов с точки зрения вторичного использования представлены в работах Е. Н. Огородниковой, Ю. М. Лычко, В. П. Якунина, М. Я. Шпирта и Н. Н. Розанова.

Несмотря на исследование вопроса размещения техногенных отложений, задаче изучения формирования и изменения свойств отходов углеобогащения, складированных в насыпных отвалах, уделено недостаточно внимания.

**Объект исследований** – отходы гравитационного и флотационного обогащения угля.

**Предмет исследований** – генезис техногенных пород, образующихся из отходов углеобогащения, и механизм формирования их свойств в процессе селективного складирования в «сухих» отвалах.

**Цель работы** – разработка инженерно-геологического обоснования селективного размещения отходов углеобогащения в отвалах с учётом процессов техногенеза для обеспечения устойчивости и промышленной безопасности накопителей отходов.

**Идея работы.** Учет характера техногенеза отходов углеобогащения позволяет реализовывать их безопасное и эффективное складирование в отвалах, а именно установить

закономерности деформирования массива на основании прогнозируемых эпигенетических изменений техногенных отложений.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения следующих **задач**:

1. Сбор и анализ исследований по вопросам образования, складирования и изучения состава и свойств отходов углеобогащения.

2. Выявление основных факторов, определяющих генезис и характер постгенетических процессов для техногенных пород, формирующихся из отходов углеобогащения при их складировании в «сухих» отвалах.

3. Лабораторные исследования состава, состояния и физико-механических свойств отходов углеобогащения Печорской центральной обогатительной фабрики.

4. Прогноз напряженно-деформируемого состояния «сухих» отвалов угольных обогатительных фабрик в процессе селективного складирования отходов углеобогащения.

5. Разработка рекомендаций по инженерно-геологическому обеспечению безопасного и эффективного складирования отходов углеобогащения в отвалах на основе полученных результатов исследования.

**Научная новизна работы:**

1. Определены факторы и разработана схема техногенеза, которые определяют характер постгенетических процессов для техногенных пород, формирующихся из отходов углеобогащения при их селективном складировании в «сухих» отвалах.

2. Установлены закономерности деформирования техногенных массивов, формирующихся при селективном складировании отходов углеобогащения.

3. Сформулированы научно-методические принципы инженерно-геологического обоснования селективного размещения отходов углеобогащения в «сухих» отвалах.

**Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Теоретически и экспериментально обоснованы процессы формирования физико-механических свойств отходов углеобогащения в зависимости от применяемой на предприятии технологии обогащения и выбранной схемы «сухого» складирования.

2. Обоснованы характеристики физико-механических свойств отходов углеобогащения Печорской центральной обогатительной фабрики для определения рациональных параметров «сухих» отвалов при селективной укладке отходов гравитационного и флотационного обогащения угля.

3. Разработаны рекомендации по обеспечению устойчивости «сухих» отвалов угольных обогатительных фабрик на основании организуемого по результатам численного моделирования комплексного мониторинга их устойчивости.

4. Результаты исследования были использованы при разработке проекта реконструкции обогатительной фабрики в виде экспериментальных данных по исследованию физико-механических свойств отходов углеобогащения, а также рекомендаций по размещению отходов углеобогащения на участке их складирования в рамках деятельности ООО «СПб-Гипрошахт» (акт внедрения от 07.09.2023 от ООО «СПб-Гипрошахт»).

**Методология и методы исследования.** В работе использован комплексный метод исследований, включающий системный анализ научной, нормативно-методической и патентной информации, лабораторные исследования физико-механических и деформационных свойств пород, аналитические методы механики грунтов и численное моделирование напряженно-деформированного состояния массива.

**На защиту выносятся следующие положения:**

1. Обоснование комплекса инженерно-геологических исследований, необходимого для складирования отходов углеобогащения в отвалах, следует производить с учётом разработанной схемы техногенеза, отражающей изменения их состава и физико-механических свойств в зависимости от выбранных технологических схем обогащения и складирования.

