

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

«Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи

ВАСИЛЬЕВА Анастасия Дмитриевна

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
УСТОЙЧИВОСТИ ВЫСОКИХ ОТВАЛОВ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА**

Специальность 25.00.16 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая
геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
профессор Ю.И. Кутепов

Санкт-Петербург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА ОЦЕНКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА	9
1.1 Характеристика внешнего отвалообразования на угольных разрезах Кузбасса	9
1.2 Геодинамические процессы при формировании отвалов	17
1.3 Состояние изученности вопроса инженерно-геологического обеспечения устойчивости внешних отвалов.....	26
1.4 Выводы по главе 1	35
ГЛАВА 2 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА.....	37
2.1 Анализ факторов, определяющих устойчивость отвалов	37
2.2 Горно-геологическая характеристика угольных месторождений Кузнецкого угольного бассейна, разрабатываемых открытым способом	39
2.3 Инженерно-геологические условия отвалообразования на угольных разрезах Кузбасса.....	48
2.4 Гидрогеологические условия Кузбасса и влияние гидродинамических факторов на устойчивость отвалов	57
2.5 Типизация условий устойчивости высоких отвалов угольных месторождений Кузбасса	61
2.6 Выводы по главе 2	69
ГЛАВА 3 ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ ВЫСОКИХ ОТВАЛОВ КУЗБАССА.....	72
3.1 Техногенез отвальных пород и характеристика объектов диссертационного исследования	72

3.2 Инженерно-геологическая характеристика объектов диссертационного исследования	77
3.3 Изучение прочностных свойств техногенных пород отвалов угольных разрезов Кузбасса	101
3.4 Изменение фильтрационных свойств техногенных пород при увеличении высот отвалов и условия формирования в массивах водоносных горизонтов	113
3.5 Выводы по главе 3	120
ГЛАВА 4 ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВ НЕОГЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ПОРОД ЕСТЕСТВЕННОГО ОСНОВАНИЯ ВЫСОКИХ ОТВАЛОВ	123
4.1 Теоретический анализ техногенного преобразования естественных пород в основании высоких отвалов	123
4.2 Изменения прочностных свойств неоген-четвертичных глинистых пород при нагружении	127
4.3 Образование и рассеивание избыточного порового давления в основаниях отвалов, сложенных слабыми глинистыми отложениями	137
4.4 Выводы по главе 4	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	157
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	160
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	161
ПРИЛОЖЕНИЕ А Рекомендации по ведению отвалообразования, прогнозу характерных гидрогеомеханических процессов в техногенных массивах и их основании	176
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акт внедрения результатов работы	186

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Интенсификация открытого способа разработки угольных месторождений в РФ сопровождается возрастанием объемов перемещаемых в отвалы вскрышных пород. Только в Кузбассе в 2018 году для обеспечения открытой добычи 165,8 млн тонн угля в отвальные горнотехнические сооружения было перемещено порядка 1,8 млрд тонн пустой породы, для чего потребовалось дополнительно изъять из сферы сельского и лесного хозяйства 1500-2000 га земли [1]. Ужесточение экологических требований по размещению отходов горных производств приводит к образованию дефицита площадей под отвалообразование. Особенно остро данная проблема проявляется в районах длительной и интенсивной разработки угольных месторождений, где ближайшие к горным выработкам площади уже заняты отвалами и другими инфраструктурными объектами. Одним из путей ее решения является увеличение емкости и высоты существующих отвальных массивов. Однако на действующих многие десятилетия угольных разрезах региона высоты внешних отвалов в настоящий момент времени достигли 100 м, поэтому дальнейшее их наращивание ведет к формированию сверхвысоких отвальных объектов. На передовых предприятиях бассейна уже приняты в работу проекты 300-метровых отвалов и рассматриваются перспективы дальнейшего увеличения их высот до 500 и более метров [2]. Создание высоких и сверхвысоких горнотехнических сооружений предопределяет постановку различных инженерно-геологических и геомеханических научно-практических задач, без решения которых обеспечить безопасность и технико-экономическую эффективность отвалообразования не представляется невозможным.

Степень разработанности проблемы. Оценке устойчивости отвалов и инженерно-геологическому изучению техногенных массивов посвящены работы Г.Л. Фисенко, В.А. Бабелло, С.П. Бахаевой, А.М. Гальперина, Р.Э. Дашко, А.В. Жабко, В.Г. Зотеева, О.В. Зотеева, И.П. Иванова, Ю.Н. Кириченко, А.В. Киянца, Ю.И. Кутепова, Н.А. Кутеповой, В.В. Мосейкина, С.И. Протасова, Е.В. Сергиной, В. В. Чес-

кидова, П.С. Шпакова и др. [3-13]. Среди зарубежных авторов, занимавшихся вопросами устойчивости откосов, можно выделить исследования N. Morgenstern, E. Spenser, S. Sarma, N. Janbu, H. Klapperih, N. Tamashkovich [116-118]. Следует отметить, что выполненные ранее исследования практически не рассматривали отвалы более 100 м. Однако участвовавшие в последние годы аварии при формировании высоких отвальных сооружений, сопровождающиеся большими экологическими и экономическими ущербами, а иногда и человеческими жертвами, свидетельствуют о недостаточной изученности инженерно-геологических условий данных объектов и геомеханических процессов, протекающих в них.

Предметом исследования являются физико-механические и фильтрационные свойства техногенных и естественных пород природно-технических систем (ПТС) «отвал-основание», процессы, определяющие их формирование, а также факторы, влияющие на устойчивость высоких отвалов.

Объектами исследования являются проектируемые и эксплуатируемые высокие и сверхвысокие отвальные сооружения открытой разработки угольных месторождений Кузнецкого бассейна.

Целью работы является изучение инженерно-геологических условий формирования высоких отвалов на разрезах Кузбасса для обеспечения их устойчивости и промышленной безопасности.

Задачи исследования:

1. Анализ и систематизация данных о инженерно-геологических и гидрогеологических условиях внешних отвалов Кузбасса.
2. Разработка типизации внешних отвалов угольных месторождений Кузбасса для обоснования их устойчивости.
3. Изучение влияния природных и техногенных факторов на прочностные и фильтрационные свойства насыпных пород в отвальных массивах.
4. Изучение закономерностей изменения прочностных свойств и напряженного состояния неоген-четвертичных отложений в основаниях высоких отвалов.

Идея диссертационной работы заключается в использовании при обосновании параметров высоких отвалов предложенной инженерно-геологической типизации, выявленных закономерностей изменения прочностных и фильтрационных свойств техногенных и естественных пород при увеличении высоты отвалов, а также установленных гидродинамических и гидрогеомеханических процессов в природно-технической системе «отвал-основание».

Научная новизна заключается в следующем:

1. Установлены закономерности изменения гранулометрического состава, прочностных и фильтрационных свойств техногенных отложений отвальных массивов, сформированных из вскрышных углевмещающих пород различного возраста, степени литификации, исходной прочности, с различным составом межчастичного цемента и соотношением в смесях литологических разностей.

2. Выявлены закономерности изменения прочностных свойств глинистых отложений неоген-четвертичного возраста в основаниях высоких отвалов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Обоснование параметров отвалов следует производить с учетом предложенной инженерно-геологической типизации, учитывающей высоту сооружений, возраст, литологический состав и прочностные свойства вскрышных пород, геоморфологические и инженерно-геологические условия основания, гидрогеологическую структуру ПТС «отвал + основание».

2. Увеличение высоты отвалов сопровождается интенсификацией процессов уплотнения с изменением дисперсности, прочности и проницаемости насыпных отложений, что приводит к ухудшению условий устойчивости откосов техногенных массивов за счет уменьшения углов внутреннего трения пород и действия гидродинамических сил от сформировавшегося водоносного горизонта.

3. Дисперсные глинистые отложения различной консистенции в основаниях формируемых высоких отвалов подвергаются процессам консолидации с закономерным изменением прочностных свойств в диапазоне возрастающих нормальных нагрузок до 1,2-1,5 МПа, после чего изменения параметров сопротивления сдвигу не происходит.

Методология и методы исследований. В работе использован комплексный подход к решению задач, включающий системный анализ научной и нормативно-методической литературы, лабораторные и натурные методы исследований физико-механических и фильтрационных свойств, аналитические методы механики грунтов и математическое моделирование напряженно-деформированного состояния (далее – НДС) пород, опытно-промышленные испытания.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Выполнено определение расчетных показателей физико-механических и фильтрационных свойств техногенных и естественных пород высоких отвалов Кузбасса.
2. Обоснованы рекомендации по параметрам, технологии и гидрогеомеханическому мониторингу безопасности формирования высоких отвалов Кузбасса.
3. Разработана типизация условий устойчивости внешних отвалов Кузбасса.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обусловлена сходимостью результатов определения прочностных и фильтрационных свойств пород, отобранных из ПТС «отвал+основание» и полученных при лабораторном моделировании, а также применением современных методов компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния массива, опытно-промышленным внедрением результатов исследований.

Личный вклад автора заключается в постановке и формулировании цели и задач исследования; разработке типизации инженерно-геологических условий внешних отвалов Кузбасса; выполнении инженерно-геологического изучения техногенных отвальных пород и естественных пород основания высоких отвалов; установлении закономерностей изменения прочностных и фильтрационных свойств техногенных пород с ростом нагрузок уплотнения; выполнении расчетов устойчивости отвалов и моделировании НДС природно-технической системы (ПТС) «отвал + основание».

Реализация выводов и рекомендаций работы. Результаты диссертационного исследования использовались при разработке проектов по обоснованию параметров высоких отвалов угольных месторождений ОАО «Кузбассразрезуголь» (акт

внедрения от 11.07.2019 получен от АО «УК «Кузбассразрезуголь») и могут быть использованы АО «СУЭК-Кузбасс», ПАО «КТК».

Апробация работы. Основные результаты диссертационного исследования докладывались на Международных научных симпозиумах «Неделя Горняка» (МГГУ, Москва, 2016, 2017, 2018, 2019 гг.), XVII Международной молодежной научной конференции «СЕВЕРГЕОЭКОТЕХ-2016» (УГТУ, Ухта, 2016 г.), Международном форуме горняков и металлургов (ТУ Фрайберг, Фрайберг, Германия, 2016, 2017 гг.), Международных молодежных научных форумах «Ломоносов» (МГУ, Москва, 2016, 2017 гг.), VIII Международной научно-практической конференции «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: Геомеханическое обеспечение проектирования и сопровождения горных работ» (СПГУ, Санкт-Петербург, 2017 г.), Международном европейском симпозиуме Eurock-2018 (СПГУ, Санкт-Петербург, 2018 г.), X Международной конференции «Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу» (МГТУ им. Г.И. Носова, Магнитогорск, 2019 г.), заседаниях Научного центра геомеханики и проблем горного производства Санкт-Петербургского горного университета.

Публикации. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 9 печатных работах, в том числе 2 статьи в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискания ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), 1 статья в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 130 наименований, изложенных на 186 страницах машинописного текста, содержит 10 таблиц, 52 рисунка, 2 приложения.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ИЗУЧЕННОСТИ ВОПРОСА ОЦЕНКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА

1.1 Характеристика внешнего отвалообразования на угольных разрезах Кузбасса

Уголь входит в тройку основных энергетических полезных ископаемых. В настоящее время, несмотря на общую тенденцию снижения доли добычи угля в мировом секторе энергетического сырья, наблюдается стабильный ежегодный прирост показателей угледобычи на предприятиях России. Так, только за 2018 год было извлечено из недр порядка 470 млн тонн угля (рисунок 1.1), при этом прирост добычи по сравнению с предыдущим годовым периодом составил 5,69% [14]. Плановый рост добычи угля в отрасли является следствием ее реструктуризации и результатом программы развития на период до 2030 года. По данным Министерства энергетики РФ на 01.01.2019 в Российской Федерации функционируют 166 угольных предприятий, в том числе 109 разрезов и 57 шахт.

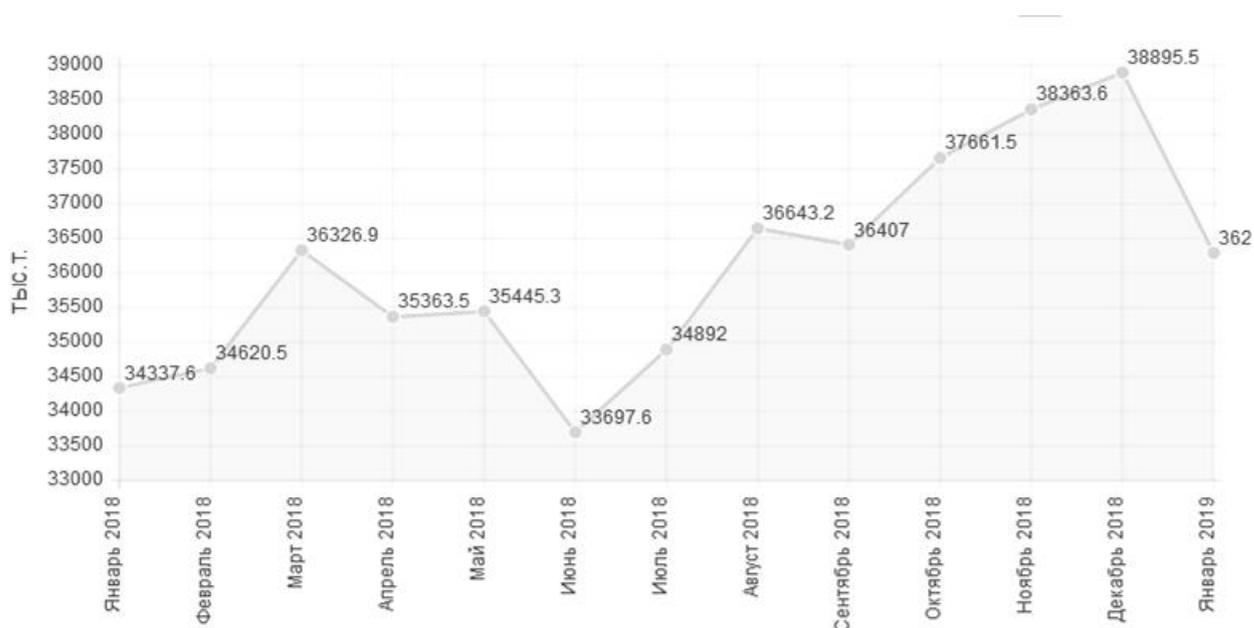


Рисунок 1.1 – Сведения об объемах добытого в РФ угля за 2018 год [14]

Одним из основных регионов в Российской Федерации с развитой угольной промышленностью является Кузнецкий угольный бассейн, где в 2018 году добыто

255,3 млн тонн высококачественного угля, из которых 73,2 млн тонн составляют коксующиеся марки, а 182,1 млн тонн – энергетические. При этом на открытую угледобычу пришлось 165,8 млн тонн угля, что составило 65% от общего объема, извлекаемого из недр твердого топлива. Известно, что при открытой разработке угольных месторождений в Кузбассе на каждую добытую тонну угля попутно извлекается в среднем до 11,0-11,5 м³ пустых пород вскрыши [15]. При таком коэффициенте общий объем вскрыши по региону составил около 1,5 млрд м³. Для его размещения по самым скромным подсчетам потребовалось 1500 - 2000 га земной поверхности.

Перемещение вскрышных пород в отвалы на разрезах Кузбасса в течение всего срока открытой угледобычи, начиная с 1947 года, осуществлялось с использованием автомобильной, железнодорожной, гидравлической и бестранспортной технологий. Соотношение различных способов транспортировки вскрышных пород по годам изменялось в зависимости от различных факторов, одним из главных среди которых являлось наличие определенного горного и горнотранспортного оборудования. В последние годы широкое распространение получила транспортировка пород в отвалы автомобилями, доля которых к 2018 году в общем объеме достигла 97,3 %. Другие способы транспортировки вскрышных пород продолжают присутствовать в технологии открытой угледобычи, в основном, номинально, составляя для железнодорожного транспорта - 0,6 %, гидравлического - 0,3 % и бестранспортной схемы - 1,8 %. Таким образом, основной объем пустой породы на разрезах Кузбасса перемещается до отвала автотранспортом, а основным типом отвальных горнотехнических сооружений являются внешние отвалы, занимающие в регионе значительные площади [16].

Внешние отвалы на угольных предприятиях представляют собой техногенные массивы, геометрически, напоминающие усеченные конуса неправильной формы, зависящей от рельефа земельного участка их расположения. Они характеризуются площадью, высотой, результирующими углами откосов и емкостью. Многоярусные отвалы кроме того характеризуются количеством и высотами отдельных ярусов, углами их откосов и шириной межъярусных берм. Анализируя

геометрические параметры отвальных горнотехнических сооружений региона следует отметить, что по площади отдельные отвалы могут быть от первых десятков до нескольких сотен гектар, их высоты изменяются в достаточно широких пределах, составляя для одноярусных 15-60 м, а для многоярусных – 40-180 м, соответственно при углах откоса яруса от 32° до 40° (среднее 37°) и результирующих углах откосов от 12° до 26°. Емкости отвалов также варьируют в широких пределах в зависимости от высоты и занимаемой площади. Так, на Южные и Восточные отвалы разреза Талдинский при проектных высотах 250 и 300 м характеризуются площадями 800 и 600 га и ёмкостями исчисляемыми 2,06 и 1,57 млрд м³ соответственно [17].

Коэффициент запаса устойчивости откосов отвала зависит от различных факторов. К ним можно отнести как технологические: результирующий угол откоса, высота отвала, так и природные: литология вскрышных пород и их соотношение, инженерно-геологические и гидрогеологические условия и прочее. Подробный анализ влияния различных факторов, определяющих устойчивость высоких отвалов приведен в главе 2. Геологическое строение Кузнецкой котловины показывает, что основными литологическими разностями в углевмещающей толще являются песчаники и алевролиты. Известно, что их соотношение неодинаково для различных по возрасту и месту расположения месторождений. Так, для Кедровско-Крохалевского месторождения, приуроченного к северной части Кузбасса и разрабатывающего отложения балахонской серии нижней перми, доля песчаников и алевролитов составляет соответственно 80 % и 20 %, для Бачатского, расположенного в центральной части Присалаирской зоны складчатости, процентное содержание указанных разновидностей соответственно составляет 57-66 % и 20-28 %. В южной части бассейна - Прокопьевско-Киселевском районе, в балахонской углевмещающей толще отмечается примерное равенство песчаников и алевролитов. Рассмотренные отложения балахонской серии, отработывающие угли марок СС и К, характеризуются высокой степенью литификации, выражающейся в наличии карбонатного и карбонатно-сидеритового цемента, а также дополнительными вторичными спайками цемента с минеральным зерном, что отражается в повышенных, в

рамках региона, показателях прочности. Кольчугинские отложения верхней перми менее литифицированы, имеют в основном глинистый цемент и меньшую прочность. К ним приурочены угли марок Д и Г. В пределах региона также отмечается определенная зональность в соотношениях содержания во вскрышной толще песчаников и алевролитов, менее выраженная, чем для балахонских отложений. Для Ерунаковского геолого-экономического района, расположенного в центральной части бассейна, характерно значительное преобладание алевролитов над песчаниками. В изученных толщах углевмещающих пород кольчугинской и балахонской серий присутствуют в незначительном количестве (до 5 %) аргиллиты и углистые аргиллиты. Кроме того, перекрывают вскрышную толщу иногда значительные по мощности неоген-четвертичные отложения. Ранее они разрабатывались либо средствами гидромеханизации, либо перемещались в отвалы вместе с основными литологическими разностями. В последнем случае их доля в общем составе техногенного массива зависит от мощности неоген-четвертичной толщи пород в пределах горного отвода месторождения и может достигать 30 % [16, 18].

Основанием внешних отвальных сооружений служит повсеместно распространенный чехол неоген-четвертичные слабых глинистых отложений. Их мощность в пределах изучаемых районов изменяется от первых метров до 80 м, а в некоторых случаях до 100 м. Рельеф Кузнецкой котловины и напрямую связанная с ним мощность покровных отложений была условно разделяется на три зоны: северную, центральную и южную [16]. Первая зона характеризуется мощностью неоген-четвертичных отложений 10-40 м и углами наклона основания от 0° до 8°. Наибольшая мощность четвертичных отложений 30-80 м, а местами и до 100 м, отмечается во второй зоне, где наклона основания практически не наблюдается (0-3°). На юге региона отвальные сооружения размещают преимущественно на склонах до 12°, при этом мощность покровных отложений составляет 5-20 м.

В литологическом отношении пород верхней части разреза представлены, в основном, пылеватыми суглинками, иногда глинами и супесями. По генезису они в большей степени делювиально-пролювиальные и аллювиальные. Верхняя часть

разреза сложена эоловыми лессовидными суглинками, а нижняя - элювием (кора выветривания).

Большая мощность неоген-четвертичных пород предопределила необходимость использования средств гидромеханизации на начальных этапах освоения угольных месторождений. Первый опыт применения гидромеханизации был получен на разрезе «Бачатский» с 1951 года с первоначальным годовым объемом гидровскрыши 31 тыс. м³. Впоследствии подобная практика распространилась на весь регион и уже через 17 лет был достигнут максимальный годовой объем 27,25 млн м³. В последующие годы наблюдается постепенное закрытие участков гидромеханизации, что связано практически с полным удалением четвертичных пород на ряде полей разрезов и отсутствием земель, пригодных для строительства гидроотвалов. В настоящее время данный способ применяется на разрезе Моховский, где на двух полях осуществляется гидромониторный смыв неоген-четвертичных пород, и разрезе Кедровский для удаления намывного массива ранее намытого гидроотвала №3. За все время использования гидромеханизационного способа в регионе произведены гидровскрышные работы по удалению более 1 млрд м³ пород с размещением в 60-ти гидроотвалах преимущественно овражного и балочного типа, реже с трехсторонним и четырехсторонним обвалованием, кроме того семь сооружений размещены в старых горных выработках. По высоте намывные сооружения относятся к различным классам, от низких (до 10 м) до высоких (свыше 30 м). Самым высоким гидроотвалом в Кузбассе и вторым по высоте в России является гидроотвал «Бековский», намытый до высоты 76 м. Площади сооружений варьируют от 6 до 765 га, емкости – от 4 до 200 млн м³. Наиболее значительными параметрами среди них обладает гидроотвал на реке Еловка, площадь, высота и емкость которого составляют соответственно 55 м, 765 га и 200 млн м³.

После вывода гидроотвалов из эксплуатации их поверхности остаются длительное время недоступными для рекультивационного оборудования, поэтому наиболее целесообразно их использовать для размещения сухих отвалов. На разрезах Кузбасса отвалообразование на намывном основании начало проводиться с 70-го года и к настоящему времени на более чем 40 гидроотвалов в разные периоды

использовались или используются в качестве основания отвальных массивов. Одним из ярких примеров является один из крупнейших в Кузбассе в свое время гидроотвал "Сагарлыкский", чья площадь на момент ликвидации составляла 600 га. За период с 1975 года по настоящее время на гидроотвале уложено более 300 млн м³ вскрышных пород, интенсивность отвалообразования при этом составляет в последние годы 25-30 млн м³ в год. С 2014 года отвал формируется на гидроотвал на реке Еланный Нарык с годовым объемом около 9 млн м³, а в 2018 году на гидроотвале на реке Прямой Ускат, площадь которого около 230 га, начато формирование сухого отвала с интенсивностью до 30 млн м³.

Анализ современного положения отвальных работ в регионе не выявляет никакой региональной закономерности в формировании техногенных массивов. Согласно действующей нормативной базе для каждого отвального сооружения разрабатывается проект, однако, как показывает практика, при этом практически никогда не учитывается опыт подобных работ других предприятий, в аналогичных горно-геологических и инженерно-геологических условиях.

На рисунке 1.2-1.5 представлены зависимости, полученные на основании данных анализа проектных и фактических параметров внешних отвалов АО "УК "Кузбассразрезуголь" (месторождения Талдинское, Бачатские, Кедровское, Вахрушевское, Моховское, Краснобродское), ОАО "СУЭК-Кузбасс" (разрез Заречный), ОАО "Ресурс" (месторождение Талдинское), ОАО "КТК" (разрез Виноградовский). Сопоставление проектных и фактических параметров отвалов наглядно показывает практически отсутствие связи между высотой и углом внутреннего трения для отвалов месторождений, отрабатывающих пласты балахонской серии, $R^2=0,02$. Даже в рамках одного предприятия наблюдается существенная – более 10 градусов – разница проектных параметров отвалов месторождений в схожих горно-геологических условиях.

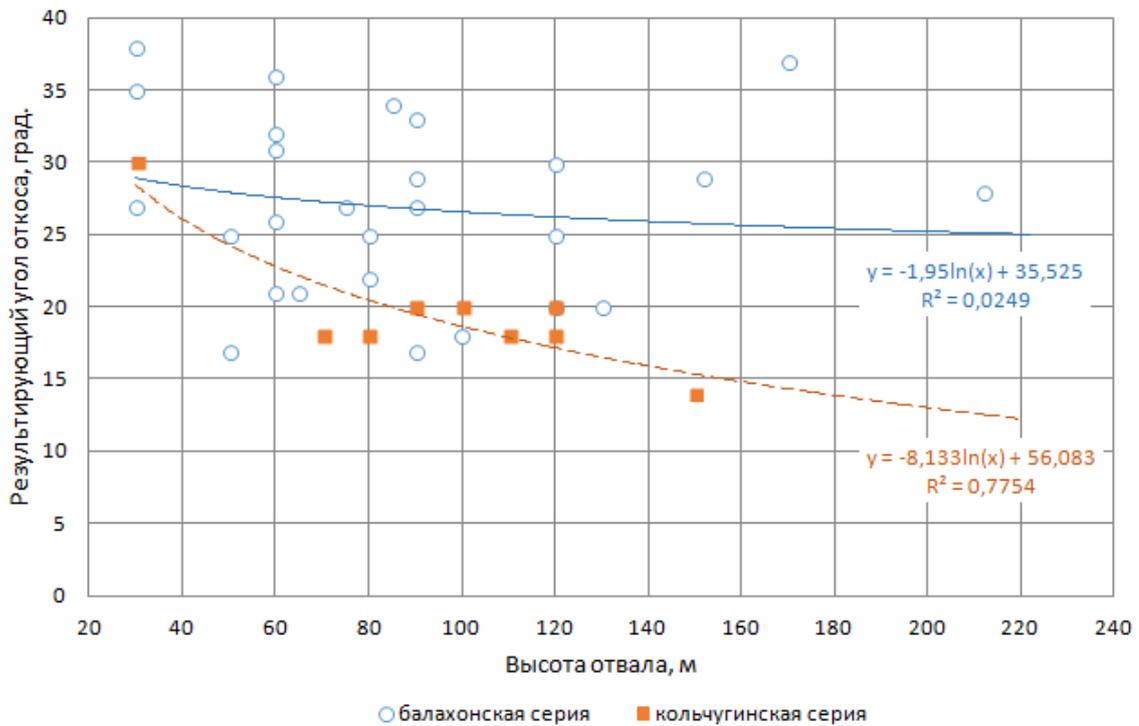


Рисунок 1.2 – Проектные параметры отвалов, сложенных породами балахонской и кольчугинской серий

Для отвалов, сложенных породами кольчугинской серии, корреляция между основными параметрами отвалов прослеживается. Однако и в этом случае, проектные параметры далеки от фактических устойчивых.

При обработке фактических параметров принимались только те сооружения, на которых не проявлялись и не проявляются в настоящее время опасные деформации и, соответственно, не фиксировались оползни. В связи с этим объемы выборок проектных и фактических параметров несколько разнятся, но тем не менее дают общее представление о закономерностях формирования геометрии отвалов в проекте и фактически.

Отвалы пород балахонской серии при высоте до 50 метров формируются, как правило, одним ярусом и имеют результирующий угол откоса соответствующий углу естественного откоса отвальной массы 35-37 градусов. В отсутствии осложняющих факторов: наклонное, слабое, водонасыщенное основание (естественное, либо техногенно-образованное) – данная конструкция является устойчивой, коэф-

коэффициенты запаса устойчивости соответствуют нормативным. Проектные параметры при этом имеют гораздо больший разброс: при высоте отвалов 40-50 метров результирующие углы колеблются в диапазоне 17-37 градусов. Очевидно, что с экономической точки зрения, размещение вскрышной массы при таких неоптимальных проектных параметрах влечет за собой убытки.

Наиболее неблагоприятная статистика складывается для отвальных массивов свыше 60 метров - наблюдается значительное, более чем на 15 градусов, расхождение проектных и фактических устойчивых параметров сооружений.

Наиболее близко зависимость изменение проектных параметров описывает логарифмическая зависимость по формуле $y = -1,95 \ln(x) + 35,525$. Фактические устойчивые параметры описываются полиномиальным уравнением $y = 0,0024x^2 - 0,6602x + 54,906$ при коэффициенте корреляции $R^2 = 0,851$.

Такое расхождение свидетельствует о недостаточном изучении гидрогеомеханических процессов в высоких отвалах при их проектировании, что ведет к возникновению опасных деформаций, экологическому и экономическому ущербу.

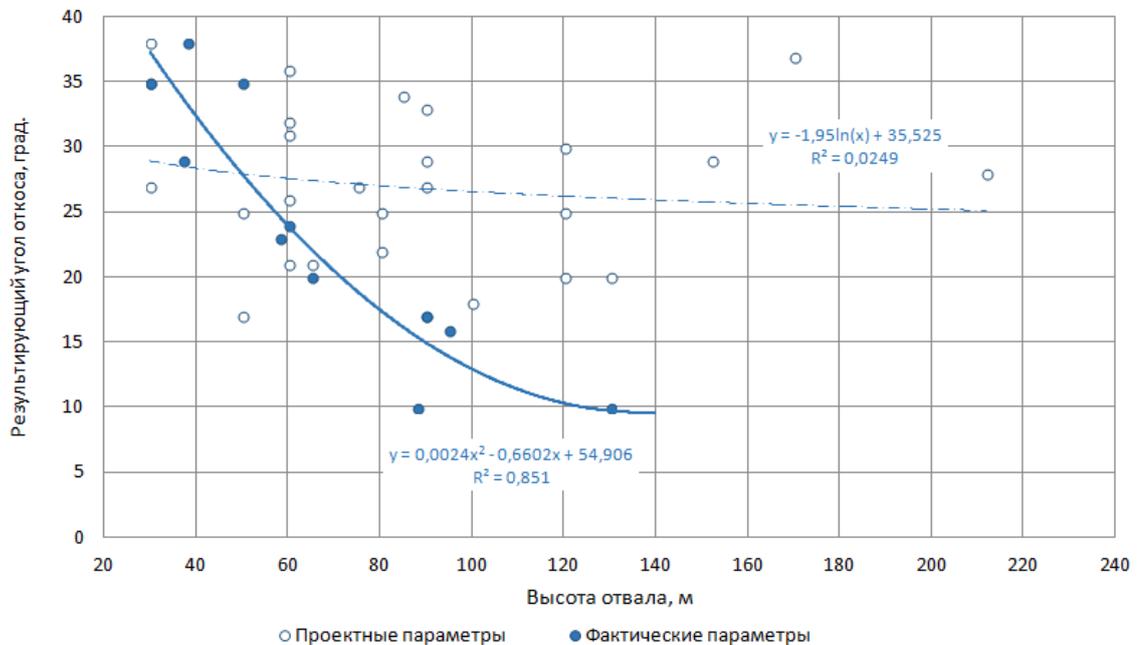


Рисунок 1.3 – Сравнение фактических и проектных параметров отвалов пород балахонской серии

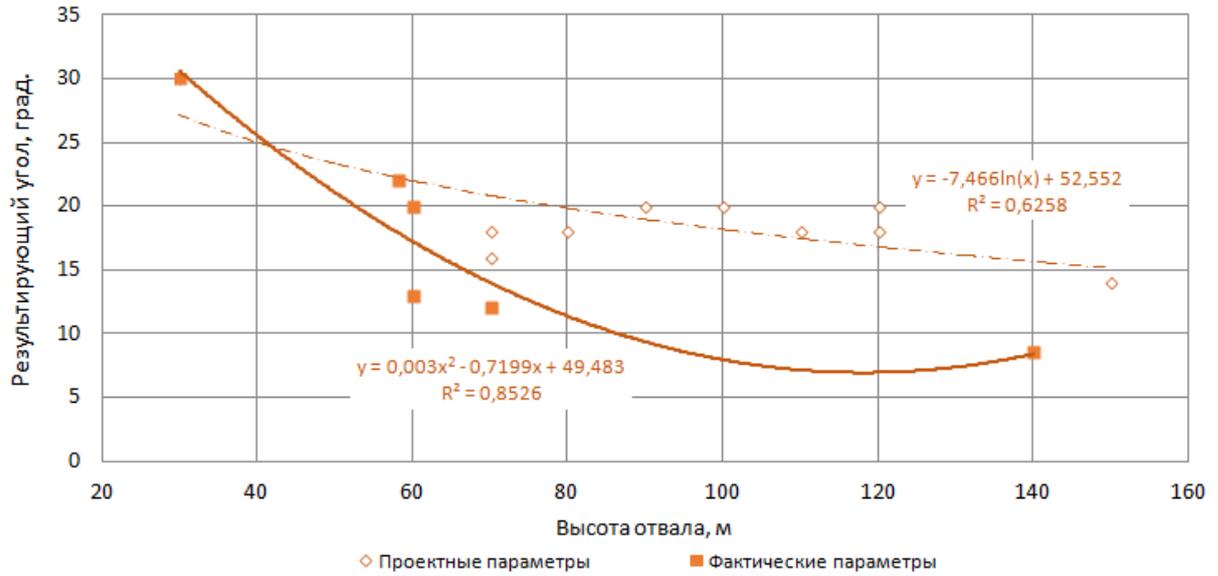


Рисунок 1.4 – Сравнение фактических и проектных параметров отвалов пород кольчугинской серии

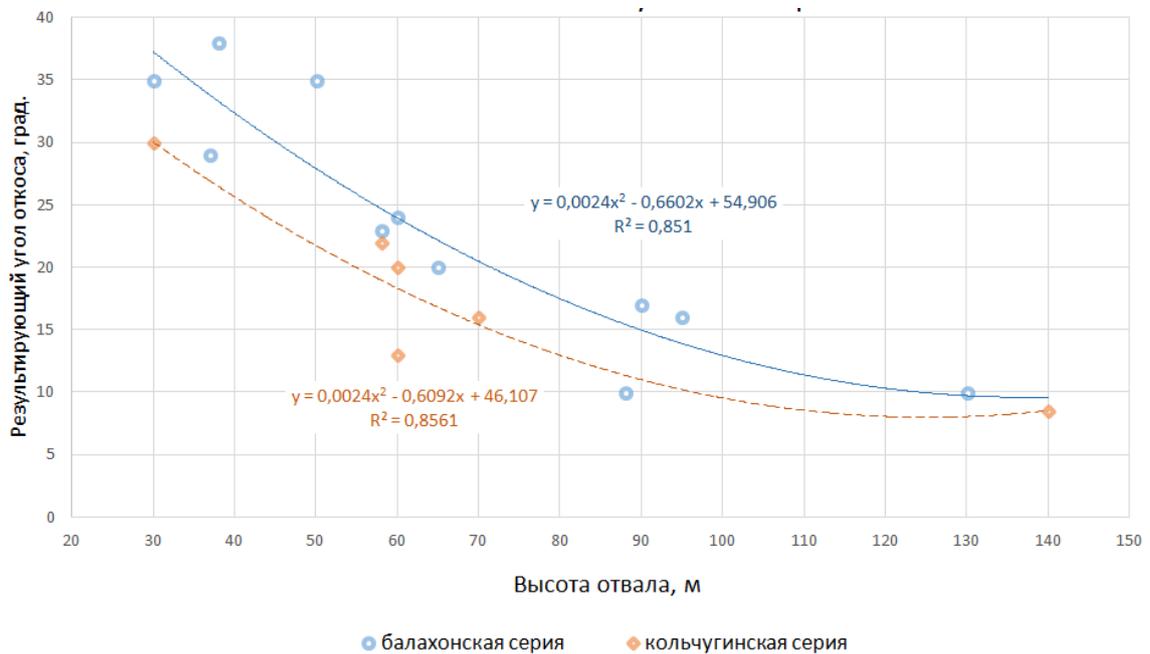


Рисунок 1.5 – Устойчивые фактические параметры отвалов, сложенных породами балахонской и кольчугинской серий

1.2 Геодинамические процессы при формировании отвалов

Формирование любых горнотехнических сооружений, в том числе отвалов, сопровождается геодинамическими процессами и явлениями, существенно ослож-

няющими безопасностью отвальных горных работ, снижающими технико-экономическую их эффективность и представляющими угрозу для окружающей природной среды. Основной причиной их развития является несоответствие геометрических параметров откосов (результатирующего угла и высоты) их инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям, а также применяемых на отвале механизмов и технологий отвалообразования. В некоторых случаях нарушение устойчивости откосов происходит при воздействии на них других техногенных и природных факторов, таких как подработка отвалов подземными горными работами, частичная их отработка открытым способом, подтопление откосов, землетрясения, массовые взрывы и пр. Кроме того геодинамические процессы возникают по вине человеческого фактора при обосновании параметров отвального горнотехнического сооружения. В частности, наиболее частой ошибкой при обосновании параметров отвалов является некорректное назначение расчетных свойств техногенных и естественных пород, как правило, из-за несоответствия напряженного состояния образцов при лабораторном моделировании фактическому в природно-технической системе «отвал+естественное основание».

К деформациям, распространенным на отвальных сооружениях, Г.Л. Фисенко [3] относил: осыпи, обрушения, оползни и оплывины и просадки. Каждый вид характеризуется определенной скоростью развития и объемом вовлеченных масс. Наиболее распространенных на отвалах вид деформаций – оползни – как правило, захватывают большие массивы пород, от тысяч м³ до нескольких десятков млн м³, а период развития оползня составляет от нескольких часов до нескольких лет. Кроме того, существует классификация деформаций по скорости их развития: непрерывные (осадки, осыпи, суффозионное и поверхностное оплывание), происходящие с постоянной скоростью, и циклические (оползни) – с переменной скоростью. Еще одна классификация деформаций определяет положение поверхности скольжения в массиве (рисунок 1.6). Выделяют надподошвенные, подошвенные и подподошвенные оползни.

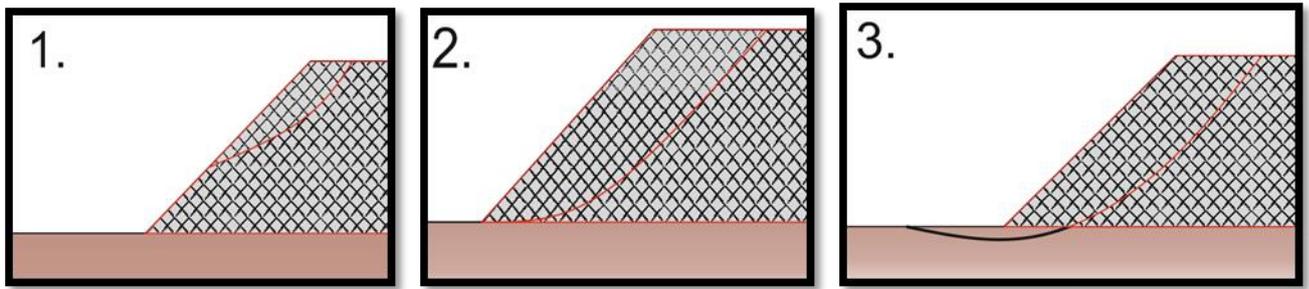


Рисунок 1.6 – Виды оползней на откосах

1 – надподошвенный оползень, 2 – подошвенный оползень, 3 – подподошвенный оползень

Их возникновение определяется конкретными инженерно-геологическими условиями, а именно соотношением прочностных свойств пород отвального массива и его основания. Надподошвенные оползни возникают в случае, когда прочностные параметры отвальной массы ниже прочности пород основания, как правило, первые снижают сцепление в процессе технолитогенеза на последних стадиях, то есть при экскавации и отсыпке в отвал. Поверхность скольжения представляет собой в этом случае плавную круглоцилиндрическую кривую, распространяющуюся с верхней бровки отвала до некоторой точки на откосе. Такой тип оползней на отвалах угольных разрезов связан, как правило, с превышением оптимальной величины результирующего угла откоса. Подошвенные оползни возникают при формировании отвальных сооружений на слоистом или однородном глинистом основании. Подошвенные оползни развиваются при наличии слабого контакта отвального массива в основании, за счет чего могут иметь ломанную поверхность. Третий тип оползней – подподошвенные – противоположно первому типу, развиваются в случае низкой несущей способности основания формируемого отвала, например, слабое глинистое основание с низкими значениями сцепления и угла внутреннего трения; слоистыми породами, содержащими слабые прослои или контакты; при падении слоев в сторону откоса. Такие деформации оползания проходят по слабому контакту в породах основания и сопровождаются значительными осадками верхних ярусов отвального массива.

Наиболее часто на откосах отвалов угольных месторождений проявляется необратимый процесс осыпания, что является закономерным результатом влияния

гравитационных сил, технологического режима (вибрации горнотранспортного оборудования) и климатического фактора (колебание температур, выветривание). Кроме того, все без исключения отвальные массивы Кузбасса подвержены осадкам, вызванными способностью отвальных пород уплотняться при возрастании внешних вертикальных нагрузок. Однако следует отметить, что осадки, несмотря на повсеместную распространенность в пределах отвала, не оказывают существенного влияния на безопасность отвалообразования и технико-экономическую эффективность отвальных работ. Применительно к объектам исследований – высоким отвалам, наиболее негативными процессами в ходе отвалообразования являются оползни, причины, механизм и закономерности развития которых, будут рассмотрены в главе 3. При этом важно понимать, что геодинамические процессы при формировании отвалов будут происходить практически всегда, осложняя в той или иной степени отвальные горные работы, поэтому основной задачей при обосновании параметров высоких отвалов является минимизация их влияния на процессы отвалообразования. Однако сформировавшаяся в Кузбассе тенденция, связанная с увеличением объемов пород – возрастанием высот отвальных горнотехнических сооружений, не всегда укладывается в требование минимизировать развития на отвалах геодинамических процессов и явлений. Ниже рассмотрим некоторые крупные оползни, возникшие на отвалах региона, а также ряд более мелко масштабных с целью показать их многообразие как по механизму развития, так и их морфологии.

Одним из наиболее ярких примеров крупных оползней является деформация на внешнем отвале №1 разреза «Заречный» ОАО «СУЭК-Кузбасс», произошедшая в апреле 2015 года (рисунки 1.7-1.8). Вовлеченными в оползневой процесс оказались 27,5 млн м³ отвальных пород. Техногенный массив до возникновения деформаций характеризовался площадью 94 га, высотой 75-140 м, результирующими углами откоса 10-16 градусов. На отвале велось совместное складирование скальных и неоген-четвертичных глинистых пород в соотношении 60/40 [19].

Инженерно-геологическими исследованиями впоследствии было установлено наличие безнапорного водоносного горизонта, обводняющего техногенный

массив на 40-60 %, что было признано одним из факторов, способствующих возникновению оползневого смещения. Последствиями деформации стали уничтоженная инфраструктура: перекрытие автомобильной и железной технологических дорог, уничтожение ЛЭП, перекрытие реки, вызвавшее подъем воды и подтопление ближайшего населенного пункта. Общий ущерб оценен в 8 млрд рублей.

Другим примером крупной деформации на отвале может служить оползень на внешнем отвале разреза Виноградовский. В декабре 2016 года на северо-восточном участке отвала произошел оползень, вовлекший в деформационный процесс около 50% отсыпанного массива. До начала деформаций отвал характеризовался высотой 150 м, емкостью 93,85 млн м³. Если сопоставить поверхность отвала с рельефом основания сооружения, то отчетливо виден оползневой цирк, в котором движение материала происходит за пределы сооружения на участке выхода из склона системы из двух логов меньшего порядка в долину ручья. В данном месте долина ручья широкая и сложена аллювиальными водонасыщенными отложениями. Оползшие породные массы заняли практически всю долину и остановили свое движение только, когда уперлись в противоположный склон. При этом часть их вниз по рельефу попала в открытую горную выработку на рабочие уступы, где работало горнотранспортное оборудование. Причиной данного явления, по мнению многих специалистов, явилось ухудшение устойчивости внешнего откоса на участке тальвега лога вследствие обводнения тела отвала и наличия в основании слабых обводненных отложений.

Еще один случай крупных деформаций произошел на отвале на борту разреза «Черниговский» ОАО "Черниговец" в декабре 2015 года (рисунок 1.9). Объем оползшей массы составил 1,5 млн м³, под которой, из-за высокой скорости развития деформаций, оказалась техника под управлением людей. В результате была зафиксирована смерть трех человек.

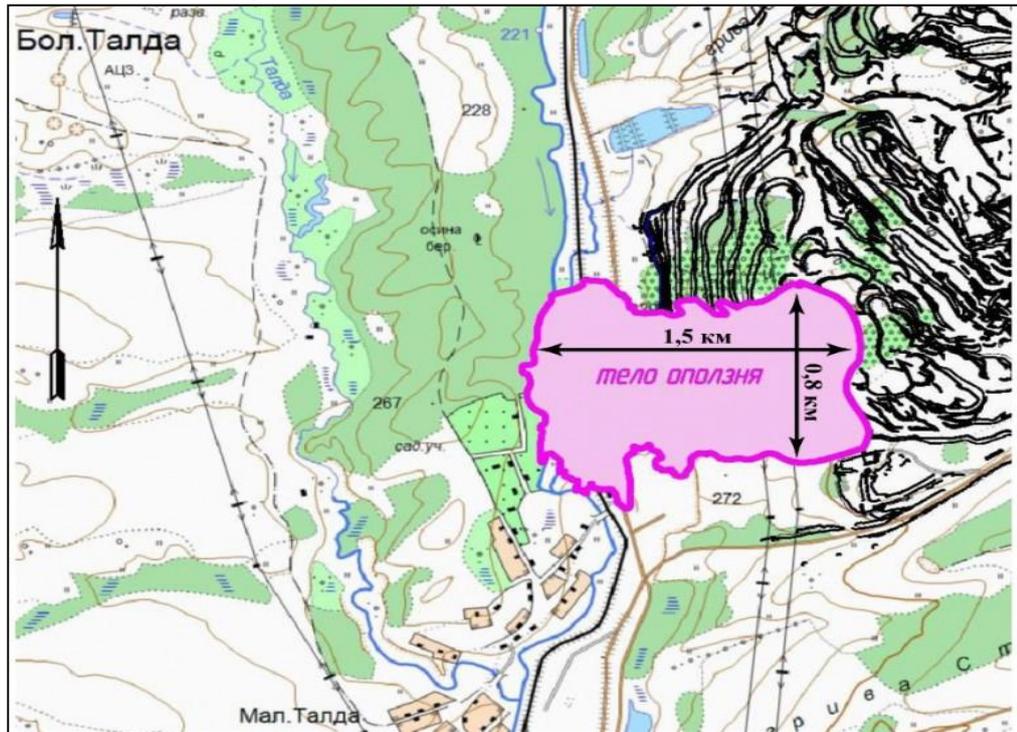


Рисунок 1.7 – Выкопировка аэрофотосъемки внешнего отвала разреза «Заречный» с нанесенными границами зоны деформации [19]



Рисунок 1.8 – Язык оползня, перекрывающий автодорогу, на отвале разреза «Заречный» в апреле 2015 года, кадр видеосъемки

Довольно часто на внешних отвалах в Кузбассе наблюдаются деформации меньших объемов, которые, однако, влекут за собой неблагоприятные последствия в виде нарушения границ земельных отводов. Такие случаи наблюдались, например, на внешнем отвале «Южный» Талдинского угольного разреза (рисунок 1.10), где смещения подверглись нижние ярусы техногенного массива.



Рисунок 1.9 – Завал обрушившихся в выработку пород отвала

Другим примером может служить деформация на Северном отвале Ерунаковского поля Талдинского месторождения (рисунок 1.11), где в конце 2018 года в логовой части техногенного массива на первом отвальном ярусе высотой около 20 метров произошел оползень, который можно квалифицировать как подошвенный или подподошвенный с небольшим заглублением поверхности скольжения в основание. Ширина призмы оползания составила около 20 метров, что подтверждает его образования по типу выдавливания пород основания. Верхние ярусы многоярусного отвала в процесс оползания вовлечены не были. Результирующий угол откоса в момент возникновения оползня составлял 17° , а после стабилизации возникших смещений он выположился до 14° .

