

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

На правах рукописи

Липина Александра Валерьевна

**ОБОСНОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ «ВНУТРЕННИЙ
ОТВАЛ – ПРИБОРТОВОЙ МАССИВ» ПРИ ИЗМЕНЕНИИ
ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЙОНА ОТРАБОТКИ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Специальность 2.8.3

«Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика,
маркшейдерское дело и геометрия недр»

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
к.т.н., доцент Щёкина Марина Владимировна

Москва, 2023

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОПЫТА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	9
1.1. Современные тенденции в области складирования вскрышных пород при открытом способе добычи угля	10
1.2. Перспективы и преимущества формирования внутренних отвалов при отработке угольных месторождений.....	17
1.3. Анализ природных и техногенных факторов, влияющих на состояние внутренних отвалов.....	23
Выводы по главе I	32
2. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ	34
2.1. Общая характеристика горно-геологических условий месторождений Кузнецкого угольного бассейна	35
2.2. Особенности геологического строения Ерунаковского каменноугольного месторождения	42
2.3. Климатические условия и поверхностные водотоки района расположения месторождения	47
2.4. Инженерно-геологические условия Ерунаковского месторождения	54
2.5. Оценка изменения физико-механических свойств отложений внутренних отвалов с течением времени.....	68
Выводы по главе II	82
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА, ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ В ТЕЛЕ ОТВАЛА, НА ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ.....	84
3.1. Гидрогеологические условия Ерунаковского каменноугольного месторождения	85

3.2. Особенности техногенного режима подземных вод при формировании внутренних отвалов на угледобывающих предприятиях	90
3.3. Анализ результатов гидрогеологического мониторинга исследуемого участка.....	95
3.4. Построение гидрогеологической модели внутреннего отвала «Южный», сформированного при освоении Ерунаковского каменноугольного месторождения	108
Выводы по главе III.....	118
ГЛАВА 4. ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ С УЧЕТОМ ФАКТИЧЕСКИХ И ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ И ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УЧАСТКА.....	120
4.1. Проведение натурного обследования отвала «Южный» и потенциально оползневого берега р.Томи в районе ведения горных работ.....	121
4.2. Построение инженерно-геологической и геомеханической моделей отвала Южный с учетом его фактических и планируемых параметров.....	128
4.3. Оценка устойчивости отвала «Южный» в условиях текущей гидрогеологической обстановки и при ее изменениях в процессе развития горных работ.....	136
4.4. Влияние внутреннего отвала «Южный» на состояние прибортового массива Ерунаковского разреза.....	143
Выводы по главе IV	152
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	154
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	157

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В современных экономических условиях большая часть разработки угольных месторождений ведется открытым способом. Усложнение горно-геологических условий, увеличение глубины добычи способствуют интенсивности накопления отвальных масс. Например, на сегодняшний день некоторые угольные предприятия перемещают более 15 м³ пустой породы при добыче 1 тонны угля, в ближайшей перспективе это значение увеличится в 1,5 – 2 раза. Появление более производительной техники, несомненно, нивелирует затраты на перемещение все большего объема горной массы в процессе добычи, однако это, в общем и целом, ухудшает общую экологическую обстановку в угледобывающих регионах [1,2].

Значительная часть угольных месторождений, которые на сегодняшний день осваиваются в России, имеют сложное геологическое строение. Это обуславливает необходимость формирования внешних отвалов вскрышных пород, которые занимают большие площади земель [3]. При освоении горизонтальных или пологих пластов технологически возможно формирование внутренних отвалов, в том числе с использованием бестранспортной схемы [4]. Кроме того, в последние два десятилетия при разработке проектов по освоению новых месторождений или их участков рассматриваются варианты складирования горнопромышленных отходов в существующие выработки, что позволяет уменьшить потенциальные площади нарушенных земель и хотя бы частично восстановить рельеф поверхности [5]. В связи с вышеизложенным, вопросы формирования и обеспечения устойчивости внутренних отвалов являются на сегодняшний день актуальными для отечественной и зарубежной науки.

Целью работы является оценка состояния системы «внутренний отвал – прибортовой массив» на основе моделирования изменения инженерно-геологических и гидрогеологических характеристик участка недр под влиянием природных и техногенных факторов.

Идея работы заключается в выявлении и анализе закономерностей изменения гидрогеомеханических условий системы «внутренний отвал – прибортовой массив» при добыче угля открытым способом для предотвращения оползневых явлений.

Задачи исследования:

- анализ опыта формирования внутренних отвалов на угледобывающих предприятиях и методов оценки их состояния;
- исследование инженерно-геологических, гидрогеологических и технологических факторов, влияющих на состояние внутренних отвалов, формируемых при отработке пологих угольных пластов, и прилегающих потенциально оползнеопасных территорий;
- оценка изменения физико-механических свойств техногенных масс внутренних отвалов под влиянием уплотнения и дополнительного увлажнения на основе анализа результатов инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, проведенных на площади расположения внутреннего отвала и прилегающих потенциально оползнеопасных территориях;
- моделирование изменения уровня водоносного горизонта, формирующегося под влиянием природных и техногенных факторов в теле внутреннего отвала на разных этапах его эксплуатации;
- разработка прогнозной модели состояния гидрогеомеханической системы «внутренний отвал – прибортовой массив»;
- оценка влияния внутреннего отвала «Южный» Ерунаковского поля Талдинского филиала АО «УК «Кузбассразрезуголь» на прилегающий не вовлеченный в отработку массив горных пород.

Научные положения:

1. На основании проведенного корреляционного анализа набора показателей вещественного состава, физических свойств техногенных отложений внутреннего отвала «Южный» Ерунаковского угольного разреза и периода нахождения в нем пород t установлено, что значимыми являются только временные зависимости угла

внутреннего трения $\varphi(t)$, необходимые для прогнозирования состояния техногенной насыпи.

2. Построена гидрогеологическая модель территории расположения внутреннего отвала, учитывающая образующуюся вдоль борта выработки зону фильтрации и позволяющая определить положение водоносного горизонта на различных этапах формирования отвальной насыпи.

3. Установлено, что с течением времени значение коэффициента запаса устойчивости гидрогеомеханической системы «внутренний отвал – прибортовой массив» в условиях восстановления уровня водоносного горизонта, затрагивающего тело отвальной насыпи, изменяется по параболическому закону, и абсолютное значение коэффициента запаса устойчивости может снизиться на величину до 15% при достижении депрессионной кривой положения, наблюдаемого до начала ведения горных работ.

Для достижения поставленной цели в работе использован **комплекс методов**, включающий:

- анализ и обобщение опыта формирования, оценки и прогноза состояния внутренних отвалов угледобывающих предприятий, а также результатов инженерно-геологических и гидрогеологических исследований;
- математические, в том числе статистические, методы обработки, интерпретации инженерно-геологической и гидрогеологической информации, а также моделирования состояния отвальных массивов;
- методы гидрогеологического моделирования;
- методы оценки устойчивости откосных сооружений на основе теории предельного напряженного состояния массива горных пород.

Научная новизна исследования заключается в:

- определении корреляционной зависимости значения угла внутреннего трения техногенных отложений внутреннего отвала от времени их нахождения в теле насыпи;

– установлении закономерности изменения положения водоносного горизонта в теле внутреннего отвала на различных этапах формирования техногенного массива и изменения гидродинамической обстановки;

– определении закономерности изменения коэффициента запаса устойчивости внутреннего отвала в процессе восстановления положения депрессионной кривой в теле внутреннего отвала до абсолютных отметок, наблюдаемых в естественном водоносном горизонте до начала ведения горных работ.

Практическое значение заключается в:

– создании инструментария для построения гидрогеологической модели уровня техногенного водоносного горизонта, формируемого в теле внутреннего отвала угледобывающего предприятия;

– разработке модели гидрогеомеханической системы «внутренний отвал – прибортовой массив» для условий Ерунаковского каменноугольного месторождения;

– проведении оценки влияния отвальной насыпи на прибортовой массив в условиях естественного наклонного залегания пород, слагающих борт карьера и являющегося потенциально оползневым склоном.

Результаты диссертационного исследования переданы в отдел геомеханического контроля АО «УК «Кузбассразрезуголь» для оценки безопасности отработки пологих угольных пластов и устойчивости прилегающих потенциально оползнеопасных территорий

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:

– использованием комплекса общепризнанных методов исследования свойств отложений естественного и техногенного массивов;

– проведением исследований с использованием сертифицированного оборудования с высокими метрологическими характеристиками;

– удовлетворительной сходимостью данных, полученных при гидрогеологическом моделировании, и результатов измерений, проведенных в наблюдательных скважинах.

Апробация работы. Содержание диссертационного исследования, полученные результаты и основные научные положения докладывались на всероссийских и международных научных конференциях, симпозиумах, форумах и семинарах: Юбилейном XXV Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2017» (Москва, 23–27 января 2017 года); XV Всероссийской конференции-конкурсе студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования» (Санкт-Петербург, 29–31 марта 2017 года); The XIVth, International Forum-Contest of Students and Young Researchers «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources» (Saint-Petersburg, April 18–20, 2018); IVth International Innovative Mining Symposium, IIMS 2019 (Кемерово, 14–16 октября 2019 года), 5th International Innovative Mining Symposium, IIMS 2020 (Кемерово, 19–21 октября 2020 года); XXIX Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2021» (Москва, 25–29 января 2021 года), XXX Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2022» (Москва, 31 января – 4 февраля 2022 года), XXXI Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2023» (Москва, 30 января–3 февраля 2023 года).

Публикации. Основные результаты исследований опубликованы в 9 научных работах, в том числе 6 – в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ и индексируемых базой данных Scopus.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит 78 рисунков, 20 таблиц, список литературы из 185 источников.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ОПЫТА ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Добыча и переработка полезных ископаемых являются отраслями, в результате деятельности которых формируется наибольшее количество твердых промышленных отходов. При этом угледобыча является несомненным лидером по данному параметру. Условия залегания, а также преобладающий открытый способ добычи обуславливают накопление значительного объема вскрышных пород, которые в большей степени представлены песчаниками различной крупности, алевролитами, аргиллитами и четвертичными отложениями, сложенных преимущественно суглинками и глинами, реже супесями и песками. Интенсификация добычи угля в последние годы и значительное усложнение горно-геологических условий, в первую очередь увеличения глубины залегания, а следовательно, повышения коэффициента вскрыши, определяют необходимость разработки новых подходов при формировании отвалов. Отдельно нужно отметить, что на сегодняшний день в регионах с развитой добывающей промышленностью они занимают все большие площади и с каждым годом их проектные высоты достигают новых отметок. При этом во многих случаях значительно увеличивается плечо транспортирования вскрыши, а также риски, связанные с устойчивостью насыпных сооружений, а следовательно, возникают вопросы оптимизации операционных затрат при добыче и обеспечения безопасности ведения горных работ [6-8].

Геологические условия многих угольных месторождений или их отдельных участков позволяют организовывать отвальные работы по бестранспортной схеме или же осуществлять складирование вскрыши непосредственно в выработках. Несомненно, что данные вопросы наиболее актуальны при разработке горизонтальных и субгоризонтальных угольных пластов (угол падения до 10°). Но в то же время в последние годы в силу завершения отработки ряда лицензионных участков все чаще рассматривается возможность складирования вскрышных пород в выработанное пространство близлежащих разрезов, на которых горные работы

прекращены в связи с исчерпанием ресурсной базы [9]. Утвержденные нормативные документы по проектированию внутренних отвалов на сегодняшний день в должной мере не учитывают влияние и изменение гидрогеологических условий территории, что в конечном итоге может привести к формированию аварийных ситуаций, связанных с деформационными явлениями откосных сооружений [10].

Кроме того, в результате истощения легко обрабатываемых запасов, а также развития технологий и изменения конъюнктуры рынка (значительное увеличение стоимости энергоресурсов со второй половины 2021) на ряде разрезов в ближайшей перспективе рассматривается возможность добычи каменного угля на участках, которые расположены вблизи выработок, в которых сформированы внутренние отвалы. Последние по высоте часто выходят за пределы дневной поверхности, существовавшей до начала ведения добычи. Несомненно, на стадии создания проекта по отработке необходимо учитывать влияние внутреннего отвала на состояние прибортового массива и принимать обоснованные меры по обеспечению его устойчивости [11-12]. Они могут включать мероприятия по частичному переносу отвала или сохранению охранного целика. При этом важнейшую роль играет техногенный водоносный горизонт, который в значительной степени определяет состояние внутреннего отвала и прибортового массива пород естественного сложения [13]. Однако вопросы моделирования гидрогеологических характеристик техногенных водоносных горизонтов во внутреннем отвале, его основании остается крайне слабоизученным на текущий момент времени. Практически отсутствуют методики по оценке интенсивности восстановления уровня, а также способа питания водоносного горизонта в случае полного заполнения выработки вскрышными породами.

1.1. Современные тенденции в области складирования вскрышных пород при открытом способе добычи угля

Уголь относится к одному из основных энергетических ресурсов, с началом освоения месторождений каменного и бурого угля во многом связано развитие

промышленности, в первую очередь металлургии и энергетики, в том числе теплоснабжения. На сегодняшний день добыча рассматриваемого полезного ископаемого является отраслью, которая широко развита в ряде стран на всех населенных континентах нашей планеты [7]. Изменение экологической доктрины в части снижения выбросов парниковых газов и углеродного следа в ближайшей перспективе могут оказать значительное влияние на развитие угольной отрасли, как в России, так и в Мире в целом.

В соответствии со Стратегией развития минерально-сырьевой базы до 2035 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р, уголь относится к полезным ископаемым первой группы, сырьевая база которых достаточна для обеспечения потребностей экономики в долгосрочной перспективе при любых сценариях ее развития и не требует проведения активных геологоразведочных работ, направленных на ее воспроизводство [14].

Необходимо отметить, что за последние два года наблюдается явно выраженное повышение спроса на уголь, а также кратное увеличение цены, данные изменения демонстрируют сводки котировок по стоимости угля [15].

Значительная интенсификация добычи угля в России и Мире в целом определяет тенденцию увеличения значений коэффициента вскрыши при открытом способе отработки запасов. На сегодняшний день среднегодовые коэффициенты вскрыши на отдельных предприятиях могут приближаться к значению 30 т/м³. Данное обстоятельство определяет потребность в значительных площадях для складирования горной массы, значительному увеличению эксплуатационных затрат на транспортирование, а также приводит к росту роли геологических рисков и требует дополнительных мероприятий по обеспечению промышленной и экологической безопасности ведения горных работ.

В нашей стране на сегодняшний день подавляющее большинство отвалов формируется за пределами горных выработок, а транспортирование вскрышных и вмещающих пород осуществляется с помощью самосвалов большой грузоподъемности. Формирование внутренних отвалов проектами ведения горных работ предусмотрено лишь в отдельных случаях, так как горно-геологические

условия подавляющего большинства каменноугольных месторождений РФ можно отнести к сложным, которые не позволяют организовать бестранспортную схему складирования [16-18]. В первую очередь это связано с большими значениями углов падения пластов, а также большим количеством пластов при их относительно небольшой мощности в рамках одного эксплуатируемого участка недр.

Нужно отметить, что в последние два десятилетия значительно сократилось применение гидравлического транспорта для складирования дисперсных четвертичных пород в гидроотвалы [19-21]. Это связано с уменьшением доли четвертичных отложений в общем объеме складированной горной массы, повышенными рисками эксплуатации гидротехнических сооружений, необходимостью значительных вложений в проектирование и организацию новых хранилищ, ужесточением нормативно-правового обеспечения и рядом других факторов.

На рисунке 1.1 представлены общие схемы организации отвальных работ при различных горно-геологических условиях. На современном этапе развития техники и технологий представленные схемы являются основой для большинства проектных решений по освоению угольных месторождений.