2. Нарастивание высоты отвалов угольных обогатительных фабрик при селективном складировании отходов определяется исходным составом отходов, их фильтрационными свойствами, технологической схемой складирования и контролируется развивающимся в массиве избыточным поровым давлением.

3. Инженерно-геологическое обоснование безопасных условий отвалообразования при селективном размещении отходов углеобогащения различного типа в отвалах следует осуществлять на базе разработанной системы прогноза и мониторинга их состояния, включающего инженерно-геологические, гидрогеологические, деформационные и технологические составляющие с привлечением численного моделирования.

**Степень достоверности результатов исследования** обусловлена выбором методологии исследования, базирующейся на доказанных теоретических/практических положениях прикладных, фундаментальных наук, метрологическим обеспечением практических исследований по теме научной работы, применением апробированных научных методов экспериментальных исследований, использованием стандартных методов численного анализа при выполнении расчетов.

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах и конференциях: Всероссийская конференция «Новые идеи

в науках о Земле», МГРИ, Москва, 02-05.04.2019; 70-й студенческий форум Фрайбергской горной академии, 06.06.2019, Фрайберг, Германия; Семинар молодых учёных в рамках 12-го Российско-Германского сырьевого форума, 27.11.2019, Санкт-Петербург; XXVIII Международный научный симпозиум «Неделя горняка», 29.01.2020, МИСиС, Москва; 16-я научно-практическая конференция и выставка «Инженерная и рудная геофизика 2020», 14-18.09.2020, Пермь; XXIX Международный научный симпозиум «Неделя горняка», 25-29.01.2021, МИСиС, Москва.

**Личный вклад автора** заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования; выполнении литературного обзора по теме исследования, проведении основного объема экспериментальных и лабораторных исследований, выполнении численного математического моделирования, анализе и оформлении результатов в виде публикаций и научных докладов.

**Публикации по работе.** Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе в 1 статье - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования (Scopus). Получено свидетельство о государственной регистрации базы данных физико-механических свойств техногенных грунтов.

**Структура работы.** Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, включающего 172 наименования, списка



иллюстративного материала и приложений. Диссертация изложена на 161 страницах машинописного текста и содержит в себе 38 рисунков и 22 таблиц.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, а также изложены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен анализ проблемы накопления и складирования отходов горнопромышленного сектора и анализ изученности вопроса генезиса состава и свойств техногенных пород, формирующихся из отходов углеобогащения. На основании проведенных анализов обоснован выбор объекта и предмета исследований, сформулирована цель и задачи исследования.

**Во второй главе** представлен обзор состояния угольной промышленности в России, изложены данные об объекте исследования, приведена характеристика инженерно-геологических условий складирования отходов. Проанализирована схема обогащения и «сухого» отвалообразования, принятая на объекте исследования. Определены природные и техногенные факторы, влияющие на процесс формирования состава и свойств техногенных пород.

**В третьей главе** обоснована программа проведения лабораторных исследований, изложена методика испытаний, представлены результаты проведенных определений показателей и их интерпретация. Проанализированы изменения физико-механических свойств и деформационных свойств отходов углеобогащения, происходящие в процессе формирования отвалообразования.

**В четвертой главе** представлены результаты геомеханического моделирования напряженно-деформированного

состояния массива, на основании которых обосновывается необходимость осуществления непрерывного контроля состояния и свойств отходов углеобогащения, складированных в отвалах. В разделе описывается схема комплексного мониторинга объекта исследования.

**В заключении** приведены основные результаты и выводы.

Основные результаты исследований отражены в защищаемых положениях.

**1. Обоснование комплекса инженерно-геологических исследований, необходимого для складирования отходов углеобогащения в отвалах, следует производить с учётом разработанной схемы техногенеза, отражающей изменения их состава и физико-механических свойств в зависимости от выбранных технологических схем обогащения и складирования.**

В качестве материала для исследования использованы данные производственного объединения «Воркутауголь», включающего четыре шахты, угольный разрез и Печорскую центральную обогатительную фабрику (ПЦОФ), крупнейшую обогатительную фабрику на европейской части России.