Обычно такие оползневые проявления происходят по причине не учета в проекте некоторых природных и техногенных факторов, определяющих устойчивость откосов. В частности, на отвале «Южный» разреза «Талдинский» при обосновании параметров не были учтены гидрогеологические факторы, явившиеся следствием повышенного инфильтрационного питания в течение последних 4 лет. Метеоданные при этом показали увеличение выпадения осадков относительно средних значений по годам для района размещения отвала на 56 и 30 %. Повышенное инфиль-

традиционное питание привело к формированию в теле отвала техногенного водоносного горизонта. В результате обследования участков земной поверхности в непосредственной близости от откоса отвала «Южный» были зафиксированы проявления оползней различных типов, оплываний откосов и фильтрационного выноса с образованием языков оплывания на близлежащих к отвалу территориях. Данные деформации были связаны с воздействием поверхностных и подземных вод в водоносном горизонте, сформировавшемся в техногенном массиве отвала и неучтенном при обосновании параметров сооружения, на его структуру и напряженное состояние.



Рисунок 1.10 – Фотографии натурного обследования деформации на отвале Южный с указанием вала выпирания и языка оплывания

Анализ деформаций на отвале Северный Ерунаковского поля позволяет предположить, что основными причинами возникшего оползня являлись гидрогеологические факторы, подтверждением тому являются сформировавшиеся водоемы вблизи и на поверхности отвала, в которых находится древесная растительность,

не свойственная для произрастания в водоемах (рисунок 1.12) (березы, хвойные деревья).



Рисунок 1.11 – Фрагмент публичной карты с указанием участка деформаций и зон затопления



Рисунок 1.12 – Фотографии натурального обследования участка деформации на отвале «Северный» – затопленные березы, не произрастающие в таких условиях, еще не успевшие почернеть.

Это позволяет сделать вывод о том, что появление воды на отвале произошло недавно, видимо, в процессе его формирования в 2013 – 2018 гг. В данный период

фиксируются интенсивные осадки, о чем свидетельствуют данные Киселевской метеостанции, зарегистрировавшие на 30-56% годовые превышения нормы для данного региона.

Анализируя произошедшие аварии, можно отметить, что основными причинами развития деформаций в подавляющем большинстве случаев являются некорректно обоснованные параметры сооружений, а также неучтенный гидрогеологический фактор. Особое внимание следует заострить на том, что наиболее часто деформационным процессам различных типов подвержены техногенные массивы, в которых складированы породы кольчугинской серии.

1.3 Состояние изученности вопроса инженерно-геологического обеспечения устойчивости внешних отвалов

Отвалообразование вскрышных пород – это один из основных производственных процессов открытых горных работ, “включающий прием и размещение горной массы (вскрышных пород) на специально отведенных площадях при соблюдении безопасных условий труда” [20], промышленной и экологической безопасности, высокопроизводительной работы горного и транспортного оборудования. Обеспечение промышленной и экологической безопасности отвальных работ достигается выполнением определенных работ и исследований, в состав которых входит оценка и прогноз устойчивости откосов отвальных горнотехнических сооружений.

Вопросы обеспечения устойчивости откосов отвалов начали вставать практически сразу с появлением первых отвальных насыпей в связи с развитием на откосах различных геодинамических процессов и явлений: оползней, осадков, оплываний и фильтрационных деформаций. На первых порах данные процессы и явления характеризовались незначительными масштабами и естественно не представляли большой угрозы для расположенных в непосредственной близости населенных пунктов, инфраструктуры и окружающей природной среды. Однако, в дальнейшем, по мере увеличения их высоты и применения для складирования гидравлических технологий масштабы данных процессов и явлений увеличились, приближаясь к

серьезным катастрофам. Следует еще раз напомнить о нескольких крупных оползнях, произошедших в Кузбассе в последние годы (см. раздел 1.2). Формирование и функционирование гидроотвалов вскрышных пород при открытой разработке МПИ существенно ухудшило безопасность отвальных работ за счет появления вероятности нарушения их откосов с образованием гидродинамических аварий, сопровождающихся растеканием водонасыщенного породного материала на значительных территориях. В качестве примера подобной аварии-катастрофы уместно отметить прорыв пульпы в 1961 году из гидроотвала Петровских кирпичных заводов в г. Киеве, расположенного в отрогах печально известного лога Бабий Яр. По самым скромным подсчетам данная авария унесла жизнь более 2000 человек, а также уничтожила здания и сооружения в непосредственной близости от данного отвального объекта.

Решение проблем устойчивости бортов, уступов и отвалов при открытой разработке МПИ посвящены исследования многих научных организаций и учебных институтов. Данные исследования базировались на знаниях, полученных при изучении процессов и явлений на естественных природных склонах специалистами других отраслей геологических знаний, а именно геодинамики, геомеханики, инженерной геологии и гидрогеологии.

Основы геодинамики были заложены еще в 1920-е годы Ф.П. Саваренским, выделившим ее как ведущую часть инженерной геологии. В дальнейшем развитию теории и методик инженерной геодинамики способствовали работы И.В. Попова, Е. М. Сергеева, В. Д. Ломтадзе, Н. В. Коломенского, И. С. Комарова, Г. С. Золотарёва, Г. А. Голодковской, Г. К. Бондарика, И.П. Иванова и др. [21-26].

Интенсификация недропользования, наметившаяся в 50-тые годы прошлого столетия, особенно за счет применения открытого способа разработки рудных и угольных месторождений в СССР и РСФСР, предопределила возникновение новых задач прогнозирования устойчивости откосов горнотехнических сооружений – бортов, уступов, отвалов и гидроотвалов. Открытые горные работы в 50-80 годах появляются при разработке угольных месторождений Кузбасса, Канско-Ачинского бассейна, Иркутской области, Забайкалья, Якутии, Дальнего Востока и Сахалина,

а также интенсифицируются на карьерах Урала – Коркинском, Богословском и др. Пик применения открытого способа разработки отмечается также на предприятиях по добыче железной руды (карьеры КМА, Северо-Западного Казахстана, Кольского и др.), алмазов (трубки Мир, Айхал, Удачная в Якутии), фосфоритов и др. Функционирование карьеров и угольных разрезов сопровождается развитием различных геодинамических процессов на формируемых горнотехнических сооружениях. Для решения возникающих при разработке геомеханических проблем на базе отраслевых институтов создаются специализированные научные коллективы. Так, по инициативе и под руководством Г.Л. Фисенко и В.А. Мироненко для научного изучения и практического решения вопросов устойчивости бортов, уступов, отвалов и гидроотвалов разрезов угольной промышленности, а также их осушения, при институте ВНИМИ в г. Ленинграде формируются специализированные лаборатории – устойчивости бортов карьеров, гидрогеологии и оползней. Результатом их многолетней деятельности явилось подготовка и издание ряда нормативно-методических документов по обоснованию параметров бортов разрезов и отвальных массивов, гидроотвалов и осушению открытых выработок. Проводимы в рамках института исследования:

- определяющие устойчивость бортов карьеров факторы, определенные для различных типов месторождений полезных ископаемых (МПИ);
- разработанные типизации условий устойчивости различных МПИ;
- разработку методов расчета устойчивости откосов;
- разработку расчетных схем по оценке устойчивости бортов карьеров и отвалов;
- мероприятия по обеспечению устойчивости, в том числе, дренаж карьерных полей;
- методику контроля устойчивости горнотехнических сооружений и др.

Наиболее существенным достижением коллектива ВНИМИ было разработка в 1998 году «Правил обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах», утвержденного Госгортехнадзором РФ (новое название Ростехнадзор РФ) в качестве отраслевого нормативно-методического документа [27].

Кроме нормативно-методических документов сотрудниками института подготовлены монографии, научные статьи и диссертации в различных периодических изданиях. Наиболее весомый интеллектуальный вклад в решение проблемы устойчивости откосов горнотехнических сооружений внесли Г.Л. Фисенко, В.А. Мироненко, Б.Г. Афанасьев, Т.К. Пустовойтова, А.М. Мочалов, Э.Л. Галустьян, Ю.И. Кутепов, Ю.А. Норватов, О.Ю. Крячко, Н.А. Кутепова. и др [3, 4, 28-36].

Практически одновременно с ВНИМИ и немного позже вопросами устойчивости бортов и отвалов начали заниматься в других отраслевых, академических и учебных институтах СССР, в частности, в Ленинградском горном институте – Санкт-Петербургском горном университете (А.И. Арсентьев, И.Ю. Букин, Р.Э. Дашко, И.П. Иванов, В.А. Падуков, и др. [37-39]), Московском горном институте – Московском государственном горном университете - МИСиС (В.В. Ржевский, А.М. Гальперин, П.М. Панюков, В.В. Истомина, В.Н. Попов, М.Е. Певзнер и др. [8, 40-42]), Карагандинском политехническом институте (И.И. Попов, П.С. Шпаков и др. [43, 44]), Свердловском горном институте – Уральском горном университете, ИГД имени академика А.А. Скочинского (А.М. Демин и др. [45, 46]), институте ВИОГЕМ (В.И. Стрельцов, А.И. Ильин и др. [47]), ИГД МЧМ г. Екатеринбург (В.Г. Зотеев [48]), Томский инженерно-строительный институт (В.Е. Ольховатенко и пр. [49]).

Специфическим вопросом при открытой разработке МПИ является вопрос устойчивости отвалов и гидроотвалов в связи с тем, что в них складываются вскрышные породы, подверженные предварительному разрушению рабочими органами горных машин, гидравлической струей или взрывами. При этом происходит формирование новых породных образований - техногенных пород, отличающихся от исходных по состоянию и свойствам. Отвальные работы в технологических циклах открытой угледобычи занимает важное место, поэтому любые условия, определяющие устойчивость откосов формируемых массивов, весьма важны и требуют пристального рассмотрения различными специалистами – технологами, инженерами геологами, маркшейдерами и геомеханиками. Среди работы по изучению условий отвалообразования выделяют следующие направления:

1) технология и механизация отвальных и гидроотвальных работ (И.И. Русский, Н.Н. Мельников, К.Е. Винницкий, Н.В. Васильев, Г.А. Нурок, И. Елтанец и др.);

2) геомеханика и инженерная геология насыпных и намывных массивов (Г.Л. Фисенко, В.А. Бабелло, С.П. Бахаева, А.М. Гальперин, А.В. Жабко, Л.П. Загоруйко, И.П. Иванов, Ю.Н. Кириченко, О.Ю. Крячко, Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, Ю.Н. Малюшицкий, В.В. Мосейкин, В.В. Ческидов, П.С. Шпаков и др.).

К первому направлению, посвященному технологии отвалообразования, следует отнести подготовленные институтом «Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах» [50], в которых рассмотрены технологические схемы отвальных и гидроотвальных работ, рекомендованные для использования в угольной отрасли.

Одной из специфических проблем, возникающих на предприятиях, использовавших на определенных этапах гидромеханизацию для удаления вскрышных пород, является размещения на поверхности гидроотвалов отвалов “сухой” вскрыши, т.е. создание сложнейших природно-технических систем «отвал+гидроотвал». Данное мероприятие позволяет разместить значительные объемы вскрышных пород в непосредственной близости от горных выработок разрезов, сократив дальность транспортировки, а также обеспечит рекультивации занятой гидроотвалами поверхности земли, так как без него выполнить данные виды горных работ не возможно из-за низкой несущей способности слагающих намывные объекты пород. В Кузбассе гидромеханизацией было намыто 60 гидроотвалов различной площади и высоты. В настоящее время в работе находятся один гидроотвал на реке Еловка Моховского поля и три гидроотвала в выработках пластов Сартакинского поля филиала «Моховский угольный разрез» АО «УК «Кузбассразрезуголь». Остальные намывные объекты либо уже используются в качестве оснований сухих отвалов, либо планируются для этих целей.

Изучением условий формирования сухих отвалов на гидроотвалах длительное время занимались сотрудники института ВНИМИ под руководством проф. Ку-

тепова Ю.И. Итогом данных исследований явились разработанные в 1985 г. «Рекомендации по инженерно-геологическому обоснованию параметров отвалов «сухих» пород, отсыпаемых на гидроотвалах» [51]. Данный нормативный документ посвящался инженерно-геологического обоснования оптимальных параметров сложнейших природно-технических систем «отвал+гидроотвал», включал методику изучения состава, состояния и свойств намывных техногенных пород, а также рекомендации по отсыпке сухих отвалов на гидроотвалах. Результаты рассматриваемых исследований вошли в монографии и научные статьи, а также нашли свое отражения в диссертациях, выполненных под руководством Кутепова Ю.И. (Н.А. Кутепова, В.В. Ермошкин, А.В. Могилин, В.П. Жариков, А.Х. Саркисян, Н.Г. Фоменко) [52-57].

Подобными исследованиями, но применительно к гидроотвалам КМА, выполнялись на кафедре геологии МГГУ под руководством проф. Гальперина А.М. Результаты данных исследований вошли в монографии, статьи и диссертации (Б.К. Лапочкин, С.Е. Жданов, Ю.Н. Кириченко, В.В. Мосейкин, Е.П. Щербакова [58, 59]). Кроме того, обоснование размещения отвалов на гидроотвалах производилось в институте УкрНИИПроект (г. Киев) под руководством Ю.Н. Малюшицкого с применением центробежного моделирования [60]. Сотрудником названного института Л.П. Загоруйко также применительно к гидроотвалу «Новобачатский» разреза «Краснобродский» в Кузбассе предложена схема его секционного заполнения [61].

Анализ произошедших в последнее пятилетие оползневых деформаций на отвалах Кузбасса и карьере Михайловского ГОКа КМА, а также других инженерно-технических объектов хранения побочного сырья производства фосфорной кислоты - фосфогипса, показал, что одним из важнейших факторов определяющих устойчивость обводненных отвалов и отвалов на обводненном «слабом» основании являются гидрогеологические факторы - гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление.

Изучение влияния гидрогеологических условий на устойчивость откосов горнотехнических сооружений выполнялось лабораторией гидрогеологии и оползней

института ВНИМИ. Первым ее руководителем был член.-корр. РАН В.А. Мироненко, который совместно с проф. В.А. Шестаковым создал новое научное направление – «гидрогеомеханику» – как симбиоз существовавших: инженерной геологии и гидрогеологии. Впоследствии, под руководством проф. Кутепова Ю.И. исследования продолжались на гидроотвалах и обводненных техногенных массивах, сформированных на слабых водонасыщенных породах. Они послужили основой для разработки «Указаний по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов на слабых основаниях. Часть I. Изучение гидрогеомеханических условий строительства, эксплуатации и рекультивации отвальных сооружений» (1989) [62] и «Указаний по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов на слабых основаниях. Часть II. Обоснование оптимальных параметров отвальных сооружений» (1990) [63]. В данных нормативных документах последовательно рассматриваются: - требования к изучению гидрогеологических и инженерно-геологических условий отвалов и гидроотвалов; - методика полевых и лабораторных инженерно-геологических и гидрогеологических исследований; - прогнозирования гидродинамического режима подземных вод в природно-технических системах «отвал+естественное основание», а также избыточного порового давления (ИПД) в нагружаемых естественных и техногенных сжимаемых, слабопроницаемых породах; - методы оценки устойчивости водонасыщенных откосов; - мероприятия по обеспечению устойчивости отвалов и гидроотвалов и пр. Следует отметить, что с момента выхода в свет данного документа прошло около 30 лет и предлагаемые в нем методики получили дальнейшее развитие за счет использования методов численного моделирования напряженно-деформированного состояния пород и устойчивости откосов горнотехнических сооружений, появились программные комплексы, позволяющие это делать в 2-х и 3-х мерной постановке.

Гидрогеомеханические исследования на гидроотвалах вскрышных пород также выполнялись научным коллективом кафедры геологии МГГУ – МИСиС под руководством проф. Гальперина А.М. Результаты данных исследований нашли свое отражение в монографии А.М. Гальперина «Техногенные массивы и охрана

окружающей среды» [64]. Значительно позднее творческим коллективом ученых МГГУ, СПГУ, ВИОГЕМ, ВСЕГИНГЕО и производителей Стойленского ГОКа, ОАО «УК» Кузбассразрезуголь» была получена Премия Правительства РФ в области науки 2010 года за «Освоение техногенных массивов на горных предприятиях». Несколько позже, в 2012 году вышла в свет монография с одноименным названием, где обобщен накопленный опыт различных организаций по изучению и освоению насыпных и намывных техногенных массивов КМА и Кузбасса [65].

Вопросам геомеханического обоснования параметров намывных и насыпных горнотехнических сооружений посвящены исследования, среди которых наиболее интересными являются работы по обоснованию методов и схем расчета коэффициента запаса устойчивости откосов техногенных массивов. На сегодняшний день обосновано более 100 методик по оценке устойчивости откосов с возможностью учета разных горногеологических факторов, в основе которых лежат различные теории деформационного поведения естественных и техногенных пород. Специалистами отдается предпочтение методам, оценивающим баланс сил по поверхности (методы Спенсера, Феллениуса, Бишопа, Тейлора, Янбу, Моргенштерна-Прайса, Г.Л. Фисенко и их уточненные версии [3, 116-117, 119-122]). Данные методы характеризуются простой – возможность ручного расчета, а также разнообразием компьютерных программ, реализующих оценку устойчивости на базе вышеприведенных методов. Одним из достоинств отечественной методики многоугольника сил, разработанной Г.Л. Фисенко и его учениками в институте ВНИМИ, является возможность практически однозначно определить положение наиболее вероятного зеркала скольжения в откосе без перебора различных вариантов, что позволяет минимизировать временные затраты и корректно проводить обратные расчеты. В дальнейшем эта методика была доработана В.Н. Хашиным и А.М. Мочаловым и преобразована в аналитический метод оценки устойчивости. Впоследствии метод, дополненный учетом гидростатических и гидродинамических сил, нашел свое отражение в нормативно-методическом документе ВНИМИ [27].

На основе опытов с эквивалентными материалами А.М. Деминым и

О.И. Шушкиной (Институт горного дела им. Скочинского) изучалось деформационное поведение “слабого” основания при отсыпке отвалов применительно к условиям их бестранспортного формирования на разрезах Кузбасса и Дальнего Востока [66, 67]. Был выведен механизм деформирования слоя: при увеличении давления от отвала, то есть его наращивании, часть пород основания выдавливается, а оставшаяся часть “слабого” слоя консолидируется с увеличением прочностных параметров.

Подобным вопросом занимался А.М. Мочалов с использованием моделирования на эквивалентных материалах [68]. Им были выявлены закономерности деформирования откосов насыпей, расположенных на «слабом» основании, а также определена геометрия поверхности скольжения в теле насыпи, на границе со «слабым» слоем и непосредственно в нем.

Среди работ, рассматривающих технологии ведения отвальных работ в режиме управляемого деформирования, можно отметить исследования А.И. Иванченко и В.Г. Зотеева [69]. В них исследованы закономерности деформирования формируемого отвального яруса, разработана методика расчета допустимой скорости подвигания отвального фронта, установлены взаимосвязи режима отсыпки ярусов с их деформациями, разработаны рекомендации ведения отвальных работ с разгрузкой автосамосвалов через предохранительный вал непосредственно под откос.

Вопросы обоснования параметров отвалов на гидроотвалах и технологических схем отвалообразования на слабом водонасыщенном основании также были рассмотрены в диссертационных работах следующих авторов: В.В. Ермошкина, А.В. Могилина, В.П. Жарикова, А.И. Федосеева и др.

Одним из наиболее значимых факторов при оценке устойчивости отвальных массивов являются показатели прочности отвальной массы. В данном контексте нельзя не упомянуть создание О.Ю. Крячко на базе института ВНИМИ прибора большой площади сдвига (550 см^2), который позволил более корректно оценивать механические параметры отвальных пород и выработать нормативные значения характеристик сцепления и угла внутреннего трения, в том числе для отвальных пород разрезов Кузбасса, при нагрузках, соответствующих высотам отвалов до 60 м.

Расчетный подход к оценке прочностных параметров отвальной массы разрабатывался Е.Л. Кудряшовой, а также институтом ДальНИИС [70].

Анализируя имеющуюся информацию по изучению отвальных работ и нормативно-методическую базу по данному вопросу, необходимо отметить, что выполненные исследования условий отвалообразования на горных предприятиях иллюстрирует достаточно пренебрежительный подход к отвалам как объектам инженерной геологии, что выражается в отсутствии аргументированных методик изучения физических, прочностных и фильтрационных свойств техногенных пород и естественных пород основания отвалов, а также необходимой для данных задач лабораторной базы. Это приводит к формальному подходу при определении расчетных значений свойств отвальной массы и глинистого основания на основе табличных данных или характеристик, полученных для иных горно-геологических условий и на других объектах. Кроме того, список литературных источников, посвященных исследованиям высоких и очень высоких отвалов весьма скуден и рассматривает в основном формирование горнотехнических сооружений в горной местности, когда отсыпка ведется на основание, сложенное прочными породами. Работ, посвященных изучению деформационного поведения таких сооружений как высокие отвалы на «слабом» основании, крайне мало. Практически отсутствуют гидрогеологические исследования в отвальных массивах и расчеты устойчивости при обосновании проектов формирования подобных техногенных сооружений ведутся без учета гидрогеологических факторов.

1.4 Выводы по главе 1

Выполненный анализ условий отвалообразования на разрезах Кузбасса, геодинамических процессов, сопровождающих формирование горнотехнических сооружений, а также работ, посвященных изучению отвалов как инженерно-геологических объектов, позволил сформулировать основную цель и задачи исследований диссертационной работы.

Целью работы является изучение инженерно-геологических условий устойчивости высоких отвалов на разрезах Кузбасса.

Задачи исследования:

1. Анализ и систематизация данных о инженерно-геологических и гидрогеологических условиях внешних отвалов Кузбасса.
2. Разработка типизации внешних отвалов угольных месторождений Кузбасса для обоснования их устойчивости.
3. Изучение влияния природных и техногенных факторов на прочностные и фильтрационные свойства насыпных пород в отвальных массивах.
4. Изучение закономерностей изменения прочностных свойств и напряженного состояния неоген-четвертичных отложений в основаниях высоких отвалов.

ГЛАВА 2 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОТВАЛООБРАЗОВАНИЯ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА

2.1 Анализ факторов, определяющих устойчивость отвалов

Отвальный техногенный массив – это постоянно и необратимо изменяющаяся в пространстве и времени природно-техническая система (ПТС), устойчивое положение которой определяется рядом факторов природного и техногенного характера. Общеизвестно, что основной причиной возникновения деформаций на откосах отвальных ПТС является смещение баланса удерживающих и сдвигающих напряжений, коэффициент запаса устойчивости при этом достигает значений $K_{st} = 1,0$.

Классификациями деформационных процессов применительно к отвальным сооружениям занимались Фисенко Г.Л. (1965 г.), Попов И.В. (1959 г.), Панюков П.Н. (1962 г.) и другие [3, 4, 40, 41, 43]. Суммируя результаты работ перечисленных авторов, можно выделить три основные группы факторов, определяющих устойчивость откосов отвальных массивов:

1. Геологические или инженерно-геологические;
2. Гидрогеологические;
3. Климатические;
4. Горнотехнические или технологические.

Выделенные группы охватывают максимально широкий спектр природных и антропогенных условий, способных вызвать различные деформации в процессе эксплуатации сооружений. Наиболее подробно данные факторы раскрыты в работах Фисенко Г. Л. и отражены в нормативно-методических документах, например, «Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах» [27]. Однако следует принимать во внимание специфику рассматриваемых в данной работе высоких отвалов Кузбасса. Для подобных сооружений не все факторы оказывают равное влияние, поэтому для обоснования оптимальных параметров откосов отвалов сотрудниками института ВНИМИ под научным руководством Ю.И. Кутепова существующая классификация факторов была переработана для условий отвальных

массивов на слабом водонасыщенном основании [62]. Роль каждого из выделенных факторов в устойчивости конкретного откоса отвала выявляется из анализа физико-географических, инженерно-геологических, гидрогеологических и технологических условий отвалообразования.

Состав техногенных пород в отвалах - минеральный и гранулометрический – определяется исходным литологическим составом пород вскрышной толщи и его преобразованием в отвале за счет процессов различной природы: выветривания, растворения и выщелачивания цементирующего вещества, агрегации, ионообмена, а также технологических процессов вскрышных и отвальных работ: сегрегации, разрушения, дробления, измельчения и размокания в процессе разработки, погрузки, транспортировки горной массы.

Строение ПТС «отвал-основание» – взаимное расположение, форма, размеры инженерно-геологических элементов техногенного массива отвала и естественного основания – определяется последовательностью поступления в отвал вскрышных пород различных литологических разностей, процессами сегрегации и фракционирования складированного материала при отсыпке и при намыве сооружения, включением в строение отвалов специальных элементов (фильтрационных слоев, дамб, контрфорсов и др.).

Физическое состояние пород в ПТС «отвал-основание»: совокупность взаимосвязанных физических свойств пород – плотности, влажности, пористости; для связных грунтов важнейшей характеристикой физического состояния является консистенция. Физическое состояние определяется уровнем водоносного горизонта в отвальном массиве и его основании в условиях естественного залегания, интенсивностью инфильтрации атмосферных осадков, количеством и амплитудой циклов промерзания-оттаивания техногенных пород, в меньшей степени –высыханием и усадкой пород за счет испарения; «зависит от насыщения пород водой в процессе гидромеханизации, уплотнения пород при отсыпке с помощью технологических мероприятий (укатка, трамбовка, сбрасывание с высоты), а также за счет веса оборудования, осушение отвалов с помощью дренажных мероприятий» [62].

Напряженное состояние пород является аддитивной величиной, представляющей собой совокупность напряжений от действия гравитационных и фильтрационных сил в каждой точке поля. Определяется:

- полным давлением, создаваемым весом вышележащих пород;
- гидростатическим давлением, обусловленным взвешивающим воздействием воды на породы, залегающие ниже депрессионной поверхности;
- гидродинамическим давлением, создаваемым движущейся водой вследствие сопротивления породы фильтрации;
- ИПД, вызываемым дополнительной внешней нагрузкой;
- весом оборудования, работающего на отвале;
- интенсивностью отвалообразования (скоростью увеличения высоты отвала и скоростью продвижения отвального фронта) [62].

2.2 Горно-геологическая характеристика угольных месторождений Кузнецкого угольного бассейна, разрабатываемых открытым способом

Угольные залежи на территории Кузбасса были открыты еще в 1721 г., но активная их освоение и добыча начались только в 20-е годы прошлого столетия. На сегодняшний день Кузбасс занимает одно из первых мест среди крупнейших разрабатываемых каменноугольных бассейнов по объемам запасов и их качеству. На относительно небольшой территории сконцентрированы многопластовые мощные залежи углей различных марок, применимых для коксования, производства жидкого топлива и в качестве сырья для химического производства.

Административно изучаемый регион расположен на территории Западной Сибири и практически совпадает с границами Кемеровской области. Основные промышленные центры региона преимущественно совпадают с крупными угледобывающими разрезами. В геоморфологическом отношении Кузбасс представляет собой «котловину, со всех сторон окруженную горными массивами: с востока – Кузнецким Алатау, юга – горной Шорией, юго-запада и запада – Колывань-Томской складчатой зоной» [71] (рисунок 2.1). В тектоническом плане Кузбасский

угольный бассейн находится в северной части Алтае-Саянской складчатой области Урало-Охотского подвижного пояса. Приурочен к одноименной межгорной впадине, которая выполнена осадочными образованиями палеозоя, мезозоя и кайнозоя.

В геологическом отношении строение региона представляет собой крупный синклиорий, вытянутый в направлении северо-запад – юго-восток. Именно геологическая история территории оказывает определяющее значение на сформированные инженерно-геологические условия открытой отработки угля.

Наиболее древними отложениями на территории являются докембрийские метаморфические и кристаллические гнейсы, сланцы, кварциты, мраморы. Кембрий представлен в виде туфов, песчаников, известняков, сланцев, доломитов. Раннепалеозойские отложения также сохранились в Салаирском кряже: граниты, известняки и песчаники. В это время на территории активно действуют тектонические процессы: вулканизм, многочисленные интрузии, метаморфизм, сопровождающиеся неоднократными перерывами в осадконакоплении. Первые проявления угленосности относят к среднему девону, что является самыми ранними известными на сегодняшний день угленосными отложениями в мире. Проявления нижнего, среднего и верхнего девона выходят на поверхность на окраине региона, на границе с Горной Шорией. Они представлены преимущественно эффузивным (палатнинская свита D_1) и терригенным (красногорская свита D_1), что обусловлено активными тектоническими подвижками в регионе, формированием Горной Шории. Однако в районе Барзасского месторождения, расположенного в восточной части Кузбасса, встречены линзы и прослои углистых сланцев и углей. Породы также содержат много глинистого материала.

Примерно в это же время в центре изучаемой территории начинает формироваться Кузнецкое море. Развивавшаяся вместе с ним обширная гидрографическая сеть дала толчок к интенсивному развитию флоры, что обеспечило поступление органического материала, впоследствии трансформированного в каменный уголь.

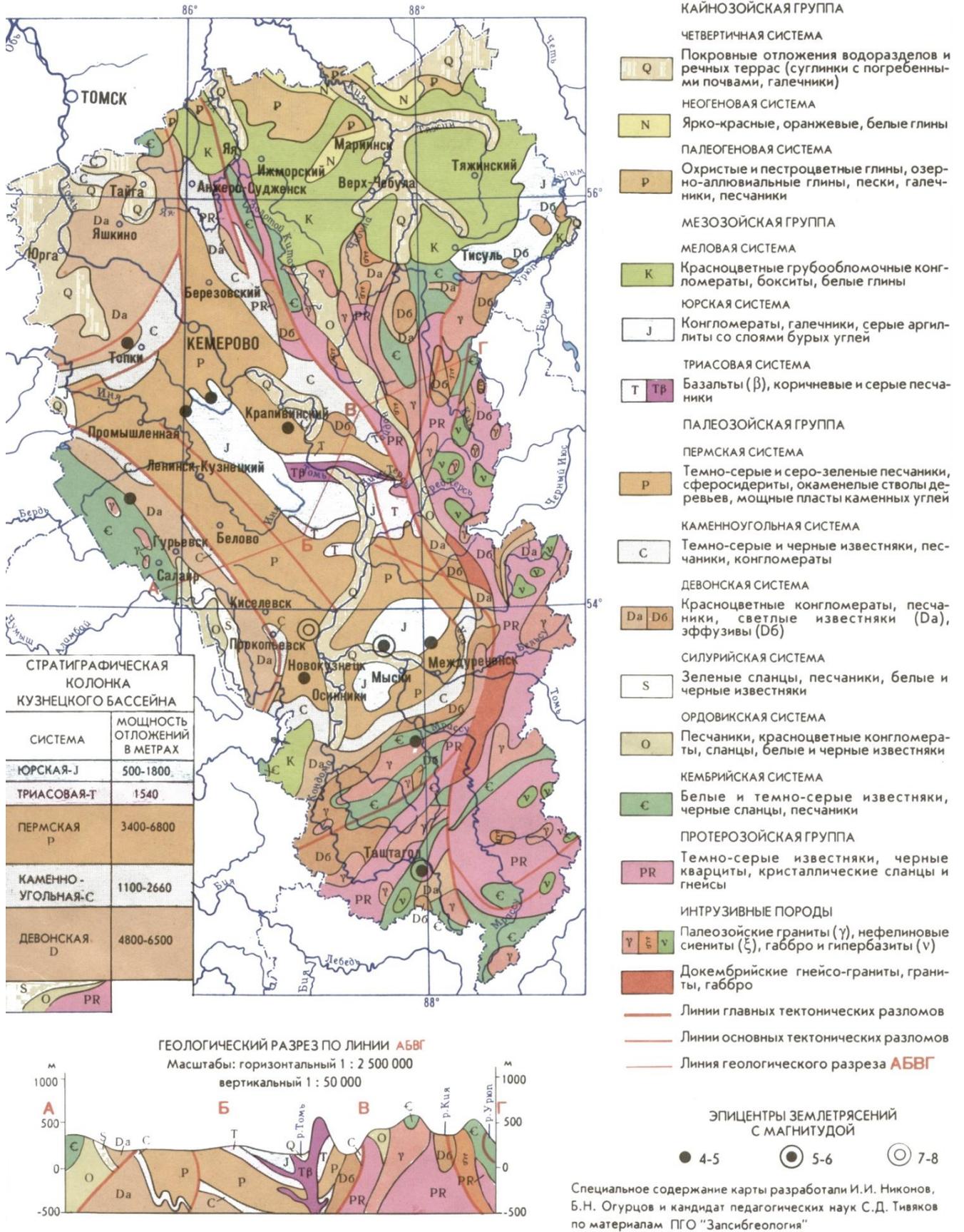


Рисунок 2.1 – Геологическая карта изучаемого района

В каменноугольный период на территории современного Кузбасса происходили циклы регрессий-трансгрессий, в результате которых образовывались значительные по площади заболоченные участки поверхности, заполнявшиеся торфяниками, а затем перекрывавшиеся песками и галечниками. Морское осадконакопление завершилось в раннем карбоне, и в зависимости от продолжительности залегания, давления и температуры до конца пермского периода формировались различные виды углей: от бурых до каменных и антрацитов.

Далее в триасовый период, из-за поднятия Кузнецкого котловины, образования новых угольных залежей не происходило, однако в юрском периоде территория вновь начала погружение, что, в совокупности с условиями гумидного климата, привело к созданию обширной речной сети и заболачиванию больших территорий. Образовавшиеся угольные пласты юрского возраста завершили угленакпление в регионе.

Дальнейшая геологическая трансформация территории Кузбасса, вплоть до неогена, определялась преимущественно тектоническими преобразованиями в отсутствие существенного осадконакопления. Это обеспечило, совместно с денудационными процессами, кольцевидную структуру залегания угленосных толщ от более древних балахонских в периферийных предгорных частях региона к более молодым кольчугинским в центральной равнинной зоне (рисунок 2.2) [71].

Бассейн располагает большими запасами углей различных марок – от бурых до антрацитов. Большая часть всех запасов приходится на ценные коксующиеся угли - 643 млрд тонн. Площадь бассейна около 26 тыс. км². Балансовые запасы его составляют 600 млрд тонн; мощность пластов от 6-14 м, а в ряде мест достигает 20-25 м; Бассейн имеет благоприятные горно-геологические условия разработки, что обеспечивает их низкую себестоимость. Угли Кузбасса обладают невысокой зольностью – 4-6 %; низким содержанием серы (от 0,3 до 0,65 %), фосфора; высокой калорийностью – 8,6 ккал; удельная теплота сгорания – 6000-8500 ккал/кг; значительны ресурсы коксующихся углей, их запасы составляют. Вместе с тем, велика доля запасов, не соответствующих по своим параметрам мировым кондициям по горно-геологическим условиям залегания и качеству (около 50%).

В регионе применяют как открытый способ добычи угля, так и подземный. К основным центрам угледобычи относятся Междуреченск, Новокузнецк, Прокопьевск, Белово, Ленинск-Кузнецк; наиболее перспективным является Ерунаковский угленосный район, где сосредоточены огромные запасы коксующихся и энергетических углей с благоприятными горно-геологическими условиями, пригодными для обработки как подземным, так и открытым способами с высокими технико-экономическими показателями.

В настоящее время на территории региона функционируют 36 разрезов и 60 угледобывающих шахт. В число крупнейших угледобывающих предприятий входят такие как АО «ХК Кузбассразрезуголь», АО «СУЭК-Кузбасс», ХК «СДС-уголь» АО «ЕВРАЗ НТМК», ПАО «Кузбасская топливная компания», АО МЕЧЕЛ.

Основная добыча ведется из угленосных отложений балахонской ($C_{2-3} - P_1$), кольчугинской (P_2), в значительно меньшей степени из тарбаганской (J_{1-3}) серии. Поэтому основное внимание в данной работе будет сосредоточено на вскрышных породах первых двух серий, так как они составляют основную массу поступающего в отвалы материала.

Разнообразны и структурные условия залегания пластов: в северной части бассейна угленосные отложения сжаты в крутые линейные складки, нарушенные многочисленными разрывами; в западной части бассейна складки осложнены надвигами и взбросами; в центральной части характерны малонарушенные брахиоскладки; в южной части пласты образуют пологую моноклиналию.

Общей особенностью всей каменноугольно-пермской угленосной толщи Кузнецкого бассейна является довольно однообразный литологический состав с ярко выраженными ритмами осадконакопления. Она представлена терригенными породами — песчаниками, алевролитами и аргиллитами с прослоями и пластами угля.

Балахонская серия отлагалась на протяжении от конца карбона до нижней перми. Лагунно-континентальные отложения балахонской серии ($C_{2-3}-P_{1bl}$) перекрывают нижнекаменноугольные отложения мозжухинской серии и узкой полосой

выходят на поверхность по периферии Кузнецкой котловины. В разрезе балахонской серии, согласно утвержденной в первой трети прошлого века стратиграфической схеме Кузбасса [71], принято выделять: острогскую свиту ($C_{2-3\text{os}}$), нижнебалахонскую ($C_{2-3\text{bl}}$) и верхнебалахонскую ($P_{1\text{bl}}$) подсерии.

Острогская свита ($C_{2-3\text{os}}$) является непродуктивным слоем мощностью до 550 м, тесно связанным с согласно подстилающими породами, иногда без явного разделения. Литологически серия характеризуется песчаниками до 50 %, алевролитами 30 % и аргиллитами 10 %. В незначительном количестве присутствуют конгломераты и гравелиты, а также редкие и тонкие (до 10 см) пропластки угля. Принимая во внимание тот факт, что отложения острогской свиты являются непродуктивными, находятся вне карьеров и не вывозятся в отвалы, их подробное описание в данной работе не приводится.

Нижнебалахонская подсерия ($C_{2-3\text{bl}}$) залегает согласно на подстилающих отложениях и объединяет в себе две свиты: мазуровскую и алыкаевскую, максимальная мощность толщи достигает 980 метров. Литологически породы подсерии представлены мелкоритмичным переслаиванием в равной степени песчаников и алевролитов (до 77 % суммарно), в меньшей степени аргиллитов (до 16 %), угольных пластов (2 %) с включениями прослоев углистых аргиллитов. По данным А.Н. Волковой [18], состав цемента пород глинисто-кремнистый, глинисто-слюдистый, глинисто-карбонатный. Наряду с обломочными сцементированными и глинистыми породами в разрезе нижнебалахонской свиты спорадически распространены линзы грубообломочных, сульфидных и карбонатных отложений. Нижнебалахонская свита отвечает среднему и верхнему отделам каменноугольной системы; в ней содержатся рабочие пласты угля (от 0,7 до 4,5 м). Мощность отложений нижнебалахонской свиты 500-1200 м. Приведенные отложения также согласно перекрыты толщей наиболее угленосных пород верхнебалахонской подсерии балахонской серии.

В верхнебалахонской подсерии ($P_{1\text{bl}}$) выделяют четыре свиты: промежуточную, ишановскую, кемеровскую, усятскую. Наибольшая мощность толщи в стра-

тотипическом районе достигает 1200 м. По литологическому составу породы верхнебалахонской подсерии аналогичны подстилающим, однако соотношение песчаники/алевролиты/аргиллиты/угли составляет 23/50/24/3. Кроме того, для толщи характерны включения полимиктовых и олигомиктовых конгломератов, углистых аргиллитов и, в значительно меньшей степени, карбонатных пород. Угольные пласты подсерии характеризуются наибольшей мощностью в периферийных частях бассейна (юго-запад и северо-восток) и представлены Мощным (12-30 м) в Бачатском и Прокопьевско-Киселевском, Волковском (5-20 м) в Кемеровском, ХХХ (5—15 м) в Томь-Усинском районах и др [18].

По В.Е. Ольховатенко, «породы балахонской серии на юго- и северо-западе Кузбасса характеризуются сложной геологической структурой и представляют собой вблизи Томского надвига и Салаирского кряжа зону интенсивной складчатости с линейными, узкими, местами опрокинутыми складками, создающими «чешуйчатую» структуру разреза за счет надвигов и взбросов. В периферийных регионах, на границе с Кузнецким Алатау и Горной Шорией наблюдается пологое моноклинальное залегание или пологие складки, осложнённые преимущественно сбросами, реже взбросами и надвигами».

Континентальные или прибрежно-континентальные отложения кольчугинской серии (P_2) отличаются от пород балахонской серии как по условиям образования, так и по литологическому составу горных пород и делятся на три подсерии: непродуктивную кузнецкую (P_{2kz}), ильинскую (P_{2il}) и ерунаковскую (P_{2er}) угленосные [18, 71].

Кузнецкая подсерия (P_{2kz}) расчленяется по палеонтологическим данным на две свиты: старокузнецкую и митинскую, и представлена чередованием алевролитов (52 %), песчаников и аргиллитов в равных частях, с прослоями единичных прослоев угля до 25 см. Мощность подсерии составляет до 1100 м. На дневную поверхность отложения кольчугинской серии выходят по периферии бассейна, выклиниваясь при этом в восточном направлении и увеличивая мощность толщи на западе региона, а в центральной, юго-восточной частях Кузбасса они перекрываются породами мезозойского возраста.

Ильинская подсерия ($P_{2\text{il}}$), разделенная на нижнюю казанково-маркинскую и верхнюю ускатскую свиты, наиболее разнообразна с точки зрения литологического состава и представляет собой нижнюю часть продуктивной толщи кольчугинской серии. Нижняя свита имеет максимальную мощность до 1020 м, сложена тонко переслаивающимися алевролитами, песчаниками, аргиллитами и маломощными (до 50 см) частыми угольными прослоями, которых насчитывается порядка 70. Верхняя свита ильинской подсерии обладает меньшей мощностью – до 480 м. В литологическом плане, аналогично подстилающим породам, представлена переслаиванием осадочных пород, однако наблюдается возрастание мощности угольных пластов вверх по разрезу. Общей тенденцией для подсерии является возрастание мощности толщи в западном направлении и ее снижение в восточном. Кроме того, отмечается большое разнообразие остатков фауны и флоры в толще, которые позволяют выделить в ней до 50 биостратиграфических комплексов.

Самой продуктивной частью кольчугинской серии является ее верхняя часть – ерунаковская подсерия ($P_{2\text{ер}}$), подразделенная на три свиты: ленинскую, грамотеинскую, тайлуганскую. Мощность подсерии колеблется в пределах 2050-2580 м, уменьшаясь в восточном и северном направлениях. Стратотипические разрезы расположены в центральной части региона, в Ерунаковском, Центральном и Ленинском геолого-экономических районах, где подсерия заполняла центральную часть синклинория. Отложения ерунаковской подсерии представляют особый интерес с позиции инженерной геологии характеризуются высокой угленосностью и пологим, моноклинальным падением слоев, что делает ее экономически благоприятной для отработки открытым способом. Свиты литологически характеризуются типовым для кольчугинской серии составом вмещающей толщи. Самая продуктивной является грамотеинская свита, где мощность угольных пластов достигает 10-12 м. Наибольшая мощность угольных пластов кольчугинской серии достигает 18-20 метров (пласты Караканский 3-2 и Талдинский 86-84). Венчает толщу палеозойских осадков региона тайлуганская свита. Отложения кольчугинской серии, слагают зоны гребневидной складчатости с вытянутыми широкими плоскодонными

синклиналями и узкими антиклиналями, по замковым частям которых проходят мощные зоны дробления [18].

В юго-западной части Кузнецкого угольного бассейна развиты различно ориентированные брахиформы, в юго-восточной части залегание толщ моноклиналиное. Юрские угленосные отложения слагают крупные пологие брахисинклинали.

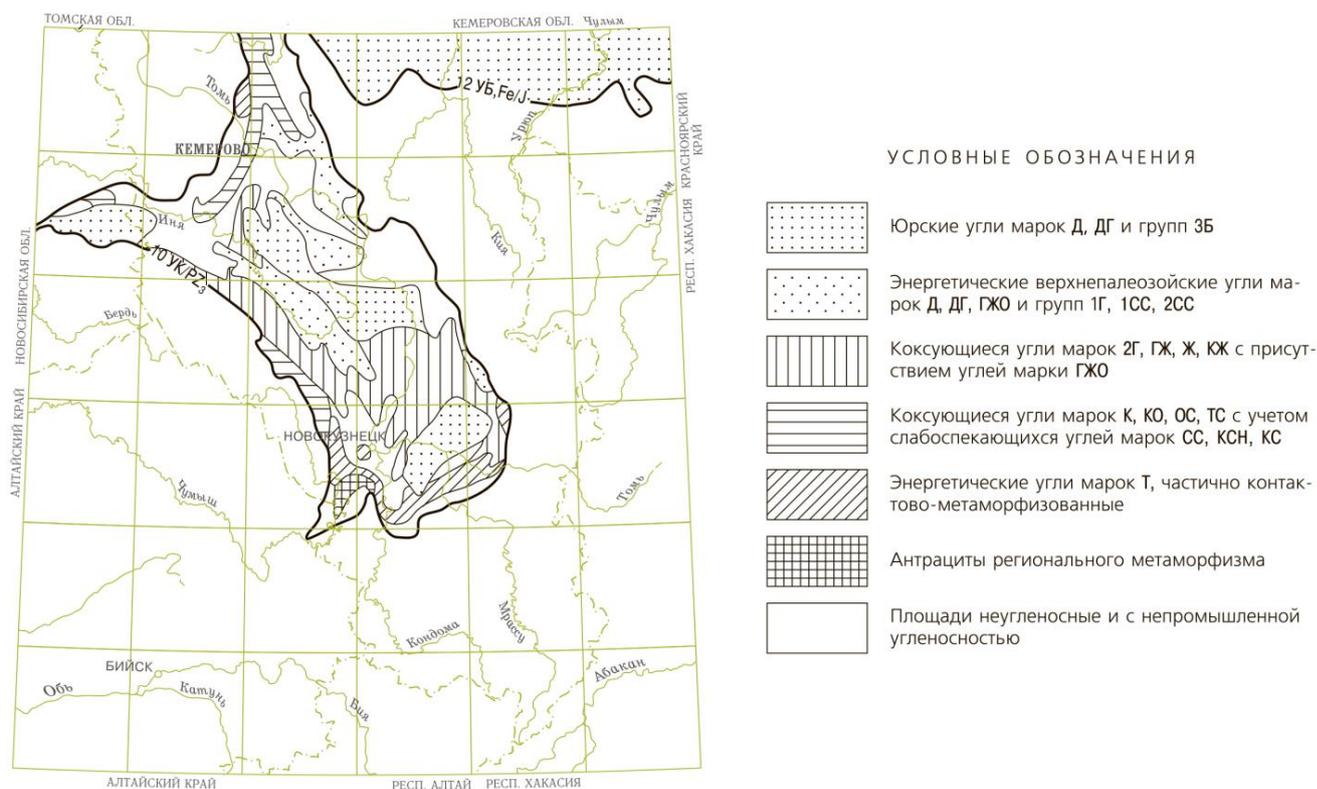
Согласно государственной геологической карте РФ, «всего в продуктивных отложениях региона выделено порядка 300 пластов и прослоев угля суммарной максимальной мощностью до 400 м, из них 126 пластов кондиционной мощности» [71]. Распределение запасов по мощности добываемого пласта приведено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Распределение запасов угля в Кузбассе по мощности добываемых пластов [71]

Пласты	Мощность, м	Доля, %
Тонкие	До 1,3	19
Средние	1,3-3,5	43
Мощные	3,5-10	38
Весьма мощные	До 20-30	

В юрских отложениях вскрыто до 56 пластов угля, из них от 5 до 14 мощностью 0,8-9 м» [71].

По петрографического составу угли балахонской серии содержат от 30 % до 60 % витринита, кольчугинской серии от 60 % до 90 %, что относит их к каменным, угли тарбаганской серии — в основном бурые, частично каменные (преимущественно марок Д и ДГ) [18] (рисунок 2.2).



Масштаб 1 : 5 000 000

Рисунок 2.2 – Схема марочного состава углей Кузнецкого угольного бассейна [71]

2.3 Инженерно-геологические условия отвалообразования на угольных разрезах Кузбасса

Покровные отложения повсеместно перекрывают древние осадки углевлещающих толщ и являются отражением неотектонических движений. Они характеризуются развитием трех основных генетических разностей: эоловых, делювиально-пролювиальных и аллювиальных. Стратиграфическим разделением неоген-четвертичной толщи исследователи начали заниматься еще в начале прошлого века. Большой вклад внес С.С. Неуструев, выделивший 4 аллювиальные древние террасы р. Томи [72]. К.В. Радугин, проводивший исследования в составе Западно-Сибирского Геологического треста, по результатам геоморфологических исследований расчленил разрез неоген-четвертичных пород на восемь террас и обосновавший выделение свит отложений водоразделов [73]. В последствие К.А. Кузнецов на основании анализа погребенных почв объединил выделенные К.В. Радугиным верхние террасы [74]. Стратиграфия покровных отложений, приведенная ниже, начинается в

неогеновой системе и основана на принятом сегодня расчленении, составленном институтом ВСЕГЕИ в 2008 году и отраженное в Государственных геологических картах РФ (N-45) [71].