Несомненно, что вопросы организации вскрышных работ и непосредственного формирования отвальных насыпей являются одними из ключевых во всей горной науке. Фундаментальные труды отечественных (Арсентьева А.И., Васильевой Н.В., Винницкого К.Е., Галустьяна Э.Л., Гальперина А.М., Дашко Р.Э., Иванова И.П., Ильина А.И., Истомина В.В., Кириченко Ю.В., Коваленко В.С., Крячко О.Ю., Кутепова Ю.И., Кутеповой Н.А., Медникова Н.Н., Мельникова В.Н., Мельникова Н.Н., Мироненко В.А., Мосейкина В.В., Мочалова А.М., Норматова Ю.А., Нурока Г.А., Панюкова П.М., Певзнера М.Е., Подэрни Р.Ю., Попова В.Н., Попова И.И., Потапова М.Г., Пустовойтова Т.К., Ржевского В.В., Русского И.И., Селюкова А.В., Стрельцова В.И., Трубецкого К.Н., Федотенко В.С., Фисенко Г.Л., Ческидова В.И., Чиркова А.С., Шешко Е.Ф., Шпакова П.С.) и зарубежных (L. Atkins, T.G. Carter, S.-H. Chen, M.S. Diederichs, E. Hoek, W. Hustrulid, M. Kuchta, R. Martin, L. Muller,

Т. Stewart, Т. Szwedzicki) специалистов легли в основу современной теории и практики проектирования и эксплуатации отвальных массивов, а также разработки современных подходов по управлению их состоянием и рациональному природопользованию [22-56].

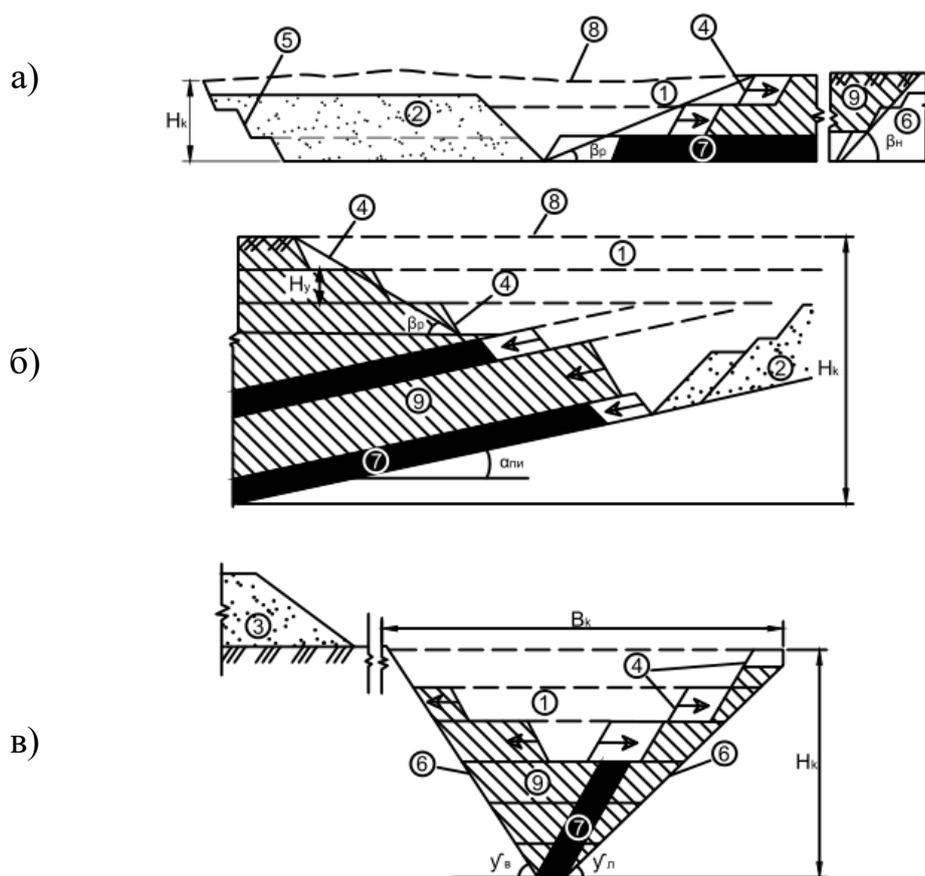


Рисунок 1.1 – Формирование отвалов при различных условиях залегания

угольного пласта: а – горизонтальное; б – пологое; в – крутое;

- 1 – выработанное пространство; 2 – внутренние отвалы; 3 – внешний отвал;
 4, 5 – рабочий и нерабочий борта соответственно; 6 – конечный контур карьера;
 7 – вскрышные породы, 8 – угольный пласт, 9 – отвальный массив.

При этом изучение и исследование многих вопросов продолжают и сегодня, они остаются актуальными в связи с изменяющимися условиями отработки месторождений, появлением новых технологических решений, а также

серийным выпуском новой техники, которая отличается все большей производительностью. Кроме того, в нашей стране существует ряд методических ограничений, которые требуют разрешения для проектирования и эксплуатации отвальных массивов большей вместимости, расположенных в уникальных природных условиях и на «нестандартных» основаниях.

В России на сегодняшний день выработки, которые не эксплуатируются в связи с исчерпанием запасов в качестве мест для складирования вскрышных и вмещающих пород, практически не используются. Это во многом связано со сложностями действующей нормативной базы, а также организационными проблемами. Часто соседние участки недр принадлежат различным собственникам, что в конечном итоге усложняет организацию возведения отвалов в неэксплуатируемых выработках [47,57].

Еще одной важной отличительной чертой в формировании горнопромышленных природно-технических систем в последние два десятилетия стало их резкое усложнение и с точки зрения структуры и размеров. На рисунке 1.2 представлен пример формирования отвала на месте прудковой зоны гидроотвала, при этом большая часть гидротехнического сооружения перемещена и на ее месте сформирована выработка.

Нужно отметить, что в истории горного дела такой пример на сегодняшний день является единичным. Однако необходимость его формирования потребовала значительных затрат не только на проектные работы, но и на инженерные изыскания, мониторинг состояния сооружения. Фактически, на момент становления данной системы не было опыта эксплуатации подобных сооружений, и единственным методом, позволяющим обеспечить безопасность ведения работ, являлся комплексный контроль и своевременное принятие необходимых управленческих решений.

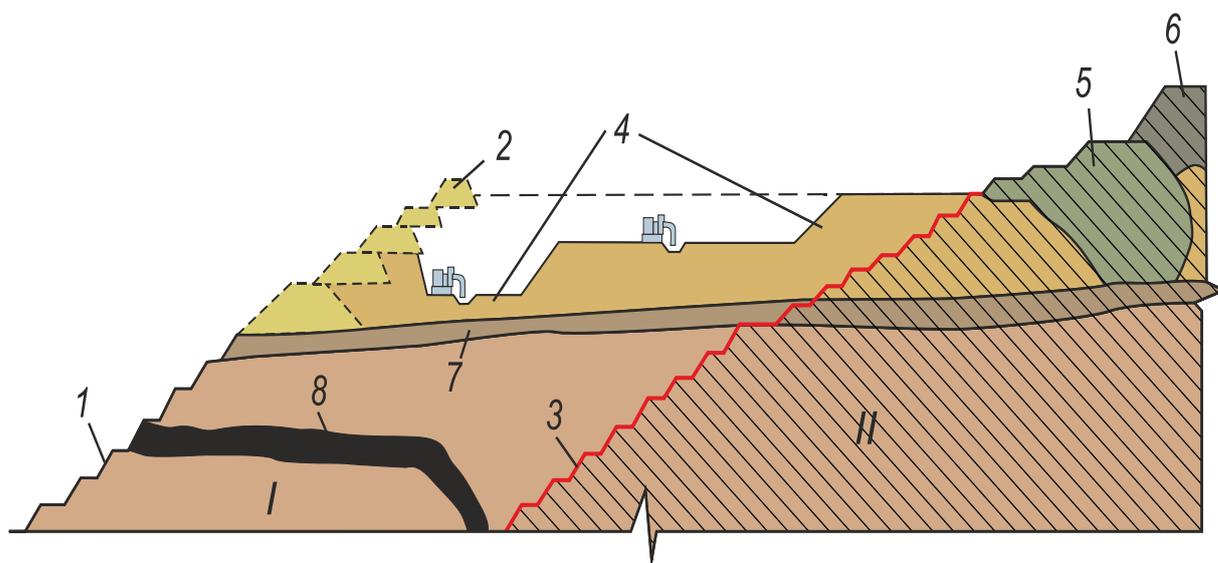


Рисунок 1.2 – Формирование сложных природно-технических систем «борт карьера – слабое основание – отвал»: I и II – участки гидроотвала, подлежащий и неподлежащий отработке соответственно;

1 – профиль борта выработки на момент проектирование системы; 2 – контур гидроотвала до его частичной отработки; 3 – проектный контур карьера после отработки гидротехнического сооружения;

4 – горизонты гидромеханизационных работ; 5 – насыпь, разделяющая гидроотвал на две части; 6 – проектный контур автомобильного отвала; 7 – четвертичные отложения основания; 8 – пласт угля.

Важной современной тенденцией в области формирования отвалов на угольных разрезах является значительное увеличение их высоты (рисунок 1.3) [58-59]. Методическая база инженерно-геологического и геомеханического обеспечения работ по формированию отвалов высотой более 100 метров на сегодняшний день в полной мере не разработана. Поведение пород на глинистом цементе в смеси с глинистыми четвертичными отложениями на данный момент времени смоделировать достаточно сложно, что также обуславливает, с одной стороны, необходимость постоянного контроля, а с другой – научно-методических разработок в этой отрасли.

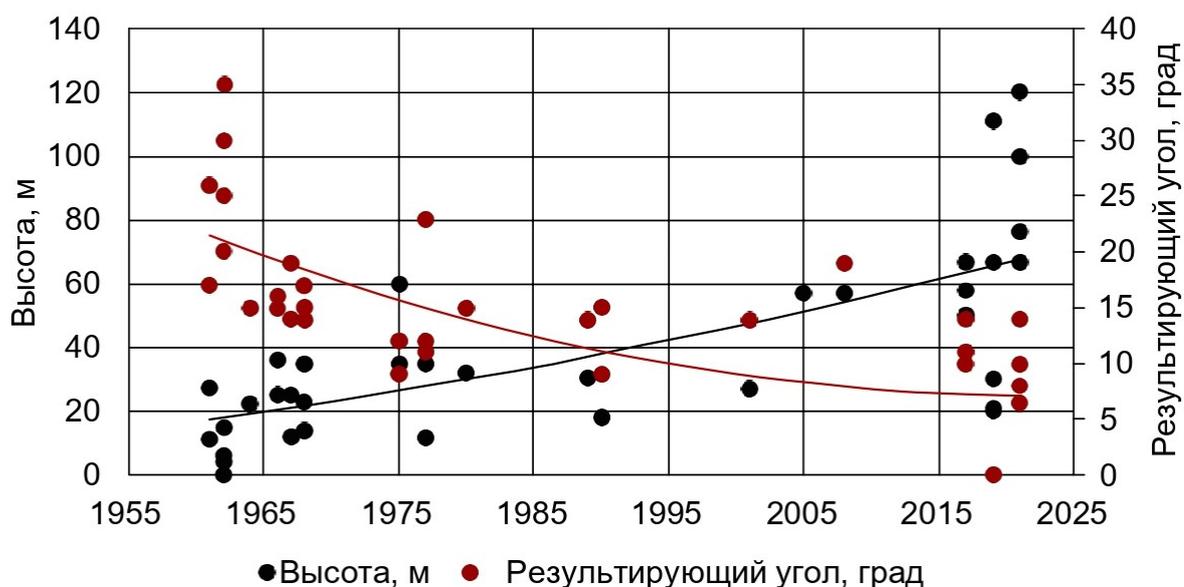


Рисунок 1.3 – Динамика изменения основных параметров отвальных насыпей Кузбасса

В условиях все более широкого внедрения концепции устойчивого развития территорий отвалы вскрышных пород рассматриваются в качестве объектов, наносящих значительный урон окружающей среде [60]. Этот факт также не может не сказаться на принятии стратегических решений по развитию предприятия и при разработке проектов отвалов вскрышных и вмещающих пород. Негативное воздействие на природную среду выражается не только в нарушении естественных ландшафтов, изменении рельефа и фактическом уничтожении сельскохозяйственного потенциала территории. В ряде случаев отвальные породы могут содержать значительное количество минералов, в состав которых входит сера, железо, а также тяжелые металлы (кадмий, стронций и т.д.). Это может приводить к выщелачиванию вышеперечисленных элементов и их распространению на значительные территории за счет переноса временными и постоянными водотоками, а также подземными водами. Таким образом, обращение с данным видом горнопромышленных отходов также должно подчиняться принципам устойчивого развития, при проектировании должны учитываться геоэкологические риски для рассматриваемых территорий [61].

Несомненно, что с точки зрения стратегического развития территорий формирование внутренних отвалов в значительной мере перспективнее. При

данном способе складирования горной массы уменьшаются общие площади нарушенных земель, в этом случае можно говорить об уменьшении активности миграции химических элементов и соединений, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. В условиях внутреннего отвалообразования возможно практически полное восстановление первоначального рельефа местности.

1.2. Перспективы и преимущества формирования внутренних отвалов при отработке угольных месторождений

На сегодняшний день на добывающих предприятиях формирование отвалов осуществляется преимущественно за пределами непосредственной выработки в относительной близости от нее. Так как угольные разрезы в подавляющем большинстве случаев вытянуты в одном направлении, вдоль простирания пласта, то отсыпка, как правило, ведется вдоль одного или обоих бортов в зависимости от выбранной схемы разработки, горно-геологических условий, расположения объектов инфраструктуры, населенных пунктов и т.д. [62] На рисунке 1.4 представлен пример расположения отвалов относительно угольного разреза.

При этом отвальные насыпи на определенных этапах развития горных работ могут стать сдерживающим фактором для развития разреза. Особенно остро данная проблема стоит на угледобывающих предприятиях Кузбасса, которые ведут добычу в течение нескольких десятилетий на одном участке недр. На стадии проектирования 50-60 лет назад не предусматривалось ведение горных работ на тех глубинах, которые освоены уже сегодня. Соответственно, на очередной стадии развития горного предприятия для вовлечения в отработку более глубоких или находящихся дальше по падению пластов свиты возникала необходимость проведения «разбортовки», которая требовала дополнительных площадей. Часто это приводило к необходимости переноса объектов инфраструктуры, части населенных пунктов или собственных породных отвалов.



Рисунок 1.4 – Расположение отвальных насыпей относительно выработок на примере разреза «Кедровский» (АО «УК «Кузбассразрезуголь»)

Отсутствие проектов стратегического развития территорий и отдельных угледобывающих предприятий обуславливает во многих случаях принятие неоптимальных решений по формированию горнопромышленных природно-технических систем. Рассмотрим основные тенденции, которые наблюдаются на сегодняшний день в вопросах формирования внутренних отвалов на угледобывающих объектах.

Вопросы складирования вскрышных и вмещающих пород в открытые выработки, включая задачи охраны окружающей среды, нашли свое отражение в трудах ряда отечественных специалистов: Анистратова Ю.И., Батугина А.С., Демченко А.В., Еременко Е.В., Еременко В.А., Ильина С.А., Истомина В.В., Коваленко В.С., Коликова К.С., Косолапова А.И., Медникова Н.Н.,

Пастихина Д.В., Решетняка С.П., Ржевского В.В., Рутковского Б.Т., Селюкова А.В., Таланина В.В., Томакова П.И., Трубецкого К.Н., Федотенко В.С., Хохрякова А.В., Цепилова И.И., Ческидова В. И., Чиркова А.С., Шешко Е.Ф. [9, 26, 34, 45 63-76].