Разрабатываемые с 1942 года месторождения Воркутинского района являются основными по запасам и качеству углей марок Ж, ГЖО и К в Печорском бассейне. Органическая масса угля почти на три четверти состоит из витринита, остальную часть составляет инертинит и семивитринит. Минеральная часть угля представлена глинистым веществом. Вмещающие породы представлены различными типами аргиллитов, алевролитов, реже песчаников. По показателям опасности к самовозгоранию угли относятся к несклонным к самовозгоранию.

На фабрике образуется три типа отходов – крупнообломочные отходы тяжелосреднего обогащения, отходы флотации и шлак сжигания угля для нужд фабрики.

На основе подхода Н. А. Кутеповой для намывных техногенных пород была разработана схема преобразования отходов углеобогащения, складированных селективно в отвалах. Схема отражает последовательность формирования и изменения состояния и свойств изучаемых техногенных пород и зависимость от воздействующих на объект исследования факторов (рисунок 1).

В техногенезе отходов углеобогащения выделяется три этапа: разрушение исходного материала, его перемещение и преобразование, что согласуется с теорией природного литогенеза, сформулированной Н. М. Страховым.

Первый этап техногенеза начинается при добыче угля и реализации углеподготовительных операций. В ходе буровзрывных работ, выемки и транспортировки угольной массы, а также процессов классификации, дробления и усреднения, происходящих на фабрике, полностью завершается подготовка угля к обогащению и обеспечивается верхний предел крупности обогащаемого угля. На ПЦОФ, где обогащаются все классы крупности, обогащение производится тремя машинными классами (крупный +13-75 (100) мм, мелкий - 13+0,5(1) мм и класс 0-0,5(1) мм). В результате тяжелосреднего обогащения, разделения в спиральных сепараторах и флотации выделяется концентрат и различного типа отходы. Механическое обезвреживание отходов завершает этап трансформации материала на фабрике. В результате переработки на Печорской ЦОФ 9,5 млн т угольной массы в год образуется 4 231 тыс. т отходов углеобогащения. С помощью полуколичественного рентгенофазового анализа был определён минералогический состав отходов флотации. Таким образом, в отвал материал попадает

в деструктурированном виде, с большим содержанием глинистой фракции и относительно высокой влажностью, однако состояние отходов позволяет реализовывать схему «сухого» складирования.

Второй этап техногенеза представляет собой преобразование в ходе транспортировки и отсыпки отходов с фабрики в отвал. Отходы самосвалами вывозятся на породный отвал, который отсыпается тремя ярусами высотой 15-30 м. Технология формирования породного отвала предусматривает формирование из крупнообломочного материала транспортных валов для ограничения по периметру секций и размещение в секциях отходов флотации. Главные технологические факторы, влияющие на материал, – это размеры сооружения, способ складирования, интенсивность нагружения. Результатом транспортировки и укладки материала является его стратификация, зависящая от схемы складирования, и его фракционирование, происходящее при отсыпке по склону и при разрушении крупных обломков.

После отвалообразования в техногенных породах происходят диагенетические преобразования, ведущие к формированию свойств техногенных отложений в процессе эксплуатации отвала. Исследования показывают неоднородность свойств массива в вертикальном направлении, а именно изменение пористости и влажности, что связано с длительным процессом уплотнения и консолидации и постоянно возрастающим давлением по мере нагружения. Помимо структурных изменений, техногенные породы подвергаются физико-химическим преобразованиям, выражающимся в коагуляции и агрегации частиц, высвобождении свободной воды, а также окислении угля и обменных процессах глинистых минералов.

Описанная трансформация вещества является частью глобального процесса техногенеза, в результате которого происходит формирование природно-техногенной системы. Процесс техногенеза можно рассматривать по аналогии с процессом природного литогенеза, в результате которого формируются осадочные породы из мобилизованного, перемещённого и изменённого материала. До перемещения отходов в отвал происходит формирование состава и начальных свойств техногенных пород, которые претерпевают изменения после складирования. В последующем, формирование и изменение свойств отходов углеобогащения обуславливается изменением напряжённого состояния при наращивании высоты отвала вследствие увеличения нагрузки в массиве.