Неогеновая система

Верхний миоцен

Меретская свита d, aN₁mr

Сложена пестроцветными глинами делювиального и аллювиального генезиса, которые сглаживают склоны и заполняют существовавшие древние депрессии рельефа. Глины очень плотные, каолиново-монтмориллонитовые, жирные, с включениями обломочного материала в виде кварцевого щебня, песка и карбонатных конкреций. Мощность отложений колеблется от 2 до 34 метров. Часто встречаются прослой черной ископаемой почвы. В основании свиты встречаются элювиальные песчано-галечниковые прослой. Существует предположение [71], что данные образования являются переотложенными и переработанными оледенением верхнемеловыми глинистыми отложениями. К данным отложениям приурочены месторождения формовочного песка. Отложения не выходят на поверхность, заполняя понижения в подстилающей толще, и отражаются только на разрезах или схеме соотношений. Породы меретской свиты характеризуются невысокой влажностью 12% и высокой естественной плотностью 2,11 г/см³. Консистенция отложений преимущественно твердая, что обусловлено ее генезисом. Сравнительно долгий период геологического развития сказался на наличии структурных связей в породе, что отражается на прочностных показателях: нормативная величина сцепления $c = 0,126$ МПа, угол внутреннего трения $\phi = 21$ град.

Верхний миоцен-плиоцен

Моховская свита dpN₁₋₂mh

Сложена делювиально-пролювиальными красно-коричневыми плотными глинами мощностью 15-26 м. Абсолютные отметки подошвы слоя колеблются в пределах 210-290 м. В отложениях часто встречаются включения дресвы и щебня, а также прослой красноцветной почвы и карбонатные конкреции. Распространены более широко в сравнении с отложениями меретской свиты.

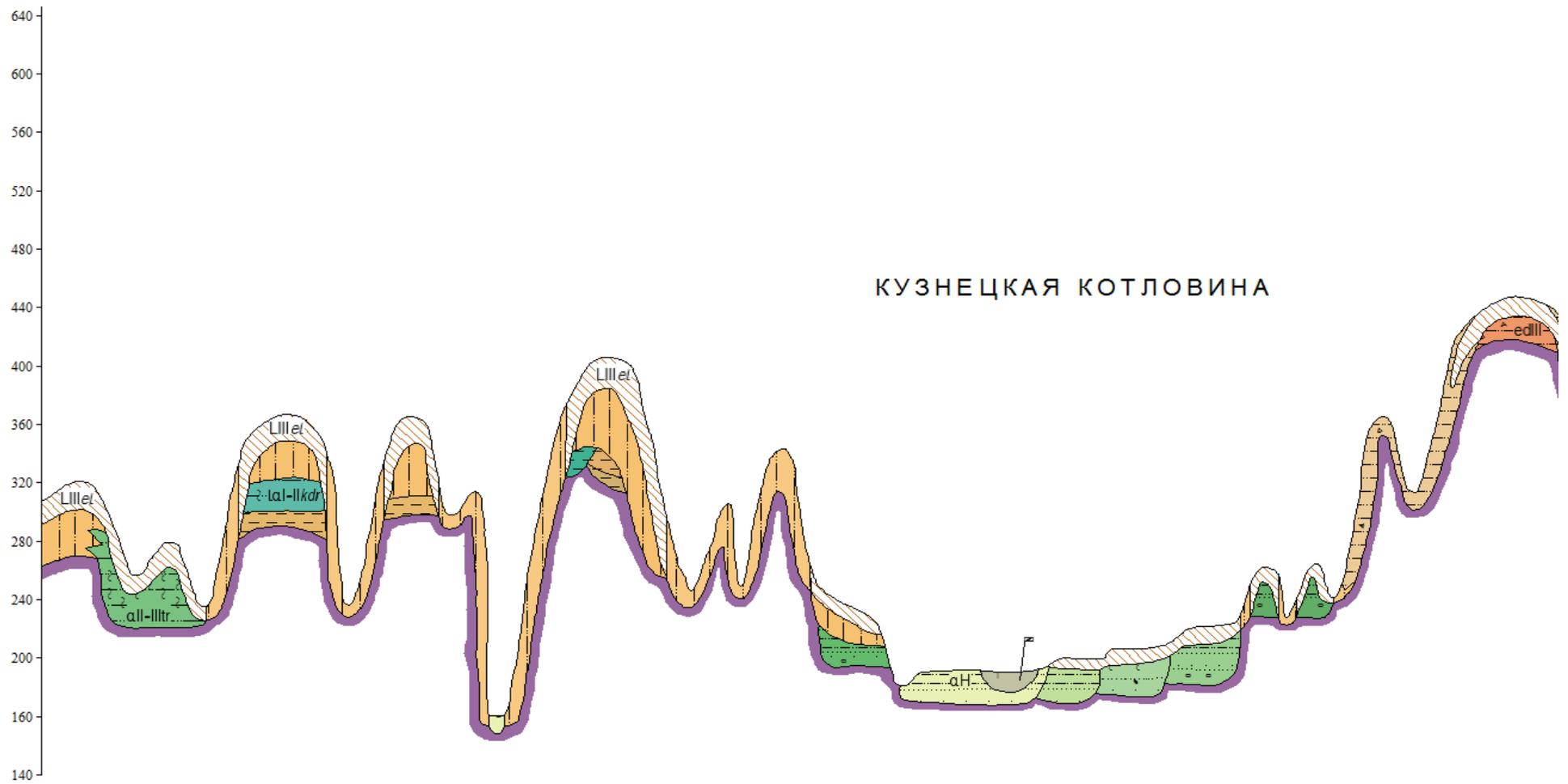


Рисунок 2.3 – Схема соотношений четвертичных образований

Отложения не выходят на поверхность, заполняя понижения в подстилающей толще, и отражаются только на разрезах или схеме соотношений. Влажность пород составляет 22 %, плотность естественного сложения $1,90 \text{ г/см}^3$. Особенностью меретской свиты является высокое число пластичности $I_p=0,19$, что связано с повышенной влажностью на пределе раскатывания $W_L=45 \%$. Для толщи покровных отложений Кузбасса этот параметр колеблется в пределах 30-37 %. Отложения свиты характеризуются широким диапазоном консистенций - от полутвердой до мягкопластичной. Нормативная величина сцепления $c = 0,047 \text{ МПа}$, угол внутреннего трения $\phi = 25 \text{ град}$ [75].

Квартер

Плейстоцен

Эоплестоцен

Сагарлыкская свита laEsg

Сложена озерно-аллювиальными зеленовато-серыми песчаными глинами, илами, суглинками, песками и гравием. Строение слоистое, линзовидное. Мощность свиты составляет до 20 м. Отложения не выходят на поверхность, заполняя понижения в подстилающей толще, и отражаются только на разрезах или схеме соотношений. Абсолютные отметки подошвы слоя колеблются в пределах 230-310 м. В отношении показателей физико-механических характеристик свита характеризуется типовыми для региона значениями. Влажность пород составляет 21 %, плотность естественного сложения $1,85 \text{ г/см}^3$, коэффициент пористости составляет $e=0,776$, границы пластичности $W_L=37 \%$ и $W_p=22 \%$. Число пластичности $I_p=0,15$. Отложения характеризуются твердой и полутвердой консистенциями. Нормативная величина сцепления $c = 0,034 \text{ МПа}$, угол внутреннего трения $\phi = 25 \text{ град}$.

Эоплейстоцена верхнее звено и неоплейстоцен нижнее звено

Сергеевская свита L,pEII-Isr

Отложения представлены лессовидными и пролювиальными суглинками тяжелыми красновато-коричневыми, с прослоями темно-серых почв, с редкими включениями дресвы и щебня. Мощность слоя варьирует от 5 до 35 м

при абсолютных отметках подошвы 350-450 м. Свита характеризуется сравнительно высокими прочностными параметрами: величина сцепления $c=0,072$ МПа и угол внутреннего трения $\phi=23$ градусов, при степени водонасыщения 0,83. Влажность пород составляет 23 %, плотность естественного сложения $1,88 \text{ г/см}^3$, консистенции варьируют от полутвердых до мягкопластичных. В целом, физико-механические параметры идентичны параметрам сагарлыкской свиты, несмотря на различные условия их формирования.

Неоплейстоцен нижнее и среднее звено

Кедровская свита IaI-IIkdr

Свита сложена озерно-аллювиальными глинами и суглинками голубовато-серыми, иловатыми, с включениями органического материала и линзами гравия. Распространена свита спорадически, залегает в виде линз, заполняя древние депрессии рельефа. Мощность образований достигает 40 м. Влажность пород составляет 21 %, плотность естественного сложения $1,81 \text{ г/см}^3$, коэффициент пористости составляет $e=0,763$, границы пластичности $W_L=35$ % и $W_P=22$ %. Число пластичности $I_p=0,13$. Отложения характеризуются консистенциями от полутвердой до мягкопластичной. Нормативная величина сцепления $c=0,065$ МПа, угол внутреннего трения $\phi=25$ град.

Среднее-верхнее звено

Бачатская свита LII-IIIbc

Сложена серыми, бурыми лессовидными суглинками с включениями щебня, ископаемых почв, карбонатного материала. Мощность свиты до 40 м. К данным отложениям приурочены месторождения кирпичных глин. Влажность пород составляет 20 %, плотность естественного сложения $1,74 \text{ г/см}^3$, границы пластичности $W_L=32$ % и $W_P=20$ %. Число пластичности $I_p=0,11$. Отложения характеризуются консистенциями от твердой до полутвердой. Нормативная величина сцепления $c=0,044$ МПа, угол внутреннего трения $\phi=23$ град. Характерной особенностью отложений является высокий показатель коэффициента пористости $e=0,812$ и сравнительно низкое значение плотности сложения.

ния $\rho = 1,74 \text{ г/см}^3$, что обусловлено их эоловым генезисом. Подобными особенностями обладают отложения еловской свиты, формировавшиеся в подобных геологических условиях.

Терентьевская толща aII-IIItr

Представлена слабо изученными аллювиальными отложениями: илами, сине-зеленовато-серыми суглинками, часто горизонтальнослоистыми, галечниками в основании толщи мощностью до 4 метров. Мощность терентьевской толщи составляет 35 м. Залегаёт в глубоких врезях рельефа бачатской свиты на отложениях сергеевской свиты или донеогеновых осадках.

Верхнее звено

Первая-вторая ступени

Аллювиальные отложения третьей террасы a^3III_{1-2}

Сложены илами, песчаным материалом, русловыми галечниками мощностью 3-8 м, мощностью от 8 до 15 м. Отмечается наличие ожелезнения и прослой ископаемой почвы. В основании террасы залегают, как правило, сцементированные палеозойские породы.

Третья ступень

Аллювиальное отложение второй террасы a^2III_3

Толща представляет собой разнообразные по гранулометрическому составу типовые речные отложения: галечники, илы и иловатые суглинки, серые пески. Мощность слоя достигает 17 м. К данным отложениям приурочены месторождения строительного песка.

Краснобродская свита laIIIkr

Свита сложена озерно-аллювиальными галечниками, алевритистыми песками различной крупности, иловатыми серыми слоистыми суглинками и супесями. В основании свиты наблюдаются прослой крупнообломочного материала. Свита заполняет врезы в бачатской и кедровской свитах и распространена спорадически. Мощность отложений достигает 15 м. Влажность пород составляет 22 %, плотность естественного сложения $1,84 \text{ г/см}^3$, границы пла-

стичности $W_L = 39\%$ и $W_P = 18\%$. Число пластичности $I_p = 0,16$. Отложения характеризуются консистенциями от твердой до полутвердой. Нормативная величина сцепления $c = 0,036$ МПа, угол внутреннего трения $\phi = 28$ град.

Четвертая ступень

Аллювиальные отложение первой террасы $a^1\Pi_4$

Наиболее молодые отложения древних речных террас. Сложены серо-зелеными галечниками, песчаным и илистым материалом. Мощность слоя достигает 15 м. Мощность галечников в основании до 8 метров.

Элювиально-делювиальные отложения $ed\Pi\Pi$

Представлены обломочным материалом: щебнем и дресвой, а также глыбами с глинистым заполнителем. Мощность слоя до 6 м. Распространен спорадически, заполняя понижения рельефа.

Еловская свита $L\Pi\Pi e l$

Еловская свита представляет собой наиболее распространенную серию отложений, перекрывающих подстилающие неоген-четвертичные и местами донеогеновые образования. Свита образовывалась в условиях, аналогичных условиям бачатской серии, однако имеет неоднозначный генезис и представлена двумя пачками: нижняя сложена светло-серыми легкими лессовидными суглинками, пылеватыми неяснослоистыми глинами, серо-желтыми алевритами с небольшим содержанием ископаемых почв в кровле, общей мощностью 4 метра. Верхняя пачка представлена бурыми однородными пористыми суглинками, размеры пор достигают 3-5 мм. Мощность отложений верхней пачки достигает 6 м. Общая мощность свиты составляет 6-10 м на водоразделах и 0,5-1,0 м на первой террасе. Литологический состав серии часто определяется подстилающими породами, что определяет элювиальный характер образования отложений серии, однако на некоторых разрезах в основании серии вскрыты погребенные почвы, то указывает на делювиальный или эоловый генезис образований. Ввиду неоднозначности генезиса Влажность пород составляет 16 %, плотность естественного сложения $1,64$ г/см³, границы пластично-

сти $W_L = 30\%$ и $W_P = 19\%$. Число пластичности $I_p = 0,11$. Отложения характеризуются твердой консистенцией. Нормативная величина сцепления $c = 0,040$ МПа, угол внутреннего трения $\phi = 26$ град.

Неоплейстоцен, верхнее звено – голоцен

Делювиально-пролювиальные отложения дрIII-Н

Представляют собой современные склоновые отложения, являющиеся продуктом деградации подстилающих пород. Литологически состоят из обломочных пород: щебня, дресвы, глыб, заполненных глинистым материалом. Мощность отложений составляет 1-8 м.

Голоцен

Аллювиальные отложения пойменных террас аН

Современные речные отложения распространены в долинах всех постоянных водотоков и представлены широким комплексом литологических видов от крупной фракции: галечников, гравия и песков, до тонкодисперсных: иловатых суглинков и супесей, а также встречаются линзы и прослои торфа. Мощность отложений достигает до 10 м. На некоторых разрезах выделяют два уровня пойм: высокий и низкий. Второй часто характеризуется торфяными образованиями.

Палюстринные отложения рН

Представляют собой современные болотные отложения. Распространены локально вблизи меандрирующих речных русел и занимают очень незначительную площадь до $0,5 \text{ км}^2$. Литологически представлены суглинками и супесями иловатыми с линзами и прослоями торфа и мергелей, мощностью до 5 м. Являются современными месторождениями торфа.

Пролувиальные отложения рН

Литологически представляют собой пески и суглинки с включениями гравия и гальки, мощностью до 8 м.

Техногенные отложения tH²

Одной из ярких особенностей региона Кузнецкого бассейна является широкое распространение техногенных отложений, что обусловлено интенсивной добычей угля в районе. Литология данных отложений варьирует в широких пределах от тяжелых глинистых намывных пород гидроотвалов до глыб и валунов углевмещающих пород в отвалах. Соответственно, характерные нормативные показатели физико-механических свойств отложений будут различаться для каждого типа сооружений.

Поскольку неоген-четвертичные отложения являются продуктом деградации подстилающих пород, то в их составе присутствуют аналогичные минералы: кварц и полевые шпаты характерны для крупных фракций, тонкодисперсные глинистые частицы представлены гидрослюдами, с включениями монтмориллонита и каолинита. Характерная плотность минеральной части составляет 2,72-2,75 г/см³.

Среди выделенных разновидностей наименее плотными и наиболее слабыми являются лессовидные суглинки еловской серии. Плотность суглинков возрастает с глубиной. По классификации проф. М.М. Протоdjяконова лессовидные суглинки относятся к VIII категории, а обогащённые делювием - VI категории [75]. Изучение прочностных параметров пород еловской свиты показало, что углы внутреннего трения составляют 16-26° при изменении сцепления от 5-50 кПа. Прочностные свойства других наиболее “слабых” в разрезе четвертичной толщи пород краснобродской, бачатской и сергеевской свит, характеризуются показателями углов внутреннего трения и сцепления, изменяющиеся в диапазоне: ($\varphi = 16-30^\circ$, $c = 26-52$ кПа). Породы кедровской, сагарлыгской, моховских свит более “прочные” за счет повышенного сцепления ($\varphi = 19-31^\circ$, $c = 40-94$ кПа).

Следует отметить, что приведенные прочностные показатели определялись в диапазоне нормальных нагрузок 0-0,03 МПа, что соответствует фактическим действующим нагрузкам. При возрастании высот отвалов до 100 м и

выше нагрузки будут превышать 2,0 МПа. Данное обстоятельство существенно ограничивает возможность использования приведенных прочностных параметров для обоснования проекта устойчивого отвального массива.

2.4 Гидрогеологические условия Кузбасса и влияние гидродинамических факторов на устойчивость отвалов

Согласно утвержденному гидрогеологическому районированию рассматриваемая территория относится к Кузнецкому адартезианскому межгорному бассейну 2-го порядка (пункт 4 на рисунке 2.4) [71]. Структура бассейна определяется его синклиальной структурой, а отсутствие явных водоупоров, развитых на всей территории бассейна, позволяет считать его единой гидродинамической системой, водоупором которой служат породы фундамента на глубине 3000-5000 м. Анализ существующей информации позволяет выделить следующие водоносные комплексы, оказывающие влияние на отвальные сооружения открытой разработки:

- комплекс углевмещающих пород, состоящий из комплекса балахонской серии и комплекса кольчугинской серии;
- комплекс кайнозойских отложений.

Водоносный комплекс углевмещающих пород представлен Кузбасским адартезианским бассейном (4Б) 3-го порядка и приурочен к выраженному в рельефе прогибу, заполненному позднепалеозойскими угленосными отложениями ($C_{1s}-P_2$) [71]. По данным государственной геологической карты РФ, трещиноватость пород продуктивной толщи определяет их коллекторские и фильтрационные свойства. Балахонские отложения характеризуются слабой водообильностью пород. Отложения кольчугинской серии, напротив, обладают высокой водообильностью в связи с большим процентным содержанием алевролитов в разрезе, характеризующихся повышенной трещиноватостью и, следовательно, обводненностью, распространяющейся до глубины максимум 150–200 м.

По материалам Г.М. Рогова, дебиты скважин для балахонских отложений не превышают 7,0 л/с (в среднем 0,3 л/с), приток в карьеры – 30–50 м³/ч. Для пород кольчугинской серии дебиты скважин на водоразделах колеблются от 0,01 до 0,4 л/с, в логовых частях достигают 3,0 л/с. Наибольшие дебиты приурочены к коре выветривания (до 6 л/с), наименьшие дебиты фиксируются на глубинах от 150 м (до 0,1 л/с). Зоны тектонических нарушений также обуславливают повышенную проницаемость пород [71].

В целом, для района открытой разработки угля можно выделить тенденцию снижения открытой трещиноватости с глубиной (более 150 м), за счет чего резко снижается водообильности пород и увеличивается минерализация вод, меняется их химический состав.

По составу воды преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые, кальциево-магниевые и очень редко кальциево-натриевые, напорные (до 30 м), на водоразделах – безнапорные. Уровни устанавливаются на глубинах от 0,5 до 40 м. Наибольшие водоприток фиксируются в долине р. Томь, наименьшие – в Прокопьевско-Киселевскому районе.

Водоносные интенсивно дренируются за счет водоотлива при ведении открытых и подземных горных работ. Суммарный водоотлив составляет 350,4 тыс. м³/сут сопровождается водопонижением и образованием значительных по глубине депрессионных воронок, параметры которых представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – глубина депрессионных воронок за счет водоотлива вблизи населенных пунктов [71]

Местоположение	Глубина депрессионной воронки, м
г. Ленинск-Кузнецкий	80-250
г. Белово	210
г. Прокопьевск	120
г. Новокузнецк	100-300
г. Осинники	50
г. Междуреченск	30-150

Всего в Кузнецком бассейне разведано 54 месторождения подземных вод, их суммарный утвержденный запасами составляет порядка 734 тыс. м³/сут., их которых трем крупнейшим месторождениям – Пугачевскому, Старочервовскому и Березовоярскому – принадлежит около 23%.

Комплекс водоносных горизонтов, приуроченных к кайнозойским отложениям, ввиду их разнообразной литологии характеризуется различной водообильностью: порово-пластовые воды аллювиальных отложений нижних террас являются основными водотоками. Наибольшие показатели зафиксированы в песчано-галечниковых отложениях долин рек Томи, Кондомы, Ини и др. на глубинах до 18–25 м. Воды – напорно-безнапорные, гидрокарбонатные кальциевые, иногда кальциево-магниевые.

Кроме того, физико-географический фактор также оказывает влияние на водообильность пород. Так, в предгорных участках Присалаирской зоны, относящейся к степи, отложения балахонской серии характеризуются невысокой обводненностью, однако аналогичные породы в таежной зоне вблизи Горной Шории дают водопритоки в подземные выработки до 1000 м³/ч.

Очевидно, что гидрогеологический фактор оказывает значительное влияние на технологию и методы открытой разработки угля в Кузбассе, особенно для разрезов, расположенных в районах распространения наиболее водообильных и проницаемых аллювиальных отложений, таежной зоне Пригорношорской полосы или примыкающих к центральному юрскому артезианскому бассейну.

Описывая гидрогеологическую обстановку региона с позиции оценки устойчивости высоких отвальных сооружений нельзя не сказать о водоносных горизонтах, формирующийся непосредственно в техногенных массивах под воздействием обильного инфильтрационного питания и особенностей стокового режима поверхностных вод.

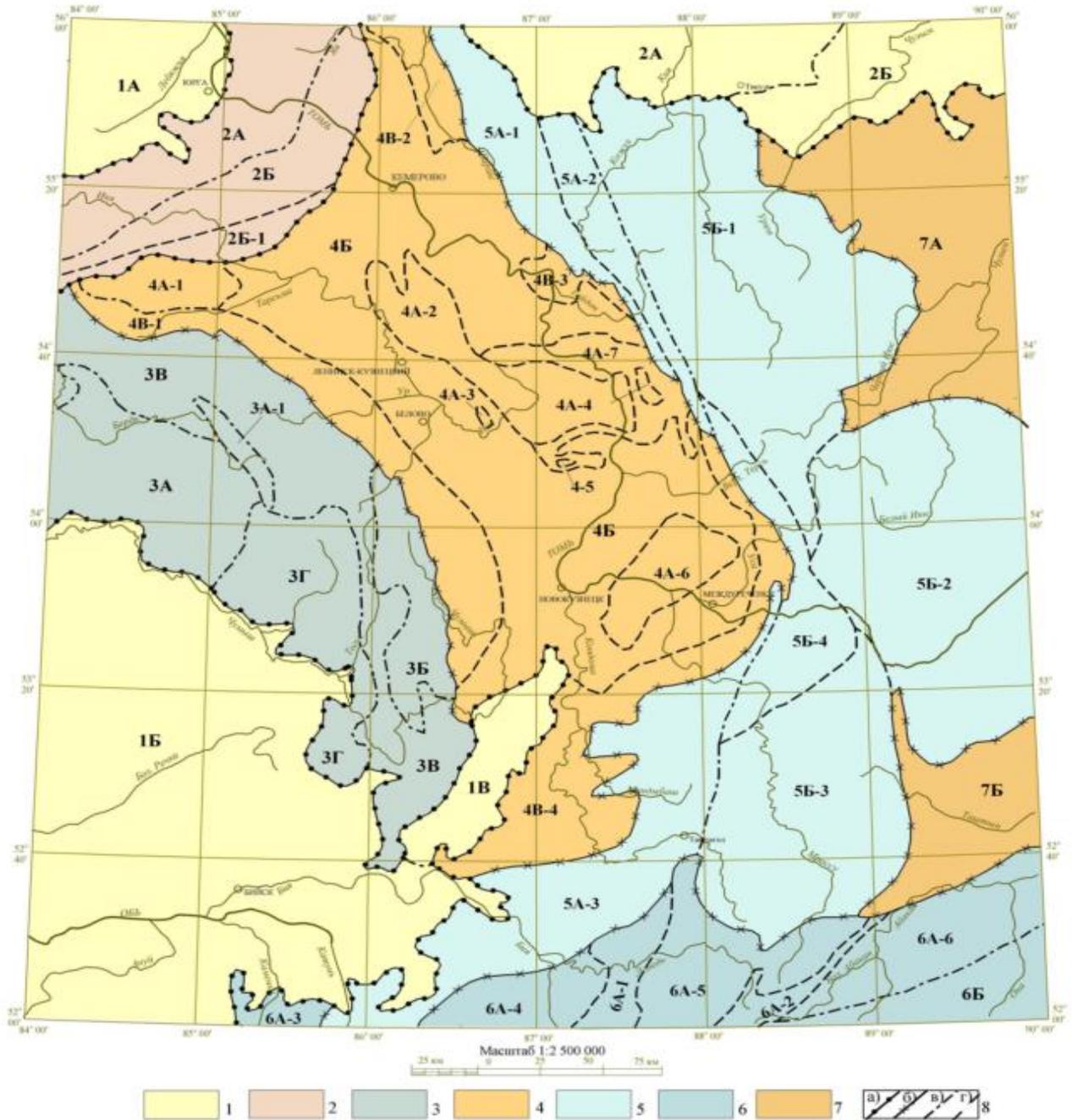


Рисунок 2.4 – Гидрогеологическое районирование территории Кузнецкого бассейна [71]

Они приводят, как уже было описано ранее, к изменению напряженного состояния техногенного массива как в период формирования, так и при эксплуатации.

Суммарное влияние гидростатического взвешивания и гидродинамического давления проявляется как гидростатическое давление, действующее по поверхности скольжения и направленное по нормали к ней; гидростатическое

давление снижает эффективные напряжения в массиве и способствует уменьшению сил, удерживающих массивы в устойчивом состоянии; гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление оказывают существенное воздействие на устойчивость откоса в целом при условии, что значительная часть призмы возможного оползания находится ниже депрессионной (пьезометрической) кривой, или же при больших перепадах напоров вблизи откоса; кроме силового воздействия гидростатические и гидродинамические силы способствуют набуханию и снижению прочности глинистых пород, складываемых в отвал и слагающих основание сооружения.

2.5 Типизация условий устойчивости высоких отвалов угольных месторождений Кузбасса

Предлагаемая типизация разрабатывалась для условий Кузнецкого угольного бассейна и учитывает литолого-геологические особенности региона. Физико-механические свойства углевмещающей толщи, поступающей впоследствии в отвал виде пустой породы, определяются во многом ее возрастом, генезисом и геотектоническим развитием. Поэтому для выявления общих закономерностей инженерно-геологических условий отвалообразования была проведена региональная оценка условий формирования вмещающих пород и параметров физико-механических свойств вскрыши, поступающей в отвал.

На основании анализа современных технических и научно-исследовательских отчетов, а также специальной геологической литературы, была актуализирована геологическая карта горнопромышленных районов Кузбасса (рисунок 2.3), учитывающая стадии и способ отработки угля в регионе, а также возраст углевмещающей толщи.

В регионе преобладают отложения балахонской и кольчугинской серий, отличающиеся между собой по прочностным параметрам пород углевмещающей толщи (таблица 2.3). Районами распространения отложений балахонской серии являются: «Анжеро-Судженский, Кемеровский, Бачатский, Прокопьев-

ско-Киселёвский, Араличевский, Бунгуро-Чумышский, Кондомский, Мрасский и Томь-Усинский, Крапивинский, Титовский, Завьяловский. Районами, характеризующимися преимущественным развитием отложений кольчугинской серии, являются: Ленинский, Беловский, Ускатский, Ерунаковский, Байдаевский, Осиновский, Плотниковский, Салтымаковский и Терсинский (месторождение Макарьевское)» [71] (рисунок 2.6).

В районах, где ведется добыча угля открытым способом, были выбраны типовые месторождения, характеризующиеся наиболее литологически представительным разрезом, что позволило провести сравнительный анализ и сделать выводы о закономерностях изменения параметров прочности вскрышных пород, поступающих в отвалы, и пород естественного основания. Установлено, что определяющее влияние на прочность обломков вскрышной породы в отвале будет оказывать тип цемента исходной породы.

Для балахонской серии, анализированной на примере вскрышных пород разрезов Кедровский, Бачатский, Вахрушевский, характерен карбонатный тип цемента, который на стадии вторичных преобразований углевмещающей толщи активно замещал полевые шпаты, что привело к дополнительным спайкам между первичным цементом и минеральными обломками и, соответственно, значительному повышению прочности пород, которая сохраняется в обломках при поступлении в отвал.

Породы кольчугинской серии, анализ которых выполнен на основании пород с разрезов Заречный, Талдинский, Моховский, Кыргайский Средний, находясь на более низкой стадии катагенетических изменений, слабо проявляют вторичные изменения. Учитывая площадное распространение, можно утверждать, что преимущественно породы данной серии обладают глинистым цементом, представленным гидромусковитом, с проявлениями серицита и карбонатов в породах, соответствующих стадии метаморфизма углей Д и выше. Тип цемента в данных породах, как правило, пленочный.

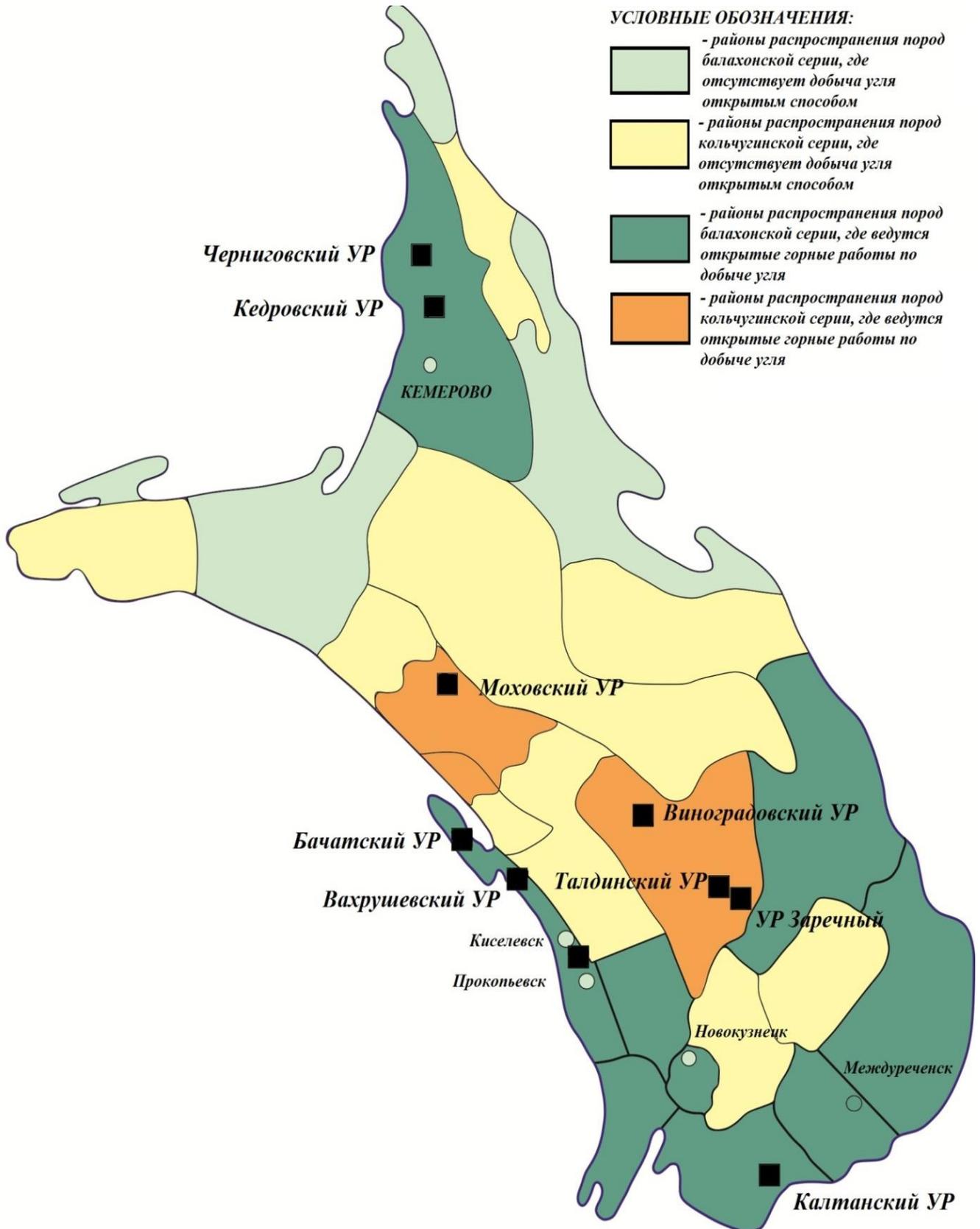


Рисунок 2.5 – Актуализированная схема открытой разработки угля в Кузбассе

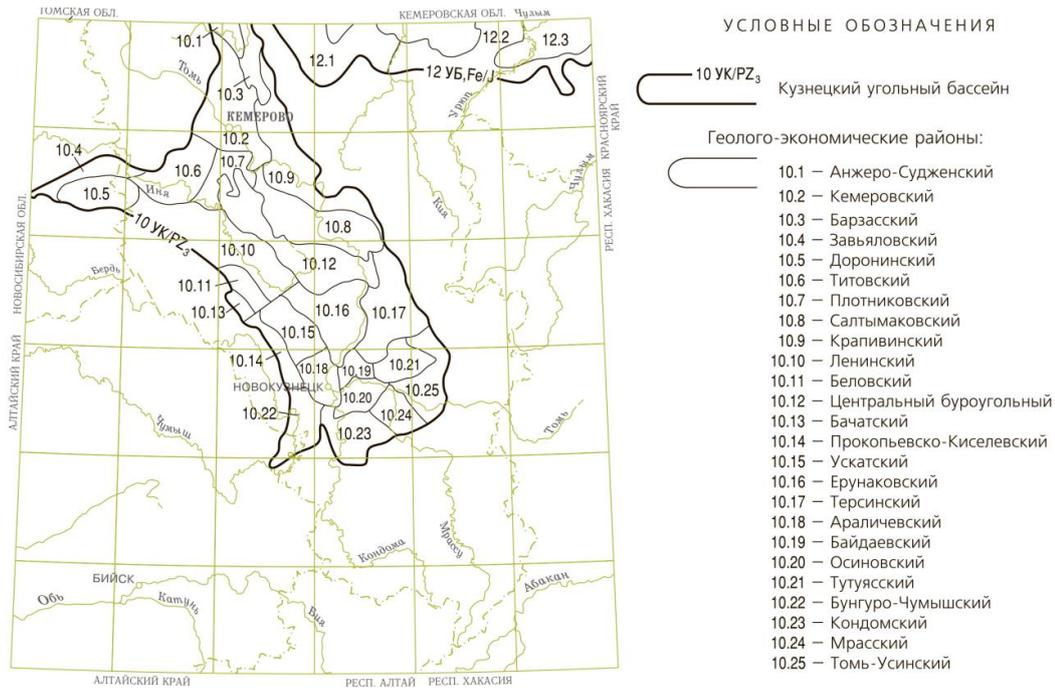


Рисунок 2.6 – Схема геолого-экономического районирования Кузбасса [71]

Таблица 2.3 – Сравнительная характеристика пород балахонской и кольчугинской серий [18]

Виды пород	Породы кольчугинской серии (Центральный Кузбасс)	Породы балахонской серии (предгорные районы Кузбасса)
Песчаники	Цемент пород в основном <i>глинистый</i> , пленочный, представлен гидрослюдой. Среднее значение временного сопротивления сжатию <u>37</u> МПа. Содержание во вскрышной толще достигает 25 % .	Цемент пород преимущественно <i>карбонатный</i> , поровый и пленочный. Среднее значение временного сопротивления сжатию <u>87</u> МПа. Содержание во вскрышной толще достигает 60 % .
Алевриты	Цемент преимущественно <i>глинистый</i> , пленочного типа. Среднее значение временного сопротивления сжатию <u>26,2</u> МПа. Содержание в отвале составляет до 70 % .	Характеризуются наличием <i>карбонатного</i> цемента. Среднее значение временного сопротивления сжатию <u>60,67</u> МПа. Составляют до 30 % отвальной массы.
Аргиллиты	Характеризуются ослабленными структурными связями. Среднее значение временного сопротивления сжатию <u>19,7</u> МПа. Содержание в отвальной массе незначительно – до 5 % .	Характеризуются ослабленными структурными связями. Среднее значение временного сопротивления сжатию <u>22,3</u> МПа. Содержание в отвальной массе незначительно – до 5% .

Совершенно очевидно, что кольчугинские и балахонские отложения, различающиеся по типу цемента и прочностным свойствам, будут характеризовать различным деформационным поведением при вскрышных работах, транспортировке до мест размещения в отвале и непосредственно в техногенном отвальном массиве.

Анализ изучения формирования внешних отвалов Кузбасса позволил выделить основные факторы, определяющие устойчивость их откосов, которые были в дальнейшем положены в основу предлагаемой типизации. Кроме того, в ней учитывались рассмотренные выше особенности геологического, структурного и литологического строения региона.

Предложенная типизация (таблица 2.4) учитывает:

1) возраст вскрышных пород, который определяет их прочность. Данная информация практически всегда содержится в геологических отчетах по месторождению, поэтому нет необходимости в проведении дополнительных исследований. Кроме того, от прочности кусков пород в массивах высоких отвалах будет зависеть их дальнейшее разрушение (дробимость) и изменение гранулометрического состава, что в конечном итоге повлияет на пористость и, соответственно, водопроницаемость отвального массива. При снижении данных показателей до определенных значений может возникнуть ситуация, связанная с формированием техногенного водоносного горизонта, гидродинамика которого существенно скажется в конечном итоге на устойчивости откосов. Подробнее процессы, формирующиеся в высоких отвальных массивах, описаны далее.

2) тип основания отвала также классифицируется по прочности: к прочному отнесены основания, представленные скальными/полускальными породами, к слабым – глинистые водонасыщенные грунты, как правило, четвертичного возраста.

3) учитывается геоморфология основания. Известно, что наклон основания оказывает значительное влияние на устойчивость отвала, а также определяет технологию его формирования.

4) учет гидрогеологических условий техногенного массива и его основания – один из важнейших факторов при оценке устойчивости и обосновании максимальных параметров отвала. Для высоких отвалов Кузбасса, сформированных на естественном глинистом основании, характерно развитие 2-х процессов: дробление отвальной массы в нижней части отвала, как следствие, снижение ее проницаемости и формирование техногенного водоносного горизонта, способного достигать 70 % от высоты массива, как это наблюдалось на отвале разреза Заречный. Этот факт редко принимается во внимание, т.к. считается, что отвалы, сформированные сухим способом, не содержат воды, в конечном итоге, это приводит к завышению параметров и возникновению опасных деформаций в откосах. Второй процесс, развивающийся при формировании высоких отвалов на глинистом основании, связан с возникновением ИПД в основании. Под действием нагрузок от сооружения, значительно превышающих структурную прочность пород основания, в глинистых водонасыщенных породах ломаются структурные связи и большая часть нагрузки воспринимается поровой жидкостью, которая, в свою очередь, формирует эффект гидроразрыва, тем самым снижая несущую способность грунта. Данный процесс следует принимать во внимание при обосновании параметров.

5) последний фактор в типизации – высота сооружения. Описанные ранее процессы характерны для отвалов Кузбасса свыше 60 м, в основании которых развиваются вертикальные нагрузки более 1,0 МПа.

Основной идеей разработанной типизации служит индексация техногенных массивов, благодаря которой при проектировании отвалов будут заранее предусмотрены процессы, формирующиеся в подобных горнотехнических сооружениях, предложен оптимальный диапазон устойчивых параметров массива, даны рекомендации по технологии отвалообразования, методике гидрогеомеханического мониторинга.

Таблица 2.4 – Типизация условий устойчивости внешних отвалов угольных месторождений Кузбасса

Тип отвальной массы	I. Балахонская серия, цемент преимущественно карбонатный, $R_c=50-120$ МПа	II. Кольчугинская серия, цемент преимущественно глинистый, $R_c=15-50$ МПа	III. Неоген-четвертичные отложения, $R_c \leq 1$ МПа
Тип основания отвала	A. прочное (скальные, полускальные породы)	слабое	
		B. дисперсные песчаные, твердые до полутвердых глинистые породы	B. глинистые пластичные и текучие породы
Геоморфологические условия основания	пологое	наклонное	
	1. слаборасчлененный рельеф основания до 3 град.	2. наклон основания 3-6 град., наличие логов и водоразделов	3. наклон основания 6-9 град., наличие логов и водоразделов
Гидрогеологические условия ПТС «отвал+основание»	a. отсутствие водоносных горизонтов	б. наличие безнапорного водоносного горизонта	в. наличие безнапорного и напорных водоносных горизонтов
Высота отвала	i. до 50 м	ii. 50-100 м	iii. более 100 м

Основной идеей разработанной типизации служит индексация техногенных массивов, благодаря которой при проектировании отвалов будут заранее предусмотрены процессы, формирующиеся в подобных горнотехнических сооружениях, предложен оптимальный диапазон устойчивых параметров массива, даны рекомендации по технологии отвалообразования, методике гидрогеомеханического мониторинга.

Поскольку предметом научного исследования являются высокие внешние отвалы Кузбасса, то наиболее распространенными типами в регионе являются, например, I-B-2-б-ii (Вахрушевский угольный разрез (УР)), I-B-2-б-iii (Бачатский УР, Кедровский УР), I-B-3-б-ii (Калтанский УР), I-B-3-б-iii (Бачатский УР) и II-B-2-б-ii (Моховский УР), II-B-2-б-iii (Талдинский УР), II-B-3-б-ii (Виноградовский УР), II-B-3-б-iii (Заречный УР, Виноградовский УР).

Балахонские отложения предгорных частей региона можно отнести к **I типу** по прочности вскрышных пород. Согласно выполненным в рамках диссертационной работы исследованиям, в подобных породах значительного из-

менения гранулометрического состава не наблюдается. Отложения кольчугинской серии, относящиеся к **II типу** пород по прочности, напротив, значительно меняют свой грансостав в процессе формирования высоких отвалов, что приводит в конечном итоге к снижению прочностных параметров в призме активного давления, а также формированию слабопроницаемого ядра в зоне воздействия повышенных напряжений и развитию техногенного водоносного горизонта (рисунок 2.7). На основании экспериментальных данных и численного моделирования было установлено пороговое значение коэффициента фильтрации $2,5 \text{ м/сут}$, при котором уровень обводнения в отвале превышает 10 %, что снижает коэффициент запаса устойчивости горнотехнического сооружения не менее чем на 15 %.

Практика современного отвалообразования в регионе предполагает активное развитие существующих отвалов или формирование новых отвалов на ликвидированных гидроотвалах. Таким образом, наиболее распространенным основанием высоких отвалов являются слаболитифицированные обводненные глинистые грунты, и наиболее распространенный тип основания в регионе – тип В.

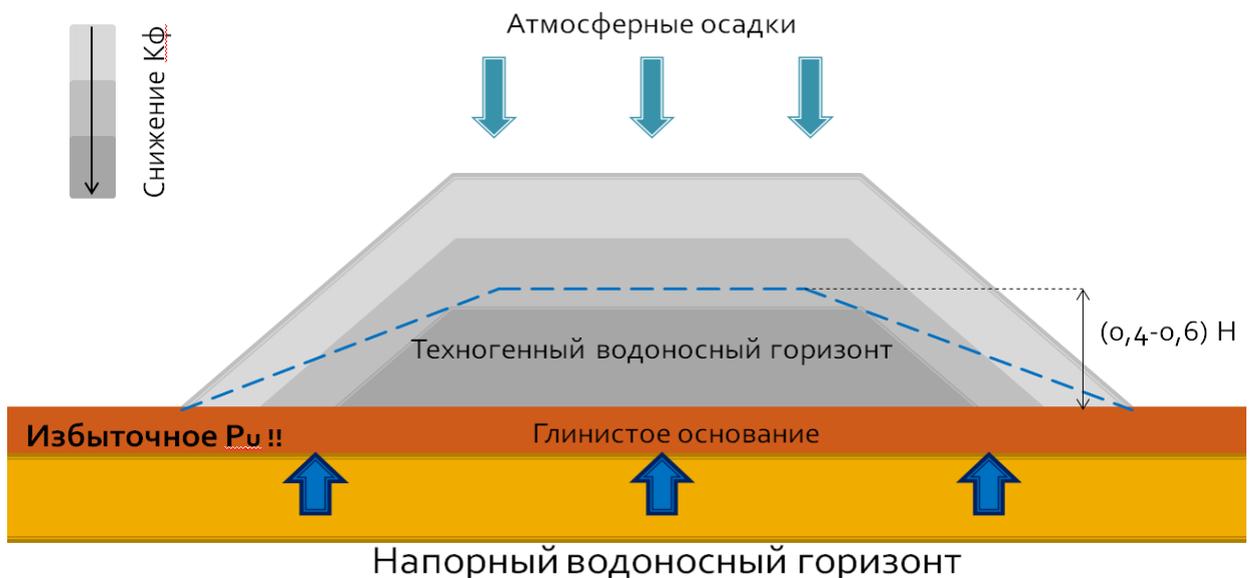


Рисунок 2.7 – Изменение проницаемости отвальных пород под влиянием вертикальных нагрузок

В связи с тем, что под отвальные сооружения отводятся земли, непригодные для сельскохозяйственной, строительной или иной деятельности человека, как правило, горнотехнические объекты располагаются на умеренно или сильно расчлененных территориях – типы 2 и 3.

Наличие одного или нескольких водоносных горизонтов и высота отвала – факторы, определяющиеся индивидуально для каждого сооружения.

Предлагаемые на основе индексации рекомендации по ведению отвалообразования, прогнозу характерных гидрогеомеханических процессов в техногенных массивах и их основаниях приведены в приложении 1.

2.6 Выводы по главе 2

Кузнецкий угольный бассейн характеризуется достаточно сложным геологическим строением, являющимся результатом длительной геотектонической эволюции области и оказывающим значительное влияние на открытую разработку угля в целом и, в частности, условия отвалообразования.

В ходе анализа геологических условий региона было выявлено, что преимущественно открытая отработка угля ведется в породах балахонской и кольчугинской серий. Породы балахонской серии, представленные переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов с угленосными пластами выходят на дневную поверхность в окраинных частях региона. В рассмотренных отложениях отмечается наличие высоко метаморфизованных углей (СС, К), поэтому углевмещающие породы характеризуются более высокой степенью литификации, выражающейся в наличии карбонатного и карбонатно-сидеритового цемента, и прочностью. Кроме того, отмечается зональность соотношения основных отложений углевмещающей толщи - песчаников и алевролитов. В северной части Кузбасса доля песчаников и алевролитов составляет 80 и 20 %, в центральной части процентное содержание указанных разновидностей соответственно составляет 57-66 % и 20-28 %. В южной части бассейна, в Про-

копьевско-Киселевском районе, в балахонской углевмещающей толще отмечается примерное равенство песчаников и алевролитов. Кольчугинские отложения верхней перми менее литифицированы, имеют, в основном, глинистый цемент, меньшую прочность. К ним приурочены угли марок Д и Г. В пределах региона также отмечается определенная зональность в соотношениях содержания во вскрышной толще песчаников и алевролитов, менее выраженная, чем для балахонских отложений.

Покровные отложения в регионе представлены преимущественно четвертичными глинистыми разностями аллювиального, делювиального, эолового генезисов. Максимальная их мощность приходится на центральную часть региона, где может достигать 80 м, уменьшаясь в северном направлении до 10-20 метров и южном направлении до первых метров и их полного отсутствия в горной местности.

Согласно утвержденному гидрогеологическому районированию рассматриваемая территория относится к Кузнецкому адартезианскому межгорному бассейну 2-го порядка. Для оценки устойчивости горнотехнических сооружений наибольший интерес представляют водоносные горизонты и комплексы, распространенные в верхней части геологического разреза: - комплекс углевмещающих пород, состоящий из комплекса балахонской серии и комплекса кольчугинской серии; - комплекс кайнозойских отложений; - водоносный горизонт, формирующийся в техногенном массиве отвала.