На сегодняшний день разработан ряд классификаций отвальных насыпей, которые разделяют объекты по местоположению отвала относительно выработки, количеству ярусов, высоте, способу транспортировки и укладки, рельефу основания и т.д. Некоторые из приведенных классификаций могут быть применены и для внутренних отвалов. С точки зрения организации и горно-геологических условий месторождения можно выделить несколько типов объектов складирования вскрышных пород в пределах выработки. Рассмотрим более подробно каждый из вариантов.

Внутренние отвалы, формируемые при бестранспортной схеме вскрытия (рисунок 1.5).

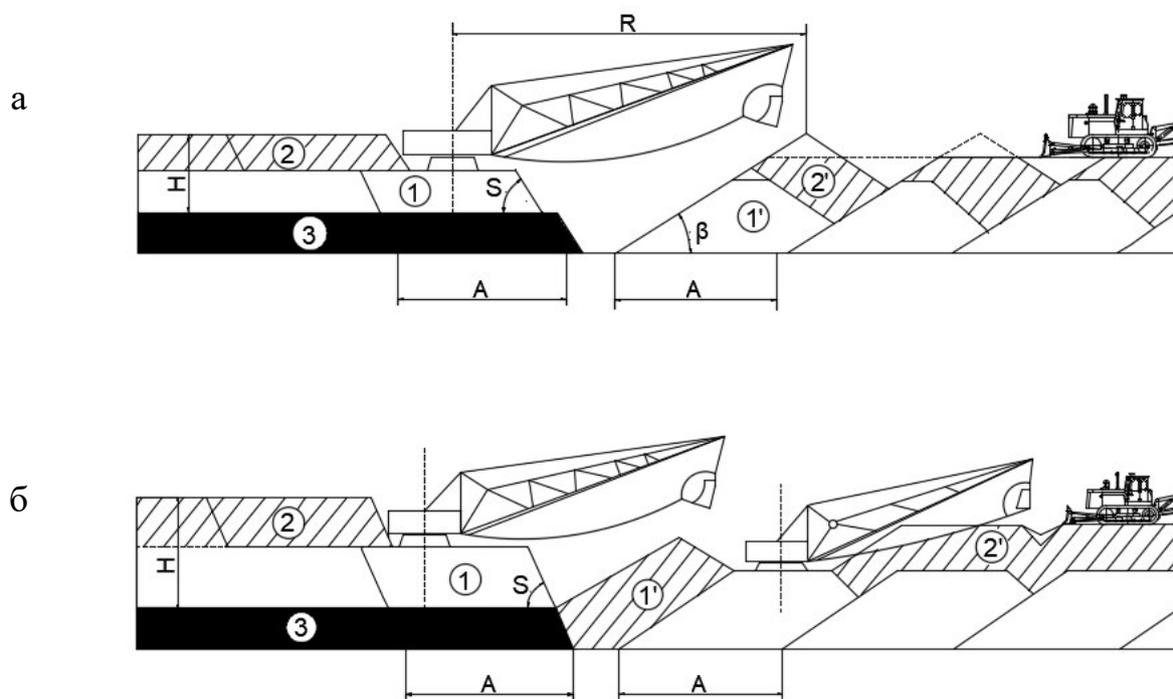


Рисунок 1.5 – Схемы укладки во внутренний отвал вскрышных пород драглайнами: а) простая бестранспортная система; б) веерная система отсыпки

Данный способ формирования насыпей может быть применен только при относительно простых горно-геологических условиях: в первую очередь при горизонтальном или субгоризонтальном залегании пластов полезного ископаемого [77]. Эта схема достаточно часто применяется на угольных разрезах Австралии, США, а также на некоторых объектах России и СНГ. Нужно отметить, что применение данной схемы в значительной мере минимизирует затраты на вскрышные работы, позволяет формировать массив, в котором дисперсные потенциально плодородные породы могут быть уложены в верхние горизонты. Это значительно упрощает процесс рекультивации и снижает его стоимость.

Второй случай, когда после укладки пород драглайном и планирования насыпи производится дополнительная отсыпка с использованием автомобильного или железнодорожного транспорта (рисунок 1.6). В данном случае вскрышные породы могут быть доставлены не только из выработки, в которой непосредственно расположен отвал, но и из соседних.



Рисунок 1.6 – Формирование внутреннего отвала в условиях разреза «Бородинский» (Красноярский край, РФ)

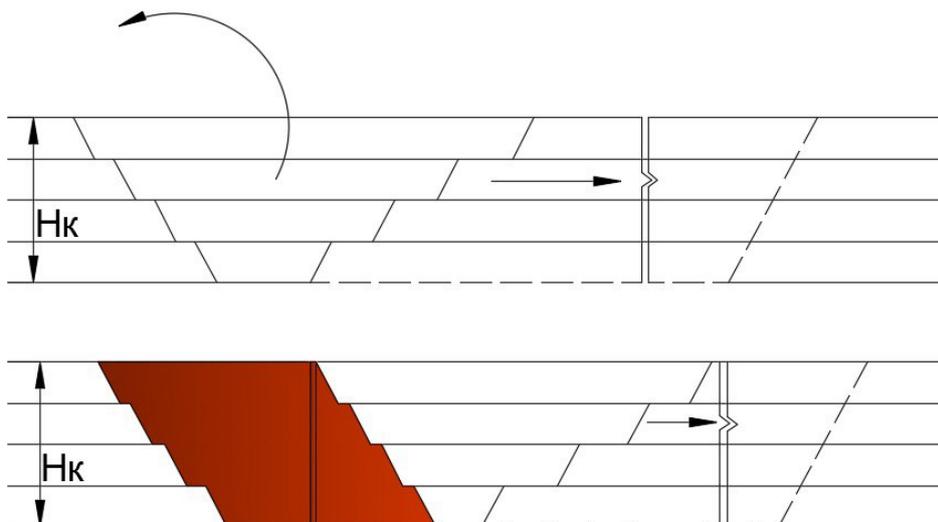
Описанная схема складирования достаточно часто применяется в тех случаях, когда у одного горного предприятия находится в непосредственной

близости несколько лицензионных участков и отрабатываются они или параллельно, или, что чаще, с некоторым опережением того участка, на котором формируется непосредственно отвал [78]. В данном случае высота техногенной насыпи может превышать абсолютные отметки первоначального ненарушенного рельефа, а на завершающих стадиях выработанное пространство может быть заложено полностью, и контур отвала будет выходить за рамки контура карьера. Данный способ также отличается, как правило, хорошими технико-экономическими показателями и позволяет значительно уменьшить площади нарушенных земель.

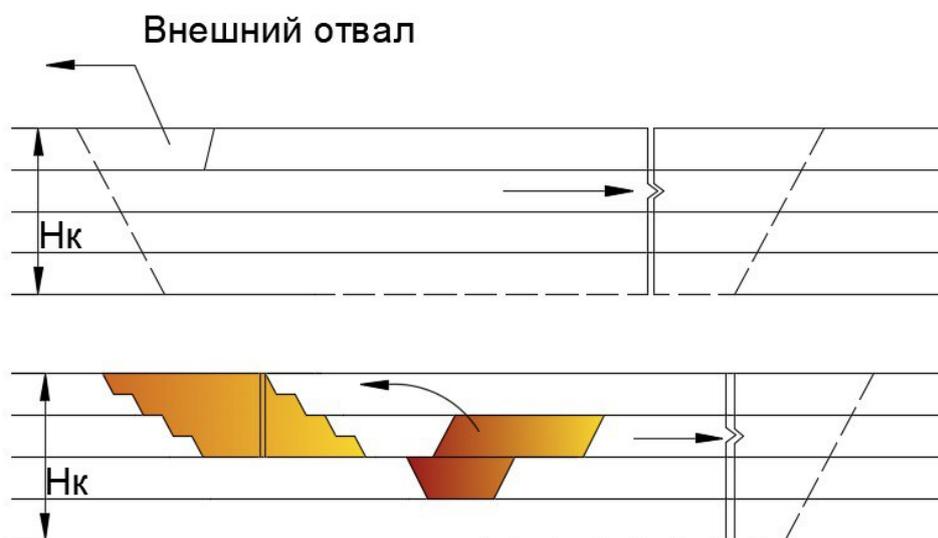
В практике проектирования горнодобывающих комплексов в последние пару десятилетий все чаще рассматриваются варианты сооружения внутренних отвалов и при отработке наклонных и крутонаклонных угольных пластов (рисунок 1.7). Ряд разработок был предложен Томаковым П.И., Коваленко В.С., специалистами Кемеровского филиала НИИОГР, Корякиным А.И. и другими [77-80]. Однако на сегодняшний день широкого применения подобные технологии не получили. Это связано с отсутствием положительного опыта их применения, сложностью организации горных работ, определенными сложностями при согласовании проектов в государственных контролирующих органах и т.д. При этом отдельные элементы представленных технологий на сегодняшний день применяются при разработке проектных решений на угольных разрезах стран ближнего зарубежья и России, в том числе на добывающих предприятиях Кузбасса. Кроме того, внутреннее отвалообразование в выработках, вскрывающих наклонные и крутонаклонные пласты, используется на завершающей стадии эксплуатации участка недр, когда формируются элементы разреза, которые могут быть заполнены вскрышными породами без возникновения препятствий для дальнейшего развития карьера, а также после завершения добычных работ.

Внешний отвал

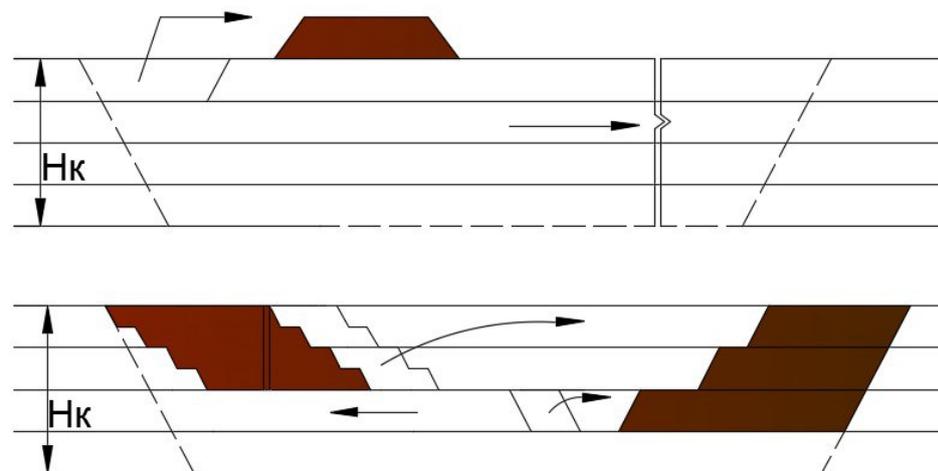
а



б



в



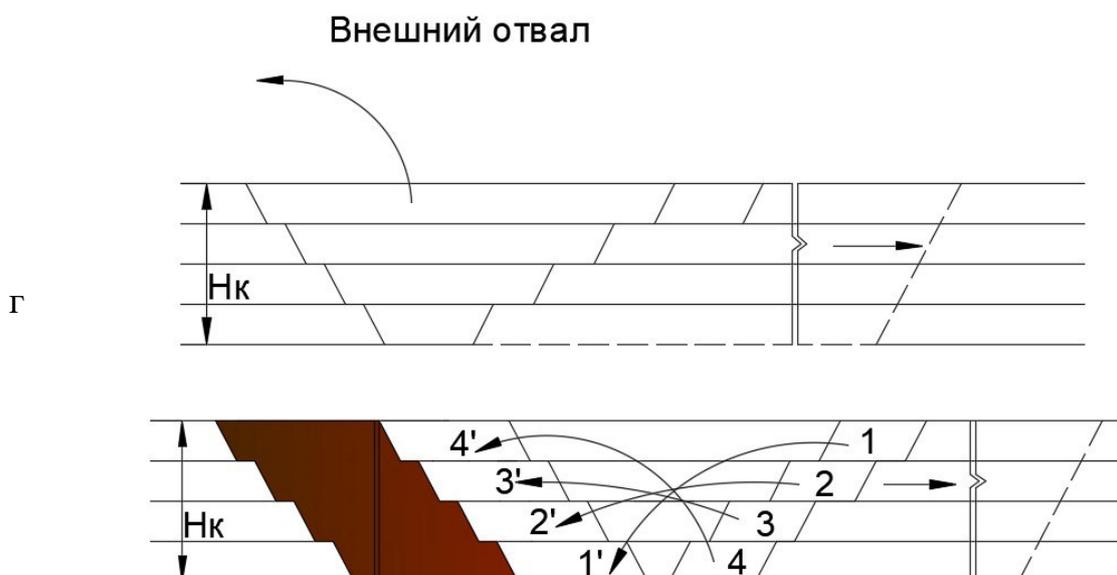


Рисунок 1.7 – Формирование внутренних отвалов при разработке наклонных и крутонаклонных угольных пластов: а) поперечная система разработки, предполагающая формирование первичной выработки; б) поэтапно-углубочная система разработки; в) челночно-слоевая система разработки угольных месторождений; г) поперечная блочно-слоевая система разработки.

Дальнейшее развитие и внедрение технологий формирования внутренних отвалов при отработке наклонных и крутонаклонных пластов позволит повысить экономические показатели отработки ряда участков недр, а также существенно снизить землеемкость работ.

1.3. Анализ природных и техногенных факторов, влияющих на состояние внутренних отвалов

Состояние внутренних отвалов вскрышных и вмещающих пород принципиально определяется тем же набором факторов, который установлен для всех откосных сооружений, включая борта карьеров, откосы внешних отвалов, дамбы гидротехнических сооружений, а также естественные склоны.

Вопросы, касающиеся инженерно-геологического и гидрогеологического обеспечения складирования вскрышных пород, а также обеспечения устойчивости откосных сооружений, являются ключевыми в трудах ряда российских и зарубежных специалистов. Наибольший вклад в развитие данного направления

внесли: Абелев М.Ю., Бахаева С.П., Бондарик Г.К., Васильева А.Д., Гальперин А.М., Жариков В.П., Иванов И.П., Кириченко Ю.В., Киянец А.В., Крячко О.Ю., Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Мироненко В.А., Мосейкин В.В., Мочалов А.М., Мухина А.С., Норватов Ю.А., Нурок Г.А., Панюков П.Н., Пендин В.В., Попов В.Н., Пуневский С.А., Решетняк С.П., Ржевский В.В., Сеинов Н.П., Семенов В.В., Сергина Е.В., Серый С.С., Томаков П.И., Флорин В.А., Цытович Н.А., Ческидов В.В., Ярг Л.А., Arshi An., Bell F.G., Drescher A., Dawson E.M., Derringh E, Doifode S.K., Drescher A, Klapperich H., Matani A.G., Roth W.H., Tamashkovic N, Zhang XQ, Zhanga X., Zhi-hui Zhang, Zhoua X., Zou JX [28-34, 38, 81-104].

На сегодняшний день принято выделять две группы факторов, влияющих на устойчивость отвалов и естественных склонов:

1. природные, к ним относятся физико-географические, инженерно-геологические и гидрогеологические условия;

2. техногенные: геометрические параметры насыпи (высота и количество уступов, генеральный угол откоса и др.), статические и динамические нагрузки, характеристики применяемого оборудования, направление и скорость продвижения фронта ведения горных работ и ряд других факторов, которые возникают в результате инженерной деятельности человека.

Одной из важных особенностей внутренних отвалов является наличие контакта тела отвальной насыпи не только в основании, но и во фланговой части (рисунок 1.8).

При этом внутренний отвал оказывает значительное боковое, давление на естественный прибортовой массив, который в силу ряда причин может перейти в предельное или неустойчивое состояние в результате ряда природных и техногенных факторов. Рассмотрим горнотехническую систему, элементами которой являются внутренний отвал, его основание и прибортовой массив естественного сложения. Несомненно, что поведение и состояние данной системы необходимо оценивать комплексно с учетом влияния элементов друг на друга.