**2. Наращивание высоты отвалов угольных обогатительных фабрик при селективном складировании отходов определяется исходным составом отходов, их фильтрационными свойствами, технологической схемой складирования и контролируется развивающимся в массиве избыточным поровым давлением.**

Отходы обогатительной фабрики представлены тремя типами отходов: отходами флотации фильтр-прессового отделения (влажность отгружаемого в отвал материала 24,4%), шлаком с бункеров сушки (влажность 24,1%) и крупнообломочными отходами гравитационного обогащения (влажность 5,6%). Среди отходов углеобогащения наиболее слабой изученностью характеризуются отходы флотации.

Среднее распределение фракций по результатам анализа гранулометрического состава отходов представлены на рисунке 2. По содержанию мелких фракций выделяются отходы флотации со средним диаметром частиц  $d_{50}=0,05$  мм, в то время как у остальных материалов он больше 2 мм. Кроме того, гранулометрический состав породы с фабрики и из существующего

породного отвала отличается, что можно объяснить физическим выветриванием складированного материала, приводящим к дезинтеграции крупных кусков, а также действием вышележащих отходов при наращивании высоты отвала.

Для отходов флотации были выполнены определения коэффициента фильтрации  $k_f$ , который в среднем составил  $10^{-5}$  м/сут, что объясняется гранулометрическим составом материала, близким к суглинистым природным грунтам. Такие значения  $k_f$  означают, что в данном материале возможно возникновение избыточного порового давления, которое может не успевать рассеиваться за период нагружения массива при интенсивном наращивании высоты отвала.

Компрессионные испытания для оценки деформационных характеристик отходов флотации позволяют считать отходы флотации сильносжимаемым материалом.

Результаты выполненных исследований отходов методом одноплоскостного среза по консолидированно-дренированной схеме для каждого отхода в отдельности и для их смеси в пропорции 50/50 показывают, что в обоих случаях прочностные характеристики близки по значениям: сцепление – 27-50 кПа, угол внутреннего трения –  $29^{\circ}$ - $32^{\circ}$  (рисунок 3). При этом значения прочности отходов флотации в нестабилизированном состоянии: сцепление – 1-4 кПа, угол внутреннего трения –  $23^{\circ}$ - $25^{\circ}$ . Таким образом, при отдельном складировании отходов флотации в секциях формируется неоднородная структура массива, свойства которого зависят от интенсивности наращивания высоты отвала.

Для того, чтобы оценить влияние порового давления на прочностные характеристики техногенных пород, были проведены исследования методом трёхосного сжатия. Несмотря на то, что испытания отходов флотации по консолидированно-дренированной схеме показывают высокий показатель угла

внутреннего трения (больше  $30^\circ$ ), что коррелирует со свойствами начальной угольной массы, недренированная прочность отходов флотации в два раза меньше: сцепление близкое к нулю, угол внутреннего трения –  $15^\circ$  (рисунок 4).

Таким образом, при реализации схемы селективного складирования отходов углеобогащения необходимо учитывать, что под действием давления от последующих этапов наращивания сооружения в отходах флотации может возникать поровое давление. Полученные результаты лабораторных испытаний были использованы для создания численной модели напряженно-деформированного состояния проектируемого отвала. Расчёты позволили оценить величины избыточного порового давления, возникающего при интенсивном нагружении массива, спрогнозировать его локализацию и скорость диссипации.

**3. Инженерно-геологическое обоснование безопасных условий отвалообразования при селективном размещении отходов углеобогащения различного типа в отвалах следует осуществлять на базе разработанной системы прогноза и мониторинга их состояния, включающего инженерно-геологические, гидрогеологические, деформационные и технологические составляющие с привлечением численного моделирования.**

Выполняемые на этапе проектирования расчёты устойчивости отвалов на конечном положение могут показывать, что устойчивость откосов, в том числе и ярусов, нагруженных горнотранспортным оборудованием, будет обеспечиваться с коэффициентом запаса не ниже нормативного. При этом результаты лабораторных исследований отходов флотации, отгружаемых с Печорской ЦОФ, и отходов флотации, отобранных на породном отвале фабрики, показали изменение свойств исследуемого материала при складировании в отвал.