На основании литературных данных, геологических отчетов и личного изучения осуществлено следующее: - актуализирована схема районирования региона по обрабатываемым в геолого-экономических районах углевмещающим сериям; - выбраны представительные разрезы (угольные предприятия), по которым проведен сравнительный анализ параметров свойств основных углевмещающих пород, складированных в отвальные массивы. Данные исследования позволили разработать типизацию внешних отвалов по условиям устойчивости, основной целью которой является индексация техногенных массивов

для последующего прогнозирования развития процессов, характерных для подобного типа сооружений, а также разработки на стадии проектирования сооружений рекомендаций по технологии отвалообразования и предложений по составу и методике ведения мониторинга для конкретных типов отвальных массивов.

Выполнен анализ проектных и фактических параметров отвалов, формируемых при разработке угольных месторождений, обрабатывающих кольчугинские и балахонские отложения. Установлены корреляционные зависимости между высотой и результирующим углом откоса отвалов для отвалов, сложенных дезинтегрированными отложениями различного возраста.

ГЛАВА 3 ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ ВЫСОКИХ ОТВАЛОВ КУЗБАССА

3.1 Техногенез отвальных пород и характеристика объектов диссертационного исследования

Техногенез в современном научном понимании представляет собой совокупность процессов изменения ландшафта в результате производственной и хозяйственной деятельности человека. В свою очередь, ландшафт – это сложившийся в определенных условиях генетически однородный территориальный природный комплекс, характеризующийся определенными горногеологическими и физико-географическими условиями, почвенным покровом и единым биоценозом. Особое место при изменении ландшафта занимают процессы формирования в пределах рассматриваемых территорий новых специфических породных образований – техногенных пород или грунтов. Они формируются на поверхности или в пределах верхней части литосферы как результат различных видов жизнедеятельности человека – строительной, горной, военной и др. В технической литературе приняты термины: искусственные, антропогенные и техногенные грунты, причем последнее название укрепилось в качестве основного, вошло в классификации грунтов.

Под техногенными породами в настоящее время понимают естественные горные породы, претерпевшие значительные изменения строения, гранулометрического состава, состояния и свойств в местах первоначального залегания или перемещенные на новые участки с применением хозяйственных и производственных технологий в виде различных горнотехнических и инженерно-технических сооружений [76]. Кроме того, к техногенным относятся новые породные образования, возникшие в результате применяемых в народном хозяйстве особых технологических процессов, приводящих к появлению отходов и пород, кардинально отличающихся по строению, составу, структуре и текстуре, состоянию и свойствам от исходного минерального и органического сырья, используемого в производстве.

Большое скопление техногенных пород в литосфере Земли приурочено к территориям интенсивной хозяйственной деятельности – участкам промышленного и городского размещения. Так, в крупных городах и агломерациях с длительным сроком существования отмечается формирование культурного слоя мощностью от 1-2 до десятков метров. В частности, для условий Москвы и Санкт-Петербурга мощность техногенных пород культурного слоя достигает соответственно 12 и 9 метров. На некоторых специально выделенных участках городов сформированы и функционируют инженерные сооружения – свалки и полигоны производственных и бытовых отходов. Для них характерно постоянное площадное расширение, вовлечение новых территорий, и, зачастую, увеличение высоты подобных инженерных объектов наносит значительный вред экологии районов размещения и здоровью населения, проживающего в непосредственной близости.

Наиболее остро проблема формирования техногенных пород возникает при добыче и переработке полезных ископаемых, а также сжигании угля при отоплении и на тепловых электростанциях. При этом по самым скромным подсчетам ежегодно образуется до 10 млрд м³ вскрышных пород и 0,4 млрд м³ золы и шлаков.

Формирование свойств техногенных пород как объектов инженерно-геологического изучения зависит от исходного вещественного состава перерабатываемого сырья и образующегося отхода, а также от способа и характера воздействия при инженерной деятельности. В классификации ГОСТ 25100—2011 [76] техногенные грунты отнесены к отдельному классу и подразделяются, в свою очередь, на несколько подклассов.

Существуют также другие классификации техногенных пород (грунтов), разделяющие их по способу возведения. В частности, в классификации, разработанной А.П. Афониним, И.В. Дудлером, Р.С. Зиангировым, выделяются три класса – техногеннообразованные, техногенноперетолженные и техногенноизмененные, каждый из которых делится на группы планомерно и непланомерно возведенных [77]. Первые два класса также разделяются на подгруппы

намывных и насыпных пород, а третий – на измененные физическим и химико-физическим взаимодействием в условиях естественного залегания. В рамках данной классификации *породы сухих отвалов угольных предприятий относятся к классу техногенноперетолженных, группе непланово возведенных, подгруппе насыпных.*

Изучению процессов технолитогенеза отвальных техногенных пород посвящены работы Ю.И. Кутепова и Н.А. Кутеповой [78]. Ими, по аналогии с постулатами теории литогенеза, принята схема образования техногенноперетолженных пород, включающая три этапа: образование исходного материала за счет разрушения материнских отложений, его перемещение до мест складирования и породообразование. Предложенная схема рассматривает этапы формирования инженерно-геологических условий отвальных массивов, определяющие факторы природного и техногенного характера, их роль и взаимосвязь.

На первом этапе техногенеза отвальных пород происходит формирование исходного состава в результате действия различных горнотехнологических процессов, таких как бурение и взрывание, экскавация сухойнойными механизмами (рисунок 3.1а). Второй этап связан с погрузкой подготовленной горной массы в автосамосвалы и думпкары (при железнодорожном транспорте), ее транспортировкой до мест хранения и размещением в отвал (рисунок 3.1б). По техногенному воздействию он характеризуется минимальными изменениями состава при транспортировке и значительной его трансформацией в моменты размещения в отвале за счет развития процессов сегрегации материала. Кроме того, складирование вскрышной массы в отвал с применением экскаваторов сопровождается сбрасыванием ее с определенной высоты, что приводит к уплотнению пород в отвале в результате динамического воздействия. Третий – завершающий этап техногенеза отвальных пород – связан с образованием и изменением их в массиве в течение всего срока существования сооружения (рисунок 3.1в). Его сутью является формирование состояния и физико-механических и фильтрационных свойств пород техногенных пород в результате

гравитационного уплотнения. Роль других процессов в формировании техногенных пород – образование структурных связей и физико-химическое уплотнение, минимально из-за отсутствия в составе значительного количества глинистого материала. При возрастании его доли в составе пород техногенного массива следует ожидать активизации структурных взаимодействий и развитие процесса физико-химического уплотнения.

Структура насыпного отвального массива зависит от технологии отвалообразования:

- способа размещения пород в отвалы (экскаваторного, бульдозерного и пр.),
 - высоты отвального яруса, интенсивности отвалообразования, прочности пород основания,
 - климатических особенностей района (дождь, снег, температура и т. д.)
- и пр.

Также влияние оказывает и технологическая схема разработки месторождения, определяющая соотношение литологических разностей, отсыпаемых одновременно, в связи с чем могут возникать условия их перемешивания в отвале, приводящие к образованию крупнообломочных разностей с глинистым заполнителем. Непосредственно на этапе отвалообразования существенную роль в формировании отвальных массивов играет процесс сегрегации частиц по мере их движения по склону, выражающийся в дифференциации фракционного состава в разрезе отвала от более крупных частиц в основании отвала к более мелким в верхней части откоса. Вследствие этого явления нижние слои в приоткосных отвалах характеризуются повышенными коэффициентами фильтрации. Кроме того, при движении по склону частицы за счет инерции накапливают определенную кинетическую энергию, которая гасится при встрече с естественным основанием и происходит уплотнение отвальных пород в основании сооружения.

Технолитогенез отвалов небольшой высоты на этом этапе прекращается, так как процессы выветривания не играют существенной роли в преобразовании пород массива в период его формирования и эксплуатации, а другие факторы отсутствуют. Однако в случае высоких отвалов значительное влияние на трансформацию техногенных пород оказывают развивающиеся в сооружении значительные вертикальные нагрузки. Так, при средней плотности отвальной массы угольных месторождений Кузбасса $1,85 \text{ т/м}^3$, при высоте массива 100 метров, в его основании давления от вышележащих пород достигают 1,8 МПа. Такие значительные величины нагрузок приводят к дроблению материала, что в итоге приводит к изменению гранулометрического состава. Результаты изучения изменения фракционного состава отвальных пород под действием вертикальных нагрузок до 5,0 МПа приведены далее. Необходимо отметить, что в связи с процессом дробления, помимо закономерного изменения прочностных свойств отвальной массы в меньшую сторону, при определенном режиме инфильтрационного питания происходит повышение степени обводнения откоса отвала, что оказывает значительное влияние на запас устойчивости сооружения и провоцирует развитие негативных деформаций. Теоретическое обоснование развития данных процессов подтверждается многочисленными примерами аварий на отвалах разрезов Кузбасса, описанных ранее.

Таким образом, техногенез как процесс образования техногенных отвальных пород базируется на положении о том, что их формирование происходит поэтапно в совокупном влиянии техногенных и природных процессов, каждому из которых присуща определенная взаимосвязь указанных процессов.

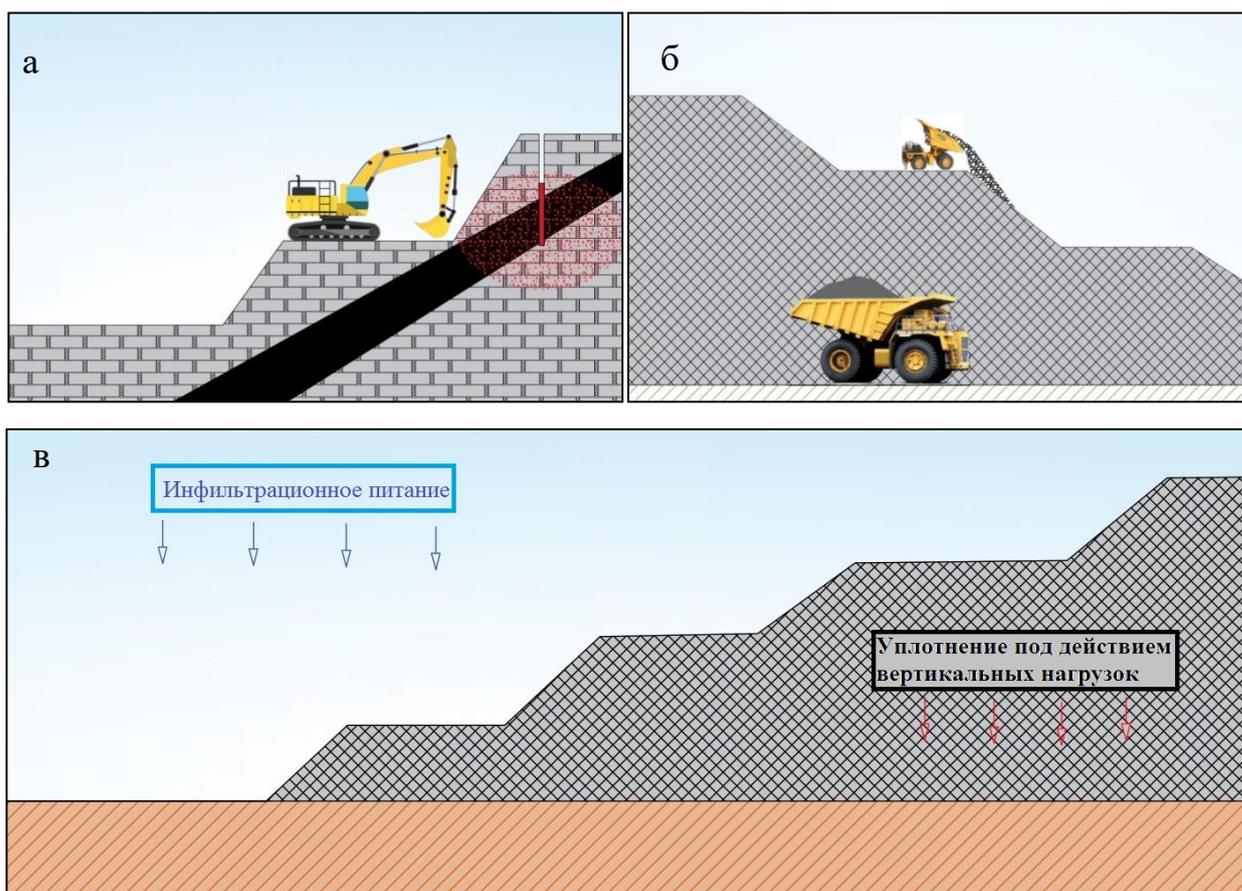


Рисунок 3.1 – Схема технолитогенеза отвальных пород Кузбасса

3.2 Инженерно-геологическая характеристика объектов диссертационного исследования

Изучение трансформации гранулометрического состава, механических и фильтрационных свойств под влиянием вертикальных нагрузок отвальных пород было одной из основных задач, поставленных в рамках данной диссертационной работы. Исходным материалом для проведения лабораторных экспериментов послужили образцы горных пород из вскрышной толщи угольных разрезов Кузбасса кольчугинской серии: «Заречный», «Талдинский», «Виноградовский», «Кыргайский Средний», «Моховский», а также балахонской серии: «Кедровский», «Бачатский», «Краснобродский» и «Вахрушевский», представленные песчаниками, алевролитами и аргиллитами углевмещающей толщи в различном соотношении, а также покровными неоген-четвертичными суглинками. Подробная инженерно-геологическая характеристика каждого объекта будет рассмотрена ниже [2, 17, 19, 79-81].

Талдинское каменноугольное месторождение расположено в центральной части Ерунаковского геолого-экономического района Кузбасса, на территории Прокопьевского и Новокузнецкого районов Кемеровской области и разрабатывает угли марок Г и ДГ несколькими разрезами. В строении месторождения принимают участие осадки ерунаковской свиты кольчугинской серии, характеризующиеся пологим падением, и четвертичные отложения. Ерунаковская свита, представлена ленинской, грамотеинской и тайлуганской подсвитами.

В рамках данной работы в пределах месторождения будут рассмотрены отвальные массивы разрезов «Заречный», «Талдинский», «Кыргайский Средний».

Угольный разрез «Заречный» приурочен к Ерунаковскому геолого-экономическому району Кузбасса в пределах геологического участка Талдинские 1-2 (рисунок 3.2). В структурном плане разрез расположен в пределах к западной части Талдинской брахисинклинальной складки.

Поверхность участка представляет собой изрезанный логами водораздел рек Тагарыш и Кыргай. Долина р. Тагарыш, протекающей вдоль восточной границы, и долины крупных логов заболочены. Рельеф участка увалистый, абсолютные отметки водоразделов 330,0-370,0 м, долин 224,0-350,0 м. Вершины водоразделов плоские, к югу и юго-востоку постепенно переходят в пологие склоны (7-12°), а к северу, западу и юго-западу - в более крутые, преимущественно 15-20°, иногда 30-40°.

Площадь разреза сложена осадками верхних горизонтов грамотеинской и низами тайлуганской подсвит. Литологический состав вмещающей толщи представляет собой переслаивание алевролитов (до 61,3 %), песчаников (от 18,4 до 27,2 % на юго-западе разреза) и алевролитов (4,2-5,5 %). Угленосность поля участка составляет 19,9 %. Выветрелые породы встречены до глубины 60 м (локально до 100 м) и характеризуются высокой трещиноватостью и относительно низкими прочностными параметрами (в 3-4 раза меньше чем у пород

незатронутых выветриванием при незначительном отличии углов внутреннего трения).

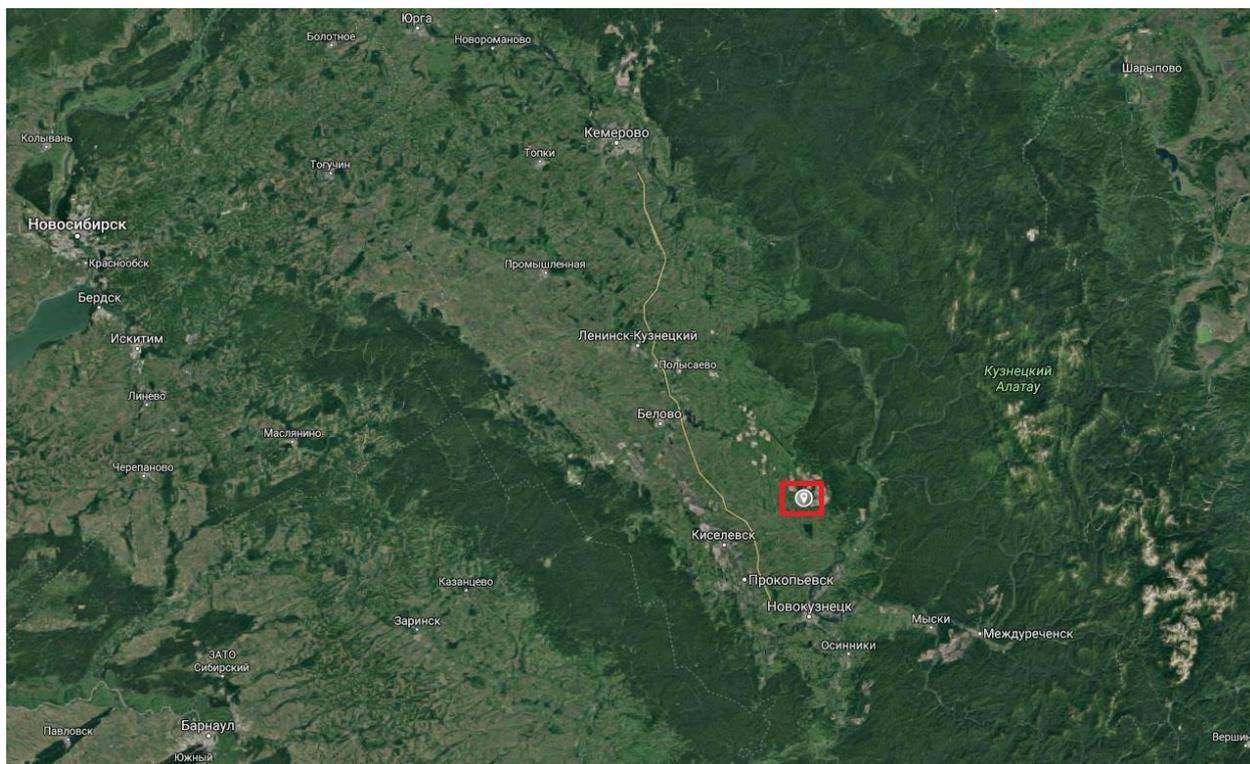


Рисунок 3.2 – Расположение разреза «Заречный» в пределах рассматриваемой территории Кузбасса

Вскрышные породы складированы автотранспортом во внешний отвал №1 и внутренний отвал. Общий объем породы, вывозимый на отвалы составит 355 800 тыс. м³. Поскольку предметом данной научной работы являются внешние отвалы угольных разрезов, внутренний отвал месторождения рассматриваться не будет.

Существующий внешний отвал №1 расположен на западном борту разреза «Заречный». Во внешний отвал поступали вскрышные коренные породы, представленные преимущественно алевролитами с примесью песчаников, аргиллитов и четвертичных отложений: суглинков и глин различной консистенции. Процентное соотношение складированных коренных пород к четвертичным разностям составляет приблизительно 60/40. Площадь основания отвала составляет 93,6 га, длина -1900 м, ширина достигает 850 м. Высота отвала колеблется от 75 до 140 м на разных участках, при этом результирующий угол откоса отвала изменяется в пределах 10-16° (при максимальной высоте откоса

140 метров результирующий угол составляет 10°). В результате произошедшего 01.04.2015 г. оползня южная часть отвала подверглась значительной деформации. При движении оползневого тела и образовании вала выпирания были повреждены транспортные коммуникации и объекты производственной деятельности соседних предприятий, а также прервано их электроснабжение. В зоне влияния оползня оказались линии электропередач 110 кВ и 10 кВ, технологическая автомобильная дорога, подъездные железнодорожные пути Талдинского ПТУ, перекрыто русло реки Кыргай. В настоящее время все объекты инфраструктуры восстановлены. Для оценки возможности дальнейшей эксплуатации внешнего отвала №1, с учетом проведенных инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, Санкт-Петербургским Государственным Горным Университетом в 2016 году при участии автора данной работы выполнен отчет о научно-исследовательской работе «Инженерно-геологические и геомеханические исследования устойчивости внешнего отвала №1», в котором были даны рекомендации по дальнейшему ведению отвалообразования. На основании изучения инженерно-геологического строения территории отвалообразования, а также участка перспективного расширения отвала и создания упорной призмы, необходимой для безопасного ведения отвалообразования, установления характера неоднородности и изменчивости физико-механических свойств техногенных и естественных пород были выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- ИГЭ 1а – техногенные крупнообломочные грунты;
- ИГЭ 1б – техногенные суглинки с включениями маловлажные;
- ИГЭ 1в – техногенные суглинки с включениями влажные;
- ИГЭ 1г – техногенные обломочные породы, слагающие пригруз;
- ИГЭ 2а – породы естественного основания отвала: суглинки четвертичные мягкопластичной консистенции;
- ИГЭ 2б – породы естественного основания отвала: суглинки четвертичные твердой консистенции;

- ИГЭ 2в – породы естественного основания вне контура отвала: суглинки четвертичные коричневые мягкопластичные;
- ИГЭ 2г – породы естественного основания: суглинки четвертичные серо-коричневые полутвердые;
- ИГЭ 2д – породы естественного основания: суглинки четвертичные серо-коричневые твердые;
- ИГЭ 3 – породы естественного основания отвала: нижнепермские полускальные углевмещающие трещиноватые аргиллиты;
- ИГЭ 4 – породы естественного основания отвала: кора выветривания, представленная дресвяно-щебенистым грунтом с суглинистым заполнителем, процентное содержание которого снижается с глубиной;
- ИГЭ 5 – породы естественного основания отвала: нижнепермские полускальные трещиноватые песчаники;
- ИГЭ 6 – биогенные отложения, представленные торфом высокой степени разложения.

Угольный разрез «Талдинский» в административном отношении входит в состав Прокопьевского и Новокузнецкого районов Кемеровской области РФ (рисунок 3.3). По структурным особенностям и географическому положению участок приурочен к центральной части нечетко ориентированных пологих складок Ерунаковского района, куда относятся Талдинская брахисинклиналь и Жерновская антиклиналь, структурные формы которых определяют тектоническое строение участка. Границы участка приурочены к южному и северо-восточному крылу Талдинской брахисинклинали и западному замыканию Жерновской антиклинали, складки характеризуются спокойным моноклиналильным залеганием под углами от $10-15^{\circ}$ до $20-25^{\circ}$.

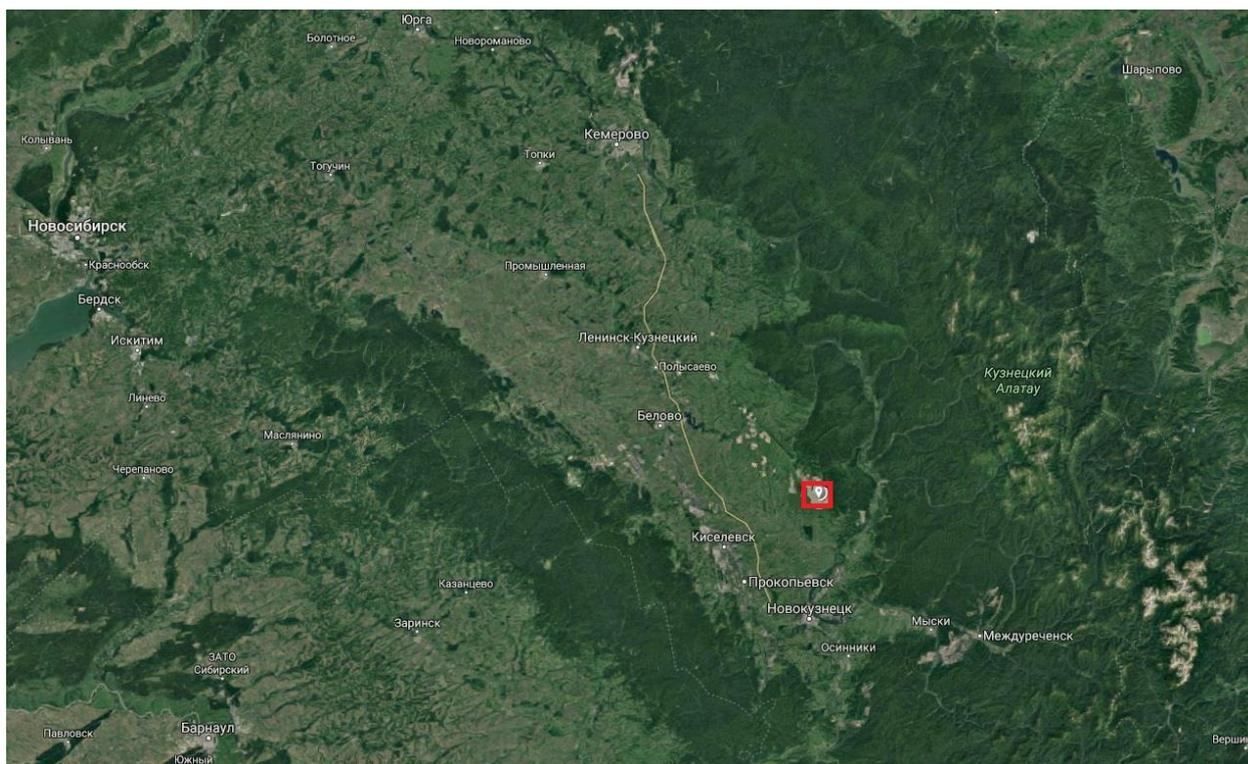


Рисунок 3.3 – Расположение разреза «Талдинский» в пределах рассматриваемой территории Кузбасса

В геоморфологическом отношении разрез сформирован долинами рек Тагарыш, Еланный и Черневой Нарык с системой их постоянных и временных притоков, характеризующихся слабоврезанными заболоченными долинами при общем наклоне рельефа на юг – юго-восток.

Отрицательные формы рельефа этих водотоков, чередуясь с водоразделами, придают поверхности месторождения резко выраженный холмистый характер. Абсолютные отметки поверхности месторождения колеблются от 230-240 м, в долинах водотоков до 300-310 м на водоразделах. Относительные превышения в пределах месторождения достигают 120-130 м.

Угленосная толща в границах разреза сложена осадками грамотеинской и тайлуганской свит кольчугинской серии верхней перми. Литологический состав пород и соотношение аналогичны разрезу «Заречный», граничащему с разрезом «Талдинский» на юго-западе. Основную долю пород вскрыши разреза составляют алевролиты (31-80 %) и песчаники (14-57 %). Осадки грамо-

теинской и тайлуганской свит перекрываются рыхлыми неоген-четвертичными отложениями, которые относятся к еловской, бачатской и кедровской свитам. В составе четвертичных отложений содержание суглинков в среднем составляет 80 %.

Размещение пород вскрыши с перечисленных горных участков производится во внутренних отвалах, во внешних отвалах – Восточном и Южном, на гидроотвале (наносы с участка Южный-73). По мере отработки запасов, фронт горных работ будет углубляться и смещаться к центру складки. С 2034 года начнется отработка в северной части участка «Талдинский», что обусловлено небольшим расстоянием транспортирование вскрышных пород на внешний отвал Восточный. В это же период начнется отработка в западной части участка «Талдинский». Вскрышные породы будут транспортироваться во внешний отвал Южный. С 2054 года, для более полного извлечения запасов, начнется отработка целика между участком «Талдинский» и разрезом «Заречный». Вскрышные породы при отработке целика будут размещаться во внешний отвал Южный и во внутренний отвал участка «Талдинский». В этот же период будет отрабатываться целик между участками «Талдинский» и «Таёжный». Вскрышные породы при отработке целика будут размещены во внешнем отвале Восточный.

В процессе эксплуатации в настоящее время отмечаются деформации отдельных участков внешних отвалов, отсыпаемых в логовых частях рельефа и особенно четко фиксируемые по тальвегу логов. Большая часть деформаций происходит в весенний и осенний периоды года (55 %), меньшая (30 %) в летний. Но деформации не прекращаются и зимой.

В литологическом разрезе участка, по данным изысканий, выполненных для обоснования проектной документации, были выделены следующие слои и инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

- ИГЭ 2. Почвенно-растительный слой с корнями растений. Слой, мощностью 0,1-0,2 м, распространен на площадке повсеместно.

- ИГЭ 4. Суглинки, светло-коричневые и серые, делювиальные. Слой распространён повсеместно. Вскрытая скважинами мощность слоя изменяется в пределах от 4,8 до 19,4 м. По физико-механическим свойствам слой разделяется на:

- ИГЭ 4а – суглинок, преимущественно, твердой консистенции, от практически непучинистого до среднепучинистого, среднесжимаемый. Вскрытая скважинами мощность элемента составляет 2,8-19,4 м.

- ИГЭ 4б – суглинок мягкопластичной консистенции, сильносжимаемый. Вскрытая скважинами мощность элемента составляет около 2 м.

- ИГЭ 5. Уголь каменный, черный, выветрелый. Пропласт угля, мощностью 0,8 м, вскрыт в толще коренных пород на глубине 13,0 м.

- ИГЭ 6. Коренные породы. Элювий песчаника и алевролита, выветрелых до состояния супеси и суглинка твердой консистенции, с включением песка, дресвы и щебня. Слой вскрыт скважинами на глубинах от 5,0 до 19,5 м.

Угольный разрез «Кыргайский Средний» расположен в Прокопьевском муниципальном районе Кемеровской области (рисунок 3.4). Разрез относится в большей степени к Северо-Талдинскому и, на юге, Новоказанскому месторождениям. Общая площадь Северо-Талдинского месторождения составляет 87 км², Новоказанского месторождения - 80 км².

В тектоническом отношении отложения участка располагаются на сопряжении двух различно ориентированных структур: восточного крыла Воробьёвской антиклинали северо-западного простирания и Кыргай-Осташкинской синклинали субширотного простирания. Восточное крыло Воробьёвской антиклинали приурочено к зоне линейных складок и разломов, ориентированных параллельно присалаирским структурам, и представляет собой моноклинал с углами падения от 70 до 20°. Непосредственно в пределах лицензионного участка отложения отличаются крутым залеганием пород 65-70°.

При этом на верхних горизонтах максимальные 70-80° углы падения сохраняются на всем протяжении от северной до южной границы участка и лишь несколько – на 5-10° уменьшаются на нижних горизонтах.

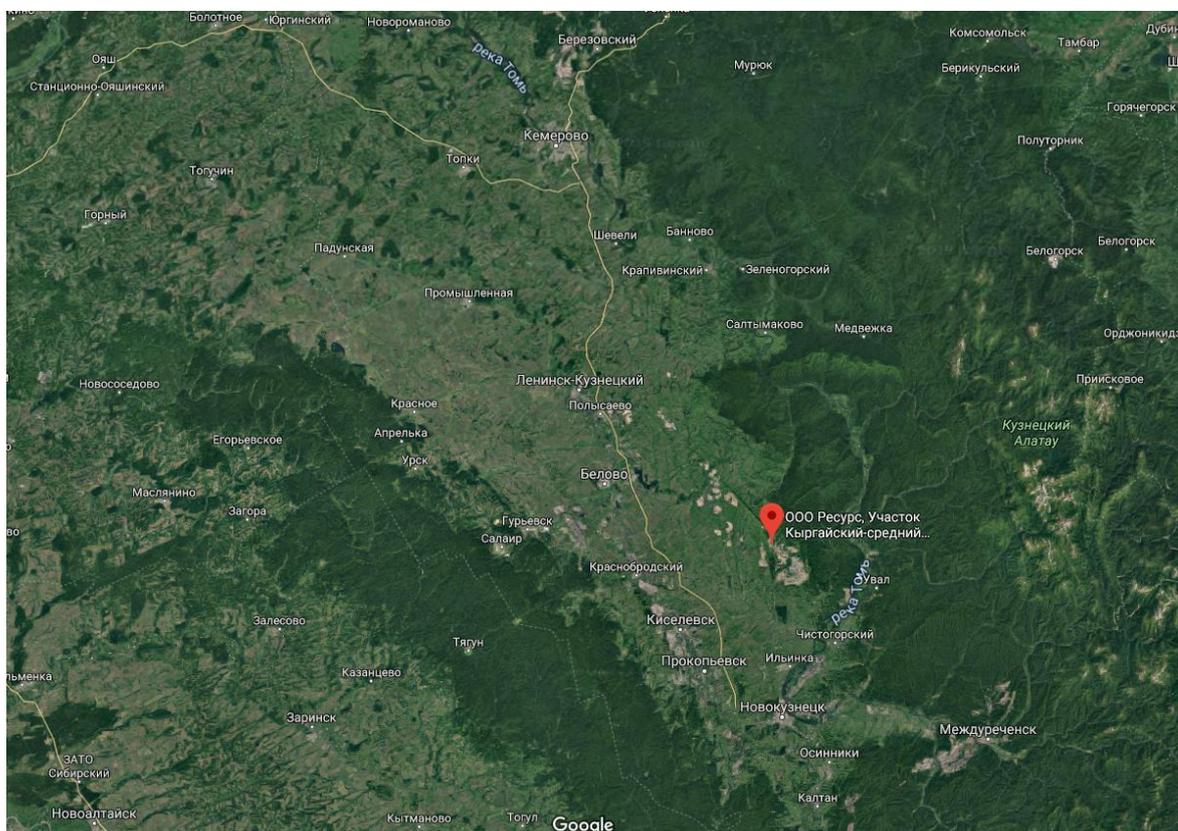


Рисунок 3.4 – Расположение разреза «Кыргызский Средний» в пределах рассматриваемой территории Кузбасса

Район участка недр является переходной зоной от таких орографических единиц как Кузнецкая котловина и Кузнецкий Алатау (западные склоны). Окружающая местность низкогорная, таежная, изрезанная многочисленными водотоками левобережной части водосбора р. Томь. Ненарушенные формы рельефа своим образованием обязаны речкам Кыргаю, Еланному и Черновому Нарыкам. Отметки дневной поверхности колеблются от +200 - 230 м в логовых частях до +300 - 365 м (а.о.) на водоразделах.

Угленосные отложения участка Кыргызский Средний относятся к грамотеинской и тайлуганской свитам ерунаковской подсерии кольчугинской се-

рии средней и верхней перми. Угленосные отложения представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами, различными типами их переслаиваний и углистыми алевролитами. Мощность слоев колеблется от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров. Преобладающими разностями являются алевролиты. Осадки перми перекрываются чехлом рыхлых отложений элювиального, делювиального и аллювиального характера мощностью от 0,5-1,0 м в речных долинах и до 24,9 м на водоразделах, средняя мощность покровных отложений до 8,0 м.

Общий объем вскрышных пород по участку составит 260 500 тыс. м³, в том числе 14 450 тыс. м³ – рыхлые отложения и 246 050 тыс. м³ – коренные породы. Складирование вскрышных пород предусматривается во Внешнем многоярусном отвале «Западный» вдоль западной границы участка открытых работ в количестве 260,5 млн м³, в 2018-го года началось формирование нового внешнего отвала «Восточный» на восточном борту разреза емкостью 39,275 млн м³.

Состав складировуемых пород характерен для месторождений данного района. Подробное изучение инженерно-геологических условий района проводилось в 2016 г. ООО «СибГеоТоп» на северо-западном участке проектируемого отвала. Характеристика выделенных инженерно-геологических элементов (ИГЭ) приведена ниже:

- ИГЭ-1 - почвенный грунт (биогенные отложения bQIV) распространен с поверхности по всей территории изысканий мощностью 0,5-1,0 м.

- ИГЭ-2а - суглинок твердый (аллювиально-делювиальные отложения ad Q III), объединяет твердые и полутвердые суглинки, залегает на глубинах от 0,2 до 8,6 м мощностью 0,7-3,6 м. Слой характеризуется однородным составом и представлен суглинками желто-бурого и бурого цвета ожелезненными, встречаются участки с включением дресвы и щебня осадочных пород до 9 % и с примесью органического вещества.

- ИГЭ-2б - суглинок тугопластичный (аллювиально-делювиальные отложения ad Q III) встречен в интервале глубин от 0,2 до 11,0 м мощностью 0,6-

5,8 м. Слой характеризуется однородным составом и представлен суглинками желто-бурого и бурого цвета, ожелезненными, встречаются участки с включением дресвы и щебня осадочных пород до 9 % и с примесью органического вещества.

- ИГЭ-2в - суглинок мягкопластичный (аллювиально-делювиальные отложения ad Q III) залегает в интервале глубин от 0,2 до 7,7 м мощностью 0,5-3,9 м. Слой характеризуется однородным составом и представлен суглинками желто-бурого и бурого цвета ожелезненными, встречаются участки с включением дресвы и щебня осадочных пород до 9 % и с примесью органического вещества.

- ИГЭ-2г - суглинок текучепластичный (аллювиально-делювиальные отложения ad Q III) желто-бурого и бурого цвета ожелезненными, встречаются участки с включением дресвы и щебня осадочных пород до 9 % и с примесью органического вещества. Распространен локально в интервале глубин от 0,2 до 5,5 м мощностью 0,7-2,5 м.

- ИГЭ-2д - суглинок мягкопластичный (аллювиально-делювиальные отложения ad Q III) с примесью органического вещества (0,10 д.е.), встречен единичными скважинами на глубине 0,2 м мощностью 4,0 м.

- ИГЭ-3 - суглинок твердый (элювиальные отложения (e Q II), объединяет твердые и полутвердые суглинки, редко тугопластичные, вскрыт под аллювиально-делювиальными отложениями на глубинах 3,5-12,0 м от поверхности мощностью 0,5-5,5 м и вскрытой мощностью 7,2 м. Слой характеризуется однородным составом и представлен суглинками серого и буровато-серого цвета, с включением дресвы и щебня осадочных пород до 5-20 %.

- ИГЭ-4 – пермские отложения представлены переслаиванием песчаника и алевролита сильновыветрелых. Полускальный грунт очень низкой прочности – переслаивание песчаника и алевролита сильновыветрелых. Грунт бурого и желто-бурого цвета, малой степени водонасыщения и водонасыщенный, выбуривается в виде мелких обломков, которые ломаются и растираются руками до состояния песка и суглинка. Грунт сильновыветрелый ($K_{wr} = 0,80$ д.е.),

сильнопористый ($n = 31\%$), средней плотности ($\rho_d = 1,86 \text{ г/см}^3$), при замачивании размокает ($R_c < 1 \text{ МПа}$). Грунт вскрыт скважинами под элювиальными суглинками на глубинах 4,0-14,7 м от поверхности (на отметках 264,6-330,9 м а.о.), вскрытая мощность колеблется от 0,3 до 8,0 м.

Угольный разрез «Виноградовский» в административном отношении расположен в северо-восточной части Ерунаковского геолого-экономического района на границе с Ленинским и Центральным районами Кузбасса и административно входит в состав Беловского района Кемеровской области РФ (рисунок 3.5).

В орографическом отношении площадь разреза относится к зоне увалисто-долинного рельефа, характеризующегося обилием широких логов, начинающихся у подножия Караканского хребта. Склоны логов крутые, в придонной части их крутизна достигает $25-30^\circ$. Тальвеги логов местами заболочены. Абсолютные отметки рельефа изменяются от 200 м в долине р. Ини до 450 м на Караканском хребте.

В геологическом строении района принимают участие пермские, и неоген-четвертичные отложения. Пермские отложения представлены верхним отделом, включающим кольчугинскую серию. Коренные породы, затронутые выветриванием, отличаются значительной изменчивостью свойств и более низкими прочностными показателями по сравнению с неветрелыми разностями. Глубина зоны выветривания изменяется от 20 до 60 м в понижениях рельефа, а в наиболее возвышенных участках водоразделов местами достигает 80-110 м. Внешними признаками пород зоны выветривания являются каолинизация, повышенная трещиноватость, наличие, как в самой породе, так и по трещинам гидроокислов железа.

Выветрелые породы распространены до глубины 20-80 м и характеризуются повышенной трещиноватостью и относительно невысокими прочностными параметрами. Песчаники и алевролиты по прочностным свойствам весьма близки и различаются между собой только по гранулометрическому составу, трещиноватости, а также по наличию и мощности содержащихся в

них крепких разностей пород. Аргиллиты встречаются обычно в почве или кровле угольных пластов и в целом распространены гораздо реже, чем песчаники и алевролиты. Аргиллиты и мелкозернистые алевролиты способны размокать, а при высыхании склонны к растрескиванию и разрушению.

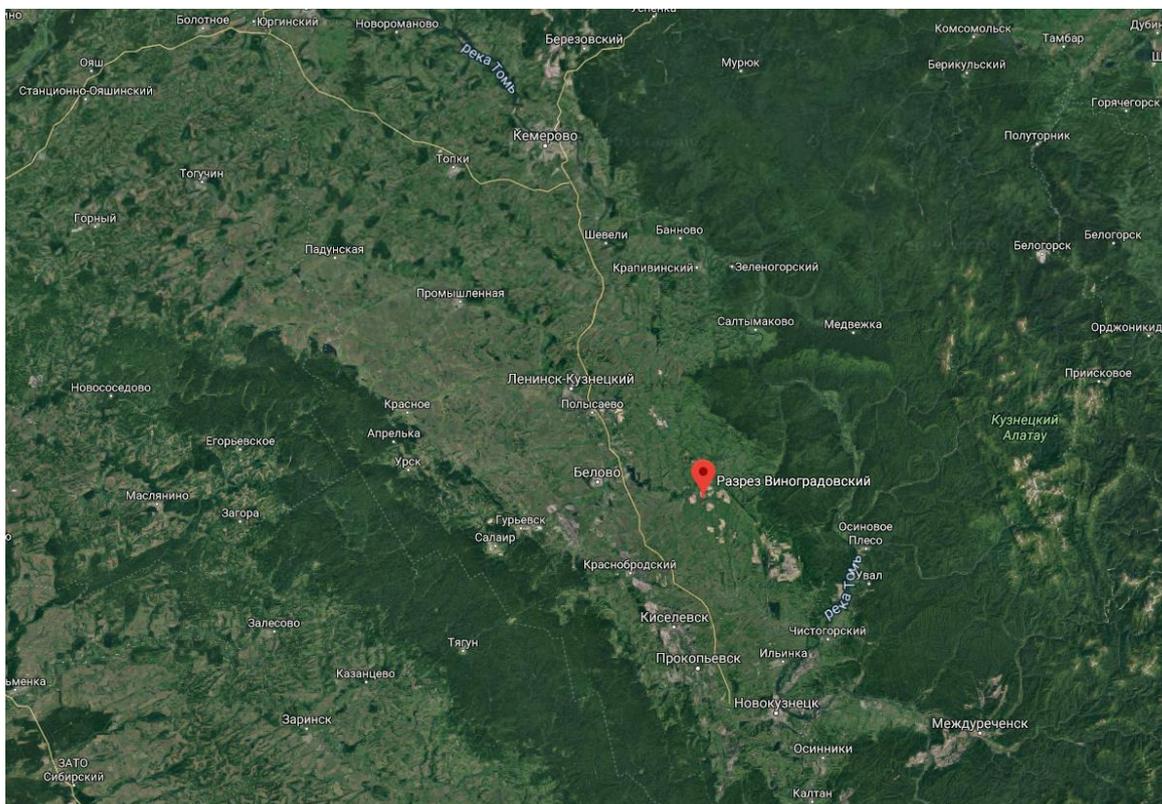


Рисунок 3.5 – Расположение разреза «Виноградовский» в пределах рассматриваемой территории Кузбасса

Четвертичные отложения повсеместно перекрывают коренные породы, имеют мощность 2-49 м и представлены в основном суглинками, глинами (около 80% от общей мощности покровных отложений), на крутых склонах делювиальными отложениями. Суглинки, залегающие ниже почвенно-растительного слоя, имеющего мощность 0,3-0,5 м, характеризуются буровато-серыми, желтыми тонами окраски, наличием редких карбонатных включений и комковатым сложением. Глины залегают в виде линз и небольших слоев мощностью 1-5 м. Они представлены серыми, темно-серыми разностями, способными к набуханию.

В начале декабря 2016 года на разрезе «Виноградовский» произошли

оползневые деформации на внешнем отвале №1 участка открытых горных работ: длина вдоль оси смещения примерно 1500 м, поперек оси смещения 1250 м. В верхней части оползня отмечены две ступени высотой 10-15 м.

Инженерно-геологический разрез участка внешнего отвала был исследован ООО «СГПСпецТехнология» в 2010 г. на глубину 5-20 м представлен, сверху-вниз, следующими разновидностями грунтов:

- ИГЭ 1. Насыпной грунт состоит из суглинка (50-70 %), щебня песчаника, алевролита и горелой породы (30-50 %), местами содержит почву. Отсыпан сухим способом и представляет собой отвалы вскрышных пород мощностью до 15-20 м и более, или дорожные насыпи, где грунт уплотнен и имеет мощность до 1,0-5,5м.

- ИГЭ 2. Почва черная влажная, высокопористая с корнями травянистой растительности. Распространена в виде дернового слоя мощностью 0,1-0,3 м на участках не подверженных вскрышным работам и не освоенных строительством дорог.

- ИГЭ 3. Суглинок аллювиально-делювиальный, бурого и серого цвета, местами с охристым оттенком за счет обильного ожелезнения; в верхнем горизонте гумусирован по корнеходам и мелким порам. В массиве грунт однородной структуры, от твердой до мягко-текучепластичной консистенции. Грунт имеет преимущественное развитие в пределах исследованной толщи, наблюдается практически повсеместно под почвой или насыпным грунтом, залегает в виде пласта, мощность которого полностью не вскрыта (при глубине скважин до 10,0м).

- ИГЭ 4. Суглинок и глина элювиального генезиса, серовато-бурого и серого цвета с желтовато-охристым оттенком, местами с черными примазками, что обусловлено наличием гидроокислов железа, марганца, угольной пыли. В нижнем горизонте разреза встречаются единичные включения или скопления дресвы и щебня осадочных пород весьма низкой прочности (ломаются руками). В массиве наблюдаются переслаивания или фациальные замещения суглинка глиной или супесью, что объясняется высокой степенью дезинтеграции

исходных пород. Грунт твердой – полутвердой консистенции, представляет собой дисперсную зону коры выветривания осадочных пород (алевролита, аргиллита, песчаника). Слой вскрыт на глубине 5,0-19,5 м от поверхности. Залегает в виде фрагментов крутопадающего пласта, с погружением на юго-запад. Мощность слоя 1,5-2,5 м. В естественном залегании грунты практически полностью насыщены водой, следовательно, не подвержены снижению прочностных и деформационных характеристик при дополнительном увлажнении. Однако эти грунты обладают специфическими особенностями – это их способность во время длительного пребывания в открытых котлованах подвергаться интенсивному дополнительному атмосферному выветриванию, что приводит к резкому снижению их несущей способности и даже переходу в пывунное состояние в верхнем слое.

- ИГЭ 5. Полускальный грунт (алевролит, аргиллит, песчаник), выветрелый до состояния дресвы, щебня и мелких глыб с незначительным содержанием песчано-глинистого материала в виде трещинного заполнителя. Представляет собой обломочную зону коры выветривания осадочных пород. Кровля слоя вскрыта на глубине 7,5-9,0 м от поверхности земли. Вскрытая мощность грунта 0,5-1,0 м.

Угольный разрез «Бачатский» по административному положению находится на территории Беловского и Гурьевского районов Кемеровской области РФ (рисунок 3.6). В геологическом плане поле разреза расположено в пределах Бачатского геолого-экономического района на северо-западной окраине Кузнецкого угольного бассейна в рамках одноименного месторождения, которое полностью обособлено от основной площади бассейна.

Формы рельефа поверхности района определяются их переходным положением от Кузнецкой котловины к Салаирскому кряжу и представляют всхолмленную равнину. Рельеф тесно связан с геологическими структурами. Бачатское месторождение в геоморфологическом плане представляет котловину, сложенную слабыми по крепости породами угленосных отложений и окаймляется хорошо заметными на местности возвышенностями, сложенными

более крепкими породами. Абсолютные отметки поверхности изменяются от 210 м в южной части поля разреза в долине р. Большой Бачат до 310 м на водоразделах.