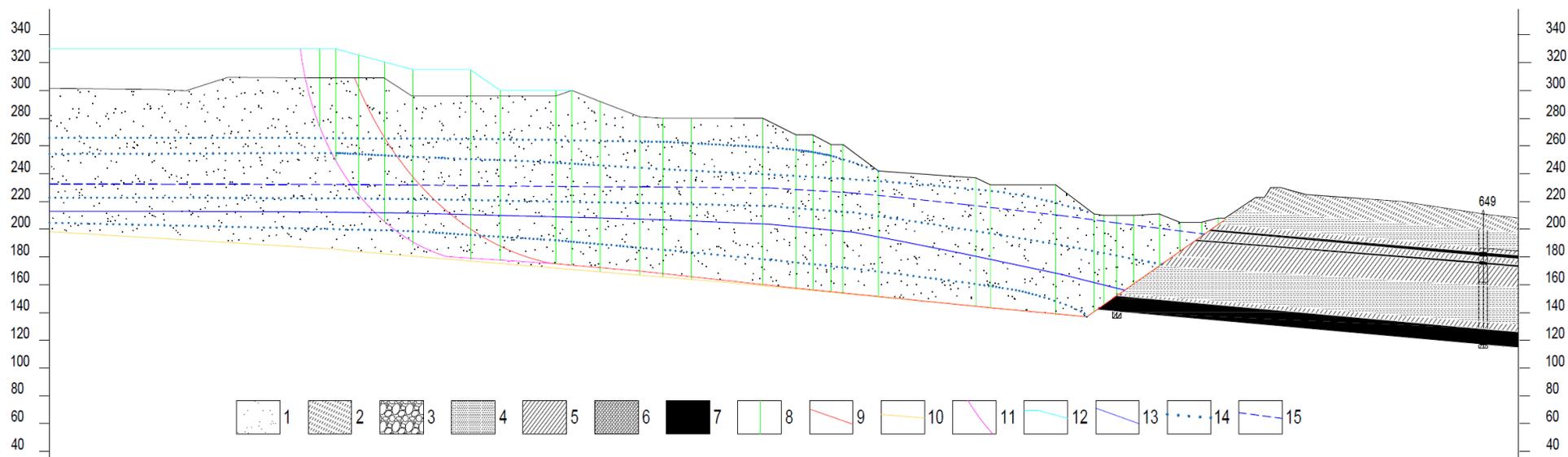


Рисунок 1.8 – Разрез внутреннего отвала «Южный» (Ерунаковское месторождение) с прилегающей территорией:
 1 – отвальная насыпь; 2 – рыхлые четвертичные отложения (преимущественно суглинистого и глинистого состава); 3 – четвертичные аллювиальные валунно-галечные отложения; 4 – песчаники; 5 – мелкозернистые алевrolиты; 6 – крупнозернистые алевrolиты; 7 – уголь; 8 – границы расчетных блоков; 9 – наиболее вероятная поверхность скольжения в теле отвала при текущих параметрах насыпи; 10 – линия контакта техногенных отложений и основания; 11 – наиболее вероятная поверхность скольжения в теле отвала при проектных параметрах насыпи; 12 – проектные отметки отвала «Южный»; 13 – текущий уровень водоносного горизонта; 14 – смоделированные уровни водоносного горизонта; 15 – уровень водоносного горизонта при его восстановлении до первоначальных отметок (до начала ведения горных работ)

Ниже приведена краткая характеристика факторов, влияющих на устойчивость внутренних отвалов и прибортового массива естественного сложения.

Физико-географические. Они включают климатические условия, рельеф местности, а также наличие и характеристики поверхностных водотоков. Степень расчлененности рельефа, перепады высот в рассматриваемом случае являются значимыми только для прибортового массива и определяют геометрические параметры естественного потенциально оползнеопасного склона. В свою очередь отсыпка непосредственно внутреннего отвала производится на основании сформированное в результате ведения добычных работ, в связи с этим степень расчлененности рельефа местности не оказывает влияния на его состояние.

Особенности поверхностного стока (наличие и режим речной сети), количество и вид осадков, глубина промерзания, интенсивность снеготаяния в весенний период являются потенциально важными факторами, определяющими состояние, как самой техногенной насыпи, так и прибортового массива.

Из климатических факторов на устойчивость откосных сооружений наибольшее влияние оказывают атмосферные осадки и колебания температуры воздуха. Проведенная Александровым В.К., Деминым А.М., и Шушкиной О.И. систематизация нарушений откосов на карьерах показывает, что обильные дожди и интенсивное таяние снега является основной причиной деформаций откосов более чем в 25% случаев [46, 105-106]. Для территории Кемеровской области в летний период характерны ливневые осадки (с интенсивностью более 50 мм/ч), а также очень короткий период снеготаяния одна-две недели при средней мощности снежного покрова около 1 метра.

Увлажнение пород, увеличение зоны полного водонасыщения и, соответственно, снижение сопротивления сдвигу пород происходит также в результате инфильтрации вод, скапливающихся в различных впадинах на кровле откосного сооружения и в непосредственной близости от его границ. Кроме того, увлажнение отвальной насыпи обуславливает быстрое разрушение алевролитов и песчаников на глинистом цементе до щебенистых отложений с суглинистым или

супесчаным заполнителем, длительное замачивание приводит к образованию щебенистых суглинков с достаточно широким диапазоном физико-механических характеристик.

Рельефом местности определяется интенсивность поверхностного стока. В случае скопления атмосферных вод у нижней бровки отвалов или естественных склонов, подтапливания дождевыми и паводковыми водами или размещения отвалов во впадинах, не имеющих стока, происходит увлажнение пород отвалов и их оснований [107]. Например, для условий формирования внутреннего отвала «Южный» характерен общий уклон естественного рельефа на восток в сторону реки Томи. Это определяет направление естественного стока, который был нарушен в результате складирования горной массы, что в конечном привело к образованию водоемов западнее и юго-западнее отвала (рисунок 1.9). Таким образом, сформировались зоны питания техногенного водоносного горизонта, при этом ее гипсометрически более высокое положение определяет усиление инфильтрации и дополнительное увлажнение массива.



Рисунок 1.9 – Положение внутреннего отвала «Южный» относительно реки Томи

На состояние прибортового массива, представленного естественным склоном, значительное влияние оказывают водотоки. Открытые горные выработки и отвалы часто находятся в непосредственной близости от крупных постоянных водотоков. На рисунке 1.9 видно, что на состояние прибортового массива потенциальное влияние может оказывать река Томь, расстояние до которой менее пятисот метров.

Резкое изменение уровня и эрозионной способности рек может привести к быстрому изменению геомеханической картины в откосном сооружении и значительным оползневым явлениям. С одной стороны, в результате боковой эрозии происходит частичное разрушение склона у его подошвы и сокращение пассивной части оползневого массива, с другой стороны, повышение уровня водотока обуславливает дополнительное увлажнение породного массива, в результате чего происходит снижение прочностных свойств грунтов, последнее особенно характерно для глинистых отложений [107]. Оба перечисленных явления определяют перераспределение сдвигающих и удерживающих сил в потенциально оползневом склоне. В зависимости от литологического состава, гидрогеологических условий, а также геометрических параметров склона, в результате поднятия уровня реки суммарные удерживающие силы в потенциально оползневом теле могут за несколько дней уменьшиться более чем в два раза, что, несомненно, может привести к оползневой деформации берега.

Гидрогеологические факторы. Они включают: глубину залегания водоносного горизонта, водообильность, наличие напорности и гидравлической связи между горизонтами, в том числе в теле насыпи в ее основании, гидродинамические характеристики водоносных горизонтов.

Гидрогеологическими факторами обуславливаются следующие процессы, протекающие в откосном сооружении:

- накопление подземных вод вызывает набухание, снижение прочности и местные деформации откосов, сложенных песчано-глинистыми породами;
- гидродинамическое давление фильтрующихся в приоткосном массиве подземных вод, обуславливающее оплывание откосов раздельнозернистых

и песчано-глинистых пород, действует совместно с силами гидростатического взвешивания;

– процессы суффозии, приводящие к выносу мелких частиц [83].

Наличие водоносного горизонта в породах основания насыпи определяет возможность капиллярного поднятия, это приводит к увлажнению нижней части насыпи и закономерному уменьшению показателей механических свойств отложений.

Для внутренних отвалов характерно восстановление водоносного горизонта, который был некогда нарушен в результате ведения открытых горных работ, постепенно при заполнении выработки породами и уменьшении интенсивности дренажных работ происходит инфильтрация дождевых, талых и других вод, которые накапливаются в насыпи [9,18,108]. При частичном заполнении выработки отвальными массами формируется достаточно сложная гидрогеологическая система, в которой породы имеют различные фильтрационные способности (в первую очередь тело самой насыпи и коренной прибортовой массив). Движение подземных вод при этом достаточно сложно поддается моделированию. При полном заполнении выработки вероятнее всего произойдет восстановление водоносного горизонта до начальных отметок.

Гидрогеологические условия большинства месторождений угольных месторождений в целом характеризуются как сложные. Это связано и с наличием нескольких водоносных горизонтов, вскрытие которых происходит при ведении добычных работ. Породы имеют различные фильтрационные характеристики, при этом наблюдается трещиноватость, развитая во всех трех пространственных направлениях. Часто невозможно четко определить, какие породы являются водовмещающими, а какие водоупорными из-за сильно изменяющихся инженерно-геологических свойств. Кроме того, для угольных месторождений характерно частое напластование различных литологических разностей, на границах которых фильтрационные свойства значительно выше [109].

В теле внутреннего отвала сформируется техногенный водоносный горизонт, питание которого осуществляется за счет атмосферных осадков,

перетекания из естественного водоносного горизонта, а также в некоторых случаях за счет инфильтрации из водоемов, примыкающих к телу насыпи.

Инженерно-геологические факторы. К ним относятся литологический состав горных пород, их залегание, физико-механические свойства, степень выветрелости, трещиноватость и др. Так как рассматриваемые объекты сложены породами с включением глинистого материала, то рассмотрим особенности их свойств и характеристик, которые в наибольшей степени определяют состояние откосного сооружения [110].

Механические свойства глинистых пород необходимо рассматривать в увязке с гидрогеологическими условиями местности, так как прочностные свойства в данном случае напрямую зависят от степени увлажнения отложений. На рисунке 1.10 показано изменение значения угла внутреннего трения для глины при различной ее влажности. Удельное сцепление изменяется, как правило, по более сложным зависимостям, однако тоже достаточно быстро уменьшается при увеличении влажности.

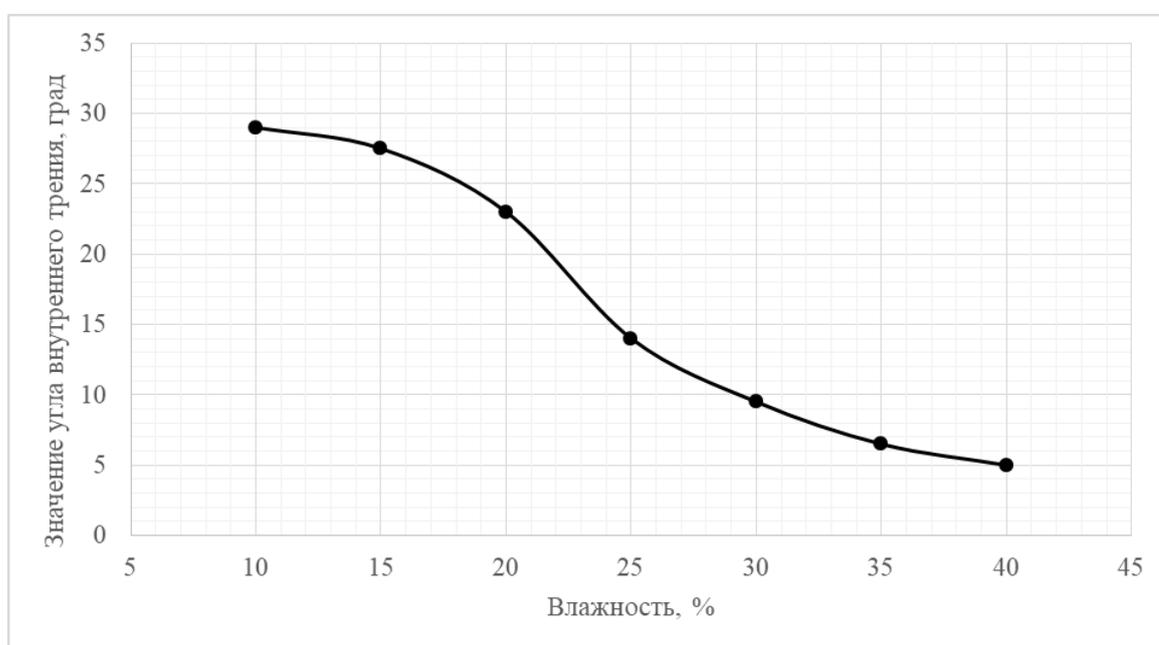


Рисунок 1.10 – Изменение значения угла внутреннего трения в зависимости от влажности глинистой породы [87]

На состояние отвальной насыпи большое влияние оказывает соотношение, в котором укладывались полускальные породы и глинистые четвертичные отложения, так как это имеет определяющую роль для значений показателей свойств отвальных масс на том или ином участке. Большие скопления глинистого материала в теле отвала могут формировать поверхности ослабления.

Для системы «внутренний отвал – прибортовой массив» также нужно отметить, что вероятные поверхности скольжения будут проходить по контакту пород (это может быть основание отвала и само тело отвала, а также разные литологические разности в коренном массиве), которые являются зоной ослабления. Граница двух литологических разностей, в которой происходит фактически разрыв сплошности среды, как правило, обуславливает зону повышенной фильтрации, соответственно, в ней наблюдается большее увлажнение отложений, а также ослабление минерального скелета породы из-за выноса глинистых частиц [111]. Перечисленные факторы часто обуславливают наименьшие прочностные свойства в массиве именно на контакте, по которому, в конечном итоге, и происходит смещение.

Наклон основания внутреннего отвала в сторону откоса определяет уменьшение показателей устойчивости всей системы. Это один из наиболее существенных факторов, так как поверхности скольжения формируются на участках, для которых характерно, что сопротивление сдвигу слабых пород основания и по контакту между отвалом и основанием ниже сопротивления сдвигу техногенных масс самой насыпи [112].

Техногенные факторы, влияющие на устойчивость отвалов и откосных сооружений в целом, включают стандартный набор, перечисленный в самом начале данного раздела, которые обосновываются в проектной документации на формирование техногенных насыпей.

Нужно отметить, что в практике ведения горных работ оползневые и другие негативные горно-геологические явления происходят, как правило, под влиянием комплекса факторов, которые имеют тесную взаимосвязь между собой. Например, обильные осадки или интенсивное снеготаяние обуславливает увеличение

инфильтрации в тело откосного сооружения, соответственно, повышение уровня водоносного горизонта, увеличение веса горной массы, а также уменьшение прочностных свойств пород. Таким образом, изменение показателей одной группы факторов влечет за собой изменение других, то есть между ними существует выраженная корреляционная связь, которую часто непросто выявить [40,112].

В современном понимании геомеханики, оползнеопасный склон (откос) необходимо рассматривать как сложную систему, прогнозирование состояния которой осуществляется на основе детализированной инженерно-геологической модели и при наличии достоверных оперативно поступающих данных мониторинга характеристик массива, обладающих наибольшей изменчивостью во времени. В рассматриваемом случае, несомненно, что гидрогеологические характеристики обладают наибольшей динамикой, поэтому требуют систематических измерений с периодичностью, обеспечивающей их полноту и точность [28,30,64,83,89].

В практике геомеханического обеспечения открытых горных работ состояние откосных сооружений принято оценивать с помощью значений коэффициента запаса устойчивости.

Необходимо отметить, что на устойчивость внутренних отвалов некоторые из факторов имеют более весомое значение, чем для откосных сооружений, сформированных за пределами выработки. Важным фактором является положение тела внутреннего отвала относительно выемки (карьера или угольного разреза).