В действующих на территории России нормативных документах отсутствует регламентированная методика по организации системы комплексного мониторинга для отвальных сооружений, характеризующихся сложными конструктивными особенностями. К таким сооружениям относятся отвалы, в которых отходы размещаются путём формирования из крупнообломочного материала карт, заполняемых отходами флотации. Деформационное поведение таких отвалов неоднородно, следовательно, возникают сложности в прогнозировании поведения всего массива, особенно при дальнейшем наращивании его высоты.

На основании вышесказанного, с учётом лабораторных исследований свойств техногенных пород, формирующихся из отходов Печорской центральной обогатительной фабрики, предлагается система производства работ по прогнозу и мониторингу состояния объектов складирования отходов углеобогащения (рисунок 5) в рамках общей схемы инженерно-геологического обеспечения складирования отходов углеобогащения.

Предложенная система подразумевает анализ напряженно-деформированного состояния массива с помощью численной геомеханической модели, учитывающей деформационное поведение материала и калибруемой на основании актуальных данных мониторинговых наблюдений.

На основе результатов лабораторных исследований свойств отходов была разработана численная модель объекта (рисунок 6).





Рисунок 6 – Расчётная схема отвала для заключительного этапа отвалообразования

Расчёт устойчивости отвала с учётом процессов консолидации показывает, что при интенсивном наращивании высоты сооружения в слабопроницаемых отходах углеобогащения, находящихся в нижних частях отвала, может формироваться избыточное поровое давление, которое замедляет консолидацию массива и оказывает влияние на его устойчивость (рисунок 7). При этом наибольший рост избыточного порового давления, достигающего значений 280 кПа, и наиболее неустойчивое состояние, при котором коэффициент запаса устойчивости  $k_y=1,03$ , характерно для этапа возведения транспортных валов.

Проведённые исследования показывают, что конструктивные особенности отвалов углеобогащения, а именно создание секций, заполняемых тонкодисперсным материалом, обладающим специфическими свойствами, в значительной степени определяют параметры устойчивости. Расчётный срок рассеивания избыточного порового давления в нижнем ярусе отвала составляет 7 лет. Следовательно, при наращивании высоты подобного отвала существует необходимость контроля

процесса рассеивания избыточного порового давления (рисунок 8). Протекание сложных геомеханических процессов в отвалах отходов углеобогащения также доказывает необходимость создания расширенной сети мониторинга для обеспечения непрерывного контроля состояния и свойств массива, оценки интенсивности протекающих процессов и предупреждения возникновения неблагоприятных ситуаций. Состав мониторинговых мероприятий определяется как особенностями объекта, так и развитием и доступностью современных технологий.

Реализация работ на основе предлагаемой системы инженерно-геологического обеспечения складирования отходов углеобогащения позволяет обосновывать мероприятия, повышающие уровень безопасности в период функционирования отвала при наращивании высоты сооружения.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертации предлагается решение научной задачи по обеспечению эффективности селективного размещения различного типа отходов углеобогащения в «сухих» отвалах.

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы и рекомендации:

1. Определены факторы, влияющие на процесс формирования состава и свойств образующихся в результате обогащения угля техногенных пород, среди которых химический и минералогический состав обогащаемой породы, применяемая схема обогащения, конструктивные особенности отвала, а также параметры нагружения.

2. Уточнены представления о процессе техногенеза пород, формирующихся из отходов углеобогащения, включающий этапы образования материала, его перемещение и изменение. Обосновано, что до складирования отходов в отвал

формируются состав и начальные свойства, которые претерпевают изменения после складирования, где основным фактором преобразований пород является давление.

3. На основании лабораторных исследований выявлены отличия свойств и поведения исследованного материала и природных образований. Обосновано, что при изучении свойств отходов углеобогащения, складированных селективно, основное внимание должно уделяться отходам флотации в связи с большой вероятностью развития избыточного порового давления.

4. На основании построенной численной модели формирования «сухого» отвала и изучения свойств отходов углеобогащения выполнен прогноз напряженно-деформированного состояния техногенного массива и его деформаций.