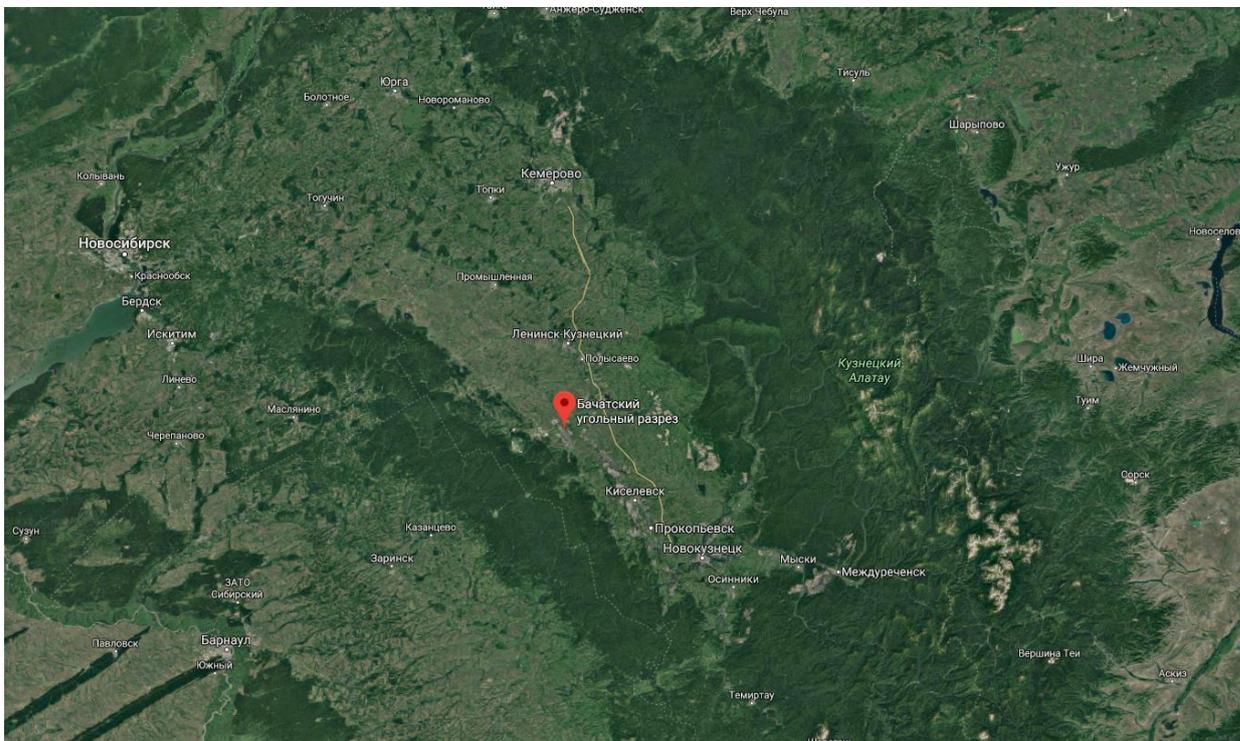


Рисунок 3.6 – Расположение разреза «Бачатский» в пределах рассматриваемой территории Кузбасса

Первоначальный рельеф поверхности поля разреза и окружающей площади сильно изменен: в процессе ведения горно-эксплуатационных работ открытым способом появились искусственные формы рельефа – возвышенности, образовавшиеся от складирования пород вскрыши (а.о. +283 м), и понижения на площадях выемки угля (а.о. +140 м).

Угленосные отложения района относятся к осадкам балахонской серии Кузбасса, промышленную ценность которой представляет верхнебалахонская подсерия. В пределах присалаирской части Кузбасса Бачатский район является самым сложнодислоцированным. Наряду с весьма напряженной складчатостью для него характерна сильная разрывная нарушенность. В целом район представляет сложную брахисинклиналь, юго-западное крыло которой срезано крупным взбросо-надвигом, приводящим в контакт отложения верхнеба-

лахонской подсерии и среднего девона. Северо – западное замыкание Бачатской синклинали также осложнено крупными разрывами, по которым продуктивные отложения контактируют с подстилающим морским нижним карбоном. Продуктивные отложения представлены: кемеровской, ишановской, промежуточной свитами верхнебалахонской подсерии балахонской серии. Общая мощность вскрытого угленосного разреза составляет 530 м.

Литологический состав вмещающих пород и угля детально изучен сотрудниками кафедры инженерной геологии Томского инженерно-строительного института под руководством кандидата геолого-минералогических наук В.Е. Ольховатенко [18].

Песчаники в пределах месторождения представлены мелко- и среднезернистыми, имеющими массивную и слоистую текстуры, окрашены от желто-бурого до темно-серого цвета. Наличие окислов железа, как правило, характерно для пород, находящихся в зоне выветривания. Карбонатный цемент, как правило, кальцитового и доломитового состава, по типу относится к поровому и реже – базальному, в последнем случае количество его изменяется от 20 до 35 %. Кроме перечисленных, в песчаниках Бачатского месторождения довольно часто встречается смешанный глинисто-карбонатный цемент с элементами кварцево-регенерационного.

Алевролиты также широко распространены на месторождении. Окраска их изменяется от землисто-серых и буровато-серых в пределах зоны выветривания, до серых, темно-серых и черных разностей вне зоны окисления. Текстура слоистая и массивная. По составу и типу цемент алевролитов аналогичен цементу песчаников и в количественном отношении изменяется также от 7-15 % до 25-30 %.

Аргиллиты имеют ограниченное распространение и залегают в виде прослоев и линз, среди толщ пород и по контактам угольных пластов с вмещающими породами, цвет темно-серый и черный, текстура обычно массивная, реже слоистая. С увеличением содержания углистых частиц (более 25 %) порода переходит в углистый аргиллит.

Гравелиты, как правило, встречаются редко и приурочены к низам промежуточной свиты. По составу они полимиктовые.

Во всех изученных под микроскопом горных породах наблюдаются вторичные изменения, выраженные в разложении обломочной части и замещения её глинистыми и карбонатными минералами.

Четвертичные отложения представлены только в юго-западной части. Их мощность изменяется от 7 до 25-30 м. В литологическом отношении четвертичные отложения представлены лессовидными суглинками, глинами бурыми и пестроцветными. Макроскопически лессовидные суглинки содержат до 35 % обломочного материала, представленного кварцем, полевыми шпатами, слюдами и др. минеральными смесями. Глины по физико-механическим свойствам близки к суглинкам. Глины и суглинки пропитаны гумусом и гидроокислами железа.

Основную долю пород вскрыши разреза составляют песчаники (31-80 %) и алевролиты (14-57 %), таким образом, отвальная масса представляет собой смесь коренных пород, с небольшим содержанием глинистых разностей.

Отвальные работы с начала ввода в эксплуатацию разреза велись на пяти отвалах (таблица 3.2) и 4-х гидроотвалах, при этом использовались: экскаваторное отвалообразование в комплексе с железнодорожным транспортом, бульдозерное отвалообразование с использованием автомобильного транспорта и гидромеханизация.

Поскольку на разрезе значительные площади в непосредственной близости от открытых горных выработок заняты гидроотвалами, то рациональным техническим решением является использование площадей данных гидротехнических сооружений под отвалы сухой вскрыши.

Таблица 3.2 - Характеристика внешних отвалов разреза «Бачатский»

Наименование отвала	Тип	Параметры отвалов				Основание
		Проект		Факт		
		Н	α	Н	α	
«Северные»	Ж/Д – Экскаватор	80	20- 24	70- 150	10- 15	Суглинки аллювиальные
«Южные»	Бульдозер	130	20	65	20	Суглинки лессовидные и делювиальные
«Сагарлыкские»	Бульдозер	100	16- 21	60- 120	6-10	Намывные породы и лессо- видные суглинки
«Восточные»	Бульдозер	120	20	100- 130	10- 16	Суглинки лессовидные и делювиальные

В частности, на гидроотвале «Сагарлыкский», площадь которого составляет 600 га, с 1976 года формируется Сагарлыкский внешний отвал по автомобильно-бульдозерной схеме, на гидроотвале «Западный» площадью 390 га – отсыпан Западный внешний отвал. Гидроотвал «Бековский», эксплуатация которого завершилась в 2016 году, в настоящее время находится на этапе ликвидации с последующим использованием под «сухие» отвалы. В настоящее время проектом предусмотрено реформирование общей структуры, местоположения и высоты отвальных горнотехнических сооружений, необходимых для размещения вскрышных пород при отработке запасов угля до гор. -300 м. Техническим заданием определена максимальная высота отвалов до 300 м от основания. Предварительными проработками обоснованы новые границы горнотехнических сооружений. В частности, рассмотрены варианты формирования отвального хозяйства предприятия путем создания значительных по площади отвалов: Восточного, Сагарлыкского и Северного.

Угольный разрез «Вахрушевский» административно находится на территории Прокопьевского района Кемеровской области, на юго-западной окраине г. Киселевска (рисунок 3.7).

В геологическом отношении район расположен в пределах сочленения двух геоструктурных регионов: структур Салаирского антиклинория и Кузнецкой впадины. Поле разреза расположено в юго-западной части Киселевского месторождения, которое в свою очередь выделено среди узкой полосы высокоугленасыщенных отложений балахонской серии нижней перми – верхнего карбона в Прокопьевско-Киселевском геолого-экономическом районе. С запада и востока ограничено региональными надвигами и контактирует на западе, через Тырганский надвиг – с безугольной толщей девона; на востоке – через Афонинско-Киселевский взброс – также с безугольной кузнецкой свитой верхней перми.

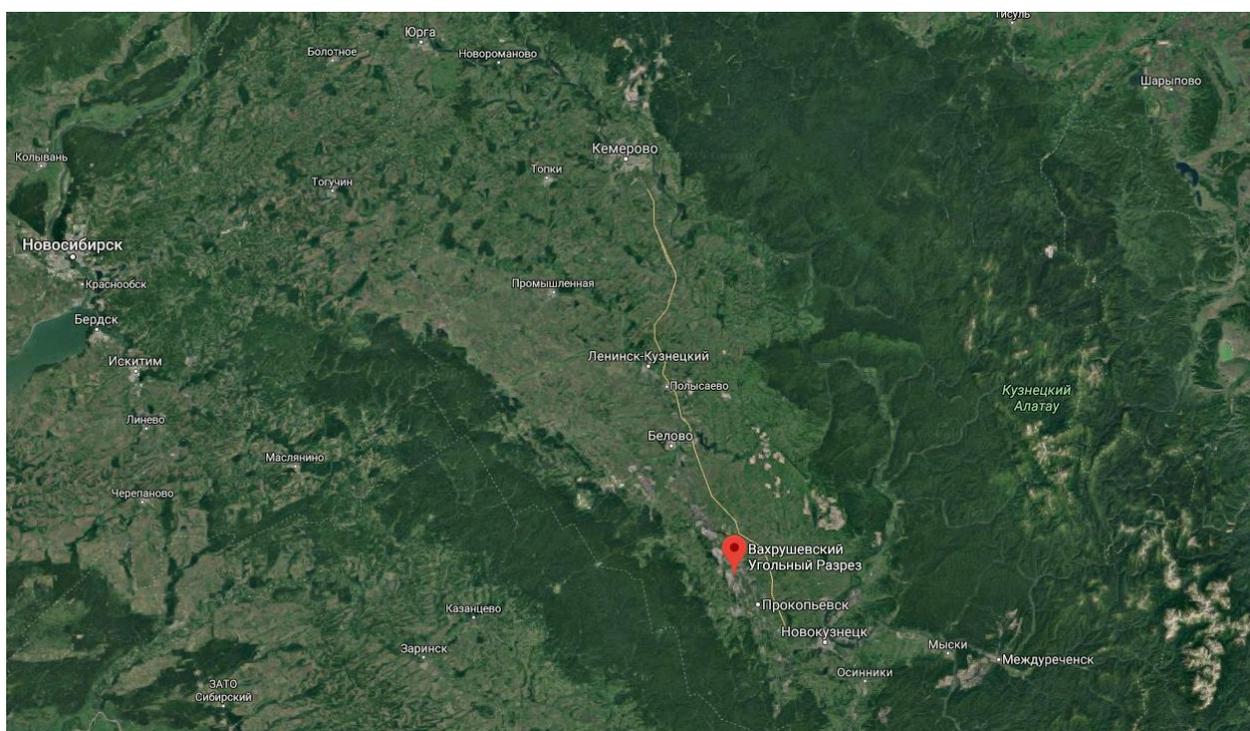


Рисунок 3.7 – Расположение разреза «Вахрушевский» в пределах рассматриваемой территории Кузбасса

Первоначальная холмисто-увалистая поверхность, местами сохранившаяся на отдельных участках, не затронутых промышленным освоением территории, в настоящее время имеет техногенный характер: почти сплошь состоит из карьеров, котлованов и отстойников, окруженных отвалами пустых пород и отходов промышленного производства. Абсолютные отметки поверхности составляют 320-377,57 м.

Продуктивные отложения поля разреза сложены породами балахонской серии верхнего карбона - нижней перми. Нижнебалахонские отложения верхнего карбона представлены алыкаевской свитой. В пределах поля разреза встречены в юго-западной части, где слагают нижние горизонты, не выходя на дневную поверхность. Свита вскрыта на мощность чуть более 100 м. Верхнебалахонская подсерия представлена всеми четырьмя свитами: Промежуточной, Ишановской, Кемеровской и Усятской. Кемеровская свита является самой продуктивной толщей в пределах описываемого поля. Вскрытая на участке ее мощность составляет 165 метров и включает 10 угольных пластов. Углевмещающие породы кемеровской свиты сложены чередующимися слоями песчаников и алевролитов. Песчаники обычно светло-серые, на севере серые, средне-, крупнозернистые, по текстурным особенностям – косослоистые, параллельно-слоистые, реже неяснослоистые, полимиктовые с высоким содержанием обломков кремнистых, эффузивных, осадочных пород (более 50-60 %) с глинисто-кремнистым, реже карбонатным цементом порового и контактного типа. Залегают мощными слоями до 30 м. Алевролиты серые, монотонные, по составу полевошпатов кварцевые с глинисто-кремнистым цементом порового типа. Реже в разрезе свиты встречаются слабоуглистые алевролиты и углистые аргиллиты. Мощность угольных пластов очень изменчива, имеются переходы угольных пластов в углистые аргиллиты. В Ишановской и Промежуточной свитах происходит увеличение мелкообломочных пород, самые низы промежуточной свиты сложены здесь преимущественно алевролитом-аргиллитовым комплексом пород. Суммарная мощность пород свиты колеблется от 160 м в южной части до 175 м – на севере. Отложения балахонской серии в границах поля разреза достаточно высоко угленосны. При общей угленосности разреза 13,3 %, рабочая составляет 11,4 %. Основную долю пород вскрыши разреза, поступающих в отвалы, составляют алевролиты (≈ 50 %) и песчаники (33 %). Кроме того, в отвальные горнотехнические сооружения складировались в незначительном количестве аргиллиты (4,1 %), углистые алевролиты (менее 1 %), угли (менее 1 %) и четвертичные отложения (до 10 %).

Размещение пород вскрыши производится во внешние отвалы «Западный» и «Северный», а также во внутренний отвал. Отвальные породы представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами и частично (не более 25-30%) рыхлыми четвертичными отложениями (преимущественно суглинками). Территория отвала «Западный» расположена на юго-западе от поля разреза. Южная ее часть с а.о. от +415 до +470 м занята навалами вскрышной породы. Четкого деления насыпи на горизонты не прослеживается. Навалы сформированы в естественных понижениях рельефа. Вокруг насыпи и в ее контуре расположены 6 крупных и несколько мелких водоемов, вероятно, образовавшихся при перегораживании навалами поверхностного стока. Северная часть территории, отведенной по Западный отвал, представлена техногенно-ненарушенной дневной поверхностью с абсолютными отметками от +390 до +460. Территория изрезана логами, крутизна склонов которых доходит до 6 градусов. Наблюдается общее понижение территории под отвал в сторону карьерного поля. Отвал «Западный» проектируется формировать до горизонта с +600,0 м отвальными ярусами высотой 30 м при углах равных углам естественного откоса в 35 градусов. Высота отвала при этом составит 150-210 метров. Отсыпку отвала предполагается осуществлять с применением автомобильно-бульдозерных комплексов. Территория отвала «Северный» расположена на северо-западе от поля разреза. Первоначально ландшафт местности представлял собой всхолмленный рельеф поверхности, расчлененный логом, с общим уклоном на северо-восток. В настоящее время абсолютные отметки поверхности отвала изменяются от +400 до +440 м. Четкого деления насыпи на ярусы и горизонты не прослеживается.

Угольный разрез «Кедровский» Кемеровском районе Кемеровской области и расположен в Кемеровском геолого-экономическом районе Кузбасса на правом берегу р. Томи (рисунок 3.8).

В структурном отношении Кедровский угольный разрез располагается на западном крыле и южном замыкании Кедровско-Крохалевской брахисинклинали.

По строению рельефа площадь Кедровского угольного разреза первоначально представляла собой приподнятую увалистую лесостепную равнину, расчлененную глубоко врезанными долинами рек, логов и оврагов с широкими почти плоскими водоразделами и увалами. Абсолютные отметки колебались в пределах от 165 до 271 м. Общее понижение рельефа наблюдается в юго-западном направлении, в сторону р. Томи, повышение – к центру месторождения. К настоящему времени, в результате эксплуатации карьера, рельеф поверхности значительно изменен. Абсолютные отметки составляют от 0 м в горных выработках до +311 м на отвалах вскрышных пород.

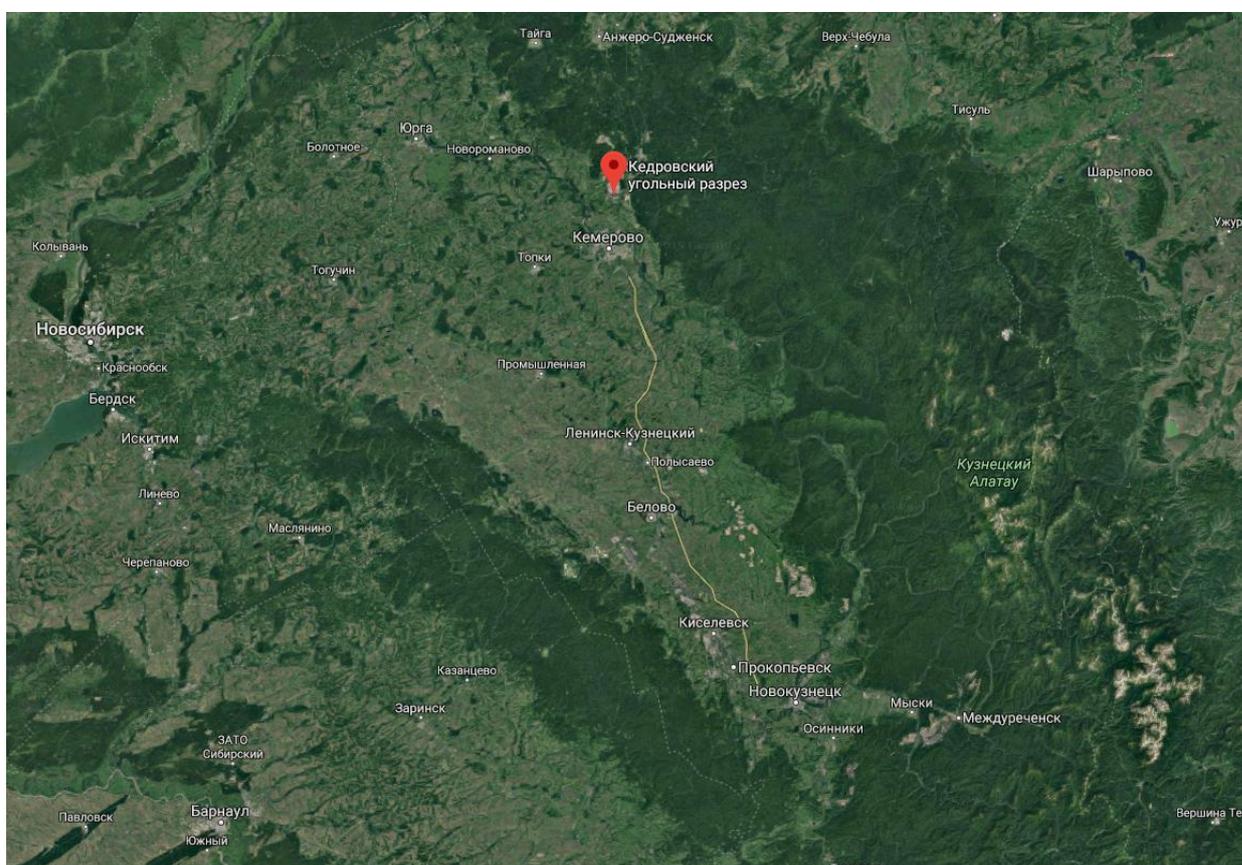


Рисунок 3.8 – Расположение разреза «Кедровский» в пределах рассматриваемой территории Кузбасса

В геологическом строении района работ участвуют каменноугольные и пермские отложения, относящиеся, в основном, к кемеровской свиты верхне-балахонской подсерии балахонской серии и, частично, кузнецкой подсерии кольчугинской серии, являющейся непродуктивной, а так же покровные нео-

ген-четвертичные отложения. Коренные породы сложены, в основном, песчано-алеврито-глинистым комплексом с подчиненным участием грубообломочных пород, углистых пород и каменных углей.

Песчаники обычно светло-серые, реже темно-серые. По вещественному составу песчаники полимиктовые, встречаются обломки различных пород, в том числе кремнистые, кварцевые и эффузивные. Из минеральных компонентов наибольшим распространением пользуются кварц и полевые шпаты. Цемент песчаников различный, чаще других встречается карбонатный и железисто-глинистый. Алевролиты имеют темно-серую окраску с мелковолнистой и горизонтальной слоистостью, иногда неслоистые. По составу преимущественно полевошпатово-кварцевые с карбонатным и глинистым цементом. Аргиллиты темно-серые почти черные, часто известковистые с угловатым, иногда раковистым, изломом. Приурочены к угольным пластам или встречаются в виде тонких прослоев среди алевролитов.

Техногенные отложения, вскрытая общая мощность которых составляет от 65,0 до 85,0 м представлены:

- ИГЭ 2 – насыпными грунтами: дресвой и щебнем алевролита среднезернистого серого с незначительной примесью суглинка серого цвета;
- ИГЭ 1г – намывными грунтами: суглинками легкими пылеватыми мягкопластичными бурыми;
- ИГЭ 1в – намывными грунтами: суглинками легкими пылеватыми тугопластичными бурыми.

Четвертичные отложения представлены суглинками легкими пылеватыми полутвердыми бурыми (ИГЭ 3). Вскрытая мощность отложений составляет от 4,0 до 4,8 м.

Таким образом, данное исследование, основанное на изучении описанных выше объектов, охватывает три разреза («Бачатский», «Вахрушевский» и «Кедровский»), отрабатывающих пласты балахонской серии, и четыре разреза («Галдинский», «Заречный», «Виноградовский» и «Кыргайский Средний»), отрабатывающих пласты кольчугинской серии. По расположению объекты

представляют как периферийные складчатые зоны Кузбасса, так и его центральную моноклиналичную часть.

3.3 Изучение прочностных свойств техногенных пород отвалов угольных разрезов Кузбасса

Наиболее важным фактором при оценке устойчивости являются показатели физико-механических свойств складированных пород. Выше доказано, что их формирование происходит под влиянием природных и техногенных факторов на протяжении всей технологической цепочки вскрышных и отвальных работ. Исходные вскрышные породы под действием взрывных работ и рабочих органов механизмов, осуществляющих вскрышные горные работы, преобразуются в горную массу, представленную дезинтегрированными валунно-щебенисто-дресвяными образованиями. После их погрузки в транспортные емкости автомобилей, железнодорожные думпкары или бункеры ленточных конвейеров при использовании отвалообразователей породный материал перемещается до отвала, где происходит его непосредственное размещение в отвальный массив под влиянием различных технологических процессов отвалообразования. Данные процессы зависят от используемого на отвале оборудования.

При внешнем отвалообразовании обычно используется автомобильный и железнодорожный транспорт, ленточные конвейеры и гидромеханизация. Гидромеханизационный способ транспортировки вскрышных пород обычно применяется только для удаления дисперсных пород. Все попытки применить его для удаления скальных и полускальных пород закончились неудачно из-за высокой энергоемкости подготовки материала для его гидравлической транспортировки (дробления, грохочения, сортировки и пр.). Ленточные конвейеры с последующим размещением материала в отвал с помощью отвалообразователей в Кузбассе широкого распространения не получили. В частности, они использовались на разрезе «Галдинский», но в дальнейшей схеме отработки месторождения развития не получили из-за отсутствия мобильности, большой

громоздкости и ограничений по наклонам, не позволяющим использовать данную технологию при работе на глубоких горизонтах. Также длительное время данная технология использовалась и планировалась к дальнейшему расширению на разрезе «Бачатский», который проектируется разрабатывать до глубины 500 метров. По всей видимости, рассмотренные выше причины, приведшие к ее ликвидации на разрезе «Галдинский», также сдерживают строительство новых конвейеров на данном предприятии.

При внешнем отвалообразовании в Кузбассе широкое распространение получил автомобильный транспорт для доставки пород и бульдозеры для его перемещения вниз под откос, поддержание транспортных магистралей, верхних площадок для приема и разворота автомобилей, а также создания предохранительного вала. Данная технологическая схема предполагает разгрузку породы из автосамосвалов у предохранительного вала, при которой часть доставленной породы разгружается под откос, а другая остается на верхней площадке. В дальнейшем данные породы используются бульдозером для выполнения планировочных работ, предохранительного вала или перемещаются также под откос. Попадая на откос дезинтегрированная породная масса под действием сил гравитации движется по нему, дифференцируясь по крупности частиц по мере перемещения вниз по склону. Данный процесс, получивший название «сегрегация» материала, приводит к формированию неоднородного по гранулометрическому составу отвала, при котором более крупные частицы скапливаются у основания отвала, а мелкие – в верхней его части.

Более крупно влияние технологической схемы отработки месторождения угля оказывает на формирование состава пород в отвале при складировании в него разных по литологии пород. В частности, при одновременной отработке вскрышной толщи, сложенной скальными углевмещающими породами и дисперсными глинистыми отложениями, в отвал одновременно попадают два этих материала в различном соотношении, формируя по составу новый вид техногенных пород. Это могут быть крупнообломочные породы с глинистым

заполнителем или дисперсные глинистые (суглинки, глины и супеси) разности с щебенкой, валунами и дресвой.

После стабилизации процессов перемещения отвального материала завершается второй этап техногенеза – транспортировка материала – и начинается этап превращения его в техногенную горную породу. Его интенсивность зависит от эффективных напряжений, действующих в местах залегания пород. Они определяются нормальными нагрузками, зависящими от веса вышележащих пород, и нейтральными напряжениями, возникающими от взвешивающего действия воды (при наличии техногенного водоносного горизонта). В некоторых случаях, при наличии в отвале пород с низкими фильтрационными свойствами, в массиве возможно образование ИПД, также оказывающего взвешивающее действие, сопровождающееся снижением эффективных напряжений. Режим рассматриваемых процессов, а также интенсивность формирования отвала по высоте, во многом определяют формирование свойств пород техногенных массивов и, следовательно, устойчивость их откосов.

Вскрышная толща разрабатываемых угольных месторождений представлена углевмещающими породами и покровными неоген-четвертичными отложениями. По вещественному составу среди первых выделяются, в основном, песчаники и алевролиты балахонской и кольчугинской серий, отличающиеся между собой по степени метаморфизма, составу цемента и прочности пород. Неоген-четвертичные толща, мощность которой на некоторых разрезах достигает 80 метров, представлена глинистыми отложениями различного генезиса, состава, состояния и свойств.

Практика изучения условий отвалообразования на горных предприятиях показывает достаточно пренебрежительное отношение к отвалам как инженерно-геологическим объектам, что выражается в отсутствии обоснованных методик выполнения исследований физико-механических свойств техногенных пород и необходимой для этих целей приборной испытательной базы. Это приводит к формальному подходу при определении расчетных значений

свойств отвальной массы и использованию табличные данные или показатели, полученных для иных горно-геологических условий и на других объектах. При этом естественно не учитываются реальные нагрузки в массиве отвала и породах основания, которые в последнее время значительно возросли в связи с увеличением высоты сооружений до 100 и более метров. Так, нагрузка 100-метрового отвала на естественное основание при средневзвешенной плотности отвальной массы $\rho = 2,0 \text{ г/см}^3$ составляет 2 МПа, а в таблицах нормативно-методических документов ВНИМИ [27] приведенные параметры прочности отвальных пород определялись при нагрузках, максимальные значения которых вряд ли превышали величинах менее 1 МПа, так как максимально возможная вертикальная нагрузка в большом срезном приборе ВНИМИ составляла 5 тонн при площади среза прибора 550 см^2 (нормальная нагрузка 9 кг/см^2). Используемые в инженерной практике стандартные одноплоскостные сдвиговые приборы характеризуются площадью сдвига 40 см^2 и величиной зазора между верхней и нижней камерами 2 мм. В соответствии с методическими требованиями к проведению испытаний прочности грунтов диаметр зерен исследуемого материала не должен превышать 2 мм. Данное обстоятельство ставит под сомнение результаты определения прочностных свойств крупнообломочных отвальных пород и материала со значительным содержанием крупной фракции, а также предопределяет постановку исследований влияния «масштабного эффекта» на значения физико-механических свойств пород сухих отвалов.

Изучение влияния величины вертикальной нагрузки и гранулометрического состава на получаемые показатели прочностных свойств отвальных пород было одной из основных задач, поставленных в рамках данной диссертационной работы. Исходным материалом для проведения лабораторных экспериментов послужили образцы горных пород из вскрышной толщи угольных разрезов Кузбасса: «Заречный», «Кыргайский Средний», «Талдинский»,

«Моховский», «Виноградовский» и «Бачатский», «Вахрушевский», «Кедровский», представленные песчаниками, алевролитами и аргиллитами углевмещающей толщи, а также покровными неоген-четвертичными суглинками.

Типизация перечисленных угольных месторождений по инженерно-геологическим условиям, разработанная В.Е. Ольховатенко, представлена в таблице 3.3 [18].

Таблица 3.3 – Типизация угольных месторождений Кузбасса по инженерно-геологическим условиям по В.Е. Ольховатенко (применительно к данной работе)

Группы месторождений, угольных карьеров и участков	Типы угольных месторождений	Наиболее характерные месторождения, изучаемые в данной работе, разрабатываемые открытым способом
Месторождения, приуроченные к Присалаирской зоне интенсивной линейной складчатости	I-а. Месторождения с преобладающим развитием в бортах карьеров слабообводненных отложений балахонской серии и покровных четвертичных пород	Бачатский разрез Вахрушевский разрез
	I-б. Месторождения с преобладающим развитием в бортах карьеров отложений кольчугинской и балахонской серии	Краснобродский разрез
Месторождения, распространенные в подзоне пологой линейной складчатости Присалаирской полосы Кузбасса	II-а. Месторождения с преобладающим развитием в бортах карьеров слабообводненных отложений кольчугинской серии, перекрытых маломощной толщей рыхлых четвертичных пород	Моховский разрез
Месторождения, развитые в Приколывань-Томской зоне интенсивной линейной складчатости	III-а. Месторождения с преобладающим развитием в бортах карьеров отложений кольчугинской и балахонской серии, перекрытых четвертичными отложениями	Кедровский разрез
Месторождения Центральной зоны пологих складок и куполовидных поднятий	IV-а. Месторождения с преобладающим развитием в бортах карьеров отложений кольчугинской серии	Талдинское месторождение Разрез Заречный Виноградовский разрез Разрез Кыргайский Средний

Перечисленные месторождения охватывают весь спектр инженерно-геологических условий открытой разработки угля в регионе, актуальный на сегодняшний день.

Сдвиговым испытаниям подвергались образцы, состоящие как из одной литологической разности, так и смеси в различных соотношениях, представленных в таблице. Специальная программа определения прочностных характеристик для техногенных пород включала также приготовление смесей с различным соотношением четвертичных и коренных отложений (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Состав испытываемых вариантов смесей отвальных пород

№ серии проб	Содержание литологической разности в смеси, %		
	Песчаник	Алеврит	Суглинок
1	70	30	0
2	50	50	0
3	30	70	0
4	45	25	30
5	32	18	50
6	20	10	70
7	0	0	100

Изучение прочностных свойств отвальных смесей производилось на одноплошкостных приборах с использованием схем неконсолидированно-недренированного и консолидированно-недренированного сдвига. Перед проведением испытаний образцы скальных пород дробились до фракции по крупности $d=2$ мм и $d=5$ мм, которые в последующем смешивались в различном соотношении и подвергались испытаниям на сдвиг в приборах с площадями испытательных камер 40 см^2 (BCB-25M, рисунок 3.1) и 177 см^2 (GCTS RDS-200, рисунок 3.2), соответственно.



Рисунок 3.1 – Прибор одноплошкостного сдвига BCB-25M



Рисунок 3.2 – Прибор одноплоскостного сдвига RDS-200

Вертикальные нагрузки изменялись в диапазоне от 0,015 до 5,0 МПа. Для изучения влияния размера фракций на получаемые прочностные характеристики до и после проведения сдвиговых испытаний выполнялось определение гранулометрического состава смеси ситовым способом (рисунок 3.3, 3.4). Изменение фракционного состава отражено через изменение действующего (эффективного) диаметра, под которым по В.Д. Ломтадзе понимал диаметр фракции, который соответствует 10 % содержанию от всех частиц в породе [82].

Необходимо отметить некоторые ключевые моменты приведенных графиков изменения гранулометрического состава пород. Во-первых, для пород балахонской и кольчугинской серий характерно наличие двух значимых резких изменений гранулометрического состава в диапазоне нагрузок до 5 МПа. Для песчаников и алевролитов кольчугинской серии изменения фракционного состава происходит при 0,5 и 1,2 МПа, что соответствует высотам отвалов 30 и 65 м. Для пород балахонской серии величины вертикальных давлений будут соответствовать 1,5 и 2,7 МПа, что приравнивается к высотам отвалов 85 и 150 м.

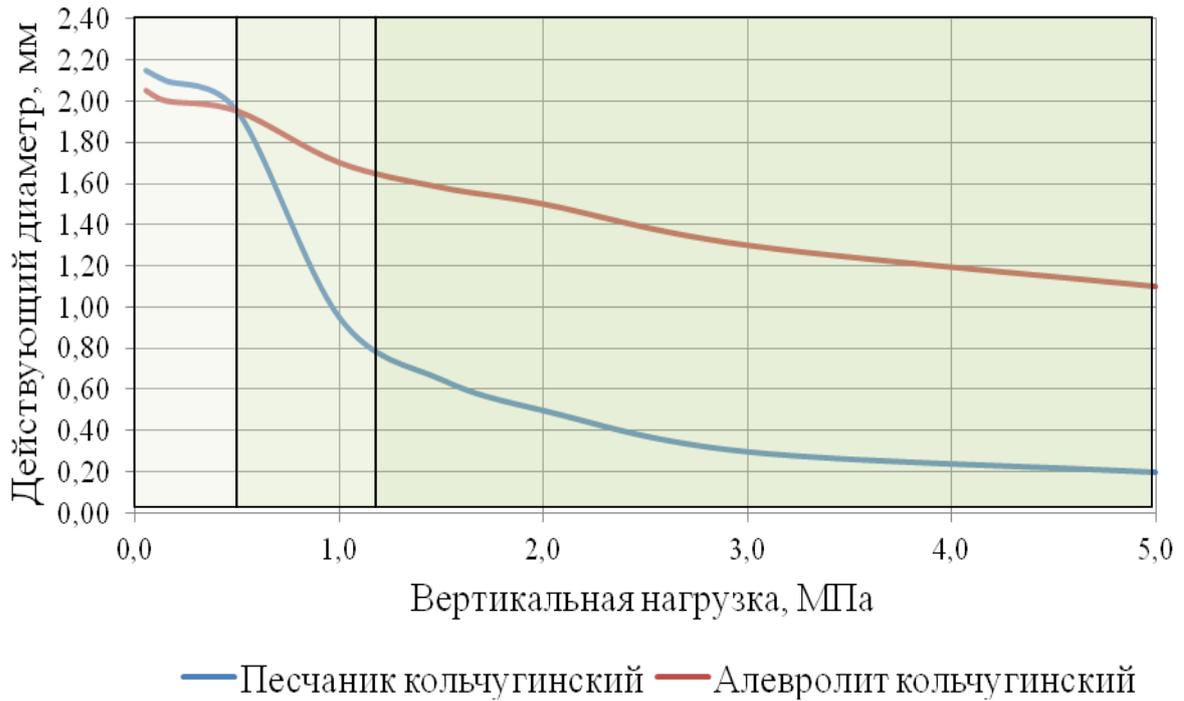


Рисунок 3.3 – Изменение гранулометрического состава отвальных пород кольчугинской серии под влиянием вертикальной нагрузки

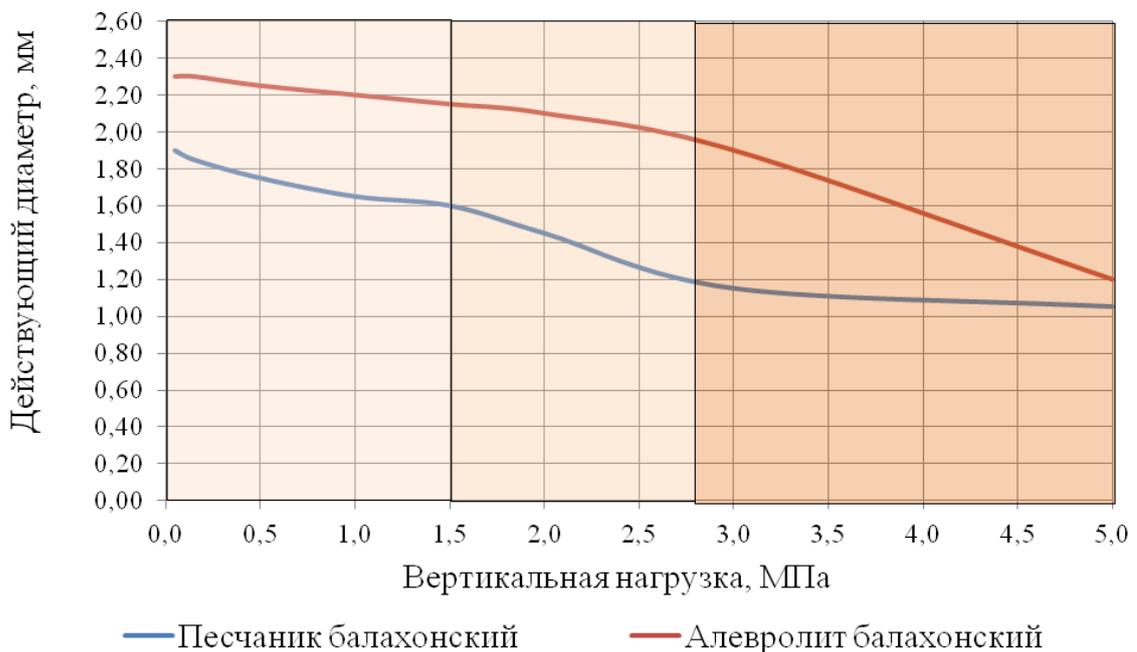


Рисунок 3.4 – Изменение гранулометрического состава отвальных пород балахонской серии под влиянием вертикальной нагрузки

Данное обстоятельство является ключевым для определения фильтрационных характеристик отвальной массы, рассмотренных далее в работе. Во-

вторых, нужно отметить, что песчаники обеих серий более подвержены дезинтеграции под воздействием вертикальных давлений, что, вероятно, обусловлено изометричной формой минеральных частиц, слагающих породу (рисунок 3.5). Форма частиц алевролитов имеют характерную вытянутую форму (рисунок 3.6), кроме того, в процессе диагенеза эти частицы приобретают горизонтальную ориентацию, что делает породу более прочной при воздействии нормальных нагрузок. Из этого можно сделать вывод о том, что отвалы, сложенные преимущественно песчаниками, будут более подвержены изменению фракционного состава.



Рисунок 3.5 – Подготовленный к испытаниям образец дезинтегрированного песчаника (фракция 2-5 мм)



Рисунок 3.6 – Подготовленный к испытаниям образец дезинтегрированного алевролита (фракция 2-5 мм)

В результате выполненных исследований были получены следующие закономерности изменения прочностных свойств [83-87, 123-124]:

1. Величина сцепления возрастает с увеличением вертикальной нагрузки и, соответственно, высоты горнотехнического сооружения (таблицы 3.3-3.4);

2. Угол внутреннего трения закономерно уменьшается пропорционально росту прикладываемой вертикальной нагрузки - высоты горнотехнического сооружения (таблицы 3.3-3.4). Лабораторные испытания показали, что породы балахонской серии имеют более высокие углы трения, чем породы кольчугинской серии. Например, углы внутреннего трения песчаников Бачатского месторождения отличаются от аналогичного параметра песчаников кольчугинской серии в среднем на 10-20 %.

3. Параметры прочности отвальных смесей определяются соотношением скального обломочного материала и глинистого наполнителя из неоген-четвертичных отложений. Полученные результаты подтвердили ранее установленные [34] зависимости, независимо от степени литификации и состава пород:

- при содержании заполнителя до 30 % углы внутреннего трения изменяются незначительно и близки к показателю, полученному для материала, представленного только обломками скальных пород;

- в диапазоне содержания суглинка с 30 до 70 % наблюдается плавное снижение углов внутреннего трения и увеличение сцепления от значений, полученных при испытаниях обломочного материала и нарушенных неоген-четвертичных пород;

- при превышении порога в 70 % содержания глинистого заполнителя свойства смесей приближаются к свойствам, определенным только для глинистых разностей (рисунок 3.7).

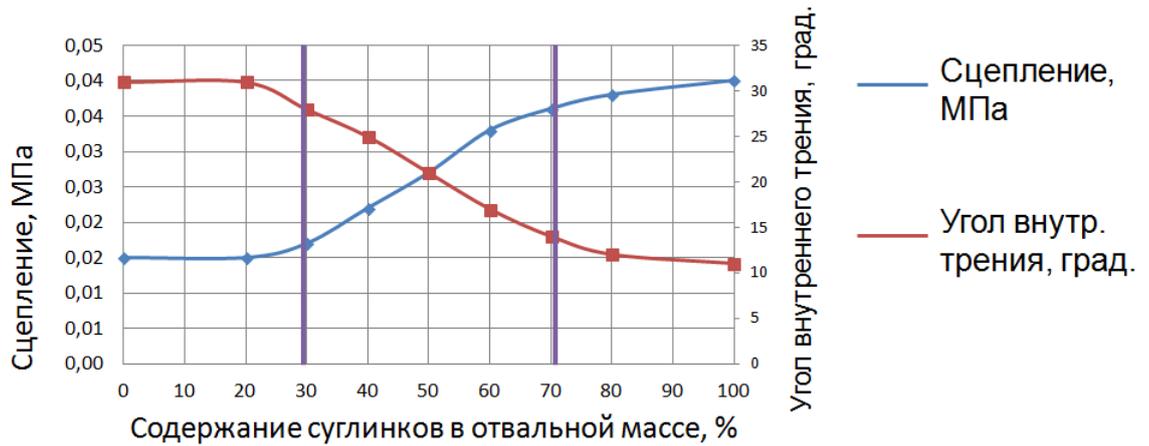


Рисунок 3.7 – Влияние содержания глинистого заполнителя на прочностные параметры отвальной массы

Максимальные значения углов внутреннего трения отвальных пород при малых уплотняющих нагрузках от 0 до 0,15 МПа вероятнее всего связаны со значительным уплотнением материала на начальном этапе при нормальном и тангенциальном нагружении. Минимальные углы внутреннего трения пород получают при нагрузках, превышающих 1 МПа. Данное явление обусловлено разрушением обломков пород при преодолении их предела прочности на одноосное сжатие, сопровождающееся изменением гранулометрического состава испытываемого материала. Так, в ходе сдвиговых испытаний на приборе GCTS RDS-200 (с величиной зазора 5 мм) зафиксированы 20-% изменения гранулометрического состава пород до размера 2 мм, изначально представленных фракцией 5 мм (рисунок 3.8).

В результате статистической обработки [88] полученных в ходе лабораторного изучения параметров прочности углевмещающих пород балахонской и кольчугинской серий были разработаны таблицы рекомендуемых нормативных значений величин сцепления и угла внутреннего трения в зависимости от вертикальной нагрузки.

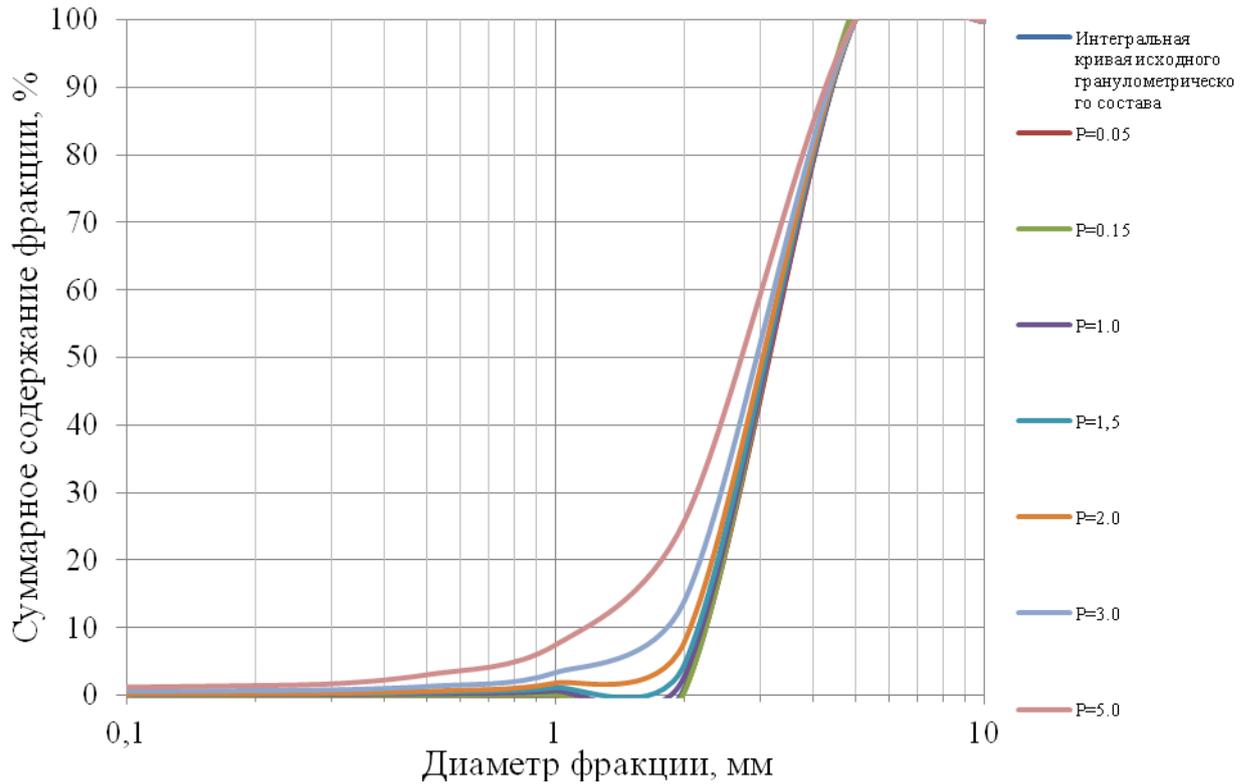


Рисунок 3.8 – Интегральные кривые гранулометрического состава отвальных пород при различных вертикальных нагрузках

Таблица 3.3 – Прочностные параметры отвальных пород балахонской серии в различных диапазонах вертикальных напряжений

Нагрузки, МПа	До 0,1		0,1-1,0		1,0-2,5		
	С, кПа	φ, град.	С, кПа	φ, град.	С, кПа	φ, град.	
Песчаники	10	34	11	32	13	28	
Алевриты	14	32	16	29	17	27	
Смесь песчаник/алеврит	70/30	14	33	15	31	17	28
	50/50	14	33	16,5	31	18	28
	30/70	15	32	16	30	19	27
Смесь коренные/суглинок	70/30	15	33	15	31	17	26
	60/40	22	28	22	25	25	18
	50/50	24	25	27	21	28	13
	40/60	25	22	33	17	38	9
	20/80	0,29	17	0,38	12	-	-
	0/100	0,30	16	0,40	11	-	-

Таблица 3.4 – Прочностные параметры отвальных пород кольчугинской серии в различных диапазонах вертикальных напряжений

Нагрузки, МПа	До 0,1		0,1-1,0		1,0-2,5		
	С, кПа	φ, град.	С, кПа	φ, град.	С, кПа	φ, град.	
Песчаники	11	34	11	28	13	25	
Алевролиты	14	32	16	29	17	26	
Смесь песчаник/алевролит	70/30	14	33	15	29	17	25
	50/50	15	33	15	29	18	25
	30/70	15	32	16	28	19	26
Смесь коренные/суглинок	70/30	15	33	15	28	17	25
	60/40	18	28	22	25	25	18
	50/50	22	25	27	21	28	16
	40/60	25	22	33	17	38	13
	20/80	29	17	38	12	42	11
	0/100	30	16	40	11	47	9

Установленные выше закономерности изменения углов внутреннего трения и сцепления с ростом нормальных нагрузок использовались в расчетах устойчивости конкретных высоких отвалов. Установлено, каждый из показателей прочности по-разному влияет на условия устойчивости откосов отвалов. Так, снижение угла внутреннего трения отвальных масс на 2 градуса приводит к снижению коэффициента запаса устойчивости отвала на 15 %, в то время как увеличение сцепления даже на величину 0,05 МПа не приводит к существенному изменению запаса устойчивости.