При проектировании отвальных насыпей необходимо учитывать все факторы, которые потенциально могут повлиять на состояние техногенного массива и привести к негативным горно-геологическим явлениям. Кроме того, необходимо принимать во внимание степень влияния отвалов вскрышных пород на состояние окружающей природной среды [113-115].

Выводы по главе I

На сегодняшний день формирование внутренних отвалов на угледобывающих предприятиях сдерживается рядом факторов, включающих:

сложные горно-геологические условия, отсутствие стратегической концепции развития территорий. Последний фактор во многих случаях сдерживает возможность проведения закладочных работ в отработавшие свой ресурс выработки.

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия формирования внутренних отвалов в значительной степени отличаются от условий отсыпки за пределами выработки. Основание внутреннего отвала фактически является техногенным, часто может состоять из пород быстроразрушающихся под действием атмосферных осадков и температуры. В связи с этим, вероятно формирование слабого слоя, который в дальнейшем может оказывать негативное влияние на состояние техногенного массива.

При отсыпке внутреннего отвала в его теле происходит постепенное формирование техногенного водоносного горизонта, которое обуславливает изменение как физико-механических свойств слагающего материала, так и определяет общую устойчивость насыпи. Также нужно отметить, что важным фактором, определяющим устойчивость внутреннего отвала, является его положение относительно выемки (карьера или угольного разреза).

Более широкое использование технологий внутреннего отвалообразования позволит снизить эксплуатационные затраты на вскрышные работы, уменьшить землеемкость горных работ, а соответственно, снизить негативное воздействие на окружающую среду угледобывающих регионов. Однако для более масштабного внедрения данной технологии необходимо разрабатывать соответствующие теоретические основы, в том числе касающиеся инженерно-геологического, гидрогеологического и геоэкологического обоснования формирования отвальных насыпей в пределах открытых горных выработок.

2. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Современные технологии отсыпки отвалов предполагают несколько этапов формирования техногенной насыпи. Нередко в результате расширения границ лицензионного участка или интенсификации добычных работ возникает необходимость пересмотра проекта отвальных насыпей. При этом для снижения эксплуатационных затрат увеличивается площадь и высота техногенного массива. С развитием горных работ на близлежащих участках во внутренние отвалы могут складироваться вскрышные породы из других выработок [116-119]. При этом абсолютные отметки верхнего яруса со временем могут превысить уровни, которые были характерны для естественного рельефа до начала формирования выработки.

На завершающих стадиях внутренний отвал может полностью занимать все пространство карьера. При этом принципиально изменяется геомеханическая обстановка. Если на первоначальных стадиях внутренний отвал зажат естественным массивом с трех сторон и значительные деформации могут наблюдаться только в сторону рабочего борта, то в случае заполнения выработки целиком тело отвала зажато со всех сторон и деформации возможны только в целом в системе «внутренний отвал – прибортовой массив». Как правило, ненарушенный массив пород обладает относительно высокими механическими показателями и негативные горно-геологические явления деформационного характера не наблюдаются. Но, в случае если в прибортовом массиве имеются породные слои с низкими характеристиками или наблюдается падение пластов вскрышных осадочных пород в сторону общего уклона рельефа, то внутренний отвал может стать причиной значительных по масштабу негативных оползневых процессов.

Кроме того, в результате добычи полезных ископаемых, в том числе угля, открытым или подземным способом в районе месторождения формируется так называемый техногенный режим водоносных горизонтов [109]. С одной стороны, дренажные работы обуславливают общее понижение уровня подземных вод, с другой стороны – формирование отвальных насыпей из пород, обладающих

низкими фильтрационными способностями, способствует накоплению талых и дождевых вод в отвальных массивах и локальное повышение уровня грунтовых вод.

При формировании внутренних отвалов на объектах угледобычи необходимо выделить несколько этапов развития горных работ, в рамках которых режимы и уровни водоносного горизонта в его теле характеризуются различными показателями.

Этап 1. Формирование карьера в границах конечного контура. На данном этапе существенно изменялся уровень водоносного горизонта вследствие дренажа в горную выработку, так как с продвижением работ происходило углубление карьера, и соответственно, в районе месторождения наблюдалось постепенное увеличение глубины и радиуса депрессионной воронки.

Этап 2. Формирование внутреннего отвала после достижения выработкой конечного контура. Отсыпка вскрышных пород в карьере постепенно приводит к формированию техногенного водоносного горизонта в теле отвала, основное питание которого происходит за счет инфильтрации дождевых и талых вод, воды из искусственных водоемов, а также за счет перетекания подземных вод из естественного водоносного горизонта при их движении к зоне дренажа. При достижении фронта насыпи конечного положения рабочего борта и складирования горной массы непосредственно на борт в результате значительного сокращения оттока воды из массива происходит восстановление уровня водоносного горизонта, который в большинстве случаев соответствует уровню, наблюдавшемуся до начала ведения добычных работ.

2.1. Общая характеристика горно-геологических условий месторождений Кузнецкого угольного бассейна

Кузнецкий угольный бассейн расположен на территории двух субъектов Российской Федерации: Кемеровской и Новосибирской областей, большая площадь приходится на первую административно-территориальную единицу. Рассматриваемый бассейн является крупнейшим по запасам коксующихся углей в

России. Также он входит в число крупнейших угольных бассейнов мира, занимает третье место в нашей стране по общим запасам после соответственно Ленского и Тунгусского.

С точки зрения геоморфологического строения изучаемая территория представляет собой выраженную котловину, которая окружена со всех четырех сторон горными сооружениями [18]. Восточнее находится Кузнецкий Алатау, на юге – горная Шория, а южнее и юго-западнее Колывань-Томская складчатая зона (рисунок 2.1). Современный рельеф Кузбасса и прилегающих территорий был сформирован в результате одновременного влияния эндогенных процессов, проявляющиеся в виде тектонических движений, и процессов выветривания, денудации и аккумуляции. Направление и интенсивность тектонических движений в кайнозойскую эру определило соотношение процессов денудации и аккумуляции на отдельных участках рассматриваемой территории, что в конечном итоге обусловило формирование существующего на сегодняшний день рельефа [121].

Общая площадь бассейна составляет около 26 700 км², при этом продуктивные угленосные толщи с промышленно извлекаемыми запасами отмечаются на участках, суммарная площадь которых составляет около 20 000 км². Кузбасс представляет собой крупный синклиорий, который в плане представляет собой фигуру близкую к четырехугольнику, длинная диагональ которого простирается в направлении с северо-запада на юго-восток.

Угленосные отложения рассматриваемого бассейна охватывают интервал от серпуховского яруса (С₁) до татарского (Р₂), подразделяются (снизу вверх) на балахонскую (С₁₋₃-Р₁) и кольчугинскую (Р₂) серии, отвечающие крупным седиментационным циклам, содержат до 250 пластов и выдержанных прослоев каменного угля суммарной мощностью до 390 м [122-123].

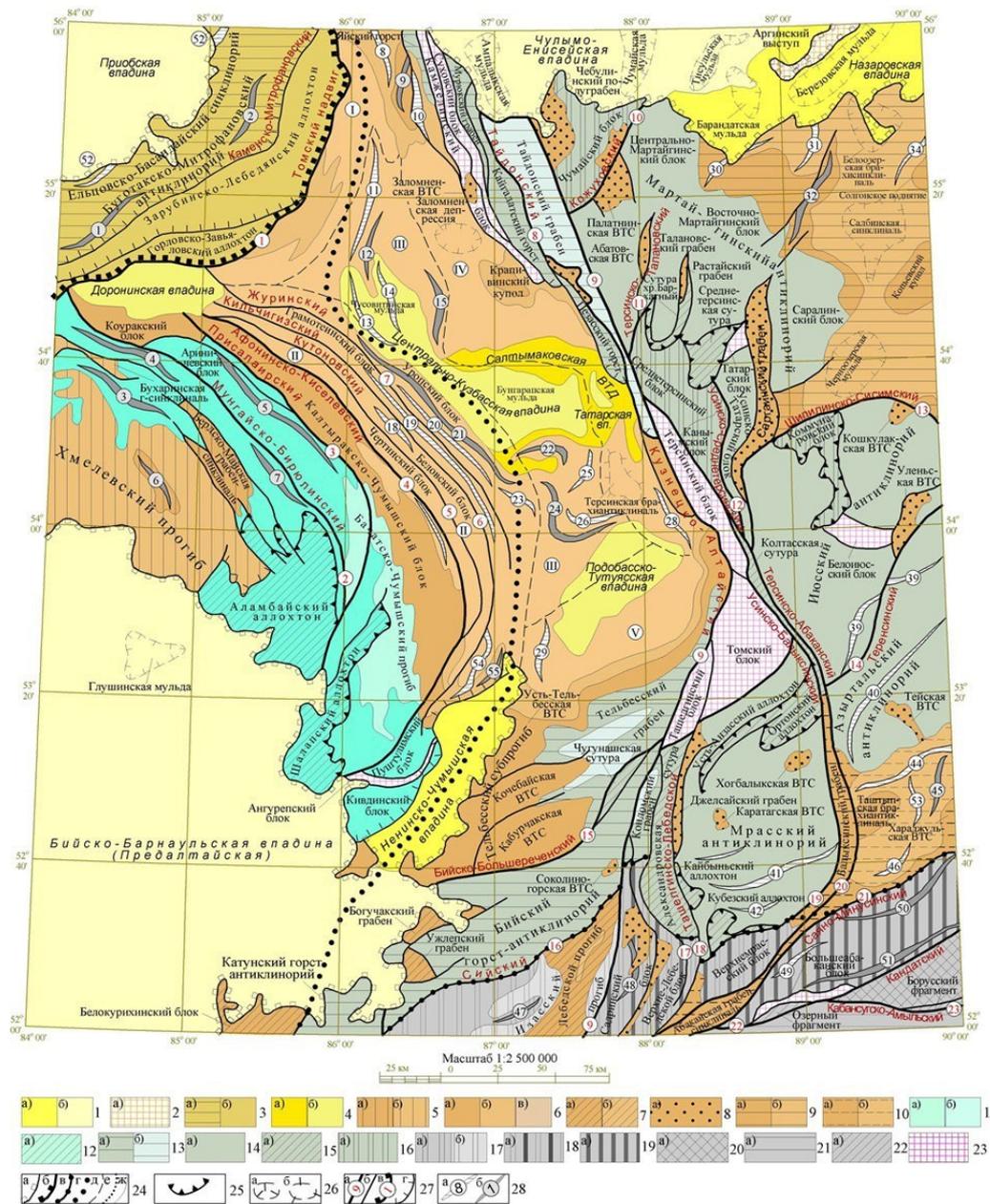


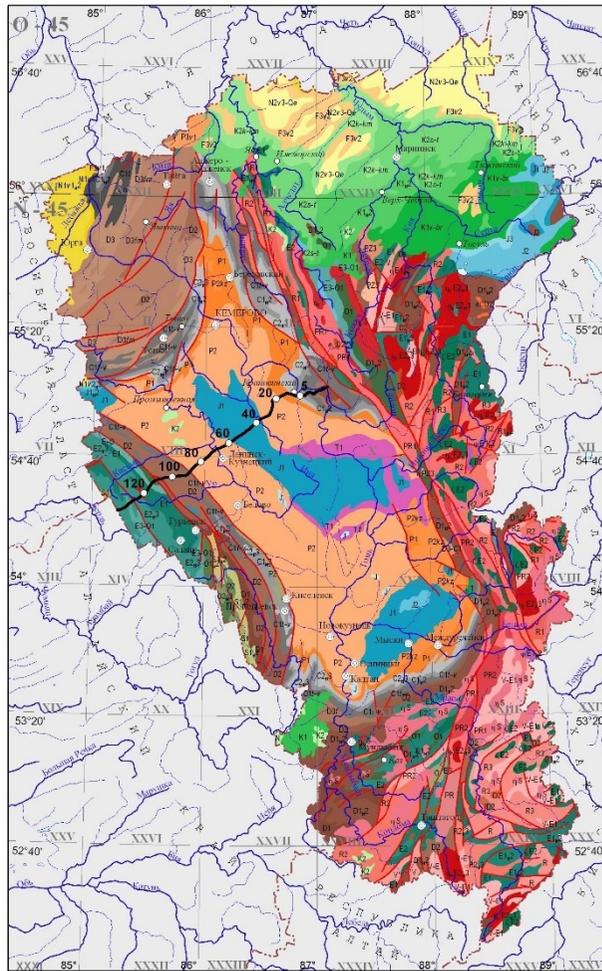
Рисунок 2.1 – Геолого-структурная схема Кузнецкого угольного бассейна и прилегающих территорий

Условные обозначения: 1–2 – Западно-Сибирская мезозойско-кайнозойская плита: 1 – юрско-меловой (а), поздний палеоген–четвертичный (б) структурные ярусы; 2 – выступы палеозойского основания; 3 – Обь-Зайсанская герцинская складчатая область: 3 – Колывань-Томская покровно-складчатая зона: Новосибирская (а), Горловско-Лебедянская (б) подзоны; 4–23 – Алтае-Саянская каледонская складчатая область: 4 – Мезозойские наложенные структуры (триасовый (а), юрский (б) структурные ярусы); 5–10 – Герцинские наложенные структуры (Алтае-Тувинская складчатая система); 11–12 – Алтае-Салаирская каледонская складчатая система; 13–15 – Бартальско-Мартайгинская складчатая зона; 16 – Чумайско-Канымская фрагментированная складчатая зона; 17–22 – Алтае-Тувинская каледонская складчатая система; 23 – выступы позднерифейского основания; 24 – Границы: а) Западно-Сибирской плиты, б) складчатых областей (по главному надвигу), в–г) складчатых систем (в – установленные, г – скрытые под более молодыми образованиями), д–е) складчатых подзон (д – установленные, е – скрытые под более молодыми отложениями), ж) стратиграфические границы прогибов, впадин, структурно-вещественных комплексов; 25 – тектонические ограничения аллохтонов; 26 – брахисинклинали (а), брахиантиклинали (б); 27 – разломы; 28 – оси синклиналей.

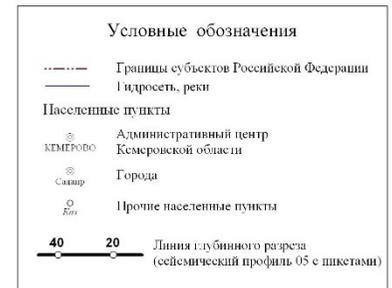
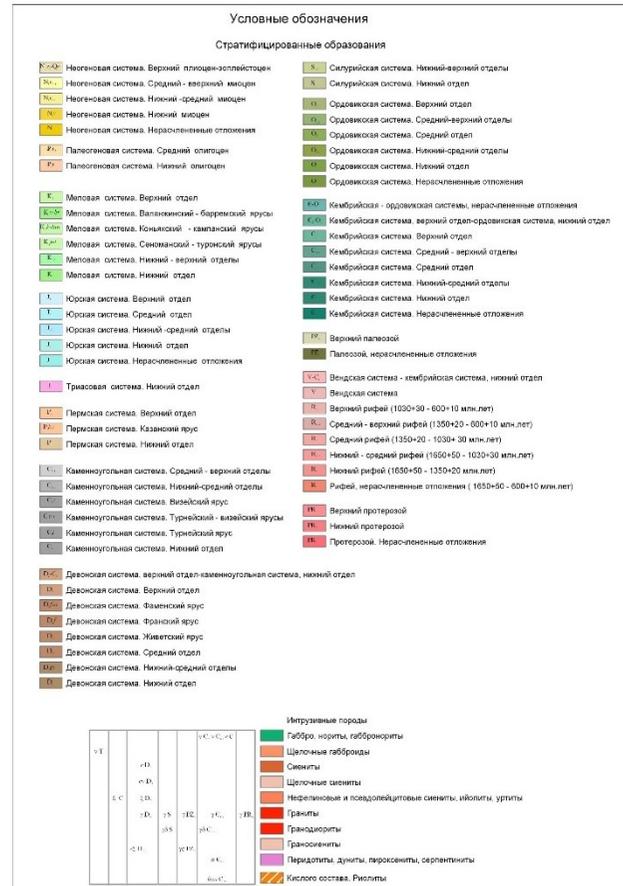
На рисунках 2.2 и 2.3 указаны основные стратиграфические подразделения, отложения которых распространены на площади изучаемого бассейна, а также их расположение относительно друг друга.