5. Разработано инженерно-геологическое обоснование безопасного и технически эффективного селективного размещения отходов углеобогащения в «сухих» отвалах, основанное на организации комплексного мониторинга объекта.

6. В качестве перспектив развития исследований по теме диссертации рассматривается применение предложенного подхода при размещении других типов отходов в отвалах, в особенности отходов флотации, подвергаемых обезвоживанию.

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Публикации в изданиях из Перечня ВАК:*

1. Поспехов, Г. Б. Обоснование методологии мониторинга состояния объектов складирования отходов углеобогажительных предприятий // Г. Б. Поспехов, **В. Н. Кондакова**, Н. А. Кутепова // Маркшейдерия и недропользование. – 2022. – № 5. – С. 59–63.

2. Kutepova, N.A. Specificity of properties of coal processing waste regarding their storage / N. A. Kutepova, V. V.

Moseykin, V. N. Kondakova, G. B. Pospikhov, A. I. Straupnik. // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2022. – № 12. – P. 77–93.

*Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:*

3. Iavid, E.I. Diversity and main properties of soils of the Gronfjord area (Svalbard archipelago) / E. I. Iavid, **V. N. Kondakova**, V.I. Polyakov, E. V. Abakumov // Czech Polar Reports. – 2018. – Vol. 8 – P. 43–59.

*Публикации в прочих изданиях:*

4. **Kondakova, V. N.**, The Comparison of the Russian and Foreign Mining Wastes Classification Systems / V. N. Kondakova, A. A. Pomortseva, G. B. Pospikhov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – 2021. – № 666(5). – 7 p.

5. **Kondakova, V. N.** Dependence between the parameters of storage of artificial soils from their specific properties / V. N. Kondakova, G. B. Pospikhov // Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues. – 2020. – PP. 11–17.

6. **Kondakova, V. N.** Analysis of the Problem of Classification of Mining Wastes / V. N. Kondakova, A. A. Pomortseva, G. B. Pospikhov, K. V. Pankratova // Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics 2020. – Vol. 2020. – P. 113–121.

7. **Кондакова, В. Н.** Влияние специфических свойств техногенных грунтов на параметры складирования / В. Н. Кондакова, Г. Б. Поспехов // «Новые идеи в науках о Земле» – Москва: РГГРУ им. С. Орджоникидзе. – 2019. – С. 139-141.

*Свидетельство:*

1. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021622924 Российская Федерация. База данных физико-механических свойств техногенных грунтов № 2021622924 : заявл. 26.11.2021 : опубл. 13.12.2021 / **В. Н. Кондакова**, П. В. Иванов, Г. Б. Поспехов; правообладатель : СПГУ

Этап	Содержание этапа	Стадия производства	Технологические процессы	Природные процессы	Стадия преобразования
I Разрушение исходного материала	Формирование исходного состава пород	Добыча  Обогащение	Буровзрывные работы Въёмка Дробление Грохочение Гравитационное обогащение Флотационное обогащение Сгущение Сушка	Механическое и химическое преобразование полезного ископаемого  Разрушение горных пород, окисление, гидротация, коагуляция, агрегирование и др. химические процессы	Седиментогенез
II Перенос материала	Формирование состава пород	Транспортировка пород до сооружения	Транспортировка «сухих» пород	Разрушение, сортировка материала Дезагрегация, фракционирование	
III Преобразование материала в горную породу	Формирование состояния и свойств пород в сооружении	Отвалообразование	Создание транспортных валов и карт Заполнение карт кеком Пересыпка яруса породой	Структурирование	Диagenез
				Гравитационное и физико-химическое уплотнение	Катагенез

Рисунок 1 – Схема техногенеза отходов углеобогащения, складированных «сухим» способом