3.4 Изменение фильтрационных свойств техногенных пород при увеличении высот отвалов и условия формирования в массивах водоносных горизонтов

Процесс уплотнения техногенных пород связан с изменением гранулометрического состава отвальной массы и, следовательно, их пористости и проницаемости. Последний показатель свойств может уменьшаться при определенных условиях до такой величины, при которой в массивах начинает задерживаться вода. Данный процесс может привести при наличии существующего

инфильтрационного питания и относительно низких коэффициентах фильтрации техногенных отложений к затрудненному режиму водоотведения из отвального массива и, в конечном итоге, формированию безнапорного водоносного горизонта, гидродинамика которого, во многом, определит состояние устойчивости откосов. Следует отметить, что важным вопросом при прогнозе режима подземных вод в теле отвала является определение параметров водопроницаемости. Однако в гидрогеологической практике подобных исследований практически выполнено не было.

При инженерно-геологических исследованиях причин возникновения оползневого смещения на внешнем отвале разреза «Заречный» в техногенном массиве для оценки гидрогеологического режима отвала были пробурены и оборудованы ДПД инженерно-геологические скважины [19]. Часть была установлена в насыпной техногенный массив сухого отвала, что позволило оценить гидродинамический режим техногенного водоносного горизонта. Обработка измерений, соответствующих паводку, позволила построить карту гидроизогипс (рисунок 3.9), которая показывает наличие безнапорного потока в сторону нижней бровки откоса с градиентами в диапазоне 0,05-0,1. Уровень воды в техногенном массиве, определенный по датчикам, показывает значительную степень его обводнения – до 60-70 % в средней части склона и 50% - в нижней части склона. Наличие такого высокого стояния уровня воды в теле отвала существенно сказалось на его устойчивости за счет гидростатического взвешивания. Гидродинамическое давление в откосной части отвала не значительно в балансе сдвигающих сил в связи с невысокими значениями градиента потока. Колебание уровня по рассматриваемым скважинам за весь период наблюдения в нижней и центральной частях склона изменяется в пределах 1-1,5 м. При этом в верхней части склона колебания уровней значительны, достигая 4,5 м. В годовом цикле четкой увязки колебаний уровней (давления) по датчикам в зависимости от паводкового и межлетнего сезонов не отмечается.

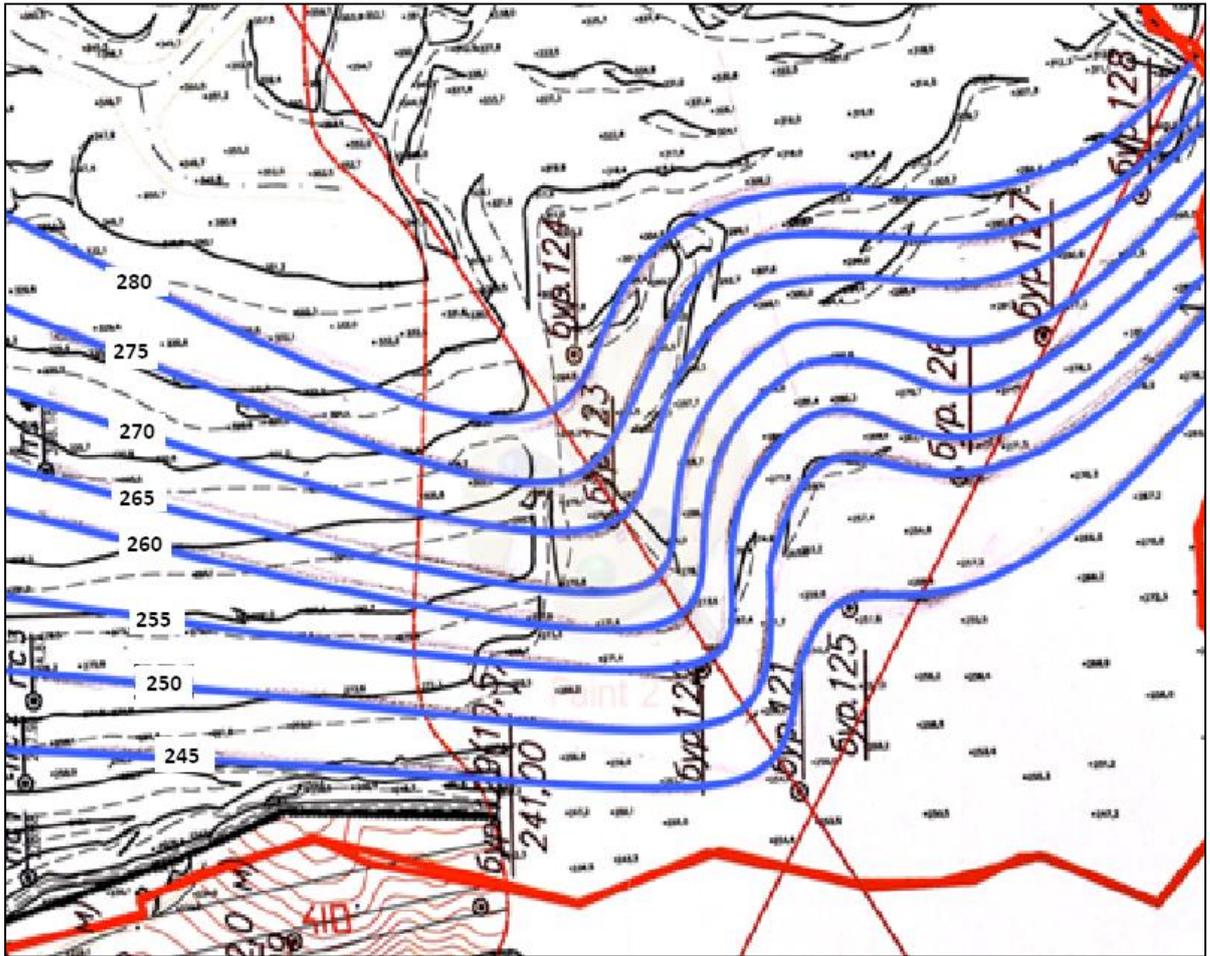


Рисунок 3.9 – Карта гидроизогипс деформированной зоны внешнего отвала на разрезе «Заречный» [19]

Другим примером сформированного техногенного водоносного горизонта могут послужить наблюдения на внешнем отвале Виноградовского угольного разреза [89-90]. Пробуренные через тело отвала скважины были оборудованы датчиками порового давления в техногенном массиве – в скв. 1: №589511, №589592, №589703, №589664, №589645, №589606. Регулярные наблюдения позволили установить 70 % обводнение техногенного массива (рисунок 3.10).

Численное моделирование зарегистрированного геофильтрационного режима позволяет на основе выполнения обратных расчетов охарактеризовать породы техногенного массива отвала коэффициентом фильтрации 0,05 м/сут. Полученный параметр проницаемости пород использовался для прогноза по-

ложения депрессионной поверхности в откосе отвала высотой 200 метров (рисунок 3.8), при этом численным моделирование получена степень обводнения отвала в 40 %.

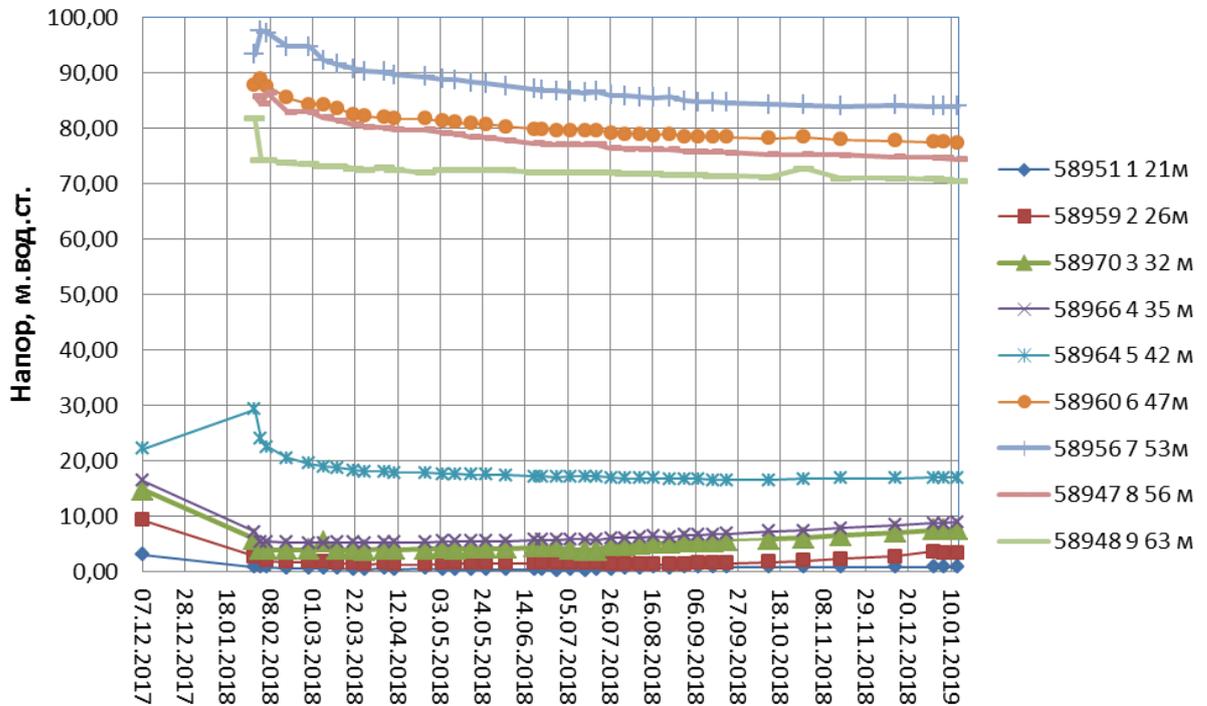


Рисунок 3.10 – Результаты гидрогеомеханического мониторинга на внешнем отвале разреза Виноградовский, скв.1 (а.о. +306,1)

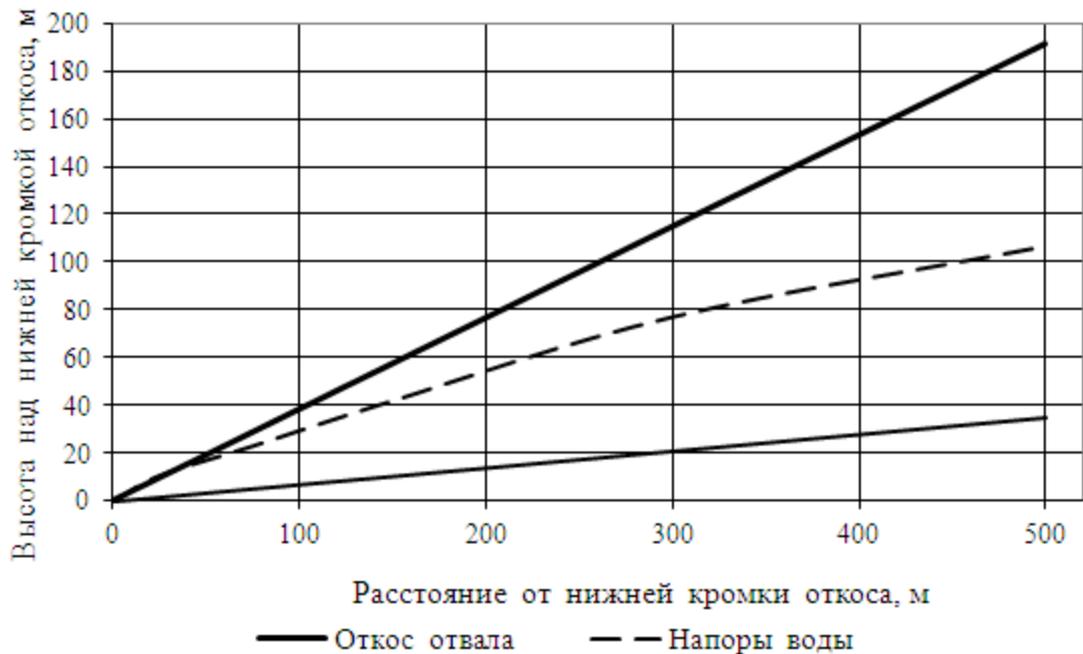


Рисунок 3.11 – Результаты геофильтрационного моделирования откоса внешнего отвала на разрезе «Заречный»

Лабораторное изучение проницаемости отвальных пород под действием вертикальных нагрузок проводилось по следующей методике. В фильтрационную камеру высотой 40 см и диаметром 25 см загружались отвальные породы с плотностью $1,85 \text{ г/см}^3$ и размером фракции 2-5 мм. В верхней и нижней части камеры оборудовались впускные трубки (рисунок 3.12). Далее определялось исходное значение коэффициента фильтрации согласно принятой в нормативной документации методике. Далее, с помощью пресса на одноосное сжатие задавались вертикальные нагрузки в диапазоне до 5,0 МПа и выдерживались до стабилизации деформаций, затем измерение проницаемости проводилось снова. Таким образом, были получены коэффициенты фильтрации для пород балахонской и кольчугинской серии при нагрузках до 5,0 МПа, значения которых приведены на рисунке 3.13.

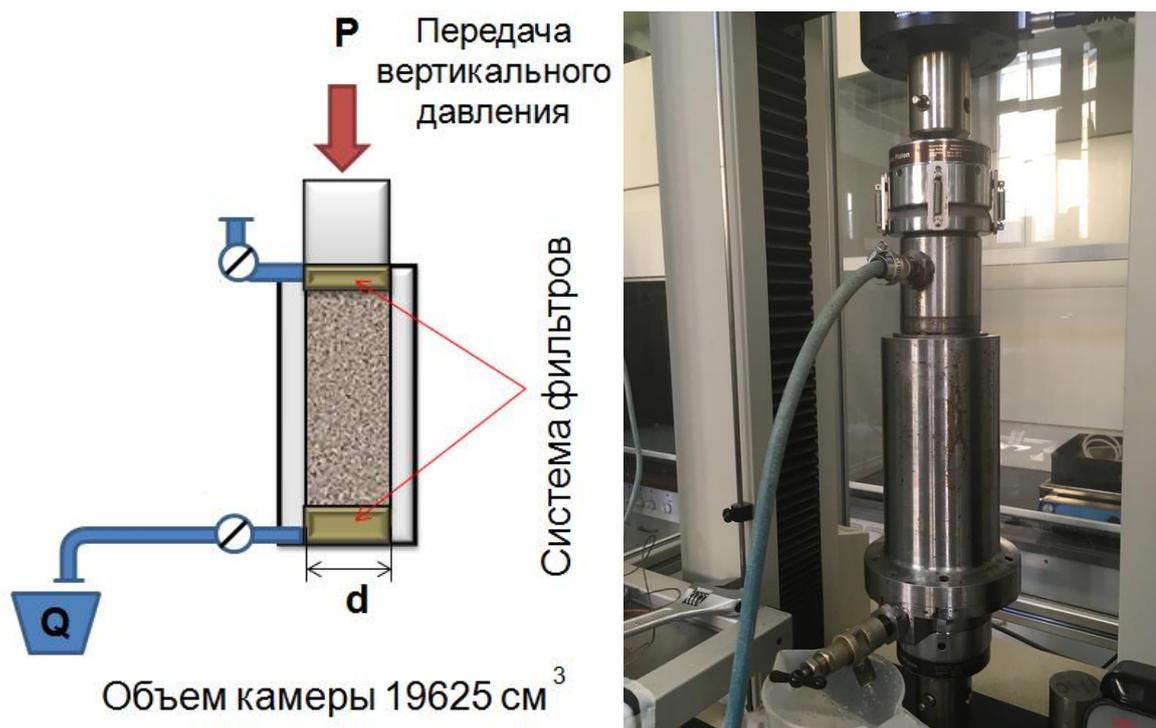


Рисунок 3.12 – Принципиальная схема определения коэффициентов фильтрации отвальных пород

На основании экспериментальных данных и численного моделирования было установлено пороговое значение коэффициента фильтрации 2,5 м/сут, при котором уровень обводнения в отвале превышает 30 %, что существенно

снижает устойчивость горнотехнического сооружения. Лабораторные испытания показали, что при достижении величины вертикальной нагрузки 5,0 МПа алевролиты и песчаники балахонской серии, а также их смеси в различном соотношении снижают коэффициент фильтрации до 2-4 м/сут, что относит их к сильноводопроницаемым грунтам, тогда как аналогичные породы и смеси пород кольчугинской серии характеризуются коэффициентами фильтрации 0,2-1,5 м/сут, что относится к слабопроницаемым породам. Следовательно, образование слабопроницаемого ядра в теле отвала характерно преимущественно для сооружений, формируемых из пород кольчугинской серии. Данный факт подтверждается натурными наблюдениями, выполненными на отвалах разрезов Заречный, Виноградовский, Талдинский, Моховский.

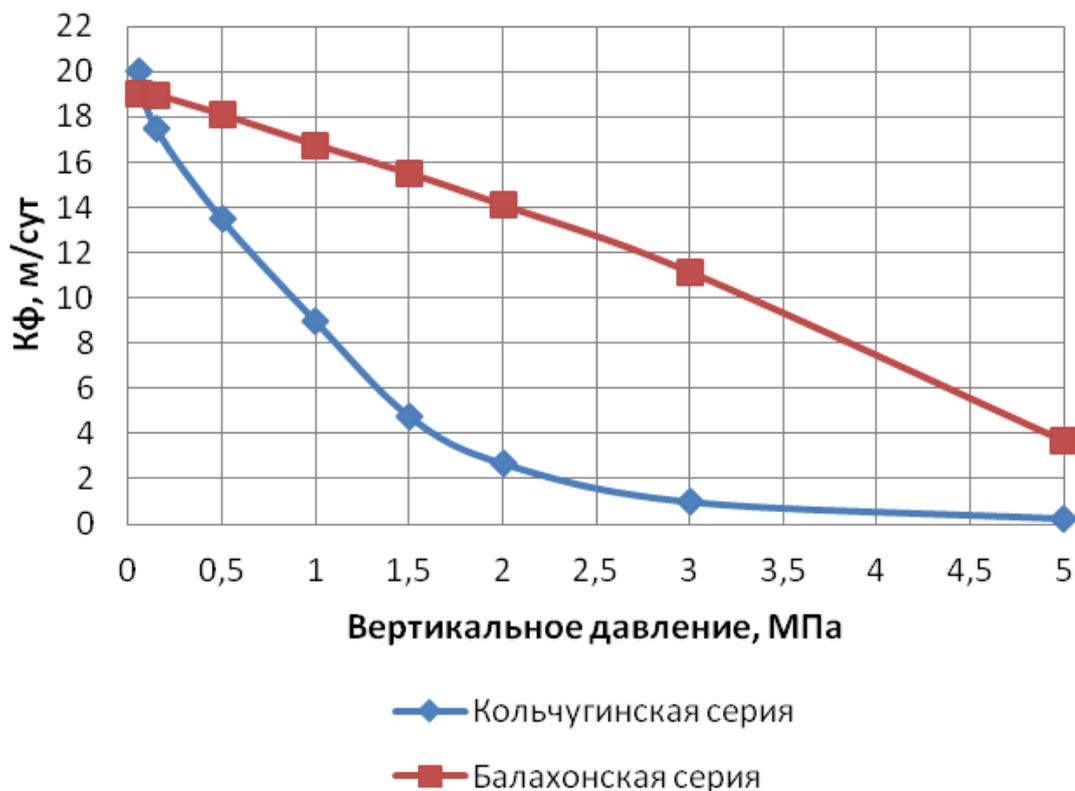


Рисунок 3.13 – Влияние вертикальной нагрузки на фильтрационные параметры отвальной массы пород балахонской и кольчугинской серий

Однако следует учитывать, что при одновременной отсыпке в отвал дезинтегрированных скальных углевмещающих пород обеих серий в смеси с покровными суглинками также следует ожидать появление безнапорного

водоносного горизонта в техногенном массиве. Степень обводнения отвала при этом возрастает пропорционально увеличению доли в отсыпаемых отвальных смесях покровных суглинков, изначально характеризующихся низкой водопроницаемостью. Кроме того, при отсыпке отвальных насыпей на водонасыщенные «слабые» глинистые основания или при наращивании водонасыщенных отвалов, ранее отсыпанных из слабопроницаемых пород, в техногенных и естественных массивах ПТС «отвал + естественное основание» происходит образование ИПД, которое существенно сказывается на напряженно-деформированном состоянии ПТС и устойчивости её откосов.

Таким образом, вероятность появления техногенного водоносного горизонта также может рассматриваться для отвалов, формируемых из пород балахонской серии, при условии совместного складирования скальных/полускальных пород и глинистых отложений. Пороговое содержание глинистых разностей составляет при этом 15 %.

Сопоставление полученных в лабораторных условиях коэффициентов фильтрации пород с изученным ранее изменением гранулометрического состава этих пород позволяет отметить следующее:

1. Для отвалов сухих пород балахонской серии при достижении высоты 85 м исходная проницаемость техногенного массива снижается на **25 %**. При превышении высоты сооружения 150 м коэффициент фильтрации снижается в **1,5** раза по сравнению с исходным значением.

2. Для отвалов пород кольчугинской серии выше 30 метров фиксируется снижение исходной величины коэффициента фильтрации в **1,5** раза. При увеличении высоты отвала в два раза (до 65 м) проницаемость массива снижается в 2 раза по сравнению с 30-метровым отвалом и почти в **3** раза в сравнении с исходными параметрами.

3. При совместном складировании коренных пород и глинистого неоген-четвертичного материала снижение коэффициента фильтрации в 100-метровом отвале до порогового значения 2,5 м/сут для балахонской серии наблюдается при содержании заполнителя около 17 %, а для кольчугинской серии, при

аналогичных условиях, достаточно 3,5 % глинистого материала для снижения проницаемости 100-метрового отвала до порогового значения.

Достоверность полученных результатов подтверждается как натурными наблюдениями за уровнями обводнения в отвалах, описанными ранее, так и опытно-фильтрационными испытаниями на отвале Вахрушевского разреза. Определения коэффициентов фильтрации проводились для пород, слагающих дамбы шламоотстойника КНС. Сооружение представляет собой техногенный массив вскрышных пород (внутренний отвал № 1) в виде смеси алевролита, песчаника и в небольшом количестве аргиллита, а с глубины 304,5 м и ниже щебенистого материала плотного и очень плотного сложения [91]. В процессе выполненных исследований выделены 4 слоя, характеризующиеся определенными средними значениями коэффициентов фильтрации:

- верхний слой мощностью 35 м, характеризующийся плотностью 1,8 г/см³, обладает коэффициентом фильтрации 30 м/сут,

- ниже залегает 57-метровый слой слежавшихся отвальных пород, плотностью 1,85 г/см³, обладающих коэффициентом фильтрации 20 м/сут,

- ниже а.о. +304,5 залегают плотные насыпные породы мощностью 35 метров и характеризующиеся коэффициентом фильтрации 8 м/сут,

- в нижней части дамбы распространен слой слабопроницаемых пород, классифицируемых как пески пылеватые, характеризующиеся проницаемостью 0,5 м/сут.

Таким образом, выполненные натурные исследования фильтрационных свойств отвальных пород показывают хорошую сходимость с результатами лабораторного определения фильтрационных параметров отвальной смеси при нагрузках до 5 МПа.

3.5 Выводы по главе 3

Рассмотрены вопросы техногенеза внешних отвалов как совокупность процессов изменения ландшафта в результате производственной и хозяйствен-

ной деятельности человека, в том числе, формирования новых породных образований – техногенных пород. Проанализированы существующие классификации техногенных пород и рассмотрена схема их образования, включающая по аналогии с литогенезом естественных пород три этапа: образование исходного материала за счет разрушения материнских отложений, его перемещение до мест складирования и породообразование. Предложенная схема рассматривает этапы формирования инженерно-геологических условий отвальных массивов, определяющие факторы природного и техногенного характера, их роль и взаимосвязь.

Рассмотрены инженерно-геологические условия базовых объектов – внешних отвалов, сформированных из вскрышного материала месторождений угля, разрабатывающих отложения балахонской и кольчугинской серий, перекрытых с поверхности покровными неоген-четвертичными отложениями. Вскрышная толща углевмещающих пород обеих серий представлена в основном переслаиванием песчаников, алевролитов и угля. При этом изучались отвалы, сформированные на разрезах: «Заречный», «Талдинский», «Виноградовский», «Кыргайский Средний», отрабатываемых месторождения, сложенные кольчугинскими отложениями, а также на разрезах: «Кедровский», «Бачатский», «Краснобродский» и «Вахрушевский», сложенных балахонскими отложениями.

Установлено, что прочностные свойства отвальных пород для условий конкретных горнотехнических сооружений зависят, прежде всего, от высоты отвала, возраста и степени литификации исходных пород, а также соотношения скального обломочного материала и глинистого заполнителя из неоген-четвертичных покровных отложений. Выделены и охарактеризованы два типа пород, формирующихся отвальных массивов, в зависимости от возраста, степени метаморфизма и типа цемента углевмещающих вскрышных пород – толщи балахонской и кольчугинской серий, характеризующиеся разным поведением в теле высоких отвалов.

При уплотнении пород в отвальных массивах большой мощности происходит изменение их фильтрационных свойств, появляются условия формирования в теле отвала техногенных водоносных горизонтов, гидродинамический режим которых существенно определяет условия устойчивости откосов и оптимальные параметры высоких горнотехнических сооружений. Определен граничный коэффициент фильтрации отвальной массы 2,5 м/сут, при котором в теле массива начинает формироваться техногенный водоносный горизонт.

В целом, можно говорить, что с учетом вышеперечисленных факторов условия устойчивости отвалов, сложенных техногенными породами, образованными при разработке как кольчугинских, так и балахонских отложений, существенно ухудшаются за счет уменьшения углов внутреннего трения пород и снижения эффективных напряжений в их скелете за счет гидростатического взвешивания при формировании в теле отвала техногенного водоносного горизонта, а в некоторых случаях образования и рассеивания в слабопроницаемых породах избыточного порового давления. Игнорирование гидрогеологических факторов при выполнении геомеханических расчетов отвальных сооружений может привести к необоснованному завышению параметров откосов и стать причиной развития оползней различного масштаба. Их учет при проектировании высоких и сверхвысоких отвальных сооружений позволит избежать возникновения аварийных ситуаций и обеспечит промышленную и экологическую безопасность отвалообразования на разрезах Кузбасса.

ГЛАВА 4 ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВ НЕОГЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ПОРОД ЕСТЕСТВЕННОГО ОСНОВАНИЯ ВЫСОКИХ ОТВАЛОВ

4.1 Теоретический анализ техногенного преобразования естественных пород в основании высоких отвалов

Неоген-четвертичные глинистые породы угольных месторождений Кузбасса, сплошным чехлом перекрывающие углевмещающую толщу, являются продуктом ее переработки. Образовались в результате ее деградации под воздействием физико-химических процессов выветривания. Состав и строение образующихся отложений, равно как и их свойства, определяются преимущественно условиями возникновения и формирования глинистых осадков, описываемых теорией литогенеза, предложенной Н.М. Страховым в 1937 году [92]. Разработанная им общая теория литогенеза включает в себя две стадии: «седиментогенез», то есть процесс формирования первичного рыхлого осадка, и «диагenez» – трансформацию осадка в горную породу под действием множества процессов разной природы (химических, физических, физико-химических, биохимических и геологических). Дальнейшие преобразования сформированной породы носят название «эпигенезис». Кроме того, некоторыми учеными выделяется стадия «сингенеза», то есть минералообразования, предшествующая стадии седиментогенеза. Несомненно, что для образования глинистых отложений, определяющей стадией будут являться диагенетические преобразования первичного материала.

Разными учеными подразумевается различная масштабность этого процесса. В зарубежных источниках под диагенезом понимают совокупность всех изменений осадка, вплоть до превращения в метаморфическую породу. Отечественные исследователи, такие как Н. Б. Вассоевич, М. С. Швецов и Л. Б. Рухин, более подробно расчленяли процесс образования осадочной породы, при этом отлично друг от друга выделяют границы стадий. Так М. С. Швецов под диагенезом понимал специфическую стадию образования породы в различных

условиях (океанические глубины, русловые условия и др.). Другой подход к определению диагенеза представил Л. Б. Рухин, совместив осадконакопление, диагенез и постдиагенетические изменения в единую совокупность процессов, называемых окаменение. В данной работе будет рассмотрена общая канва литогенетического образования глинистых отложений применительно к осадкам изучаемой территории Кузбасса, согласуемая с представлениями Н. М. Страхова.

В общем виде выделяют два типа условий развития диагенеза осадков: субкавальные, то есть образовавшиеся в условиях водного бассейна, и субаэральные, сформировавшиеся в наземной обстановке при постоянном контакте с воздухом. Для территории Кузбасса в неоген-четвертичный период была характерна смена обоих типов условий. В начале олигоцена Западно-Сибирский морской бассейн трансформируется в огромную озерно-болотистую равнину под действием постоянного прогибания центральной части плиты, устанавливается умеренно теплый климат. К моменту начала образования пород основания современных отвалов, то есть к середине миоцена, подобное прогрессирующее прогибание привело к образованию туртасского моря-озера в центральной части плиты, где формировались осадки в субаквальных условиях, а также продолжалось формирование пород в субаэральных условиях поднятия краевых регионов. Рассмотрим подробнее условия формирования отложений и особенности образовавшихся под их действием отложений.

Исходным материалом для образования отложений в субаквальных условиях является рыхлый, обводненный, богатый микроорганизмами и насыщенный газами, неустойчивый с физико-химической точки зрения осадок. Все последующие трансформации материала происходят за счет его внутренней энергии, исходного неравновесного состояния. Первоначально осадок представляет собой флюид, отложенный из водной взвеси, с содержанием твердой фазы 10-30 % и пористостью до 90 %. По мере развития процесса диагенеза минеральные частицы начинают уплотняться, особенно в том случае, если осадок продолжает накапливаться и растут вертикальные давления. Система

начинает обретать физико-химическую устойчивость: происходит коагуляция материала, появляется вязкость, прочность, наблюдается отжим свободной воды, так как более крупные поры уменьшаются в размерах, но все же осадок продолжает оставаться флюидным до тех пор, пока его пористость снизится по разным данным от 65 % до 75%. При этом происходят 3 основные группы процессов: взаимодействие осадка с наддонной водой, образование новых минералов и перераспределение вещества внутри осадка. Первый процесс обуславливается физико-химической нестабильностью первичного осадка, вследствие чего происходит постоянный обмен компонентами при значительном участии микробиоты, на глубину до нескольких метров. Образование новых минералов, называемых диагенетическими, также происходит при взаимодействии осадка с водной средой, а также при взаимодействии отдельных компонентов внутри самого осадка. В результате образуются области, где растворенные соединения достигают предела насыщения, образуя в результате новые минералы: карбонаты, сульфиды, фосфаты. Таким образом, формируется подавляющая часть диагенетических образований будущей породы. При этом физико-химическое состояние осадка окончательно не пришло к равновесному состоянию: наблюдаются различные окислительно-восстановительные потенциалы и концентрации компонентов, что приводит к перераспределению вещества внутри осадка под действием градиента концентраций. В результате этого процесса начинается формирование структурных связей в осадке. По мере его уплотнения и оттока свободной наддонной воды, являющейся средой интенсивного протекания всех обменных реакций, скорость диагенетических преобразований снижается. Характерной особенностью глинистых отложений является повышенная в сравнении с карбонатными породами (известняками, доломитами и т.д.) гидрофильность и, как следствие, более медленная литификация. Современная модель диагенеза предполагает развитие начальных процессов преобразования до глубин около 300 метров, где отложения сохраняют свойства исходного осадка. Далее на глубине порядка 1 км заканчивается

формирование состава пород, их структуры и текстуры, ориентация частиц, обособление твердой и жидкой фаз.

В подобных условиях образовались неоген-четвертичные отложения большинства свит Кузбасса: меретской, моховской, сергеевской, сагарлыкской, кедровской и краснобродской. Такие отложения обладают сравнительно высокой влажностью и плотностью, пористостью от 29 до 46 %, а также более высокими значениями сцепления (в среднем 0,07 МПа). Углы внутреннего трения отложений закономерно уменьшаются с возрастом пород с 28° до 21°, что обусловлено глубиной их образования.

Субаэральные условия образования отложений подразумевают, в отличие от субаквальных, преобразование осадка под воздействием внешних сил. Кроме того, субаэральные условия не предполагают единой модели формирования отложений, которая зависит от множества факторов. В общем виде выделяют субаэральные условия литогенеза в гумидном и аридном климатах. В первом случае инфильтрационный сток постоянно воздействует на осадок, во втором – сезонно, сопровождаясь засолением, карбонатизацией и т.д. При этом в обоих случаях процессы физико-химического уравнивания среды наступают только после перекрытия осадка вышележащим слоем, а конечный результат зависит от интенсивности воздействия процессов выветривания на начальной стадии. На основании многообразия условий осадконакопления и их связи с условиями диагенеза М.С. Швецовым был введен новый термин – «экзодиагенез», подразумевающий формирование отложений из осадков в поверхностной среде. Основным отличием от элювиальных отложений является потеря рыхлым переотложенным осадком связи с материнской породой, тогда как элювий с ней тесно связан, часто имея переходную зону. Кроме того, процессы экзодиагенеза происходят под действием физико-химической разности среды осадка и среды его литификации. Для элювиальных отложений характерно лишь наращивание интенсивности процесса выветривания, выражающееся в развитии мощности коры выветривания. К отложениям, сформировавшимся в условиях экзодиагенеза, можно отнести осадки бачатской и еловской

свит Кузбасса, а также отложения речных террас. Основными особенностями отложений являются значительное наличие пылеватой фракции, которая обуславливает более высокие значения угла внутреннего трения (до 28 градусов в естественном залегании), меньшая отсортированность материала, особенно характерная для аллювиальных осадков. Кроме того, экзодиагентические отложения Кузбасса обладают меньшей прочностью в сравнении с более древними субаквальными разностями, величина их сцепления не превышает 0,05 МПа.

Таким образом, вкратце были рассмотрены условия образования основных типов неоген-четвертичных отложений, которые перекрывают сплошным чехлом практически всю территорию Кузбасса, являясь наиболее распространенным основанием отвальных сооружений, размещаемых вблизи открытых горных работ. Мощность этих отложений варьирует от первых метров на периферии региона (Кедровский УР, Калтанский УР, Бачатский УР) до 80 метров в его центральной части (Моховский УР). В предгорье Салаирского кряжа, в отдельных впадинах мощность неоген-четвертичных отложений может достигать и более 100 м.

4.2 Изменения прочностных свойств неоген-четвертичных глинистых пород при нагружении

Основная часть рельефа региона сформирована под воздействием денудационных процессов, соответственно наибольшее распространение получили делювиальные разности, перекрытые практически повсеместно лессовидными отложениями еловской серии, аллювиальные отложения представлены в руслах рек. Однако применительно к вопросу изучения основания отвалов следует отметить, что формирование подобных техногенных массивов всегда происходит на территориях, непригодных для сельскохозяйственных и строительных нужд, представленных, как правило, пересеченной местностью с логами и водоразделами или достаточно крутым (до 6-8 градусов) понижением

рельефа. В подобных формах рельефа распространены аллювиальные суглинки и глины. Таким образом, основания отвальных массивов в равной степени представлены аллювиальными (в логовых участках) и деллювиальными (на водоразделах) суглинками и глинами, а также лессовыми глинами и лессовидными суглинками на водоразделах.

Очевидно, что приведенные выше отложения характеризуются различными составом, состоянием и свойствами. Ниже выполнена обобщенная сравнительная характеристика физико-механических параметров основных генетических разностей в основании отвалов, полученные по результатам лабораторного изучения монолитов с незатронутых горными работами и отвалообразованием участков. Следует учитывать, что параметры прочностных свойств получены при нагрузках до 0,3 МПа, что соответствует фактическим действующим нагрузкам в ненагруженных естественных массивах. К сожалению, они непригодно для использования в расчетах при обосновании устойчивых параметров отвалов, особенно, высоких и сверхвысоких из-за несоответствия нормальных нагрузок при сдвиговых испытаниях и в основании высоких отвалов.

Таблица 4.1 – Сравнительная характеристика параметров физико-механических свойств различных генетических разностей неоген-четвертичных отложений Кузбасса [52,75]

Тип отложений	Влажность, %	Плотность, г/см ³	Число пластичности	Консистенция	Сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град.
Аллювиальные	23-36	1,77-1,96	0,11-0,17	от твердой до текучей	10-36	11-25
Деллювиальные	20-29	1,82-2,01	0,12-0,19	от твердой до мягкопластичной	10-39	13-26
Лессовидные	18-21	1,69-1,88	0,06-0,11	от твердой до тугопластичной	20-45	19-27

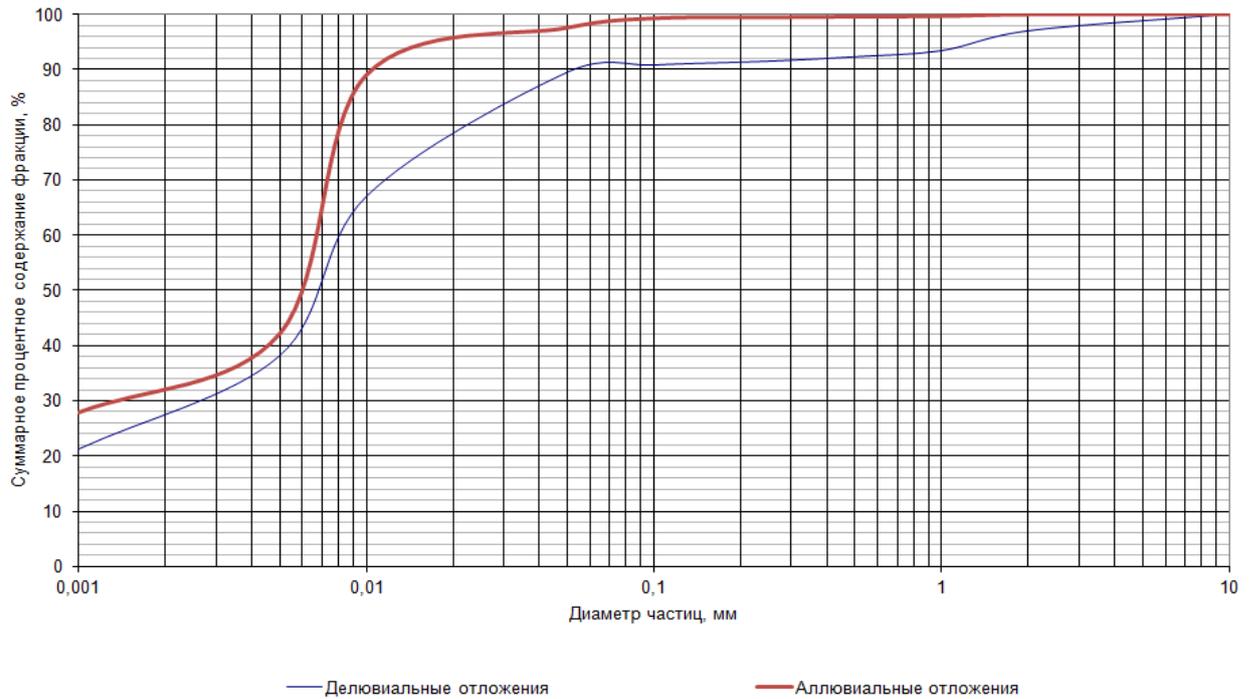


Рисунок 4.1 – Интегральные кривые гранулометрического состава неоген-четвертичных отложений Кузбасса различного генезиса

Из таблицы и диаграммы видно, что различные процессы образования отложений обусловили некоторое расхождение их физико-механических свойств. Данные различия сохраняется и при возрастании нормальной нагрузки, но до определенного момента. Изучения прочности пород отвалов высотой более 100 метров показали, что при достижении определенной величины вертикальных нагрузок при сдвиге в породах развиваются параллельно два взаимосвязанных между собой процесса. Во-первых, происходит трансформация прочностных свойств испытываемых дисперсных пород с ростом уплотняющих нагрузок за счет изменения гранулометрического их гранулометрического состава и структуры и, во-вторых, наблюдается развитие в водонасыщенных породных системах ИПД, снижающего эффективные напряжения в скелете и, соответственно, их прочность.

Изучению изменения состояния и свойств глинистых пород под действием различных возрастающих нагрузок посвящены множество работ отечественных и зарубежных ученых: Абелева М.Ю., Бондарика Г.К., Герсеева Н.М., Дашко Р.Э., Ломтадзе В.Д., Осипова В.И., Ребиндера П.А., Трофимова В.Т., Brinch Hansen, J.Th. Rosenqvist, Robinson L.H. и других [93-95, 125].

Особый вклад в изучение данной проблемы для неоген-четвертичных пород Кузбасса внесли работы Кутепова Ю.И. [37] и Кутеповой Н.А. [52]. В частности, в работе Кутеповой Н.А. [52] на основании собственных исследований и анализа многочисленных опытов по изучению поведения глинистых грунтов с ростом уплотняющих нагрузок различных зарубежных и отечественных авторов установлено, что существует тесная связь между показателями прочностных и деформационных свойств глинистых отложений и их физическим состоянием, описываемым через консистенцию. В частности, приведенные средние значения величины прочности на одноосное сжатие для различных консистенций демонстрируют снижение прочности пород с увеличением показателя консистенции (рисунок 4.1). Сжимаемость, характеризующая деформационное поведение грунта, напротив, будет расти.

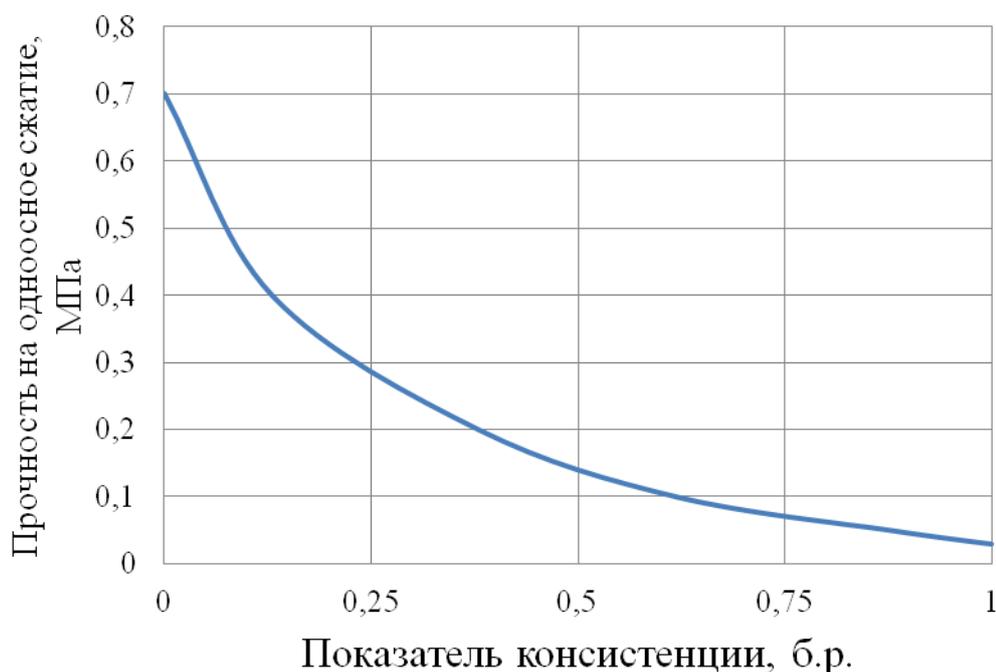


Рисунок 4.1 – Зависимость прочности на одноосное сжатие от консистенции глинистого грунта [52]

В настоящей работе экспериментальное изучение изменения прочностных свойств глинистых пород оснований отвалов проводились на одноплоскостном срезном приборе с использованием схем неконсолидированно-недренированного и консолидированно-недренированного сдвигов по методикам,

регламентированным ГОСТ 122248-2010 [96]. Исходным материалом для испытаний послужили образцы ненарушенного сложения, отобранные из оснований существующих отвалов различных высот, а также из ненагруженных участков перед отвалами. Районы изучения охватывали отвалы разрезов «Кедровский», «Бачатский», «Моховский», «Заречный», «Виноградовский», «Талдинский», которые характеризуются наиболее представительной выборкой образцов горных пород, полученных при различных условиях формирования, различного генезиса, а также исходного состава, состояния и свойств пород основания отвалов.

В результате выполненных многочисленных исследований было установлено, что под действием нагрузки от отвала породы основания, имея первоначально различную консистенции – от текучей до полутвердой, при определенном давлении консолидируются до твердого состояния, проходя все стадии трансформации физического состояния пород при их уплотнении (рисунки 4.2-4.3). В данной работе проанализированы результаты испытаний пород всех возможных разновидностей основания: естественного (неоген-четвертичные покровные отложения), техногенно-образованного (породы гидротвалов) и техногенно-преобразованного (трансформированные под действием высоких вертикальных напряжений неоген-четвертичные глинистые разности).

Необходимо отметить нелинейный характер изменения параметра сцепления и угла внутреннего трения. В таблицах 4.2 и 4.3 представлены сравнения различных уравнений, описывающих закономерное изменение параметров. Очевидно, что линейное и полиномиальное второго порядка уравнение наилучшим способом описывают разнообразие результатов испытаний на прочность, однако с учетом разницы коэффициентов корреляции результатов испытаний, а также принимая во внимание физическую природу процесса изменения прочности, предполагающую достижение за некоторое время постоянного значения, следует подразумевать нелинейный закон.