Весьма неоднородны показатели пластов бассейна по мощности (таблица 2.1). При этом тонкие пласты в основном ассоциированы с нижними и средними горизонтами балахонской и кольчугинской серий в Приалатауской зоне. Мощные пласты тяготеют к верхним и средним частям вышеупомянутых свит в Центральной и Присалаирской участках бассейна. Пласты наибольшей мощности залегают в отложениях балахонской серии на юго-западе и северо-востоке бассейна [123].

Эра-тема	Система	Отдел, млн лет	Ярус, подъярус	-	Серия	Подсерия	Свита, (горизонт)	-	Мощность, м	Цикл угле накопления					
Мелозойская Mz	Юрская J	-	-	-	Тарбаганская J ₁₋₂	-	Терсюкская	J _{1-2 tr}	-	Тарбаганский буроголовный J ₁₋₂					
		-	-	-		-	Осиновская	J _{1 os}	-						
		-	-	-		-	Абашевская	J _{1 ab}	-						
		-	-	-		-	Распадская	J _{1 rs}	-						
	Триасовая T	Нижний T ₁₋₂	Индский	T _{1 i}	Абинская T _{1-2ab}	-	Яминская	T _{2 jam}	-	Перерыв					
-	-	-	-	-		Сосновская	T _{1-2 ss}	-	-						
Палеозойская Pz	Верхний палеозой P ₂₋₃	Татарский P _{3 t} 265,8	Вятский	P _{3 vt}	Кольчугинская P _{2-3 kl}	Ерунаковская P _{2-3 er}	Тайлуганская	P _{3 tl}	500-700	Кольчугинский каменно-угольный P ₂					
			Северодвинский	P _{3 vl}			Грамотеинская	P _{3 gr}	200-670						
		Биармийский P _{2 b} 270,67	Уржумский	P _{2 ur}		Ильинская P _{2 il}	Ленинская	P _{2 ln}	600-800		Усвятская	P _{2 us}	150-1300		
			Казанский P _{2 kz}	Уфимский			P _{1 u}	Казанково-Маркинская	P _{2 km₂}			400-1000	Казанково-Маркинская	P _{2 km₁}	400-1000
							Артинский	P _{1 ar}	Митинский			P _{2 mt}	-	Кузнецкая P _{2 kz}	Митинский
		Нижний P ₁ Приуральский P _{1 p} 299,0	Ассельский	Кунгурский		P _{1 k}	Балахонская C _{1-P1 bl}	Верхне-балахонская P _{1 bl₂}	Старокузнецкий		P _{2 sk}	500-1100	Балахонский каменно-угольный C _{2-P2}		
				Сакмарский		P _{1 s}			Кемеровская		P _{1 kr}	40-250			
				Ишановская		P _{1 is}			Ишановская		P _{1 is}	110-250			
				Промежуточная		P _{1 pr}			Промежуточная		P _{1 pr}	200-550			
				Нижне-балахонская C _{2-3 bl₁}		Алькаевская			C _{3 al}		100-550				
	Верхний C ₃ 306,5	Касимовский	Московский	C _{2 m}	Остроговская C _{1-2 os}	Верхне-балахонская P _{1 bl₂}	Мазуровская	C _{2 mz}	100-450	Перерыв					
			Башкирский	C _{2 b}			Каезовский	C _{2 kz}	200-600						
			Серпуховский	C _{1 s}			Евсеевский	C _{1 ev}							
	Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-				
				Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-				
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский	C _{1 vt}	-	-					
			Турнейский	C _{1 t}	-	-	-	-	-	-					
Средний P ₂	Каменноугольная C	Нижний C ₁ 359,2	Визейский	C _{1 v-s}	Мозжухинская C _{1 v}	-	Верхотомский								



в 1 сантиметре - 25 километров
 25 0 25 50 75 100 км



Карта составлена по материалам цифровой модели "Геологической" карты России и прилегающих акваторий масштаба 1:2 5 000 000 СПб, 2004 г.

Рисунок 2.3 – Геологическая карта Кузнецкого угольного бассейна [135]

Таблица 2.1 – Распределение угольных пластов Кузнецкого бассейна по мощности

№ п/п	Тип пласта	Мощность, м	Доля в пределах бассейна, %
1	Весьма тонкие	<0,7	9
2	Тонкие	0,7 – 1,2	15
3	Средние	1,2-3,5	39
4	Мощные	3,5-15,0	36
5	Весьма мощные	>15,0	1

Литологический состав и угленосность серий, отдельных свит и подсвит Кузбасса детально описана в ряде работ российских специалистов [124 - 134]. В целом регион является достаточно изученным с геологической точки зрения и освоенным в связи развитием угледобывающей промышленности во второй половине XX столетия. Как и для большинства угленосных провинций, вскрышные и вмещающие породы рассматриваемого бассейна представлены преимущественно песчаниками, алевролитами, аргиллитами, а также рыхлыми четвертичными отложениями. Песчаники и алевролиты Кузбасса обладают значительно отличающимися физико-механическими свойствами, так как в них может превалировать карбонатный или глинистый цемент. Во втором случае механические свойства (пределы прочности на сжатие и сдвиг, а также величины угла внутреннего трения и удельного сцепления) имеют гораздо более низкие показатели, а при воздействии атмосферной влаги и температуры породы быстро разрушаются в насыпи отвала (рисунок 2.4).

Отдельно необходимо рассмотреть распространенность и характеристики рыхлых четвертичных отложений в пределах Кузнецкого каменноугольного бассейна [136].

а)



б)



Рисунок 2.4 – Состояние пород, уложенных в тело отвала, демонстрирующие результаты процессов выветривания песчаников и алевролитов в поверхностных условиях

Как и на большей части нашей страны, четвертичные отложения на площади Кузнецкой котловины распространены практически повсеместно. Они представлены аллювиальными песчано-глинистыми и гравийно-галечными отложениями, покровными элювиальными, делювиальными и эоловыми суглинисто-щебенистыми отложениями водоразделов и техногенными образованиями отвалов. Мощность четвертичных отложений (исключая техногенные) колеблется от 1-2 до 60 - 80 м [137]. На рисунке 2.5 представлена стратиграфическая схема четвертичных отложений.

Эра-тема	Система	Отдел/ раздел		Ярус/ звено	Степень	Свита/ отложения		
Кайнозойска Kz	Четвертичная Q	Голоценовый Q _H	Плейстоценовый и голоценовый объединенные (перасчлененные) Q _{PH}	Современное Q _{IV}	-	Техногенные отложения	tH2	
						Проловиальные отложения	pH	
						Палюстринные отложения	pH	
						Аллювиальные отложения пойменных террас	aH	
		Плейстоценовый Q _P		Верхнее Q _{III}	-	Q _{III⁴}	Делювиально-пролювиальные отложения	dpIII-H
							Еловская свита	LIIIel
					Q _{III³}	Элювиально-делювиальные отложения	edIII	
						Аллювиальные отложение первой террасы	a ¹ III ₁	
					Q _{III¹} , Q _{III²}	Краснобродская свита	laIIIkr	
						Аллювиальные отложение второй террасы	a ² III ₂	
				-	Аллювиальные отложения третьей террасы	a ³ III ₁₋₂		
				Среднее Q _{II}	-	Терентьевская толща	all-IIItr	
	-	Бачатская свита			LII-IIIbc			
	-	Кедровская свита			laI-IIkdr			
	Нижнее Q _I	-		Сергеевская свита	L,pEII-Isr			
Эоплеистоценовый Q _E	Верхнее Q _{EII}	-	Сагарлыкская свита	laEsg				
	Нижнее Q _{EI}	-						
Неогеновая N	Плиоцен N ₂	-	-	Моховская свита	dpN ₁ -N ₂ mh			
	Миоцен N ₁	-	-	Меретская свита	daN ₁ mr			

Рисунок 2.5 – Стратиграфическая схема покровных отложений Кузбасса

2.2. Особенности геологического строения Ерунаковского каменноугольного месторождения

Ерунаковское месторождение располагается в юго-восточной части Ерунаковского геолого-экономического района. На рисунке 2.6 показаны лицензионные участки, выделенные в рамках всего месторождения. На западе оно ограничивается Успенским взбросом, на севере Усковским и Бугровским профилями и нарушением 1, на юге и востоке р. Томью. Ерунаковское месторождение имеет относительно простое строение и отнесено к 1 группе. Угленосные отложения ассоциированы с двумя крупными синклиналями (Усковской и одноименной Ерунаковской), которые разделены антиклинальными

относятся к тайлуганской свите кольчугинской серии верхней перми. Осадки свиты перекрываются рыхлыми четвертичными отложениями.

Тайлуганская свита (P_{3tl}) полностью вскрыта на Северо-Талдинском, Новоказанском, Талдинском и Караканском месторождениях. Тайлуганская свита является самой верхней свитой верхнепалеозойских отложений Кузбасса. Отложения лицензионных участков занимают самую нижнюю часть тайлуганской свиты. Нижняя граница свиты проведена по почве пласта 78. Полная мощность ее до границы с триасом колеблется от 720 до 1040 м. Свита содержит 18 пластов угля различной мощности. Наиболее мощные пласты угля 10–20 м наблюдаются в нижней части свиты. Коэффициент рабочей угленосности более 14 % [121].

Литологический состав полускальных отложений изучаемого участка можно охарактеризовать как чередование крупных пластов песчаников, алевролитов и углей, при этом аргиллиты в разрезе встречаются достаточно редко.

Соотношение литологических разностей в границах изучаемого участка недр следующее: песчаники - 29%, алевролиты - 57%; уголь каменный - 14%, аргиллиты - менее 1%. Среди наиболее значимых закономерностей угленосности и изменения литологического состава района выявлены следующие:

- в разрезе с юга на север по простиранию и с запада на восток по падению фиксируется уменьшение доли песчаников;
- между пластами 78–79, 82-83, 83-84, 86-87 наблюдаются наиболее мощные слои песчаников, между пластами 78 и 79 мощность песчаников составляет до 37 м;
- в разрезе исследуемого лицензионного участка недр содержится 9 пластов угля от 86 до 78, мощностью от 0,8 до 13 м;
- суммарная мощность пластов составляет в среднем около 24 м.

Первоначально, по результатам разведки, все рыхлые отложения в границах участка Ерунаковский Южный были отнесены к четвертичному периоду. Однако, позднее, при проведении работ по изучению участка Ерунаковский IV и при эксплуатации Талдинского месторождения на участке недр по лицензии КЕМ

11672 ТЭ, было определено, что формирование рыхлых отложений началось еще в меловом периоде [121].

Несколько подробнее рассмотрим характеристики четвертичных отложений, они обладают наименьшими показателями механических свойств, поэтому в ряде случаев именно они могут определять общее поведение откосного сооружения, в том числе, из-за их нахождения в основании отвальных насыпей.

Верхние горизонты рыхлых отложений представлены голубовато-серыми иловатыми суглинками и лессовидными суглинками желтовато-коричневого цвета. Выделяется несколько свит четвертичных отложений, характеризующихся отличным составом и соответственно показателями физико-механических свойств [124].

По характеру отложений можно сделать вывод о холодном и умеренно-холодном, влажном климате в четвертичном периоде и существовавших в то время лесотундровых и лугостепных ландшафтах. Общая мощность рыхлых отложений на изучаемом участке колеблется от 1,5–2 м в пониженных формах рельефа, до 36 м на водоразделах.

Местами, под слоем рыхлых отложений залегают галечники в форме линз мощностью от 0,5 м до 9 м. Галечник сложен хорошо окатанной галькой изверженных и осадочных пород, размером до 0,1-0,15 м в поперечнике. Линзы галечника прослеживаются на всех геологических разрезах участков.

На участке протекает ряд небольших постоянных водотоков, которые формируют аллювиальный тип отложений, который представлен глинистыми разностями с включениями слабоокатанных различной крупности обломков песчаников и алевролитов (рисунок 2.7). Аллювиальные отложения на периферии пойм рек, как правило, состоящие исключительно из глинистых разностей, имеют крайне низкую несущую способность, не выдерживают веса человека.

Рассматриваемые участки имеют простое тектоническое строение, их основной структурой является Ерунаковская синклинали, изредка осложненная пологими антиклинальными и синклиналиными перегибами.



Рисунок 2.7 – Аллювиальные отложения реки Малая Борисовка

Шарнир Ерунаковской синклинали в границах лицензионных участков находится в районе 15 р.л. и полого погружается на восток под углом 4-7°. Соответственно, направление падения угольных пластов в северной части участков на юго-восток под углами 5-8°, а в южной части участков - на северо-восток под углами 4-6°.

На участке установлено только одно более или менее крупное дизъюнктивное нарушение – это согласный взброс П-П (рисунок 2.8), проходящий несколько южнее центра участка в направлении, близком к меридиональному. За пределами участка это нарушение резко меняет направление на северное. Взброс П-П падает на северо-восток под углами от 30° в юго-восточной части участка до 17° в северо-западной. Амплитуда перемещения крыльев в стратиграфическом разрезе колеблется от 20 до 75 м.

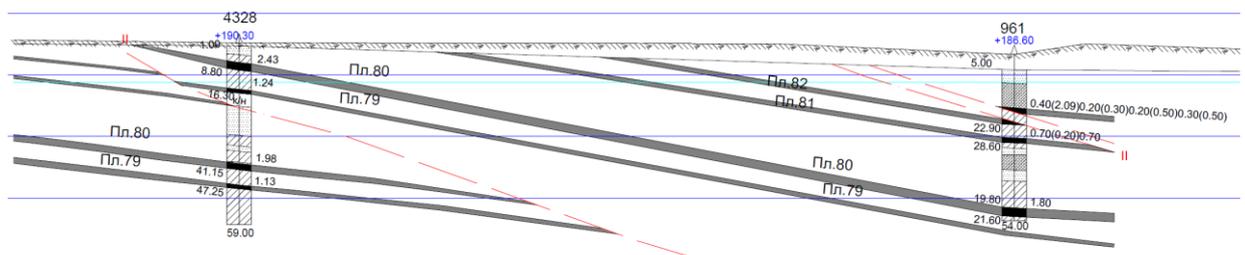


Рисунок 2.8 – Положение тектонического нарушения П-П относительно угольных пластов

Относительно простое геологическое строение, малые углы наклона синклиналильных структур позволяют при ведении добычных работ на Ерунаковском поле Талдинского разреза АО «УК «Кузбассразрезуголь» осуществлять внутреннее отвалообразование. При этом достаточно большое количество четвертичных отложений сложного и разнообразного генезиса требует повышенного внимания при проектировании отвальных насыпей с целью предотвращения формирования крупных участков, сложенных исключительно слабыми четвертичными образованиями.

2.3. Климатические условия и поверхностные водотоки района расположения месторождения

Так как в дальнейшем в работе будет уделено внимание, в первую очередь, влиянию изменения гидрогеологических условий на устойчивость откосных сооружений, то более подробно рассмотрим климатические условия района и основные водотоки. Комплекс данных факторов во многом определяет гидрогеологические условия территории.

Основным постоянным водотоком в пределах района Ерунаковского месторождения является р. Томь, от города Новокузнецка до города Томска она является типичной равнинной рекой с медленным течением. Протекая через Кемеровскую область, река собирает основную массу водосбора региона.

В верховьях река имеет достаточно узкую долину и большую скорость течения, затем характеристики реки меняются: от устья Тебы до Новокузнецка ширина русла увеличивается до 120-300 метров, ширина долины достигает 1,5-2 километра, при этом скорость течения уменьшается до 1,5-2 м/с.