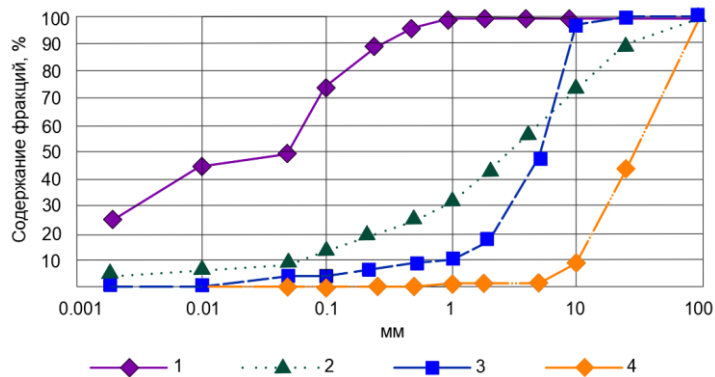


Рисунок 2 – Кривые гранулометрического состава отходов углеобогащения с фабрики (1 – отходы флотации; 2 – отходы тяжелосреднего обогащения; 3 – шлак) и проб грунта существующего породного отвала – 4.

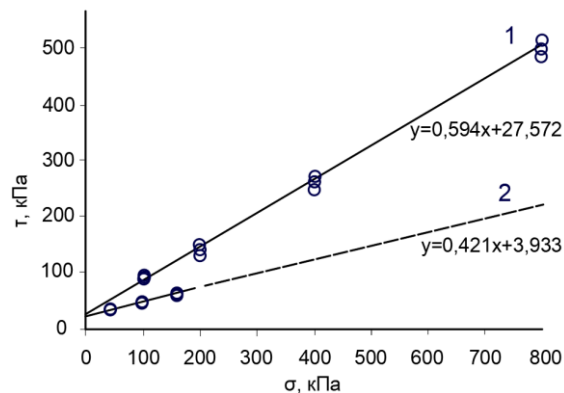


Рисунок 3 – Результаты испытаний отходов флотации на одноплоскостной срез: 1 – консолидированно-дренированный; 2 – неконсолидированный

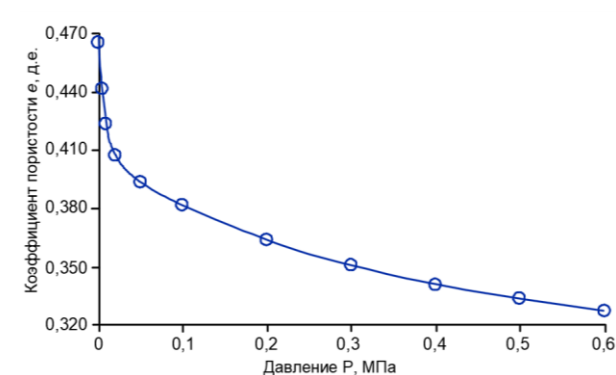


Рисунок 4 – Компрессионная кривая испытаний отходов флотации

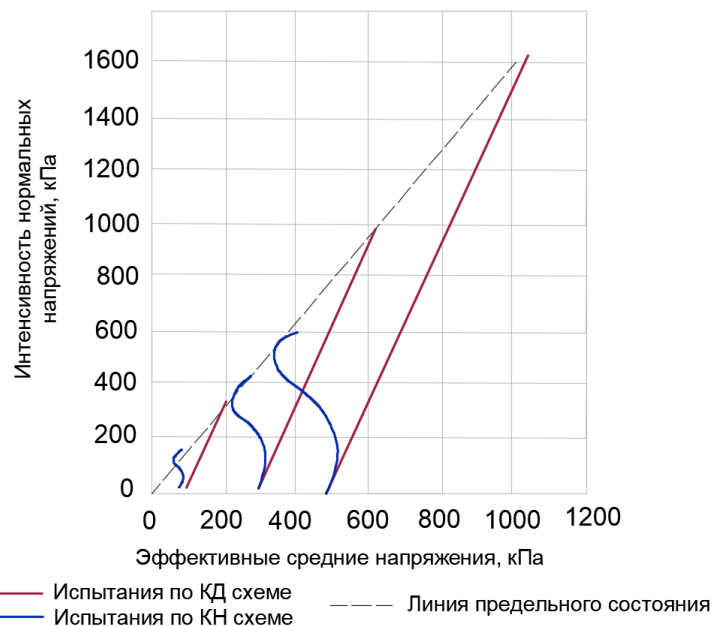


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности нормальных напряжений от средних эффективных напряжений по результатам испытаний отходов флотации методом трёхосного сжатия по КН и КД схемам