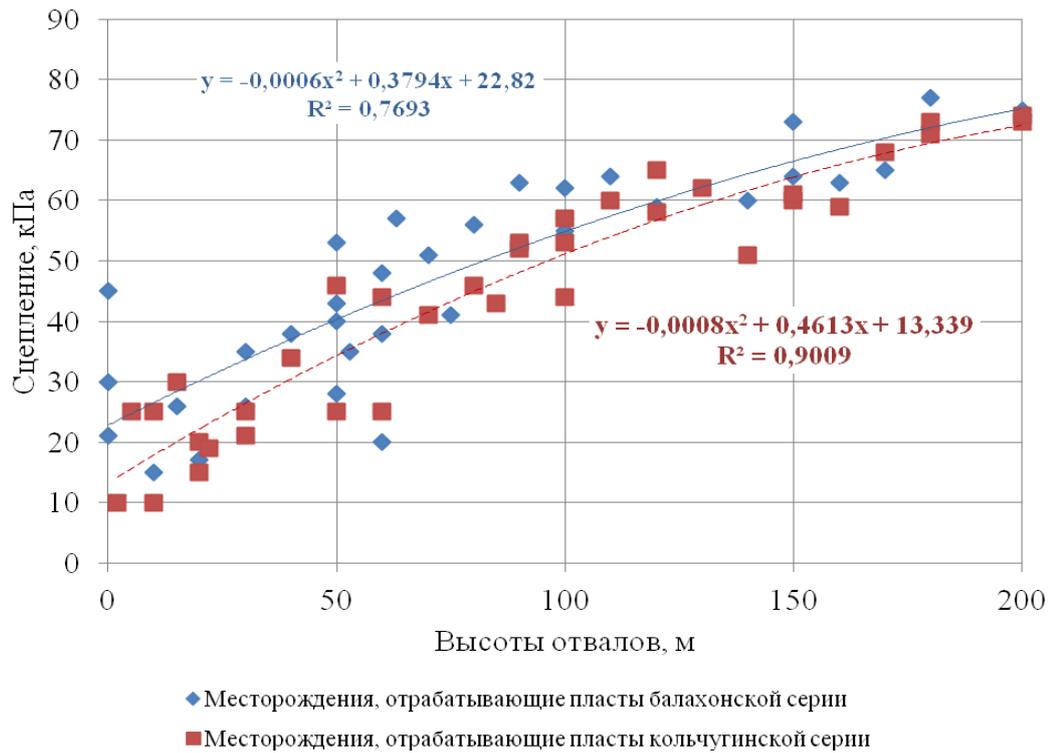


Рисунок 4.2 – Изменение сцепления пород основания под действием различной нагрузки от отвала

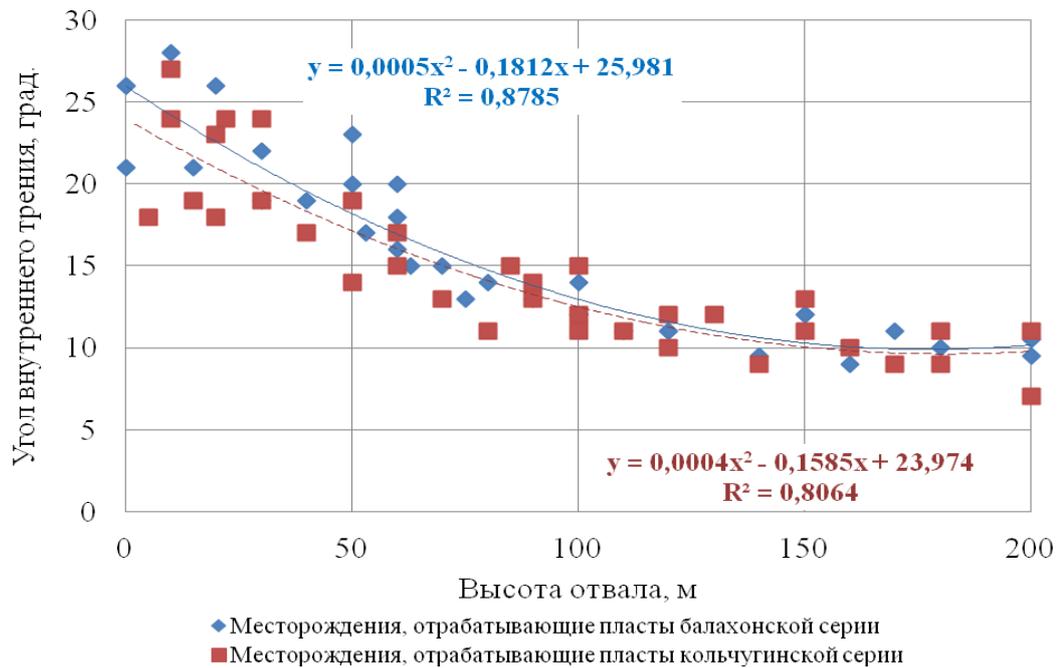


Рисунок 4.3 – Изменение угла внутреннего трения пород основания под действием различной нагрузки от отвала

Анализ результатов выполненных лабораторных определений позволяет сделать вывод о том, что с изменением консистенции от текучей до твердой

происходит увеличение величины сцепления пород как для пород нарушенного сложения (техногенно-образованных и техногенно-преобразованных) пород, например, намывных пород гидроотвалов, так и естественных пород.

Таблица 4.2 – Сравнение различных типов уравнений, описывающих сцепление глинистых пород в основании высоких отвалов Кузбасса

Тип уравнения линии тренда	Уравнение	Коэффициент корреляции R ²	Степень корреляции
Неоген-четвертичные отложения месторождений балахонской серии			
Экспоненциальный	$y = 26,89e^{0,0061x}$	0,6328	слабая
Линейный	$y = 0,2667x + 26,212$	0,757	тесная
Полиномиальный	$y = -0,0006x^2 + 0,3794x + 22,82$	0,7693	тесная
Степенной	$y = 28,232x^{0,1209}$	0,2936	отсутствует
Логарифмический	$y = 5,0586\ln(x) + 29,263$	0,3195	отсутствует
Неоген-четвертичные отложения месторождений кольчугинской серии			
Экспоненциальный	$y = 19,469e^{0,008x}$	0,7491	тесная
Линейный	$y = 0,3029x + 17,952$	0,8739	тесная
Полиномиальный	$y = -0,0008x^2 + 0,4613x + 13,339$	0,9009	весьма тесная
Степенной	$y = 6,3314x^{0,4478}$	0,8066	тесная
Логарифмический	$y = 15,376\ln(x) - 18,081$	0,767	тесная

Таблица 4.3 – Сравнение различных типов уравнений, описывающих угол внутреннего трения глинистых пород в основании высоких отвалов Кузбасса

Тип уравнения линии тренда	Уравнение	Коэффициент корреляции R ²	Степень корреляции
Неоген-четвертичные отложения месторождений балахонской серии			
Экспоненциальный	$y = 23,655e^{-0,005x}$	0,8386	тесная
Линейный	$y = -0,0837x + 23,106$	0,7801	тесная
Полиномиальный	$y = 0,0005x^2 - 0,1812x + 25,981$	0,8785	тесная
Степенной	$y = 23,44x^{-0,117}$	0,4913	слабая
Логарифмический	$y = -1,992\ln(x) + 23,473$	0,5276	слабая
Неоген-четвертичные отложения месторождений кольчугинской серии			
Экспоненциальный	$y = 21,841e^{-0,005x}$	0,7869	тесная
Линейный	$y = -0,073x + 21,335$	0,7296	тесная
Полиномиальный	$y = 0,0004x^2 - 0,1585x + 23,974$	0,8064	тесная
Степенной	$y = 47,878x^{-0,296}$	0,7408	тесная
Логарифмический	$y = -4,541\ln(x) + 33,676$	0,7479	тесная

Установлено также, что в диапазоне нормальных нагрузок до 1,2-1,5 МПа отмечается различие в показателях сцепления естественных четвертичных и техногенных (техногенно-образованных и техногенно-преобразованных) пород на величину 0,01-0,02 МПа. При достижении нагрузок на образец около 1,2-1,5 МПа и выше различия в значениях сцепления естественных и техногенных (как техногенно-образованных, так и техногенно-преобразованных) пород практически не наблюдается. Это объясняется нарушением структурного скелета пород, сопровождающегося разрушением сформировавшихся в длительном историческом процессе литогенеза жестких (необратимых) структурных связей. Максимальная прочность глинистых грунтов природного сложения определяется прочностью кристаллизационных структурных связей, которая в свою очередь зависит от плотности, дисперсности, химико-минералогического состава, а также трением частиц. После разрушения структурных связей прочность грунтов уменьшается и определяется главным образом сопротивлением трения и механическим взаимодействием частиц. Следует отметить, что при средней мощности четвертичных пород в Кузбасса около 50 м естественные вертикальные напряжения не превышают 0,9-1,0 МПа.

Дальнейшее нагружение пород при превышении указанных нагрузок происходит обычно без жесткого сопротивления скелета за счет уменьшения объема порового пространства и сжатия пленок связанной воды вокруг глинистых частиц. Известно, что в глинистых породах твердой консистенции отсутствует свободная (гравитационная) и осмотически поглощенная (рыхло-связанная) вода, поэтому при приложении нагрузки в поровом пространстве пород не формируется ИПД и процессы фильтрационной консолидации не развиваются. Однако в них происходит сжатие пленок связанной воды, сопровождающееся образованием в них расклинивающего давления в образующихся микротрещинах, которое препятствует дальнейшему уплотнению пород и, как следствие, их упрочнению, поэтому прочностные параметры пород можно

принять при нагрузках более 0,9 МПа постоянными в некоем обозримом периоде времени, совпадающим с периодом формирования горнотехнического сооружения.

Другим наиболее важным аспектом изучения прочности пород в основании высоких отвалов является установление зависимостей изменения их углов внутреннего трения с ростом нагрузки уплотнения. На рисунке 4.3 приведена зависимость, характеризующая четыре характерными участками. Первый участок – диапазон нагрузок 0-0,25 МПа – показывает нарастание угла внутреннего трения до 14 град. Объяснение данного явления лежит в плоскости известных инженерно-геологических истин, описывающих зависимость данного параметра от пористости и консистенции пород. Следующий диапазон нагрузок – 0,25 – 0,5 МПа (может быть и несколько выше данного значения) – характеризуется максимальными и практически постоянными углами внутреннего трения пород, далее при достижении нагрузки 1,2-1,5 МПа отмечена тенденция уменьшения, а при преодолении – его постоянного значения 12 градусов.

Объяснить данные тенденции уплотнения-упрочнения глинистых пород с ростом нормальной нагрузки можно с позиции влияния микроструктуры на показатели прочности пород. Считается доказанным тот факт, что при сдвиге образцов глинистых пород происходит переориентация частиц в направлении, совпадающем с направлением приложения касательной нагрузки – проявляется переориентация частиц по типу «базис-базис». При малых нагрузках уплотнения микроструктура пород обычно «хаотичная» и неориентированная, когда частицы между собой контактируют в основном по типу «скол-скол» и «базис-скол», поэтому при сдвиге для обеспечения ориентированного микростроения потребуется дополнительная работа, которая, в конечном итоге, сказывается на величине внутреннего трения пород и, в частности на его угле.

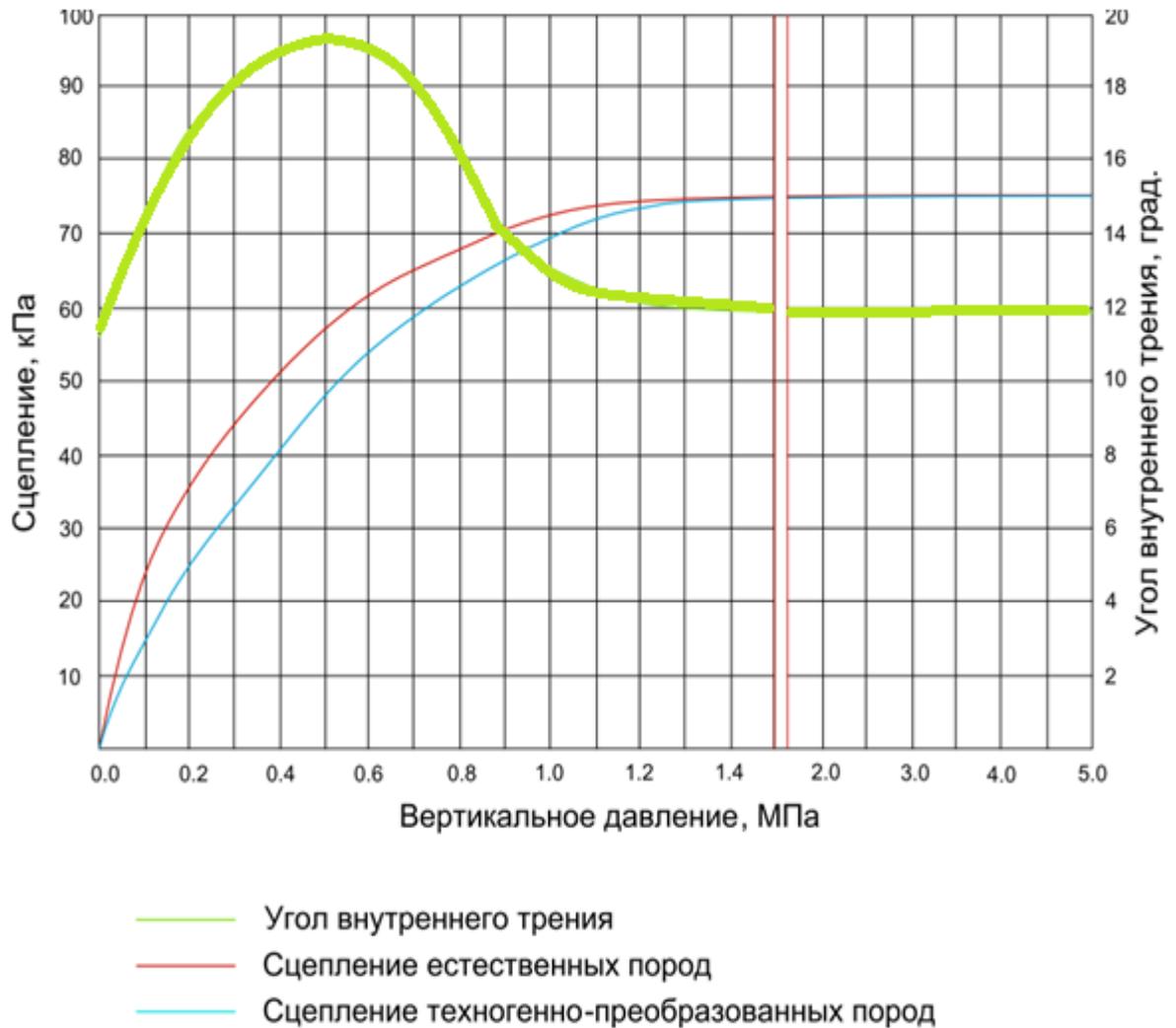


Рисунок 4.3 – Изменение прочностных параметров глинистых пород основания отвалов под нагрузкой [84]

Данное обстоятельство объясняет установленную закономерность изменения угла внутреннего трения пород с ростом уплотняющей нагрузки. Так, в диапазоне нагрузок от 0,3 до 1,2-1,5 МПа происходит постепенное формирование ориентированной структуры, что приводит к изменению угла внутреннего трения до определенного значения (в нашем случае, до 9-12 градусов), после чего данный прочностной параметр не изменяется и остается постоянным. При испытаниях текучих и мягкопластичных пород установлена зависимость изменения угла внутреннего трения от показателя консистенции, которую можно объяснить увеличением площади межчастичных контактов при фильтрационной консолидации пород, характерной для данного их типа.

4.3 Образование и рассеивание избыточного порового давления в основаниях отвалов, сложенных слабыми глинистыми отложениями

Общие положения теории фильтрационной консолидации

При отсыпке отвала на водонасыщенное основание, представленное слабопроницаемыми глинистыми сжимаемыми отложениями, в результате воздействия давления от веса насыпи в них возникают дополнительные сжимающие напряжения, которые разделяются на напряжения в скелете породы (эффективные напряжения) и давление в поровой воде (поровое давление). Поскольку данные напряжения распределяются в пределах некой области нагружения и неодинаковы по величине в различных ее точках, то и образующееся поровое давление будет различно в каждой из них. Вследствие этого образуется разность напоров и возникают условия градиента фильтрации из более нагруженных зон этой области в сторону менее нагруженных. Одновременно в породном массиве под действием эффективных напряжений происходит переконфигурация частиц и агрегатов структурного скелета грунта и уплотнение пород, сопровождающееся уменьшением их пористости, увеличением плотности и прочности. Данный процесс называется «фильтрационной консолидацией». Для полностью водонасыщенных пород принято считать, что уменьшение пористости пропорционально объему отжатой из пор воды, поэтому скорости их деформаций при развитии процесса фильтрационной консолидации находятся в прямой зависимости от скорости фильтрации, которая определяется соответствующим коэффициентом.

При нагружении сжимаемых пород, характеризующихся достаточно высокими фильтрационными свойствами ($K > 10^{-1}$ м/сут), ИПД в реальных условиях отсыпки отвалов практически не образуется, так как нагрузка на основание передается не мгновенно, а с определенной интенсивностью, связанной с технологией отвальных работ и поступаемыми в отвал объемами породной массы, при этом скорость рассеивания давления совпадает практически со ско-

ростью формирования отвала. В некоторых случаях отсыпка отвалов производится на основание, сложенное слабопроницаемыми породами, характеризуемыми коэффициентами фильтрации $K < 10^{-5}$ м/сут. В этом случае в нагружаемых породах образуется ИПД, достигающее максимально возможных значений, адекватных весу отсыпаемых отвалов, при этом оно сохраняется длительный срок, превышающего срок эксплуатации отвального сооружения. В связи с этим отсутствует необходимость в прогнозировании рассеивания порового давления, поэтому оно учитывается в расчетах устойчивости, исходя из максимально возможных значений. Таким образом, прогнозирование ИПД в водонасыщенном сжимаемом основании и учет его в расчетах устойчивости при обосновании параметров отвалов наиболее целесообразно осуществлять при использовании в качестве основания отвалов массивы из глинистых отложений, характеризующихся коэффициентами от 10^{-1} до 10^{-5} м/сут, или при коэффициентах консолидации C_w от 10^{-3} до 1 м²/сут.

Изучение и прогноз процессов консолидации пород в основаниях различных сооружений является одними из сложнейших задач механики грунтов и инженерной геологии. Их рассмотрения являются самостоятельными исследованиями и выходят за рамки данной диссертации. Однако мы отдаем себе отчет в том, что при решении проблем устойчивости высоких отвалов без рассмотрения напряженно-деформированного состояния водонасыщенных породных массивов обойтись вряд ли удастся. Поэтому ниже будет выполнен краткий анализ данной проблемы, рассмотрены некоторые результаты изучения порового давления в основаниях некоторых отвалов в Кузбассе, предложена методика гидрогеомеханического мониторинга на отвалах.

Теория «фильтрационной консолидации» базируется на фундаментальном положении о неразрывности движения жидкости по аналогии с теорией напряженного состояния пород, основанного на их сплошности. Используемые при этом дифференциальные уравнения движения воды через пористые породы являются непрерывными функциями. Для выполнения расчетов консолидации на практике требуется выполнять условия для нагружения пород,

когда коэффициент водонасыщения, характеризующий их, должен быть близок к единице. Поэтому правильность прогноза порового в этом случае зависит от данного параметра свойств пород. Чем больше расхождение его значений, определенных при изысканиях, от обоснованного в условиях применимости теории, тем выше расхождение между расчетными и натурными определениями порового давления. При условии установленного коэффициента водонасыщения, составляющего долю от единицы, данная порода характеризуется как не полностью водонасыщенная, поэтому ее уплотнение под нагрузкой будет происходить на первых порах без отжатия воды из порового пространства до той поры, пока в новом уплотненном состоянии данный коэффициент не достигнет максимального значения (единицы). После чего процесс консолидации пойдет за счет фильтрационной составляющей процесса уплотнения и будет характеризоваться образованием ИПД и его последующим рассеиванием во времени.

Особенностью развития процесса фильтрационной консолидации отличаются породы, обладающие структурной прочностью. Экспериментально установлено, что при нагружении массивов, сложенных породами с наличием структурной прочности, происходит перераспределение внешней нагрузки частично на скелет и частично на воду, заключенную в порах. Данный процесс зависит от жесткости минерального скелета и определяется, так называемым, коэффициентом порового давления, который показывает, какая часть от общей нагрузки передается непосредственно на воду, а какая – на скелет. Он изменяется от 0 – для пород, характеризующихся наличием высокой структурной прочности, до 1 – для бесструктурных осадков и пород с низкой структурной прочностью. Среди дисперсных глинистых пород к первому типу можно отнести суглинки и глины полутвердой и твердой консистенций, а второму – текучие отложения. Промежуточное положение от 1 до 0 по коэффициенту порового давления занимают среди глинистых пород отложения мягкопластичной и тугопластичной консистенций.

При нагружении отложений, не обладающих структурной прочностью, внешняя нагрузка в начальный момент в определенной области практически полностью воспринимается поровым раствором, провоцируя резкий скачок величины порового давления, сопоставимого по величине с приложенной нагрузкой. В процессе фильтрационной консолидации ИПД постепенно полностью рассеивается.

В структурных породах с $P_{cmp} > 0$, внешняя нагрузка P в начальный момент воспринимается минеральным скелетом, а ИПД возникает в зоне разрушения структурных связей в скелете грунта. Однако условием начала оттока поровой воды является превышение градиенте напора величины начального градиента I_0 . В связи с этим фактом зона развития процесса ФК ограничена, ее мощность h_a может быть определена по формуле:

$$h_a = (P - P_{cmp}) / \rho_v I_0. \quad (4.1)$$

где ρ_v – удельный вес воды.

Следовательно, определение схемы изменения порового давления в породах, характеризующихся наличием P_{cmp} и I_0 , требует сопоставления P и P_{cmp} , а также выделения зоны, где $P \geq P_{cmp}$, полагая, что в ней возникает начальное ИПД $P^0 = P - P_{cmp}$. В соответствии с этим значением определяют действующий градиент напора I_d , сопоставляемый с I_0 . Если в каждой точке области удовлетворяется условие $I_d \geq I_0$, то вся она рассматривается как активная зона. В противном случае наряду с активной следует выделять пассивную зону, где инициированное P^0 не изменяется, так как здесь $I_d < I_0$. Наличие I_0 предопределяет сохранение остаточного порового давления после окончания процесса ФК также и в пределах активной зоны. Его величина изменяется от 0 на границе дренажа до $P - P_{cmp}$ на границе активной зоны. Рассмотренная схема отражает условия развития порового давления в породах при действии постоянной внешней нагрузки. Если нагрузка, приложенная к поверхности массива, постепенно возрастает во времени, как это происходит при наращивании существу-

ющих отвальных сооружений, то граница области разрушения скелета постепенно перемещается. Соответственно может перемещаться и граница области ФК.

Анализ изученности процесса фильтрационной консолидации

Практика возведения зданий и сооружений различного назначения, в частности горнотехнических, к которым относятся внешние отвалы угольной промышленности, а также опыт исследования уплотнения пород в лабораторных условиях, показывают настоятельную необходимость изучения процесса фильтрационной консолидации, а также его учета при выполнении расчетов устойчивости и несущей способности. Впервые прогноз развития порового давления был разработан К. Терцаги, который показал, что протекание данного процесса происходит во времени в течение длительных промежутков. Также он объяснил наличие запаздывания деформаций пород во времени нахождением в их поровом пространстве несжимаемой жидкости - воды, которая воспринимает вначале внешнюю нагрузку, и фильтрационным сопротивлением движению жидкости по порам. К. Терцаги [97] получил решение одномерной задачи о возникновении ИПД, адекватного нагрузке при мгновенном ее приложении, его рассеивании во времени происходит в зависимости от фильтрационных свойств и сжимаемости породы, а также дренажных условиях на границах слоя.

Н.М. Герсеванов сначала в 1937, а затем и в 1948 годах [98], используя разработанную теорию, обосновал уравнения плоской задачи, которая получила дальнейшее свое развитие в работах В.А. Флорина [99]. Уравнения двумерной, а затем и трехмерной (объемной) задачи фильтрационной консолидации, обосновал М. Био [126] для следующих предпосылок – минеральный скелет является линейно-упругим, пористым телом, описываемым законом Гука, а заключенная в поровом пространстве вода является сжимаемой с постоянным коэффициентом объемного сжатия. Дальнейшее развитие теории фильтрационной консолидации осуществлялось достаточно интенсивно в 60-

80-х годах прошлого столетия усилиями различных ученых в СССР и за рубежом. Отметим особо теоретические и экспериментальные исследования выдающихся советских ученых-геомехаников, таких как Н.А. Цытович [100], Н.Н. Маслов [101], Ю.К. Зарецкий [102], В.Н. Николаевский, В.И. Осипов [95] и др. Они предложили различные уравнения для выполнения прогнозов, ввели в них как линейные, так и нелинейные зависимости, а также получили аналитические уравнения. Выполненные исследования также позволяют сделать вывод о том, что решение задач фильтрационной консолидации для практических целей наиболее целесообразно применять решение одномерной задачи, которая во многом базируется на предположении о том, что «касательные напряжения воспринимаются скелетом грунта и грунт получает мгновенные осадки за счет деформаций сдвига» [103].

Прогнозированием порового давления в отвалах и гидроотвалах в 80-90-х годах прошлого столетия занимались А.М. Гальперин и его ученики [104-105], Р. Э. Дашко [106-107], Ю.И. Кутепов и Н.А. Кутепова [109-111, 127-128] и др. На рубеже столетий продолжал совершенствоваться аналитический аппарат для прогноза консолидации, однако широкое распространение получило развитие численных методов [112-114, 129-130], позволяющих учитывать различные влияющие на процесс факторы, используя плоскую и объемную задачи.

*Характеристика объектов и результаты изучения порового давления
в основании отвалов Кузбасса*

Одним из наиболее представительных объектов изучения порового давления в основании техногенных массивов является внешний отвал №1 разреза «Заречный», характеристика которого приведена выше в главе 3.2. Инженерно-геологические исследования здесь выполнялись на различных участках горнотехнического сооружения: на теле оползня, незатронутыми деформациями откосе отвала, участке проектируемого пригруза. Они включали изучение напряженного состояния техногенного массива и основания отвала посредством измерения уровней и напоров в гидрогеологических скважинах, а также

порового давления в породах с применением тензометрической аппаратуры. Анализ гидродинамических условий в природно-технической системе «отвал+естественное основание», выполненный на основании результатов мониторинга, позволил объяснить основную причину развития катастрофической оползневой деформации, лежащую в области изменения гидрогеологических факторов.

Гидрогеологические наблюдения на отвале начали вестись с лета 2015 года после бурения на недеформированном склоне первых 4 наблюдательных скважин, в которые были установлены на различных глубинах по 4 датчика гидростатического давления. На оползневом теле, приуроченном к логовым участкам основания, было пробурено 8 скважин (по 4 в каждом из логов) с установкой в каждую из них по 3 датчика. Отметим при этом, что в каждой из скважин датчики устанавливались (по одному) в тело отвала, его основание, сложенное глинистыми отложениями неоген-четвертичного возраста, и коренными углевмещающими породами. Кроме того, несколько скважин с датчиками были оборудованы на участке будущего пригруза.

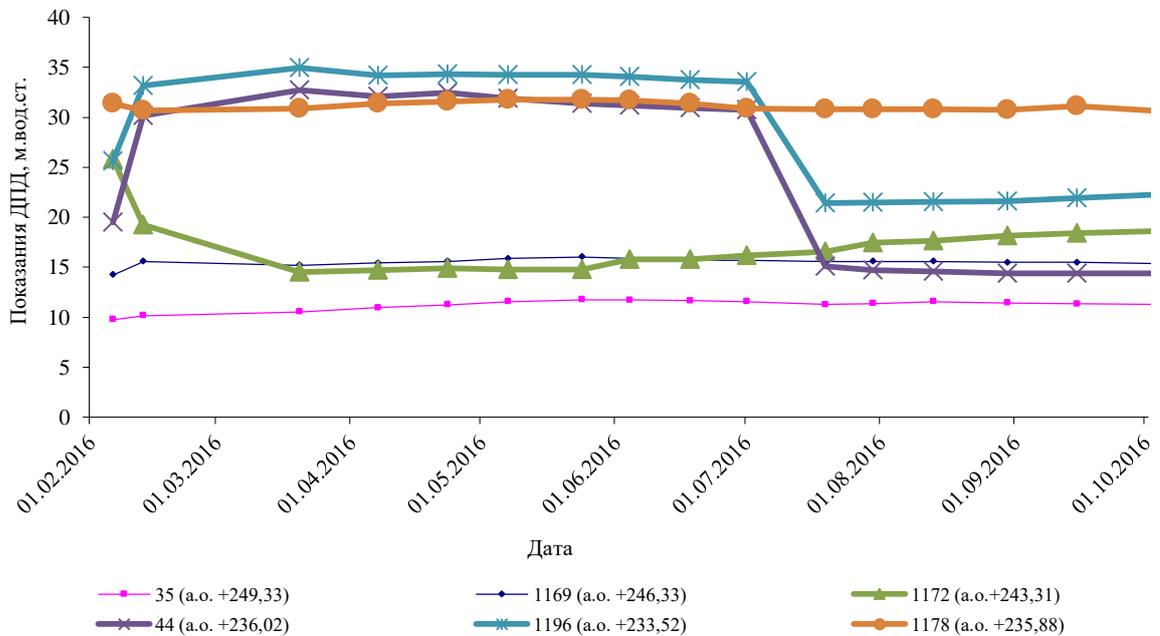


Рисунок 4.4 – Результаты наблюдений порового давления в основании внешнего отвала №1 разреза «Заречный»

После оборудования гидрогеологических скважин по ним выполнялись с периодичностью один раз в две недели измерения порового давления. Часть ДПД была установлена в неоген-четвертичные суглинки, залегающие в основании отвала (ДПД №№ 44, 1196, 1178, 35, 1169) (рисунок 4.4). Выполненные по ним измерения показывают значительные величины порового давления, достигающие в отдельных случаях более 30 м.в.с. Напоры, построенные с учетом данных измерений, показывают значения выше верхней границы слоя, что свидетельствует о наличии напорного режима фильтрации и ИПД. Его природа, по всей видимости, связана с совокупностью различных гидродинамических процессов, в том числе, с дополнительными нагрузками, возникшими от отсыпки отвальных насыпей и сдвиговых напряжений при развитии оползневого смещения. Наблюдения за давлением в годовом цикле показывает его рассеивание по времени после стабилизации деформационного процесса, что свидетельствует об обоснованности сделанных нами предположений. Следует при этом отметить, что в скважинах, расположенных в верхней части склона, не наблюдается значительных колебаний порового давления. В скважинах, пробуренных в нижней части склона, при этом наблюдается тенденция постепенного уменьшения давления по датчикам в годовом цикле на 1,5-18,8 м.в.с. Данный участок склона характеризуется горизонтальным залеганием и максимальной мощностью неоген-четвертичной толщи, образовавшейся за счет перемещения пород с верхней части склона при подпошвенном оползневом смещении. Верхняя часть склона, приуроченная к призме активного давления, имеет наклон основания около 7 градусов, что, по всей видимости, объясняет высокий постоянный уровень напряженности неоген-четвертичных пород, предотвращающий возможность рассеивания достаточно высокого (до 30 м. в. с.) избыточного порового давления.

Еще одним показательным примером формирования значительного по величине избыточного порового давления в основании горнотехнического сооружения является внешний отвал разреза «Виноградовский» ПАО «Кузбасская топливная компания», где также произошел значительный по объему

сползших масс оползень. Его характеристика приведена выше. Поскольку оползневое смещение на данном отвале происходило в виде движения разжиженных масс по склону в открытую горную выработку, совершенно логично было сделано предположение о полной обводненности техногенного массива. Для подтверждения данного предположения на откосах отвала в особо ответственных местах были пробурены скважины с последующей установкой в них датчиков гидростатического давления. Приборы в каждой из них закладывались в тело отвала и породы естественного основания, представленные коренными и дисперсными отложениями. Всего было пробурено 3 наблюдательные скважины, в которые установлено в совокупности 19 струнных датчиков. Выполненные наблюдения за распределением давления по вскрытому разрезу показывают, что техногенный массив отвала обводнен на 70-90 %, а в неоген-четвертичных отложениях зафиксировано давление такой величины, что построенные напоры оказались выше поверхности отвала на 10-15 м.в.с. Кроме того, датчики, установленные в коренных породах основания отвала, также демонстрируют давление, величины которого ниже, чем зарегистрированные в дисперсных породах основания. Анализируя такое распределение давления по глубине отвала можно сделать вывод о том, что природа ИПД в неоген-четвертичной толще комбинированная. Некоторая его часть связана с напорным водоносным горизонтом коренных пород и безнапорным техногенным горизонтом отвала, а некоторая связана в нагрузкой от веса отвала, т.е. является избыточным поровым давлением – реакцией на нагружение отвала.

Характеризуя исследования избыточного порового давления в основании техногенных сооружений нельзя не затронуть особый вид ПТС: отвалы, формируемые на ликвидированных гидроотвалах. Примером изучения подобных систем могут служить гидроотвалы №2 и №3 на Кедровском УР.

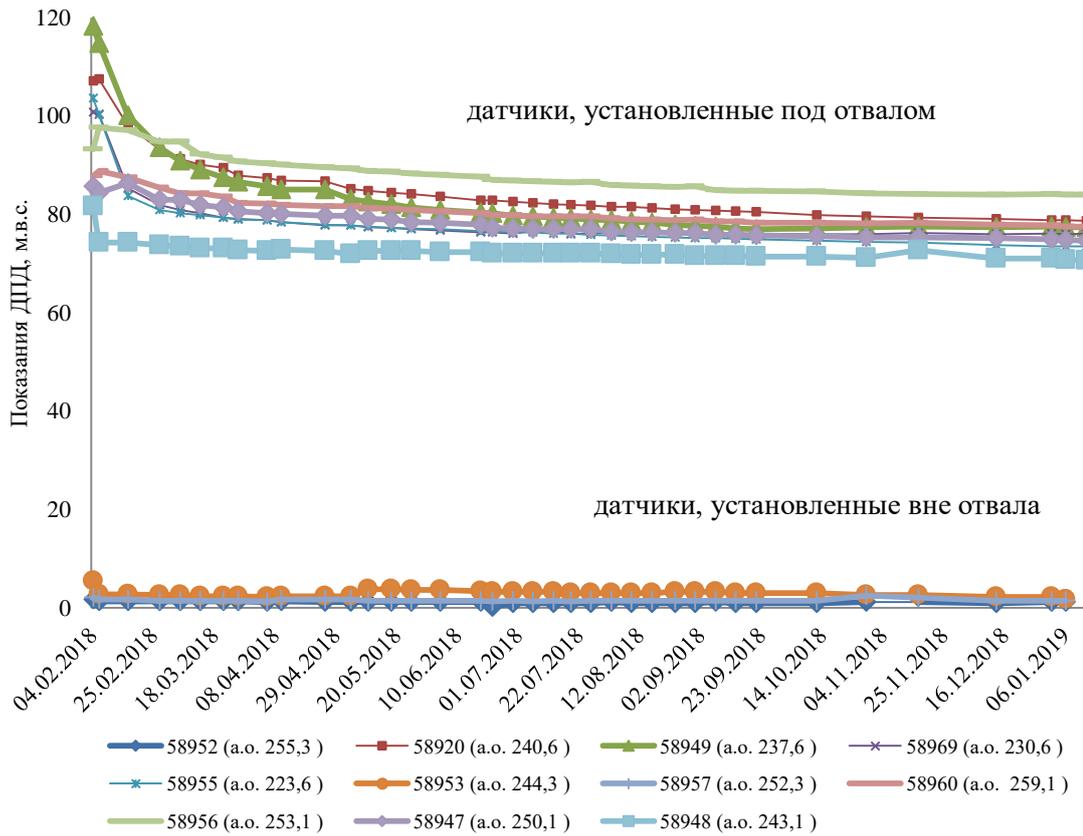


Рисунок 4.5 – Результаты наблюдений порового давления в основании внешнего отвала разреза «Виноградовский»

Характеризуя исследования избыточного порового давления в основании техногенных сооружений нельзя не затронуть особый вид ПТС: отвалы, формируемые на гидроотвалах. Примером изучения подобных систем могут служить гидроотвалы №2 и №3 на Кедровском угольном разрезе [115].

Так, на гидроотвале №3 формировалась перемычка в виде отвала, разделяющий его на участки подлежащий и не подлежащий удалению гидромеханизацией. Первый из них покрывал углевмещающие отложения с запасами угля, пригодными для разработки открытым способом, а второй – предназначался для отсыпки сухого отвала. Отсыпка разделительной насыпи осуществлялась при выполнении мониторинга порового давления, развивающегося в намывном массиве, и наблюдений за деформациями поверхности. Было установлено в процессе формирования насыпи постепенное увеличение ИПД по датчикам, заложенным в намывной массив, и развитие деформаций поверхности (рисунок 4.6). При достижении определенного давления в нагружаемых

намывных породах произошло нарастание скоростей смещений и образование подподошвенного оползня (рисунок 4.7). Выполненное после оползневого смещения бурение инженерно-геологической скважины показало наличие в основании отвала намывных пород тугопластичной и полутвердой консистенции, а также полутвердых естественных глинистых отложений. При этом во всех выделенных типах пород зарегистрировано поровое давление, по величине близкое к нагрузке от отсыпаемой насыпи. Данное давление изменяется как при формировании насыпи, пропорционально увеличивающимся нормальным и касательным напряжениям, так и на стадии отдыха после стабилизации деформаций.

Рассмотренные случаи образования и рассеивания ИПД в нагружаемом основании отвала, сложенном полутвердыми и твердыми глинистыми породами, демонстрируют возникающий парадокс, связанный с изменениями нейтральных напряжений в породных системах, характеризующихся отсутствием гравитационной (свободной) и осмотической (рыхло-связанной) воды. Давление в имеющейся в породах связанной воды (расклинивающее давление) не может быть зарегистрирована приборами, в которых используется принцип сжатия измерительного элемента, требующий перемещение свободной воды. По всей видимости, наличие изменяющегося во времени ИПД в твердых и полутвердых породах свидетельствует о более сложной их структуре, характеризующейся наличием водопроводящих каналов (трещин), по которым идет движение воды и передается давление.

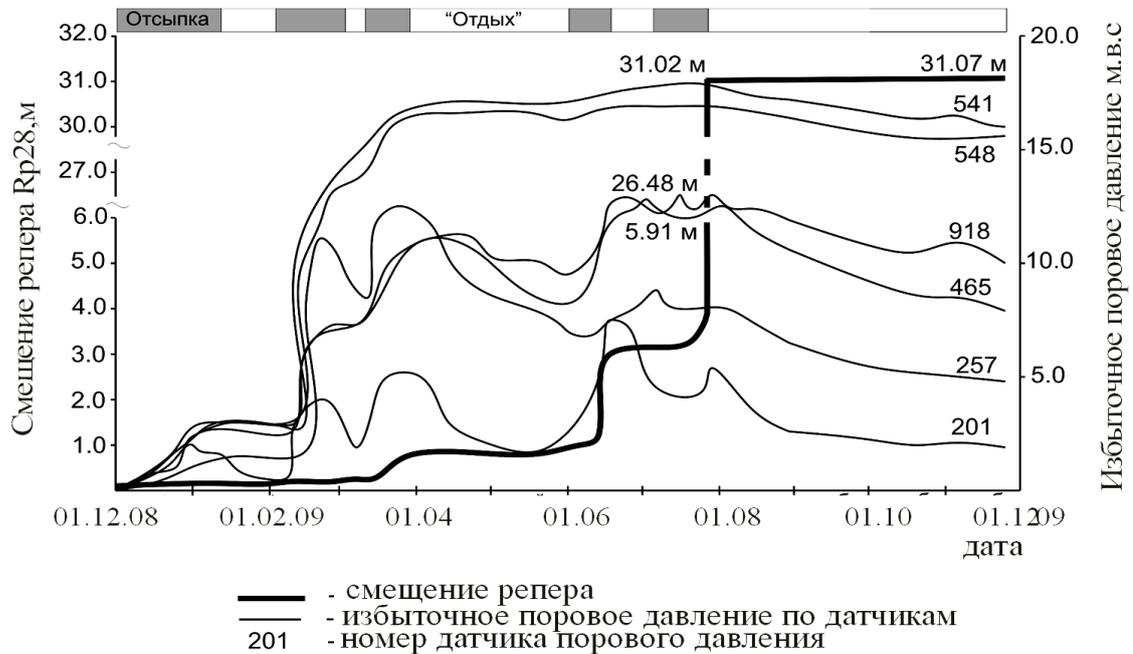


Рисунок 4.6 – Результаты натурных наблюдений за изменением избыточного порового давления в намывном массиве и горизонтальными смещениями репера при формировании технологической насыпи на гидроотвале №3 разреза «Кедровский»

Организация и выполнение гидрогеомеханического мониторинга

Рассмотренные выше проблемы устойчивости откосов отвалов различных производств характерны для случаев полного или частичного обводнения техногенного массива, а также при интенсивном ведении отвальных работ по наращиванию водонасыщенных объектов, сложенных слабопроницаемыми породами, или при отсыпке насыпей на "слабое" водонасыщенное основание. Это подтверждается результатами многочисленных исследований различных авторов, позволяющих сделать вывод о необходимости выполнения в таких случаях мониторинга безопасности (МБ) особой конфигурации, делающей упор на гидрогеологические измерения.

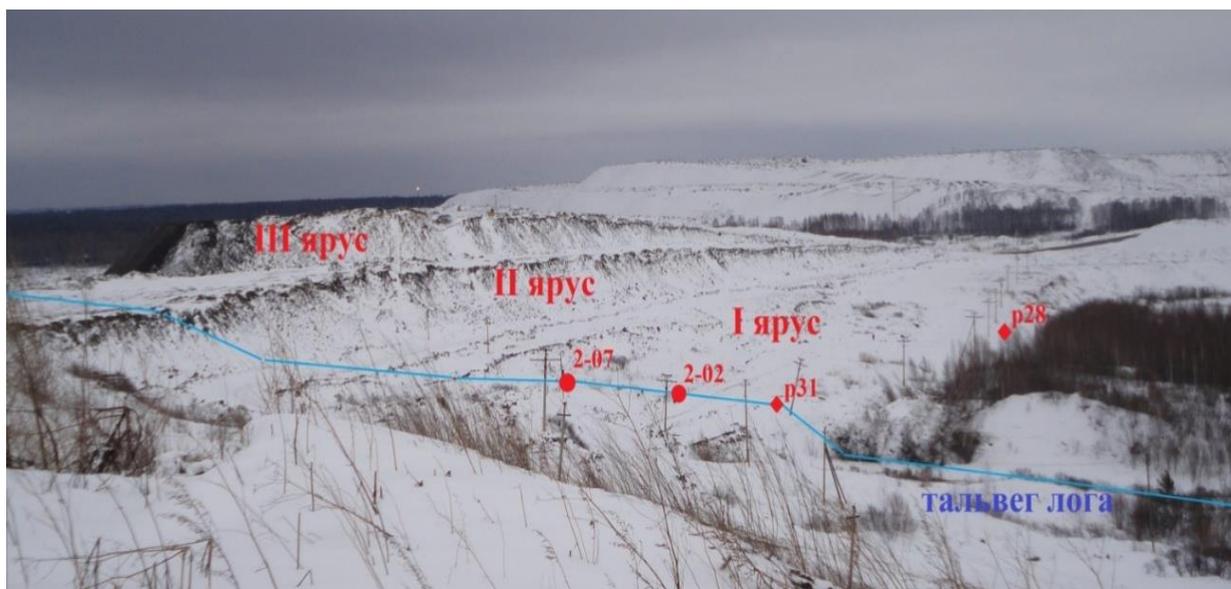


Рисунок 4.7 – Оползневая деформация при формировании технологической насыпи на гидроотвале №3 разреза «Кедровский»: вид на дамбу с указанием точек размещения контрольных пунктов (р.28, 31– геодезические репера; 2-02 и др. – скважины с датчиками порового давления)

Целью МБ является обеспечение постоянного контроля устойчивости отвала, предотвращение опасных деформаций и создание безопасных условий работы людей и горнотранспортного оборудования при ведении отвальных горных работ.

Поставленная цель достигается:

1. Организацией и выполнением инструментальных маркшейдерско-геодезических наблюдений по реперным линиям, заложенным в наиболее ответственных с точки зрения устойчивости участках отвала,
2. Организацией гидрогеологических наблюдений за режимом подземных вод в откосах техногенных массивах и естественных основаниях отвалов с применением систем автоматизированных наблюдений,
3. Разработкой гидрогеомеханических моделей ПТС «отвал + естественное основание» для выполнения оценок устойчивости ее откосов,
4. Выполнением периодических гидрогеологических измерений уровней и напоров в естественных и техногенных массивах ПТС и оценка текущего состояния устойчивости откосов,

5. Вазработкой критериев безопасности для контроля состояния устойчивости откосов отвала по заложенным диагностическим профилям,

6. Разработкой мероприятий по предотвращению оползневых деформаций и управлению устойчивостью откосов ПТС.

Предложенная конфигурация МБ ПТС «отвал+естественное основание» базируется на использовании наблюдений за двумя процессами - деформациями поверхности и гидродинамическим режимом в теле и основании отвала. В первом случае контролируется характер деформационного поведения откосов системы: затухающий, установившийся, прогрессирующий, разрушение. Первая стадия деформационного процесса свидетельствует о стабильном состоянии системы. Переход во вторую говорит о продолжающемся ее «квазистабильном» состоянии. На третьей стадии – прогрессирующей ползучести – система переходит в потенциально «неустойчивое» состояние, которое, в конечном итоге, неуклонно приводит к разрушению системы. Отпущенный период времени от перехода от прогрессирующей ползучести в стадию разрушения должен быть использован для выполнения противооползневых мероприятий, разработка которых была заранее осуществлена на втором этапе деформационного процесса.

Наблюдения за гидродинамическим режимом подземных вод в ПТС «отвал+естественное основание» позволяют осуществлять контроль одного из основных факторов, определяющих устойчивость откосов отвалов, а также развитие деформационного процесса техногенного массива и его поверхности. Они могут быть использованы для оценки устойчивости откосов отвала. Кроме того, результаты выполненного прогноза уровней и напоров в водоносных горизонтах ПТС при изменении технологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий могут использоваться для обоснования гидрогеомеханических критериев безопасности – критических напоров, соответствующих обоснованному определенному коэффициенту устойчивости. Так, нормативному коэффициенту запаса устойчивости 1,20 соответствуют

определенные напоры или уровни воды в откосе отвала, являющиеся гидрогеомеханическими критериями безопасности первого уровня. Данному состоянию устойчивости соответствует переход в деформационном поведении системы из затухающей в установившуюся ползучесть. Критерий безопасности второго уровня – напоры или уровни воды в ПТС, при которых коэффициент запаса устойчивости равен 1,10. Установлено, что при таком коэффициенте запаса наблюдается переход деформационного процесса из стадии установившейся ползучести в прогрессирующую. Третий критерий безопасности соответствует напорам или уровням воды в откосах ПТС с коэффициентом равным 1,00 – условие предельного равновесия, приводящее к разрушению.

Таким образом, наблюдение за деформациями поверхности отвалов, уровнями и напорами воды в ПТС с использованием обоснованных критериев трех уровней обеспечивает постоянный контроль устойчивости откосов с любой периодичностью, в зависимости от применяемой приборной и аналитической базы. Использование автоматизированных систем наблюдения за смещениями поверхности, например, радарной съемки, в сочетании с автоматизированными измерениями давления воды в породах откосов ПТС позволят заблаговременно оценить состояние устойчивости и избежать развития негативных процессов. Однако в связи с большой ценой приборов радарной съемки на объектах РФ наибольшее распространение имеют наземные маркшейдерско-геодезические измерения, периодичность измерений по которым оставляет желать лучшего. В случае выполнения МБ обводненных отвальных сооружений можно применить комбинированную систему наблюдений за устойчивостью объектов, при которой определения перемещения пунктов (реперов) производится с определенной периодичностью (раз в квартал, месяц, неделю и т.д.) при использовании наземных средств, а измерения уровней и напоров осуществляется с большей дискретностью (от 6 сек. и выше) автоматизированными системами.

Для использования в практике выполнения мониторинга безопасности гидрогеологических наблюдений предлагается методика, основанная на использовании оригинальной тензометрической аппаратуры: датчиков гидростатического давления и скважинного накопителя информации САП-1М. В диагностических створах, обоснованных для данного отвального сооружения и характеризующихся наихудшими условиями устойчивости, в скважинах на различных глубинах закладываются датчики гидростатического давления в количестве, достаточном для получения информации о гидрогеологической структуре отвала, его инженерно-геологическом строении и прочее. Установленные приборы объединяются в группы по 10 приборов для подключения к определенному САП-1М, который далее через модем по сотовой GSM связи соединяется с базовым компьютером диспетчера предприятия (рисунок 4.8). Для каждого из датчиков заранее обосновываются критерии трех уровней и заводятся в аналитическую систему САП-1М, в которой происходит сравнение обоснованных критериев с замеренными значениями давления воды на датчиках. При достижении текущих значений критериев данная система немедленно оповещает об этом событии через интернет-связь на базовый компьютер или определенный сотовый телефон. Прибор САП-1М работает в интерактивном режиме, позволяя корректировать периодичность измерений и обоснованные критерии безопасности.