После слияния Томи с ее двумя крупными притоками, реками Уса – район г. Междуреченск и Мрассу – район г. Мыски, река становится более широкой и полноводной. Ширина русла составляет 200-400 метров, скорость течения – 1м/с. Правый берег реки остается крутым, левый становится пологим. Далее от устья реки Мрассу Томь пересекает границу горных массивов с Кузнецкой котловиной и

приобретает более равнинный характер течения, в русле реки появляются острова, на плесах скорость течения снижается до 0,1 – 0,3 м/с.

В пределах Кузнецкой котловины долина реки расширяется, появляется пойма шириной 2–3 км, река приобретает черты равнинного потока. Ближе к Томску русло реки становится широкопойменным, с глубинами на перекатах 0,4–0,6 м, а в плёсах – до 10 м. Средний уклон русла 0,24‰. Русло делится на многочисленные рукава и пойменные протоки.

Река Томь в пределах рассматриваемого участка имеет северо-восточное направление течения, ширина русла достигает 500 м. Течение реки неравномерное и определяется глубиной русла, которое, в свою очередь, зависит от слагающих донных пород. В связи со сравнительно небольшим уклоном реки (0,25‰) донный размыв в настоящее время почти отсутствует, господствующим является боковой размыв. Условия течения реки определяют подмыв левого берега, также в русле реки образуется большое количество островов, овально вытянутых вдоль течения и сложенных песчано-галечниковым материалом.

Гидрогеологический режим реки Томи характеризуется двумя максимумами – весной и осенью и двумя минимумами – зимой и летом (рисунок 2.9).

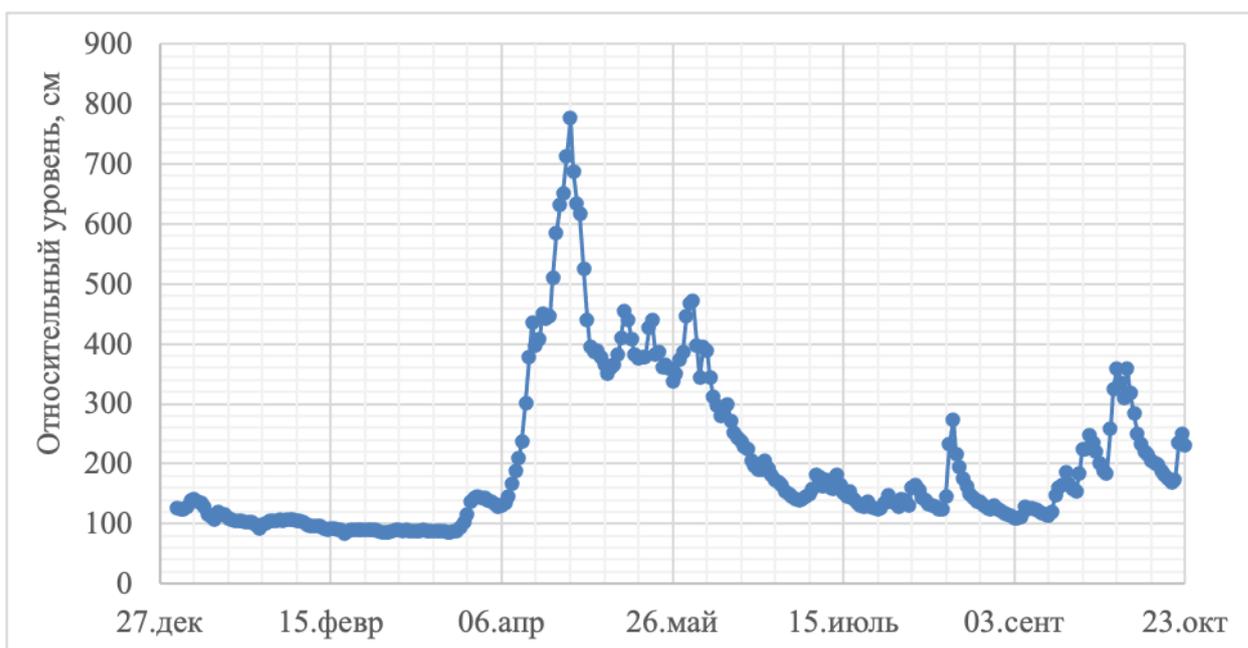


Рисунок 2.9 – Отметки р. Томи по гидропосту в г. Новокузнецк за 2015 год

По материалам, собранным на гидропостах, предоставленным Гидрометцентром России в городах Междуреченске, Новокузнецке и Кемерово в период с 2008 до 2019 года (рисунки 2.10 – 2.11, хорошо прослеживается закономерность двух годовых максимумов. Однако в некоторые годы (например, 2013, 2016, 2018) осеннее поднятие воды выражено слабо, тогда как в 2012 было сравнимо с весенним.

В районе Новокузнецка уровень Томи весной в отдельные годы повышается более чем на 600 см, однако подобные явления носят краткосрочный характер в период активного снеготаяния в конце апреля или мае в зависимости от погодных условий. Наиболее сильные паводковые явления отмечались в 2011, 2013 и 2015 годах несмотря на то, что уровень в 2011 году в районе Новокузнецка не превысил отметку в 700 см, высокий уровень воды сохранялся относительно продолжительное время. В 2012 и 2014 годах в период весеннего паводка наблюдались минимальные уровни реки Томи для этого времени года.

На территории участка, эксплуатируемого Ерунаковским полем Талдинского филиала АО «УК «Кузбассразрезуголь» также развиты системы более мелких водотоков, их долины в той или иной степени подработаны при ведении горных работ. Река Большая Ерунаковка течет в направлении с северо-запада на юго-восток, часть ее долины с прилегающими территориями сработана при освоении месторождения.

На сегодняшний день на границе земельного отвода на северо-западном пересечении с Ерунаковским разведочным профилем в долине реки расположен искусственный водоем с абсолютной отметкой зеркала воды ~224 м. В нижнем течении в результате поступления осветленной воды из пруда-отстойника в реку Б. Ерунаковка формируется водоток, который протекает по поселку Ерунаково и впадает в р. Томь.

Русло р. Большой Ерунаковки сильно меандрирует, его ширина колеблется от 2 до 6 м, ниже устья речки Малой Ерунаковки оно прорезает коренные породы, обнажая алевролиты, песчаники и уголь. В русле также имеются отложения галечников и отдельных хорошо окатанных валунов.

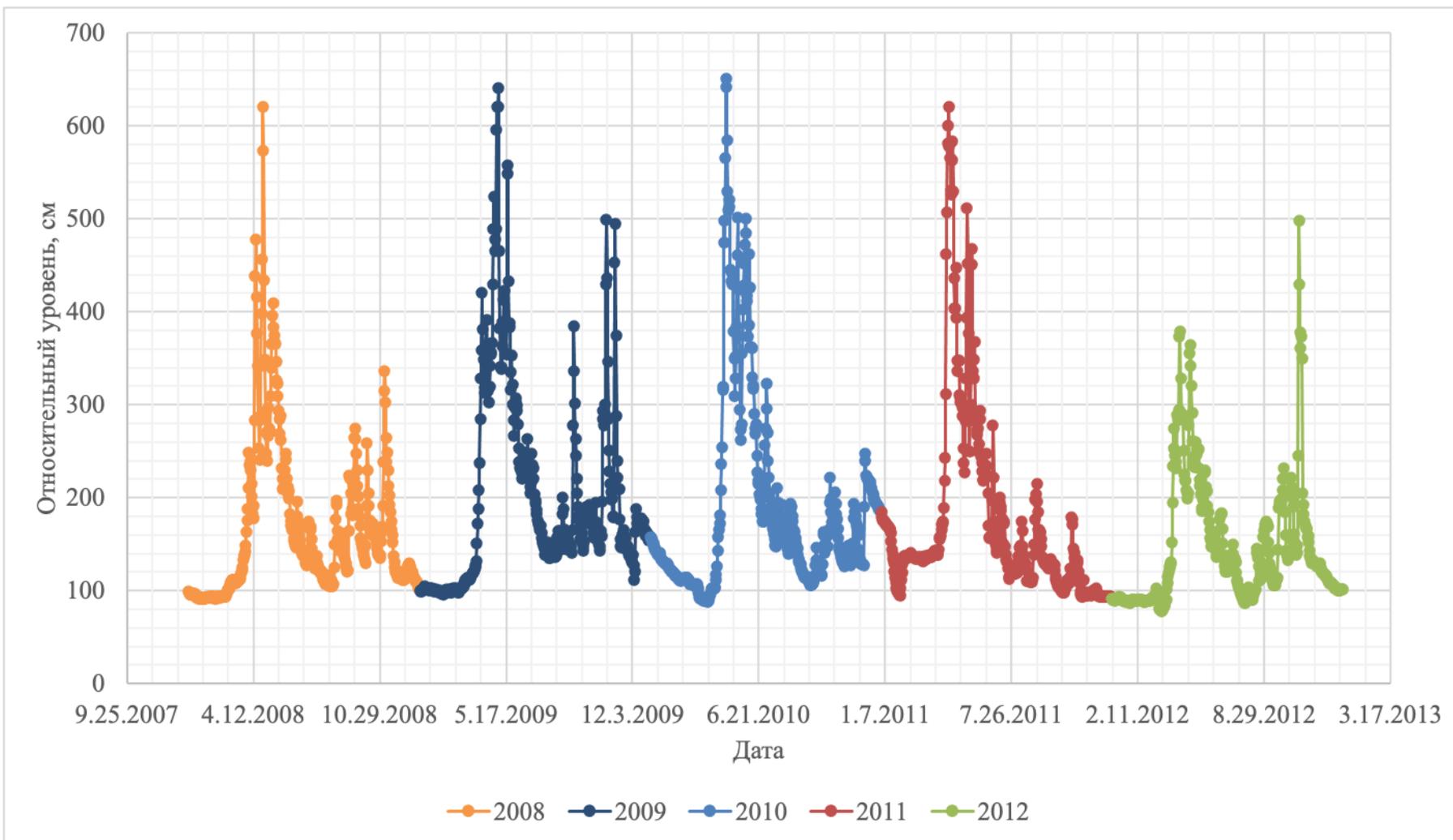


Рисунок 2.10. – Уровни воды в р. Томи по гидропосту в г. Новокузнецк в период с 2008 по 2012 г. (абсолютная отметка относительного нуля 192,46 м)

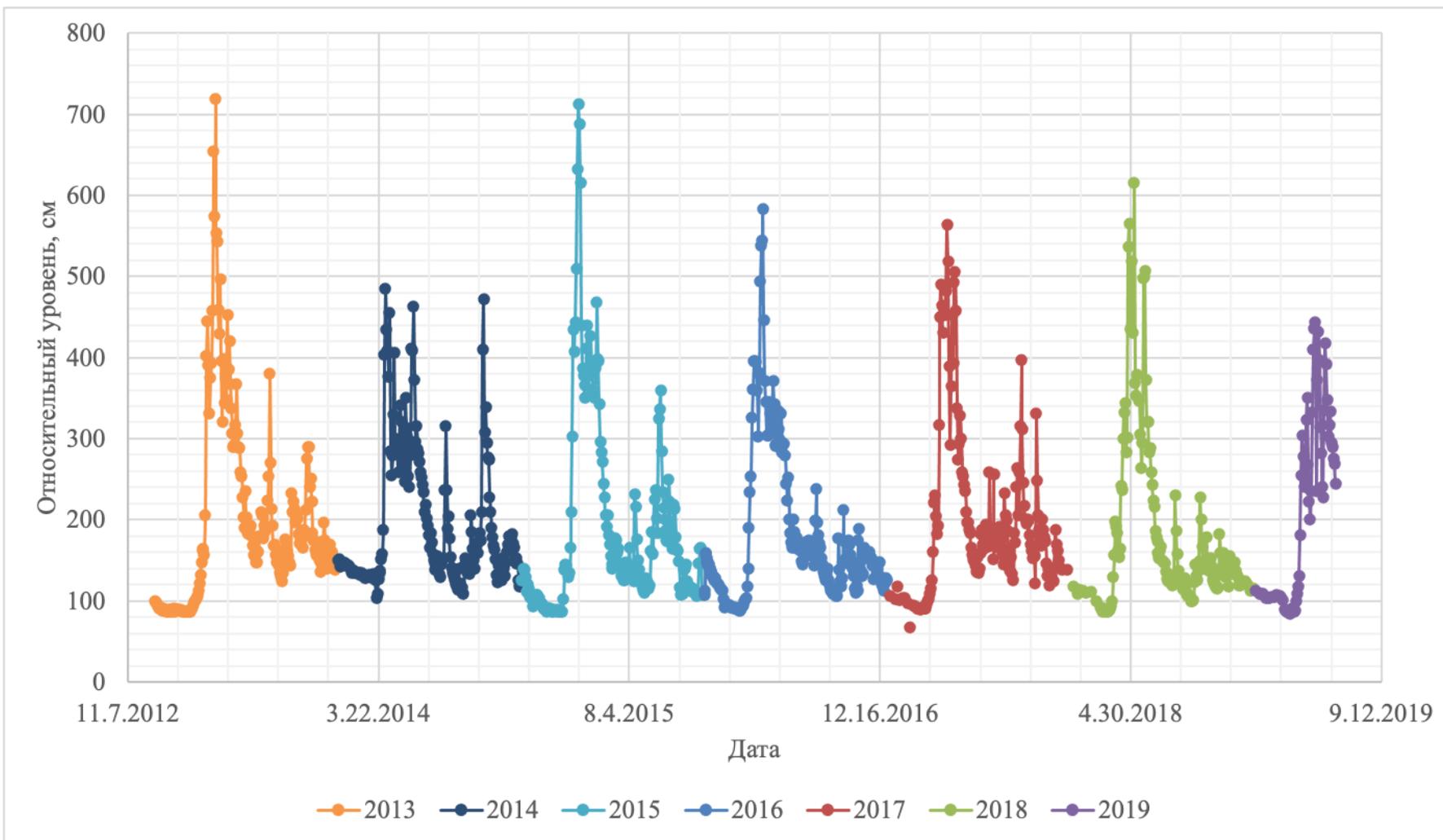


Рисунок 2.11 – Уровни воды в р. Томи по гидропосту в г. Новокузнецк в период с 2013 по 2019 г. (абсолютная отметка относительного нуля 192,46 м)

Река Малая Ерунаковка ранее являлась главным притоком Большой Ерунаковки, но на сегодняшний день русло реки полностью сработано. В верховье реки располагается наибольший по площади искусственный водоем на рассматриваемой территории (два пруда-отстойника, соединенные трубопроводом, питание которых осуществляется за счет осадков и других источников), абсолютная отметка зеркала воды составляют ~257,3 м.

Река Большая Коровиха протекает вдоль южной границы земельного отвода, в ее русле сформирован гидроотвал «Коровихинский», главным левым притоком является р. Малая Коровиха, русло которой практически полностью сработано в результате добычи угля, на его месте сформирована техногенная насыпь отвала «Южный».

Общей чертой для долин всех рек является их заболоченность и залесенность. Это типично таёжные небольшие водотоки, их питание в весенний период связано с таянием снега, а в межевые периоды – осуществляется за счёт подземных вод.

Значительное влияние на режим поверхностных водотоков и подземных водоносных горизонтов оказывает климат (количество осадков, интенсивность таяния снега, средняя температура). Район расположения месторождения характеризуется континентальным климатом со значительными годовыми и суточными колебаниями температур. Это обусловлено региональным положением внутри континента, а также его приуроченностью к зоне сочленения Кузнецкой котловины с горными сооружениями Кузнецкого Алатау, Горной Шории и Салаира [138].

Среднегодовая температура воздуха составляет +2,1°C. Продолжительность безморозного периода – 123 дня. Район месторождения расположен в зоне достаточного увлажнения: в среднем выпадает около 450 мм осадков, основная часть которых приходится на летний период, при этом наименьшее количество осадков приходится на февраль и март (таблица 2.2).