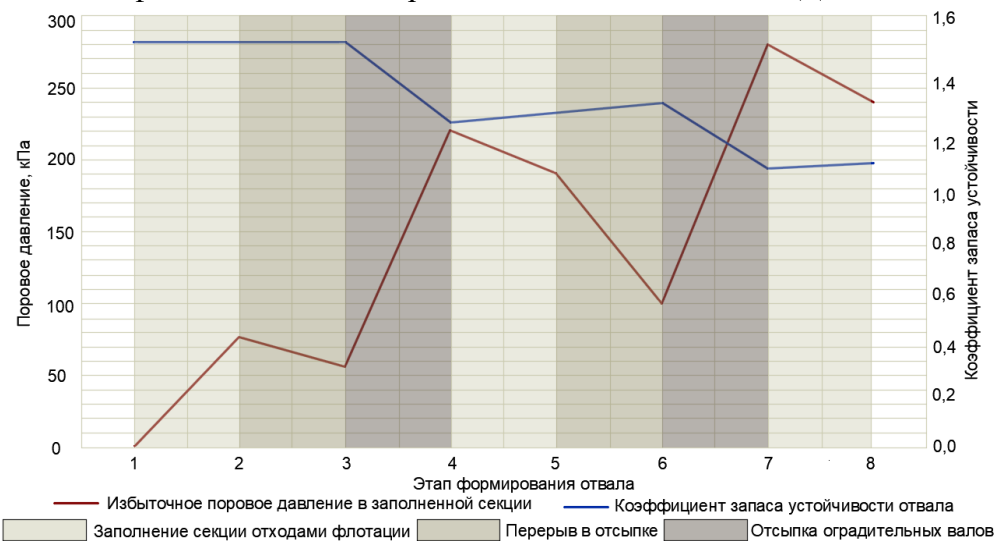


Рисунок 7 – Изменение значений коэффициента запаса устойчивости в зависимости от величины избыточного порового давления



Рисунок 5 – Схема производства работ в рамках мониторинга состояния отвалов для складирования отходов углебогачения

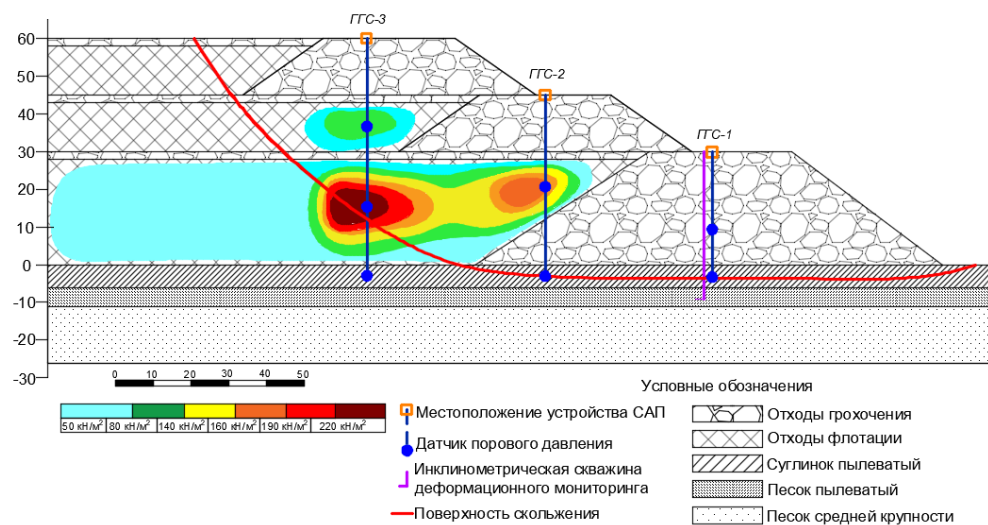


Рисунок 8 – Схема наблюдательных скважин для контроля развития избыточного порового давления