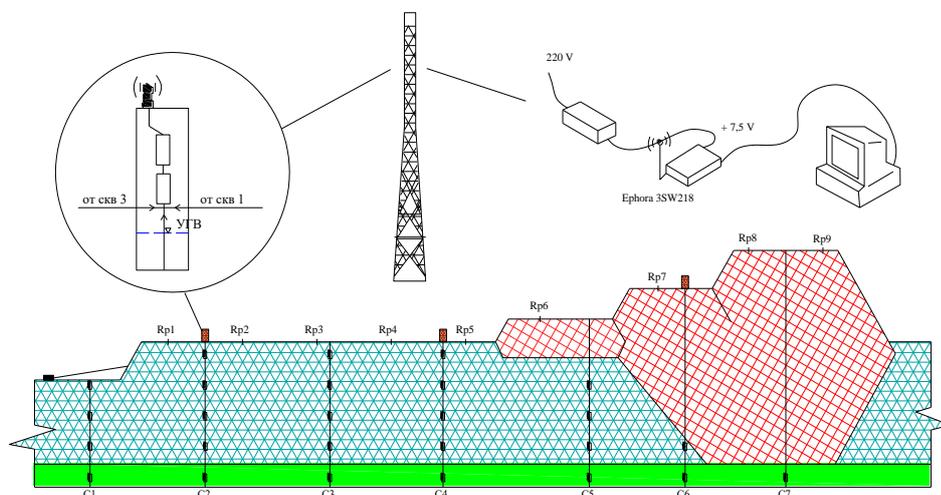


Рисунок 4.8 – Организация мониторинга безопасности при отсыпке отвалов на слабое водонасыщенное основание

Кроме того, разработанная система МБ включает в себя периодическую оценку состояния устойчивости с использованием прямых геомеханических методов расчета или математического моделирования. Для этих целей используются программные комплексы, применяемые для расчетов устойчивости методом предельного равновесия и численным моделированием геофильтрации и НДС. С определенной периодичностью, обычно раз в полгода или год, производятся прямые расчёты устойчивости, прогнозируется гидродинамический режим и НДС, а также при необходимости, которая довольно часто возникает на первых этапах организации МБ, корректируются гидрогеологические критерии безопасности для каждого из установленных.

4.4 Выводы по главе 4

Выполнен теоретический анализ и экспериментальные исследования техногенных преобразований естественных пород неоген-четвертичного возраста Кузбасса в основании высоких отвалов. Данные отложения сплошным чехлом перекрывают углевмещающую толщу и являются продуктом ее переработки. Их формирование происходило в соответствии с двумя типами условий развития диагенеза осадков: субаквального, то есть образовавшегося в условиях водного бассейна, и субаэрального, сформировавшегося в наземной обстановке при постоянном контакте с воздухом. Основными особенностями данных отложений являются значительное наличие пылеватой фракции, меньшая отсортированность материала, особенно характерная для аллювиальных осадков.

Мощность неоген-четвертичных отложений Кузбасса варьирует от первых метров на периферии региона до 80 метров и более в его центральной части. Они представлены в логовых и пойменных участках аллювиальными, на водоразделах делювиальными суглинками и глинами, а также лессовыми глинами и лессовидными суглинками на водоразделах. Очевидно, что данные отложения характеризуются различным составом, состоянием и свойствами, кото-

рые сохраняются до определенной нормальной нагрузки в основании формирующегося отвала. При преодолении ее развиваются параллельно два взаимосвязанных между собой процесса: изменение гранулометрического состава и структуры пород, а также образование в них избыточного порового давления, приводящих, в конечном итоге, к изменению прочностных показателей.

В результате выполненных многочисленных исследований пород неоген-четвертичного возраста нарушенного и ненарушенного сложения, а также техногенно-образованных пород, было установлено, что под действием нагрузки от отвала породы основания, имея первоначально различную консистенции – от текучей до полутвердой, при определенном давлении консолидируются до твердого состояния. Также установлен нелинейный характер изменения параметра сцепления и угла внутреннего трения. При этом в диапазоне нормальных нагрузок от 0 до 1,2-1,5 МПа отмечается различие в показателях сцепления естественных четвертичных и техногенных (техногенно-образованных и техногенно-преобразованных) пород на величину 10-20 кПа. При преодолении нагрузок на образец 1,2-1,5 МПа данных различий не наблюдается и отмечается некое постоянство значений сцепления около 70-80 кПа, что объясняется необратимым нарушением структурного скелета пород и наличием, так называемого, физико-химического резерва уплотнения.

Выполненные сдвиговые исследования прочности дисперсных пород в основании высоких отвалов также позволили выявить закономерности изменения угла внутреннего трения пород с ростом нагрузки уплотнения. В процессе обработки многочисленных сдвигов получена зависимость с четырьмя характерными участками: первый – увеличение углов внутреннего трения пород с ростом нагрузки, второй – некое постоянство максимальных значений, третий – их уменьшение до определенного значения и, наконец, четвертый – постоянство минимальных значений. Последний участок, характеризующийся постоянством минимальных значений угла внутреннего трения пород, показывает то, что данный параметр в дальнейшем при увеличении высоты отвала

изменяться в обозримом будущем не будет. Для условий Кузбасса при нагрузках выше 1,2-1,5 МПа установлены углы внутреннего трения пород 9-12 градусов.

При отсыпке отвала на водонасыщенное основание, представленное слабопроницаемыми глинистыми сжимаемыми отложениями, в результате воздействия давления от веса насыпи в них возникают дополнительные сжимающие напряжения, которые разделяются на напряжения в скелете породы (эффективные напряжения) и давление в поровой воде (поровое давление). Особенностью развития процесса фильтрационной консолидации отличаются породы, обладающие структурной прочностью и начальным градиентом фильтрации. Следовательно, определение схемы изменения порового давления в породах, характеризующихся наличием P^{cmp} и I^0 , требует сопоставления величины P и P^{cmp} , а также значений действующего I с I^0 .

Выполнено изучение формирования избыточного порового давления в глинистых породах оснований различных отвалов с применением тензометрической аппаратуры, устанавливаемой в отвальное горнотехническое сооружение. Исследования проводились на отвалах высотой около 100 м, отсыпка которых сопровождалась развитием значительных по объему вовлеченных в процесс оползневых смещений. Исследованиями напряженного состояния и свойств пород в системе «отвал+естественное основание», выполненными после произошедших оползней, установлено, что основной причиной произошедших геодинамических явлений явились гидрогеологические факторы: гидростатическое взвешивание, гидродинамическое давление и формирование избыточного порового давления. Так, в глинистых породах оснований отвалов разрезов «Зареченский» и «Виноградовский» установлены: значительное обводнение техногенного массива (от 40 до 90 %) и формирование избыточного порового давления. В породах основания отвала, отсыпаемого на гидроотвале №3 разреза «Кедровский», зарегистрировано избыточное поровое давление, значение которого сопоставимо с нагрузкой от веса формируемого отвала.

Сложный механизм образования и рассеивания порового давления в природно-технической системе «отвал+основание» предопределяет определенные трудности при его прогнозировании для выполнения расчетов устойчивости откосов и обоснованию параметров отвальных сооружений. Для увеличения достоверности оценок устойчивости объектов в условиях развития гидрогеомеханических процессов следует организовывать и выполнять мониторинговые наблюдения безопасности (МБ), включающие периодические измерения порового давления в водонасыщенных массивах отвальных сооружений и деформаций их поверхности. Для выполнения МБ предлагается методика и приборное обеспечение: датчики гидростатического давления и скважинного накопителя информации САП-1М, обеспечивающий автоматизацию измерений и передачу их на базовый компьютер через GSM связь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в диссертационной работе результаты исследований являются законченной научно-квалификационной работой, предлагающей решение актуальной для региона Кузбасса проблемы – инженерно-геологического обоснования устойчивости высоких отвалов угольных месторождений Кузбасса.

Основные научные и практические результаты работы:

1. Выполненный анализ условий отвалообразования на разрезах Кузбасса позволяет отметить следующее:

- основной объем вскрышных пород (до 97,3 %) размещается во внешние отвалы с применением автосамосвалов и бульдозеров;
- они характеризуются площадями от десятков до нескольких сотен гектар при высотах - от 15 до 160 м и углах откосов от 40 до 12°;
- при формировании отвальных насыпей наиболее значительные деформации (объемом 10-27 млн м³) происходят по типу подподошвенных оползней. Рассмотрена изученность вопроса инженерно-геологического обоснования устойчивости отвальных насыпей, позволившая установить недостаточность исследований высоких отвалов.

2. Открытая угледобыча в бассейне ведется на месторождениях, сложенных переслаиванием пластов песчаника, алевролита, аргиллита и угля балахонской и кольчугинской серий, отличающихся по возрасту, степени литификации, составу межчастичного цемента, исходной прочности пород. Верхняя часть геологического разреза сложена суглинками и глинами неоген-четвертичного возраста, различного генеза, состояния и свойств. В геоморфологическом отношении рельеф районов размещения отвалов пологий и наклонный. Произведенный анализ природных условий позволил разработать типизацию внешних отвалов, основной целью которой является индексация техногенных массивов для последующей оценки устойчивых параметров отвалов.

3. Рассмотрен процесс техногенеза пород сухих отвалов, происходящий по схеме: образование исходного материала – его перемещение – новое породообразование, под воздействием определяющих факторов природного и техногенного характера. Экспериментальные исследования прочностных и фильтрационных свойств техногенных отложений для различных типов отвальных сооружений позволили получить закономерности изменения дисперсности и проницаемости пород с ростом нагрузок уплотнения, что позволило установить ухудшение условий устойчивости высоких отвалов за счет снижения углов внутреннего трения и появления гидродинамических сил при формировании в теле отвала безнапорного водоносного горизонта.

4. Выполнен анализ условий формирования покровных неоген-четвертичных отложений, рассмотрены особенности их строения, состава, состояния и свойств. Лабораторные исследования прочности суглинков и глин в основаниях высоких отвалов, показали, что под действием нормальной нагрузки они, несмотря на различную начальную консистенции - от текучей до полутвердой, при давлении 1,2-1,5 МПа достигают резерва уплотнения, при котором породы приобретают твердую консистенции и характеризуются постоянными значениями углов внутреннего трения и сцепления.

5. Изучение формирования отвалов на водонасыщенном основании позволили выявить, наряду с развитием литогенетических преобразований естественных пород в техногенные, развитие гидрогеомеханических процессов фильтрационной консолидации, выражающихся в формировании и рассеивании избыточного порового давления. Сложный, недостаточно изученный механизм данного процесса для условий отвалообразования в Кузбассе, затрудняет выполнение прогнозов порового давления в основании высоких отвалов. Учет его в расчетах устойчивости рекомендуется выполнять, используя прямые определения в рамках гидрогеомеханического мониторинга безопасности.

6. Предлагаемая типизация условий устойчивости отвалов угольных месторождений, выявленные закономерности изменения физико-механических

свойств пород ПТС «высокий отвал–основание», а также результаты изучения гидрогеомеханических процессов в подобных ПТС может использоваться научными, проектными и производственными организациями при изучении и проектировании высоких отвалов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

МПИ – месторождения полезных ископаемых

ПТС – природно-техническая система

ИПД – избыточное поровое давление

УР – угольный разрез

ИГЭ – инженерно-геологический элемент

НДС – напряженно-деформированное состояние

ДПД – датчик порового давления

а.о. – абсолютная отметка

КИА – контрольно-измерительная аппаратура

МБ – мониторинг безопасности

ВГ – водоносный горизонт

ФК – фильтрационная консолидация

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Показатели российского рынка угля // ООО «УГМК-Холдинг» : [сайт]. – Москва, 2019 – . – URL: https://www.ugmk.com/analytics/surveys_major_markets/coal/ (дата обращения: 20.05.2019). – Текст : электронный.
2. Отчет о НИР «Заключение по устойчивым параметрам Северного, Сагарлыкского, Восточного отвалов высотой до 300 метров (от основания отвала) для выполнения ТЭО кондиций в границах лицензий КЕМ 11703ТЭ и КЕМ 01613ТР при отработке запасов угля до гор. -300 м в филиале ОАО «УК» Кузбассразрезуголь» «Бачатский угольный разрез» – Санкт-Петербург, 2018. – 61 с.
3. Фисенко, Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов / Г. Л. Фисенко. – Москва : Недра, 1965. – 378 с.
4. Фисенко, Г. Л. Устойчивость бортов угольных разрезов / Г. Л. Фисенко – Москва : Углетехиздат., 1956. – 230 с.
5. Бабелло, В. А. Обеспечение устойчивости отвала при наращивании его высоты / В. А. Бабелло, В. А. Стетюха, Ю. М. Овешников, В. Ю. Галинов // Горный журнал. – 2001. – № 8. - С. 10-13.
6. Бабелло, В. А. Оценка устойчивости откосов отвалов вскрышных пород экспериментально-аналитическим методом / А. В. Бабелло, В. А. Стетюха, Ю. М. Овешников, В. Ю. Галинов // ГИАБ. – 2001. – № 8. – С. 175-178.
7. Бахаева, С. П. Оценка состояния и прогноз устойчивости техногенных грунтовых массивов угольных разрезов на основе комплексного мониторинга : автореферат дис. ... д-ра технических наук : 25.00.16 / Бахаева Светлана Петровна; КузГТУ. – Кемерово, 2008. – 33 с.
8. Гальперин, А. М. Геомеханика открытых горных работ: Учебник для вузов : учеб. пособие / А. М. Гальперин ; МГГУ. – Москва : МГГУ, 2003. – 473 с.

9. Гальперин, А. М. Проблемы геомеханики и инженерной геологии в техногенных массивах/ А. М. Гальперин, В. В. Мосейкин, С. А. Пуневский, Е. А. Семенова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S1. – С. 5-13.
10. Дашко, Р. Э. Механика горных пород: Учебник для вузов : учеб. пособие / Р. Э. Дашко. — Москва : Недра, 1987. — 264 с.
11. Жабко, А. В. Теория расчета устойчивости откосов и оснований. анализ, характеристика и классификация существующих методов расчета устойчивости откосов / А. В. Жабко // Известия уральского государственного горного университета. – 2015. – № 4(40). –С. 45-57
12. Гальперин, А. М. Прогноз и мониторинг состояния отвальных сооружений горных предприятий / А. М. Гальперин, В. В. Мосейкин, Ю. И. Кутепов, В. В. Деревянкин // В сборнике: Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии в рамках Года экологии в России. Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. – 2017. – С. 150-155.
13. Кириченко, Ю. В. Геомеханика. Инженерно-геологическое обеспечение управления состоянием массивов горных пород : учеб пособие / Ю. В. Кириченко, В. В. Ческидов, С. А. Пуневский. – Москва, 2017.
14. Статистика. Уголь // Министерство энергетики РФ – Москва. – . – URL: <https://minenergo.gov.ru/activity/statistic> (дата обращения: 13.04.2019).
15. Сысоев, А. А. Оценка граничного коэффициента вскрыши на стадии предпроектных исследований / А. А. Сысоев // Вестник КузГТУ. – 2004. – №4.
16. Жариков, В. П. Рациональное землепользование при формировании отвалов и гидроотвалов на разрезах Кузбасса/ В. П. Жариков, В. В. Ермошкин, Р. Г. Клейменов // ГИАБ. – 2012. – №2.

17. Проектная документация технического перевооружения горных работ I очереди разреза «Талдинский» с увеличением проектной мощности до 14 млн тонн угля в год. Раздел 12 «Иная документация». Подраздел 2 «Инженерные изыскания». Часть 2 «Технический отчет об инженерных изысканиях на площади планируемого автоотвала «Восточный»

18. Ольховатенко, В. Е. Инженерная геология угольных месторождений Кузнецкого бассейна / В. Е. Ольховатенко ; Издательство Томского государственного архитектурно-строительного университета. – Томск, 2014. –150 стр.

19. Отчет по НИР «Инженерно-геологические и геомеханические исследования устойчивости внешнего отвала №1». Этап 3. «Инженерно-геологические исследования на внешнем отвале №1» (договор №001 от 06.05.2015) / Горный университет, НЦ ГиППП – Санкт-Петербург, 2015.

20. ПБ 06-07-92. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом : дата введения 21.07.1992 / Госгортехнадзор России.

21. Попов, И. В. Инженерная геология / И. В. Попов – Москва: Геолитдат, 1951. – 444 с.

22. Сергеев, Е. М. Инженерная геология / Е. М. Сергеев – Москва : Изд-во МГУ, 1978. – 383 с.

23. Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В. Д. Ломтадзе – Л.: Недра, 1977. –479 с.

24. Золотарев, Г. С. Инженерная геодинамика / Г. С. Золотарев – Москва: Изд-во МГУ, 1983. – 328 с.

25. Пендин, В. В. Инженерная геодинамика : учеб. пособие / В. В. Пендин, Г. К. Бондарик, Л. А. Ярг . – 4-е изд. Доп. — Москва : КДУ, 2015. — 472 с.

26. Иванов, И. П. Инженерная геодинамика / И. П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский – Санкт-Петербург : Наука, 2001. – 416 с.

27. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. (Минтопэнерго РФ. РАН. Гос. НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой научн. центр ВНИМИ). - СПб, 1998. - 208 с.
28. Мироненко, В. А. Основы гидрогеомеханики / В. А. Мироненко, В. М. Шестаков – Москва : Недра, 1974.– 298 с.
29. Пустовойтова, Т. К. Совершенствование методов расчета устойчивости откосов / Т. К. Пустовойтова, А. М. Мочалов, А. Н. Гурин // Сб. научных трудов «70 лет ВНИМИ» – СПб: ВНИМИ, 1999.
30. Мочалов, А. М. Требования к изучению физико-механических свойств горных пород при оценке длительной устойчивости бортов карьеров // Сдвигание горных пород. Л.: ВНИМИ, 1971. - № 83. - С. 156-165.
31. Галустьян, Э. Л. Геомеханика открытых горных работ: справоч. пособие / Э. Л. Галустьян. – Москва : Недра, 1992. -272 с.
32. Галустьян, Э. Л. Управление геомеханическими процессами в карьерах / Э. Л. Галустьян. – Москва : Недра, 1980. - 237 с.
33. Мироненко, В. А. Гидрогеологические исследования в горном деле / В. А. Мироненко, Ю. А. Норватов, Л. И. Сердюков и др. – М.: Недра, 1976. – 352 с.
34. Кутепов, Ю. И. Научно-методические основы инженерно-геологического обеспечения отвалообразования при разработке угольных месторождений. – Автореферат дисс. на соиск. уч.ст. доктора техн. наук. – М.: МГГУ, 1999.- 40 с.
35. Кутепов, Ю. И. Закономерности формирования техногенных пород при отвалообразовании / Ю. И. Кутепов, Н. А. Кутепова // Исследование сдвигания горных пород и гидрогеомеханических процессов в массивах сложной структуры при разработке месторождений: Сб. науч. тр. ВНИМИ –СПб, 1992. – С.83-96.
36. Крячко, О. Ю. Управление отвалами открытых горных работ / О. Ю. Крячко – Москва : Недра, 1980. – 256 с.

37. Иванов, И. П. Инженерная геодинамика / И. П. Иванов, Ю. Б. Тржцинский – СПб: Наука, 2001. – 416 с.
38. Иванов, И. П. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов / И. П. Иванов – Москва : Недра, 1990. – 302 с.
39. Дашко, Р. Э. Механика грунтов в инженерно-геологической практике / Р. Э. Дашко, А. А. Каган – Москва: Недра, 1977. – 237 с.
40. Панюков, П. Н. Инженерная геология / П. Н. Панюков – М.: Недра, 1978. – 269 с
41. Попов, В. Н. Технология отстройки бортов карьеров / В. Н. Попов, Б. Н. Байков. – М.: Недра, 1991.– 252 с.
42. Певзнер, М. Е. Борьба с деформациями горных пород на карьерах / М. Е. Певзнер. — М.: Недра, 1978 – 255 с.
43. Попов, И. И. Борьба с оползнями на карьерах / И.И. Попов, Р. П. Окатов. – Москва: Недра, 1980. – 239 с.
44. Шпаков, П. С. Аналитический способ расчета устойчивости откоса на слабом основании неограниченной мощности / П. С. Шпаков, В. Н. Долгонос, Ю. Л. Юнаков, М. В. Шпакова //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 8. – С. 92-99.
45. Демин, А. М. Напряженное состояние и устойчивость отвалов в карьерах / А. М. Демин, О. И. Шушкина. – Москва : Недра, 1978. – 159 с.
46. Демин, А. М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов / А. М. Демин. – Москва: Недра, 1973. – 217 с.
47. Ильин, А.И. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах / А. И. Ильин, А. М. Гальперин, В. И. Стрельцов – Москва : Недра, 1985. – 248 с.
48. Зотеев, В. Г. Нетипичные деформации бортов глубоких рудных карьеров и меры по их предотвращению / В. Г. Зотеев, О. В. Зотеев // Горный журнал. –2007. –№1.–С. 40-45.

49. Ольховатенко, В. Е. Инженерно-геологические условия строительства крупных карьеров в Кузнецком угольном бассейне / В. Е. Ольховатенко – Томск: Изд-во Томского университета, 1976. – 120 с.

50. Типовые технологические схемы ведения горных работ на угольных разрезах : Утв. М-вом угольной пром-сти СССР 29.09.78. – М. : Недра, 1982. - 405 с.

51. Рекомендации по инженерно-геологическому обоснованию параметров отвалов сухих пород, отсыпаемых на гидроотвалах. - Л.: Изд-во ВНИМИ, 1985.- 84 с.

52. Кутепова, Н. А. Инженерно-геологическое обоснование прогноза гидрогеомеханических процессов при ведении горных работ: дис. ... д-ра техн.наук: 25.00.16 / Кутепова Надежда Андреевна. – Санкт-Петербург, 2011. – 424 с.

53. Могилин, А. В. Инженерно-геологическое обоснование технологии формирования отвальных насыпей на гидроотвалах: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.16, 25.00.22 / Могилин Александр Валентинович. – Москва, 2002. – 181 с

54. Саркисян, А. Х. Инженерно-геологическая оценка и обоснование параметров гидроотвалов на различных этапах существования (на примере гид-роотвалов Кузбасса): дис. ... канд. техн. наук: 25.00.16 / Саркисян Арарат Христофорович. – Москва., 2004. – 182 с.

55. Фоменко, Н. Г. Инженерно-геологическое обоснование параметров и технологии отвалообразования на гидроотвалах при высокой интенсивности 179 горных работ: дис. ... к-та техн.наук: 25.00.16 / Фоменко Николай Гаврилович. – Москва., 2016. – 171 с.

56. Ермошкин, В. В. Разработка методики геолого-маркшейдерского обеспечения безопасности гидроотвалов вскрышных пород (на примере гидроотвалов Кузбасса): дис. ... канд. техн. наук: 25.00.16 / Ермошкин Василий Васильевич. – М., 2001. – 162 с.

57. Жариков, В. П. Инженерно-геологическое и гидрогеологическое обоснование эксплуатации и рекультивации гидроотвалов вскрышных пород Центрального Кузбасса: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.16 / Жариков Вениамин Петрович. – Москва, 2005. – 186 с.

58. Лапочкин, Б.К. Инженерно-геологическая оценка намывных глинистых грунтов для увеличения емкости гидроотвалов: автореф. дис... канд. техн. наук: 25.00.16 / Лапочкин Борис Константинович. - Москва, 1978. - 20 с.

59. Кириченко, Ю. В. Геомеханическое обеспечение учебно-рекреационной рекультивации карьеров и отвалов / Ю. В. Кириченко, В. В. Ческидов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №8. – С. 91-98.

60. Малюшицкий, Ю. Н. Укладка сухих пород на старые гидроотвалы угольных разрезов / Ю. Н. Малюшицкий, Т. Т. Фазалов, Ю. П. Степанов // Уголь. – 1975. – №5. – С. 50-51.

61. Загоруйко, Л. П. Повышение устойчивости отвалов с помощью технологии открытых горных работ / Л. П. Загоруйко – Киев : Из-во УкрНИИ-ИНТИ, 1969. – 68 с.

62. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. Часть 1. Изучение гидрогеомеханических условий строительства и рекультивации отвальных сооружений. - Л.: Изд-во ВНИМИ, 1989. - 55 с.

63. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. Часть II. Обоснование оптимальных параметров отвальных сооружений. - Л.: Изд-во ВНИМИ, 1990. - 51 с.

64. Гальперин, А. М. Техногенные массивы и охрана окружающей среды / А. М. Гальперин, Фёрстер В., Шеф Х.-Ю. – М.: МГГУ, 1997.

65. Гальперин, А. М. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях: Монография / А. М. Гальперин, Ю. И. Кутепов, Ю. В. Кириченко, А. В. Киянец, А. В. Крючков, В. С. Круподеров, В. В. Мосейкин, В. П.

Жариков, В. В. Семенов, Х. Клапперих, Н. Тамашкович, Х. Чншлок – Москва: Издательство «Горная книга», 2012. – 336 с.

66. Шушкина, О. И. Исследование устойчивости внутренних бес-транспортных отвалов (на примере Галдинского и Томусинского месторождений Кузбасса). Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. тех. наук, ИЛ, ИГД им. А. А. Скочинского, 1973, 15 с.

67. Демин, А. М. Напряженное состояние и устойчивость отвалов в карьерах / А. М. Демин, О. И. Шушкина – П. : "Недра", 1978. – 137 с.

68. Мочалов, А. М. Расчет параметров устойчивых отвалов на наклонном слоистом основании / А. М. Мочалов, В. Н. Хашин // В кн. "Сдвигение горных пород". Труды ВНИМИ, сб. 92, Л.– 1974. – с.73-79.

69. А.С. № 1023086 Способ отвалообразования/ Авт. Зотеев В.Г. и др. от 07.01.82.

70. Кудряшова, Е. Л. Расчетный метод определения физико-механических свойств техногенных грунтов, используемый при разработке природоохранных технологий: дис. ... канд. техн. наук: 11.00.11 / Кудряшова Елена Леонидовна. – Екатеринбург, 1993. – 112 с.

71. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45 – Новокузнецк. Объяснительная записка. – СПб.: картфабрика ВСЕГЕИ, 2007. 665 с. + 10 вкл. (МПР России, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУП «Запсибгеолсъемка»).

72. Неуструев, С. С. К вопросу об изучении послетретичных отложений Сибири / С. С. Неуструев // Почвоведение – 1925. – № 3.

73. Радугин, К. В. Материалы к геологии рыхлых отложений района Томск — Тайга / К.В. Радугин // Издание ЗСГГГТ – 1934. – №. 9.

74. Кузнецов, К. А. Почвы юго-восточной части Западно-Сибирской равнины / К. А. Кузнецов // Труды ТГУ, серия почвоведения – 1949. – том 106.

75. Кузнецова, И. В. Инженерно-геологическое обеспечение безопасности горных работ при ликвидации гидроотвалов : дис. ... к-та геол.-мин. наук : 25.00.08 / Кузнецова Ирина Владимировна. – Санкт-Петербург, 2011. – 184 с.

76. ГОСТ 25100—2011. Грунты. Классификация : Межгосударственный стандарт : дата введения 01.01.2013 / Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (МНТКС). – Москва. – 2013.

77. Афонин, А. П. Классификация техногенных грунтов / А. П. Афонин, И. В. Дудлер, Р.С. Зиангиров, Ю. М. Лычко, Е. Н. Огородников, Д. В. Спиридонов, Д.С. Дроздов // Инженерная геология. – 1990. – № 1. – С. 115-121.

78. Кутепов, Ю. И. Техногенез намывных отложений / Ю. И. Кутепов, Н. А. Кутепова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2003. – № 5. – С. 405-413.

79. Овчинникова, Е. К., Махинина Н. П., Селедов Е. С. и др. «Поле Разреза им. 50-летия октября в Бачатском районе Кузбасса. Обобщение материалов геологоразведочных и эксплуатационных работ. Геологическое строение и подсчет запасов каменного угля по состоянию на 1.01.1976 г.» - Кемерово: Всесоюзное объединение «Кузбассуглеразведка», Беловская геологоразведочная партия 1976. - 240 с.

80. Отчет о научно-исследовательской работе «Выполнение районирования Бачатского месторождения по условиям устойчивости бортов и дренирования поля разреза им. 50-летия октября», ВНИМИ, Ленинград 1991

81. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработать рекомендации по частичной отработке гидроотвала №3 разреза «Кедровский» и параметрам отвалообразования на намывном основании» - СПб: ВНИМИ, 1991. – 35с.

82. Ломтадзе, В. Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород / В. Д. Ломтадзе – Л. :Недра, 1972. – 311 с.

83. Кутепов, Ю. И. Инженерно-геологические условия внешнего отвалообразования на разрезах Кузбасса / Ю. И. Кутепов, А. Д. Васильева // Горный информационно-аналитический бюллетень. Mining informational and

analytical bulletin. – 2017. – №10. – С. 122-131. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-10-0-122-131.

84. Кутепов, Ю. И. Обоснование устойчивости внешних отвалов Кузбасса и мониторинг их состояния / Ю. И. Кутепов, Н. А. Кутепова, А. Д. Васильева // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4. – С. 109–120. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-04-0-109-120.

85. Васильева, А. Д. Изучение физико-механических свойств техногенных пород отвалов Кузбасса / А. Д. Васильева // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2016» / Отв. ред. И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов. [Электронный ресурс]. – Москва : МАКС Пресс, 2016.

86. Васильева, А. Д. Изучение физико-механических свойств техногенных пород высоких отвалов Кузбасса / А. Д. Васильева // SXVII Международная молодежная научная конференция «Севергеоэкотех-2016» [Текст]: материалы конференции (23-25 марта 2016 г.). В 6 ч. Ч. 2. – Ухта : УГТУ, 2016.

87. Васильева, А. Д. Об устойчивости высоких отвалов Кузбасса / А. Д. Васильева // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2017» / Отв. ред. И. А. Алешковский, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов. [Электронный ресурс]. – Москва : МАКС Пресс, 2017.

88. ГОСТ 20522-2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний

89. Заключение СФ ОАО ВНИМИ № 63 от 06.04.2010г. геомеханическому обоснованию параметров устойчивых откосов бортов, уступов, и отвалов участка ОГР «Виноградовский» разреза «Виноградовский» ОАО «Кузбасской Топливной компании».

90. Геологический отчет по участкам Виноградовскому и Виноградовскому-2 Караканского каменноугольного месторождения в Ерунаковском геолого-экономическом районе Кузбасса (Геологическое строение и подсчет запасов угля по состоянию на 01.01.2009г.). – Кемерово, ООО НПП «Кузбассуглеразведка», 2009.

91. Проектная документация. "Сезонная обогатительная установка с сепараторами КНС в филиале ОАО "УК "Кузбассразрезуголь" "Краснобродский угольный разрез", поле "Вахрушевское", разработанная ООО "КЭНЭС" / 2010-2013, а также 2015 г. (окончательная редакция, откор. в соответствии с замечаниями ФАУ "Главгосэкспертиза России).
92. Страхов, Н. М. Основы теории литогенеза. Т. 1. Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли / Н. М. Страхов // АН СССР, Геол. ин-т. - Москва : изд-во АН СССР, 1960. – 211 с.
93. Абелев, М. Ю. Вопросы теории фильтрационной консолидации для сильносжимаемых водонасыщенных глинистых грунтов / М. Ю. Абелев, Н.А. Цытович // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1964. – №3. – с.11-14.
94. Бондарик, Г. К. Текстура и деформации глинистых пород / Г. К. Бондарик, А. М. Царева, В. В. Пономарев – Москва: Недра, 1975. – 168 с.
95. Осипов, В. И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород / В. И. Осипов – Москва: Изд-во МГУ, 1979. - 235 с.
96. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
97. Терцаги, К. Строительная механика грунтов / К. Терцаги – Москва : Госстройиздат, 1933.
98. Герсеванов, Н. М. Теоретические основы механики грунтов / Н. М. Герсеванов, Д. Е. Польшин – Москва : Стройиздат, 1968.
99. Флорин, В. А. Основы механики грунтов / В. А. Флорин.// Т 1, Л.-М.: Госстройиздат, 1959
100. Цытович, Н. А. Основы прикладной геомеханики в строительстве / Н. А. Цытович, З. Г. Тер-мартirosян – Москва : Высш. школа. 1981. – 317 с.
101. Маслов, Н. Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии/ Н. Н. Маслов – Москва : Автотрансиздат, 1983.
102. Зарецкий, Ю. К. Теория консолидации грунтов / Ю. К. Зарецкий – Москва : Наука, 1967.

103. Болдырев, Г. Г. Механика грунтов. Основания и фундаменты [Текст]: учеб. пособие / Г.Г. Болдырев, М.В. Малышев. 4-е изд., перераб. и доп. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 412 с.

104. Гальперин, А. М. Прогноз геомеханических процессов на горных предприятиях на основе теории консолидации породных массивов / А. М. Гальперин, Е. А. Семенова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2016. – № 2. – С. 111-120.

105. Гальперин, А. М. Применение теории консолидации для решения горнотехнических задач / А. М. Гальперин, В. В. Мосейкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № S1. – С. 7-21.

106. Дашко, Р. Э. К проблеме фильтрационной консолидации: структура и свойства воды в глинистых грунтах / Р. Э. Дашко // Грунтоведение. – 2013. – Т. 2. № 3. – С. 36-47.

107. Дашко, Р. Э. Исследования и анализ процесса консолидации водонасыщенных глинистых грунтов / Р. Э. Дашко // Грунтоведение. – 2014. – Т. 1. № 4. – С. 30-53.

108. Годлевская, Г. И. Определение в натуральных условиях показателей фильтрационной консолидации / Г. И. Годлевская, Ю. И. Кутепов, Ю. А. Норватов // Инженерная геология. – 1985. – № 2. – С. 109.

109. Кутепов, Ю. И. Изучение порового давления в намывных массивах / Ю. И. Кутепов, Н. А. Кутепова // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2006. – № 2. – С. 156-166.

110. Кутепов, Ю. И. Закономерности формирования порового давления при гидроотвалообразовании и отсыпке сухих отвалов/ Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 11. – С. 212-220.

111. Кутепов, Ю. И. Гидрогеомеханические задачи, возникающие при функционировании отвальных природно-технических систем / Ю. И. Кутепов,

Н. А. Кутепова, М. А. Карасев, Ю. Ю. Кутепов, А. Д. Васильева // Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: геомеханическое обеспечение проектирования и сопровождения горных работ, Сборник научных трудов. - СПб. : СПГУ, 2017.

112. Plaxis 3D. Справочное пособие / НИП-Информатика, 2017. – с.157.

113. Plaxis 3D. Пособие по моделям материалов / НИП-Информатика, 2017. – с.158.

114. Plaxis 3D. Научное пособие / НИП-Информатика, 2017. – 59 с.

115. Сергина, Е. В. Комплексный мониторинг состояния природно-технических систем открытой разработки угольных месторождений: дис. ... к-та техн.наук: 25.00.16 / Сергина Елена Викторовна. – Санкт-Петербург, 2015. – 165 с.

116. Morgenstern, N. The analysis of the stability of general slip surfaces / N. Morgenstern, V. E. Price // Geotechnique. – 1965. – Vol 15, № 1. – P. 79-93.

117. Janbu, N. Slope stability computations / N. Janbu, R. C. Hirschfeld, S. J. Poulos // Embankment-dam Engineering / John Wiley & Sons. – 1973. – Casagrande Vol. – P. 47-86

118. Tamáskovics, N. Tamáskovics and Klapperich: Interface behaviour of geosynthetics in cohesive soils/ Tamáskovics N., Klapperich H. – 2009. – P. 164-170.

119. Bishop, A. W. The use of slip circles in stability analysis of slopes / A. W. Bishop // Geotechnique. – 1955. – No 1 (5). – pp. 7–17

120. Fellunius, W. Calculations of the Stability of Earth Dams / W. Fellunius // Proceedings of the Second Congress of Large Dams,. – 1936. – Vol. 4. – pp. 445-463.

121. Janbu, N. Stability analysis of Slopes with Dimensionless Parameters: Thesis for the Doctor of Science in the Field of Civil Engineering, Harvard University Soil Mechanics Series, 1954. – 87 p

122. Spencer, E. A. Method of analysis of the Stability of Embankments Assuming Parallel Inter-Slice Forces / E. A. Spencer // *Géotechnique*. – 1967. – No 1 (17). – pp. 11–26
123. Koutepov, Ju. I. Die Untersuchungen von der technogenen verkippten Gesteine Scherparametern im Kohlenbergbauhalden / Ju. I. Koutepov, A. D. Vasileva // *Scientific Reports on Resource Issues 2016. Volume 1: Efficiency and Sustainability in the Mineral Industry - Innovations in Geology, Mining, Processing, Economics, Safety and Environmental Management (issue 1)*. – Freiberg, Germany: TU Freiberg, 2016.
124. Koutepov, Ju. I. Voraussetzungen der Beständigkeit der hohen Kohlenhalden / Ju. I. Koutepov, A. D. Vasileva // *Scientific Reports on Resource Issues 2017. Volume 1: Efficiency and Sustainability in the Mineral Industry - Innovations in Geology, Mining, Processing, Economics, Safety and Environmental Management (issue 1)*. – Freiberg, Germany: TU Freiberg, 2017.
125. Robinson, L.H. The effect of pore and confining pressure on the failure process in sedimentary rock / Robinson L.H. // *Quart. Col. Sch. Mines*. – 1964. – vol. 59. – N 4. – p. 617-622.
126. Bio, M. A. General solutions of the equations of elasticity and consolidation for a porous materials // *J. Appl. Mech.* – 1956. – V. 23, No 1. – P. 91–96.
127. Galperin, A. M. Assessment of the state of water-saturated mine waste for the justification of engineering structure designs at open pit mines / Galperin A. M., Moseikin V.V., Kutepov Yu. I., Derevyankin V. V. // *Eurasian Mining*. – 2017. – № 1. – C. 6-9.
128. Kutepov, Yu. I. Hydrogeomechanical processes in development of spoil dumps and hydraulic fills / Kutepov Yu. I., Kutepova N. A., Karasev M. A., Vasileva A. D. & Kutepov Yu. Yu. // *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: Proc. of the 2018 European Rock Mechanics Symposium, Vol. 2, 2018*. pp. 1645-1652.

129. Förster, W. Anwendungen von Finite- ElementProgrammen für Standsicherheituntersuchungen im Braunkohlentagebau / W. Förster, A. Vogt // «Neue Bergbautechn». – 1976. – № 5. – P. 368-373.

130. Stacey, T. R. Application on the finite element method in the field of rock mechanics with particular reference to slope stability / Stacey T. R. // «S. Afric. Mech. Engr», 1969. – №5. – P. 131-134.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Рекомендации по ведению отвалообразования, прогнозу характерных гидрогеомеханических процессов в техногенных массивах и их основании

Таблица А.1 – Рекомендации по ведению отвалообразования, прогнозу характерных гидрогеомеханических процессов в техногенных массивах и их основании

№ п/п	Индекс отвального сооружения	Рекомендации
1.	I-A-1-a, II-A-1-a, I-A-2-a, II-A-2-a, I-A-3-a, II-A-3-a	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> Инженерно-геологические условия позволяют вести отвалообразование под углом естественного откоса, соответствующего высоте сооружения и углу наклона основания; для оценки состояния массива применять методы визуального контроля; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале и его основании не характерно.</p> <p><i>Для отвалов высотой 50-100 м:</i> при обосновании параметров отвала следует учитывать возможное формирование техногенного ВГ и снижение прочностных характеристик отвальной массы; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения, но не оказывает влияния на прочностные параметры основания отвала; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, и сниженных за счет изменения гранулометрического состава прочностных характеристик; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения, но не оказывает влияния на прочностные параметры основания отвала; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>
2.	I-A-1-б, I-A-1-в	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натурных замеров; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры техногенных пород и</p>

		<p>пород основания отвала; для контроля уровня ВГ в отвале следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов высотой более 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, и снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры основания отвала; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>
3.	<p>I-A-2-б, I-A-2-в, I-A-3-б, I-A-3-в</p>	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натурных замеров, с учетом влияния гидродинамических сил; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры техногенных пород и пород основания отвала; для контроля уровня ВГ в отвале следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов высотой более 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, и влияния гидродинамических сил, а также снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры основания отвала; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг</p>
4.	<p>I-B-1-а, I-B-1-б, I-B-1-в</p>	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натурных замеров; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и может снижать прочностные параметры пород основания отвала, но не влияет на прочностные характеристики отвальной массы; для контроля за состоянием отвала следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов высотой 50-100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ в массиве, полученных по данным гидрогеомеханического</p>

		<p>мониторинга, а также снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры техногенного массива; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, замеров порового давления в основании, снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; для оценки состояния массива вести регулярный маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>
5.	I-Б-2-а, I-Б-3-а	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> Инженерно-геологические условия позволяют вести отвалообразование под углом естественного откоса, соответствующего высоте сооружения, прочностным параметрам и углу наклона основания; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для оценки состояния массива применять методы визуального контроля; для контроля уровня ВГ в отвале следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов высотой 50-100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом данных гидрогеомеханического мониторинга, а также снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры техногенного массива; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, замеров порового давления в основании, снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для оценки состояния массива вести регулярный маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>

6.	<p>I-Б-2-б, I-Б-2-в, I-Б-3-б, I-Б-3-в</p>	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натурных замеров, с учетом влияния гидродинамических сил; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и может снижать прочностные параметры пород основания отвала, но не влияет на прочностные характеристики отвальной массы; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для контроля за состоянием отвала следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов высотой 50-100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом данных гидрогеомеханического мониторинга, с учетом влияния гидродинамических сил, а также снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры техногенного массива; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, замеров порового давления в основании, с учетом влияния гидродинамических сил, снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для оценки состояния массива вести регулярный маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>
7.	<p>I-В-1-а, I-В-1-б, I-В-1-в</p>	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натурных замеров; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и может снижать прочностные параметры пород основания отвала, но не влияет на прочностные характеристики отвальной массы; для контроля за состоянием отвала следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов высотой 50-100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ в массиве, полученных по данным гидрогеомеханического</p>

		<p>мониторинга, замеров порового давления в основании; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры техногенного массива; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, замеров порового давления в основании, снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; для оценки состояния массива вести регулярный маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>
8.	I-B-2-a, I-B-3-a	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом высоты сооружения, прочности и угла наклона основания; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для оценки состояния массива применять методы визуального контроля; для контроля уровня ВГ в отвале следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов высотой 50-100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом данных гидрогеомеханического мониторинга, замеров порового давления в основании сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры техногенного массива; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, замеров порового давления в основании, снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для оценки состояния массива вести регулярный маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>
9.	I-B-2-б, I-B-2-в, I-B-3-б, I-B-3-в	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натуральных замеров, с учетом влия-</p>

		<p>ния гидродинамических сил; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и может снижать прочностные параметры пород основания отвала, но не влияет на прочностные характеристики отвальной массы; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для контроля за состоянием отвала следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов высотой 50-100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом данных гидрогеомеханического мониторинга, с учетом влияния гидродинамических сил, замеров порового давления в основании массива; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры техногенного массива; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом данных гидрогеомеханического мониторинга, с учетом влияния гидродинамических сил, замеров порового давления в основании массива, а также снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания и техногенного массива; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>
10.	II-A-1-б, II-A-1-в	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натуральных замеров, а также с учетом возможного возникновения техногенного водоносного горизонта; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочность техногенных пород, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры основания отвала; для оценки состояния массива применять визуальные методы контроля.</p> <p><i>Для отвалов выше 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, и</p>

		снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры отвальной массы, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры основания отвала; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.
11.	<p>II-A-2-б, II-A-2-в, II-A-3-б, II-A-3-в</p>	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натурных замеров, с учетом влияния гидродинамических сил, а также с учетом возможного возникновения техногенного водоносного горизонта; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочность техногенных пород, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры пород основания отвала; для контроля уровня ВГ в отвале следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов высотой более 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, и влияния гидродинамических сил, а также снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения, но не оказывает существенного влияния на прочностные параметры основания отвала; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг</p>
12.	<p>II-B-1-а, II-B-1-б, II-B-1-в</p>	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натурных замеров; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и может снижать прочностные параметры пород основания отвала, но не влияет на прочностные характеристики отвальной массы; для контроля за состоянием отвала следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ в массиве, полученных по данным гидрогеомеханического мониторинга, а также снижения прочности техногенных пород</p>

		<p>по мере наращивания высоты сооружения; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания и техногенного массива; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, замеров порового давления в основании, снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; для оценки состояния массива вести регулярный маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>
13.	<p>П-Б-2-а, П-Б-3-а</p>	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом прогнозного уровня ВГ в техногенном массиве; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для оценки состояния массива применять методы визуального контроля; для контроля уровня ВГ в отвале следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом данных гидрогеомеханического мониторинга, а также снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания и техногенного массива; для оценки состояния массива вести регулярный маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, замеров порового давления в основании, снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для оценки состояния массива вести регулярный маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>
14.	<p>П-Б-2-б, П-Б-2-в, П-Б-3-б, П-Б-3-в</p>	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натуральных замеров, с учетом влияния гидродинамических сил, и прогнозного уровня техногенного ВГ; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и может</p>

		<p>снижать прочностные параметры пород основания отвала и отвальной массы; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для контроля за состоянием отвала следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов высотой 50-100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом данных гидрогеомеханического мониторинга, с учетом влияния гидродинамических сил, а также снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания и техногенного массива; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 100 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровня ВГ в массиве, полученного по данным гидрогеомеханического мониторинга, замеров порового давления в основании, с учетом влияния гидродинамических сил, снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для оценки состояния массива вести регулярный маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>
15.	<p>П-В-1-а, П-В-1-б, П-В-1-в</p>	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натурных замеров, с учетом прогнозного уровня ВГ; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и может снижать прочностные параметры пород основания отвала, но не влияет на прочностные характеристики отвальной массы; для контроля за состоянием отвала следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ в массиве, полученных по данным гидрогеомеханического мониторинга, с учетом влияния гидродинамических сил, замеров порового давления в основании, а также снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и проч-</p>

		ностные параметры пород основания и техногенного массива; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.
16.	II-B-2-a, II-B-3-a	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом высоты сооружения, прочности и угла наклона основания; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для оценки состояния массива применять методы визуального контроля; для контроля уровня ВГ в отвале следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом данных гидрогеомеханического мониторинга, замеров порового давления в основании сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания и техногенного массива; для оценки состояния массива вести регулярный маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>
17.	II-B-2-б, II-B-2-в, II-B-3-б, II-B-3-в	<p><i>Для отвалов высотой менее 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом уровней и напоров ВГ, полученных по данным натурных замеров, с учетом влияния гидродинамических сил; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и может снижать прочностные параметры пород основания отвала и отвальной массы; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; для контроля за состоянием отвала следует организовать гидрогеомеханический мониторинг.</p> <p><i>Для отвалов выше 50 м:</i> обоснование параметров отвала следует проводить с учетом данных гидрогеомеханического мониторинга, с учетом влияния гидродинамических сил, замеров порового давления в основании массива, а также снижения прочности техногенных пород по мере наращивания высоты сооружения; направление фронта отвалообразования «от периферии к центру»; развитие гидрогеомеханических процессов в отвале снижает устойчивые параметры сооружения и прочностные параметры пород основания и техногенного массива; для оценки состояния массива применять маркшейдерский и гидрогеомеханический мониторинг.</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акт внедрения результатов работы



УТВЕРЖДАЮ
Технический директор
АО «УК «Кузбассразрезуголь»
Матва С.В.
11 " 07 2019 г.

о внедрении (использовании) результатов кандидатской диссертационной работы *Васильевой Анастасии Дмитриевны* «**Инженерно-геологическое обоснование устойчивости высоких отвалов угольных месторождений Кузбасса**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук

Комиссия в составе:

председатель: *Смирнов Р.А.* – заместитель директора – технический директор филиала «Талдинский угольный разрез»,

члены комиссии: *Шумаков А.Н.* – главный технолог филиала «Бачатский угольный разрез», *Зорин Д.Ю.* – главный технолог филиала «Талдинский угольный разрез», *Мишукова Е.С.* – главный маркшейдер филиала «Талдинский угольный разрез», *Бакушкин Р.П.* – главный маркшейдер филиала «Бачатский угольный разрез» составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «**Инженерно-геологическое обоснование устойчивости высоких отвалов угольных месторождений Кузбасса**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в производственной деятельности филиалов АО «УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез» и «Бачатский угольный разрез» для обоснования оптимальных параметров отвальных сооружений при разработке проектов их наращивания до высоты 300 метров и более, на основании полученных в диссертационной работе закономерностей изменения прочностных свойств пород отвалов и их оснований.

Корректное обоснование оптимальных устойчивых параметров отвальных сооружений при наращивании позволит снизить затраты на отвалообразование в связи с отсутствием необходимости аренды дополнительных земель, увеличением ёмкости существующих отвальных сооружений и, соответственно, снижением дальности транспортировки пустой породы на 0,8 км. в объёме 20,0 млн. м³ ежегодно, в период с 2023 по 2028 год. (средняя стоимость 1 т км на разрезах компании составляет 5,54 руб.)

Председатель комиссии

Смирнов Р.А.
Смирнов Р.А.

Члены комиссии:

Шумаков А.Н.
Шумаков А.Н.

Зорин Д.Ю.
Зорин Д.Ю.

Мишукова Е.С.
Мишукова Е.С.

Бакушкин Р.П.
Бакушкин Р.П.