Следует отметить, что в рамках климатических наблюдений выделяются длительные периоды, в которые количество осадков значительно превышает норму

(рисунок 2.12), это приводит к значительному, часто длительному, повышению уровня подземных вод, как в массивах пород естественного, так и техногенного сложения.

Таблица 2.2 – Основные климатические показатели

	<i>Янв.</i>	<i>Фев.</i>	<i>Март</i>	<i>Апр</i>	<i>Май</i>	<i>Июнь</i>
Средняя температура, °С	-15,2	-13	-5,9	2,8	11,5	16,4
Средний максимум, °С	-11,1	-8	-0,7	8,5	18,3	22,7
Средний минимум, °С	-18,5	-16,7	-10	-1,8	5,8	11,1
Абсолютный максимум, °С	4,2	7,9	18,3	28,3	34,8	35
Абсолютный минимум, °С	-47,7	-42,2	-33,9	-26,1	-8,9	-1,4
Норма осадков, мм	24	18	16	26	38	54

	<i>Июль</i>	<i>Авг.</i>	<i>Сент.</i>	<i>Окт.</i>	<i>Ноябрь</i>	<i>Дек.</i>	<i>Год</i>
Средняя температура, °С	18,8	16,4	9,9	2,9	-6,7	-13,2	2,1
Средний максимум, °С	24,8	22,7	15,9	7,9	-3,0	-9,1	7,4
Средний минимум, °С	13,7	11,2	5,3	-0,6	-9,5	-16,5	-2,2
Абсолютный максимум, °С	36	35,9	31	24,9	17,4	7,3	36
Абсолютный минимум, °С	2,2	0,2	-6,7	-23	-37,7	-40	-47,7
Норма осадков, мм	69	56	36	42	38	30	447

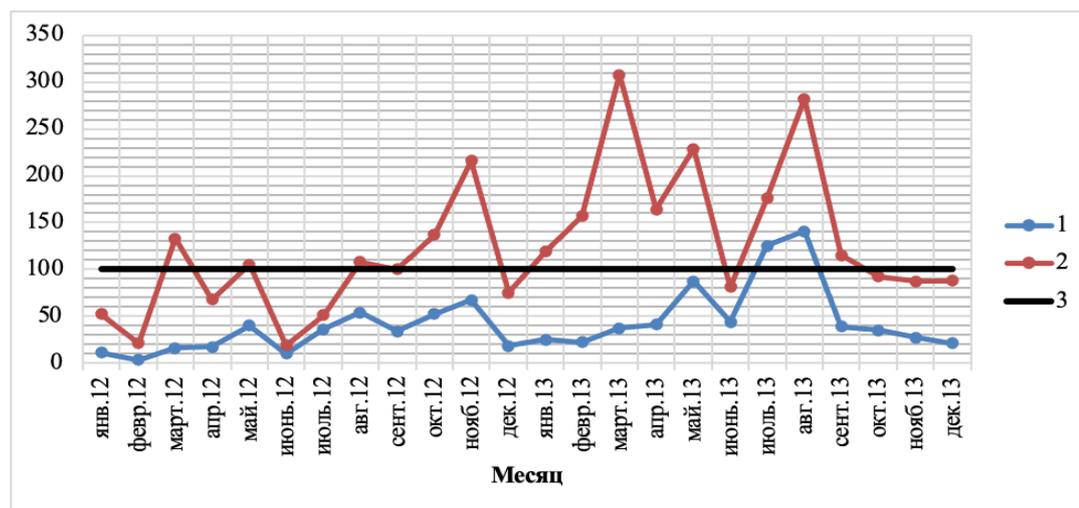


Рисунок 2.12 – Количество осадков в районе проведения исследования в период проведения исследований: 1 – количество осадков, мм; 2 – процент от месячной нормы, %, 3 – линия нормы осадков в процентах

Преобладающее направление ветров на площади Ерунаковского каменноугольного месторождения южное и юго-западное. Среднегодовая скорость ветров – 2,3 м/сек. В то же время повторяемость штилевой погоды составляет 25%. Данный климат определяется как Dfb, согласно классификации Кеппен-Гейгера [138].

2.4. Инженерно-геологические условия Ерунаковского месторождения

Как упоминалось выше, на участке Ерунаковский Южный распространение имеют рыхлые отложения мел-четвертичного возраста, а также полускальные породы, сформировавшиеся в пермский период. Последние в зоне выветривания интенсивно трещиноваты, в связи с этим имеют более низкие прочностные показатели, чем породы с ненарушенной структурой. В связи с этим при анализе свойств вскрышных и вмещающих пород участка Ерунаковский Южный разделяют на несколько групп, имеющих принципиальные отличия в показателях свойств:

1. рыхлые отложения всех возрастов;
2. выветрелые коренные породы пермского возраста;
3. незатронутые выветриванием коренные породы пермского возраста;
4. горельники.

На стадии ведения геологоразведочных работ в соответствии требованиями точности и достоверности для принятия проектных решений и ведения эксплуатационных работ были определены показатели физико-механических свойств пород, слагающих изучаемые участки недр (таблицы 2.3 и 2.4).

Рассмотрим свойства пород в массиве, которые складываются во внешние и внутренний отвалы в процессе освоения месторождения.

Верхняя часть разреза представлена преимущественно суглинками, которые имеют бурый, буро-желтый цвет, встречаются отдельные карбонатные включения. Гранулометрический состав включает от 12 до 30% глинистых частиц и от 50 до 70% пылеватых.

Таблица 2.3. – Физико-механические свойства горных пород с ненарушенной структурой

Группы пород	Типы пород	Гранулометрический состав (содержание фракций, %)			Действ. плотность, кг/м ³	Кажущаяся плотность, кг/м ³			Естественная влажность, %	Пористость, %	Коэффициент пористости	Степень влажности	Временное сопротивление, кПа		Коэффициент крепости по Протодьяконову	Угол внутреннего трения, град.	Сцепление кПа
		Песчаная	Пылевая	Глинистая		Влажной породы	Влажной породы	Скелета					сжатию	растяжению			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Мел-палеоген-неоген-четвертичные рыхлые отложения	Глины	24,2	34,0	41,9	2540	1940	-	1560	23,55	38,51	0,634	0,913	-	-	-	11° 34'	65,5
	Суглинки	15,9	61,2	22,9	2590	2030	-	1690	21,22	34,97	0,547	0,947	-	-	-	19	65,6
	Галечник	-	-	-	-	1760	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	01,25
Породы перми, затронутые выветриванием	Песчаники	60,66	29,42	9,92	2660	2370	2340	2230	4,38	16,14	0,197	0,573	16,72	1,8	1,4	47	109,7
	Алевролиты	52,40	31,39	16,21	2690	2410	2410	2340	3,75	12,8	0,151	0,658	15,59	2,3	3,9	42	108,0
	Аргиллиты	-	-	-	2690	2450	-	2390	4,29	11,07	0,126	0,753	11,5	1,4	-	47° 30'	71,3
	Каменные угли	-	-	-	1250	1230	-	1170	5,04	6,74	0,072	0,878	-	-	-	28	75,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Породы перми, незагнурные выветриванием	Песчаники с глинистым и карбонатно-глинистым цементом	66,04	23,24	10,72	2670	2510	2610	2420	2,43	10,08	0,117	0,609	37,95	4,85	5,6	45	249,0
	Песчаники "минерализованные" с карбонатным цементом	-	-	-	-	-	2820	-	-	-	-	-	-	-	8,8	-	-
	Алевриты с глинистым и карбонатно-глинистым цементом	54,19	26,55	19,26	2700	2540	2620	2420	3,04	10,17	0,115	0,721	25,62	3,14	5,7	47	177,0
	Алевриты «минерализованные» с карбонатным цементом	-	-	-	-	-	2760	-	-	-	-	-	-	-	8,2	-	-
	Переслаивание песчаников и алевритов	-	-	-	-	-	2630	-	-	-	-	-	-	-	5,5	-	-
	Аргиллиты	-	-	-	2640	2480	2690	2420	2,41	8,6	0,094	0,452	12,53	2,11	7,12	42	87,2
	Каменные угли	-	-	-	1400	1320	-	1200	5,84	12,83	0,151	0,538	-	-	-	30	68,3
	Сидеритовые конкреции	-	-	-	-	-	2910	-	-	-	-	-	-	-	5,0	-	-

Таблица 2.4. – Физико-механические свойства горных пород с нарушенной структурой (в числителе указаны минимальные и максимальные значения, в знаменателе – среднее)

Типы пород	Кажущаяся плотность, кг/м ³	Коэффициент разрыхления	Коэффициент внутреннего трения	Угол внутреннего трения, град.	Сцепление, кПа
Суглинки	<u>1370-2010</u> 1220	<u>1,01-1,43</u> 1,22	<u>0,0625-0,406</u> 0,260	<u>3°36' -22°06'</u> 14°24'	<u>12,5-81,4</u> 45,2
Глины	<u>1360-1840</u> 1630	<u>1,01-1,48</u> 1,19	<u>0,125-0,218</u> 0,160	<u>7°06' -12°18'</u> 9°05'	<u>11,5-56,3</u> 38,7
Песчаники выветрелые	<u>1380-1690</u> 1580	<u>1,38-1,58</u> 1,48	<u>0,625-0,812</u> 0,687	<u>32°-39°06'</u> 34°30'	<u>12,5-50,0</u> 26,6
Песчаники неветрелые	<u>1430-1870</u> 1650	<u>1,34-1,64</u> 1,50	<u>0,437-1,0625</u> 0,670	<u>24°-46°44'</u> 32°	<u>12,5-125,0</u> 29,0
Алевриты выветрелые	<u>1530-1800</u> 1660	<u>1,34-1,56</u> 1,48	<u>0,375-0,825</u> 0,665	<u>20°34' -39°30'</u> 32°0'	<u>5,1-75,0</u> 31,0
Алевриты неветрелые	<u>1520-1820</u> 1670	<u>1,25-1,64</u> 1,50	<u>0,375-0,812</u> 0,625	<u>20°34' -39°06'</u> 30°	<u>5,1-136,4</u> 37,5
Аргиллиты выветрелые	<u>1610-1680</u> 1650	<u>1,00-1,52</u> 1,38	<u>0,500-0,688</u> 0,600	<u>26°31' -34°51'</u> 31°	<u>25,0-50,0</u> 40,6
Аргиллиты неветрелые	<u>1650-1680</u> 1660	<u>1,40-1,57</u> 1,49	<u>0,625-0,875</u> 0,729	<u>32° -41°10'</u> 36°06'	<u>12,5-50,0</u> 33,3
Угли выветрелые	<u>810-820</u> 810	1,51	<u>0,500-0,562</u> 0,531	<u>26°31' -29°24'</u> 28°	<u>75,0-75,1</u> 75,0
Угли неветрелые	<u>680-940</u> 820	<u>1,44-1,84</u> 1,56	<u>0,312-0,719</u> 0,584	<u>17°18' -36°42'</u> 30°	<u>18,7-125,0</u> 68,3

Суглинки имеют относительно низкие показатели механических свойств, в том числе пределы прочности на сдвиг и сжатие, угол внутреннего трения имеет значения в диапазоне 7° - 29° , а удельное сцепление 12,6– 100 кПа

Лабораторные испытания при нарушении структуры суглинков показывают значительное снижение механических свойств, так угол внутреннего трения в среднем уменьшается на $4^{\circ}36'$, а удельное сцепление на 20,4 кПа. Таким образом, при складировании суглинков в отвальные массивы их невысокие механические показатели будут дополнительно снижаться за счет нарушения естественного сложения.

Данный фактор, несомненно, нужно учитывать на стадии проектирования отвальной насыпи, предусматривать мероприятия по недопущению формирования крупных участков массива, сложенного исключительно глинистыми породами, которые будут формировать слабый слой в теле насыпи [139].

В разрезе рассматриваемого участка недр глины распространены гораздо меньше. Они имеют бурый и буро-желтый цвет. Гранулометрический состав включает в среднем около 42% глинистых частиц и 34% - пылеватых. Глины обладают несколько большей плотностью, чем суглинки, однако и содержат большее количество влаги, что определяет невысокие показатели механических свойств, однако они также снижаются при нарушении естественного сложения почти на 20% (угол внутреннего трения на $2^{\circ}29'$, а сцепление на 26,8 кПа)

Дочетвертичные отложения, являющиеся вмещающими породами, представлены преимущественно песчаниками и алевролитами.

Песчаники макроскопически относятся к средне- и мелкозернистым разностям с преимущественно серой окраской, меняющейся от пепельно-серой до серой, иногда с желтоватым оттенком. В данной литологической разности наблюдается выраженная слоистость, которая определяется наличием прослоев алевролитов и включений растительного детрита, последний имеет выраженную черную окраску.

По составу обломочной части песчаники полимиктовые, а по составу цементирующего материала среди них выделяются две разновидности пород: песчаники с карбонатным цементом и песчаники с глинистым цементом [140].

В независимости от принадлежности к выделенным выше типам обломочная составляющая песчаников представлена кварцем, полевыми шпатами, а также обломками кислых эффузивных пород, кроме того, в небольшом количестве присутствуют карбонаты и отдельности осадочных пород. В виде единичных включений встречаются зерна глауконита, циркона, турмалина [140].

Для песчаников первой разновидности характерно наличие частых прожилков кальцита и менее выраженная слоистость. Песчаники на карбонатном цементе отличаются в среднем более высокими показателями физико-механических свойств и более устойчивы в приповерхностных условиях при складировании в отвальные массивы.

Цемент песчаников второго вида преимущественно глинистый, в незначительном количестве встречаются карбонаты, часть песчаников имеют смешанный карбонатно-глинистый цемент.

На рассматриваемом участке выделяю три литологические разности алевролитов:

- крупнозернистые (0,05 - 0,10 мм);
- среднезернистые (0,02 - 0,05 мм)
- мелкозернистые (> 0,02 мм).

Цемент алевролитов преимущественно глинистый, существенно гидрослюдистый, по структуре - поровый. В виде частой примеси в составе цемента встречаются карбонаты. Средне- и мелкозернистые разности отличаются от крупнозернистых повышенным содержанием карбонатов и углистого вещества [140]. Среди мелкозернистых алевролитов встречаются крепкие прослой алевролита, имеющего более плотную текстуру и частые прожилки кальцита.

Для рассматриваемого участка недр в структуре вскрышных и вмещающих пород аргиллиты имеют относительно низкое распространение, они имеют темно-серый или серый цвет, иногда бурый оттенок. Состав аргиллитов: глинистый материал и карбонаты, количество которых значительно колеблется на разных участках месторождения. Большинство аргиллитов подвержены процессам выветривания.

Анализ таблиц 2.3 и 2.4 показывает, что выветрелые литологические разновидности песчаников, алевролитов и аргиллитов имеют значительно более низкие показатели всех механических свойств. Данный фактор необходимо учитывать при расчете параметров бортов и уступов карьера, а также откосов отвалов. Скорость и степень выветривания пород в техногенной насыпи также будут различными, продукты разрушения потенциально будут иметь разные фильтрационные свойства.

Несомненно, что при рыхлении (в том числе, взрывным способом), экскавации, складировании вскрышных пород в отвальный массив свойства их претерпевают значительные изменения. Рассмотрим, результаты лабораторных испытаний грунтов, которые были отобраны в теле отвала «Южный» Ерунаковского поля Талдинского филиала. С целью реализации инженерно-геологических исследований всего было пройдено четыре скважины, пересекающие тело насыпи на всю мощность. В указанной на рисунке 2.13 скважине 5 отбор образцов не проводился, она была пройдена с целью осуществления только гидрогеологических исследований.

В таблице 2.5 приведена характеристика отобранных образцов в каждой их скважин. Точки отбора определялись в соответствии с распределением отложений по времени складирования.

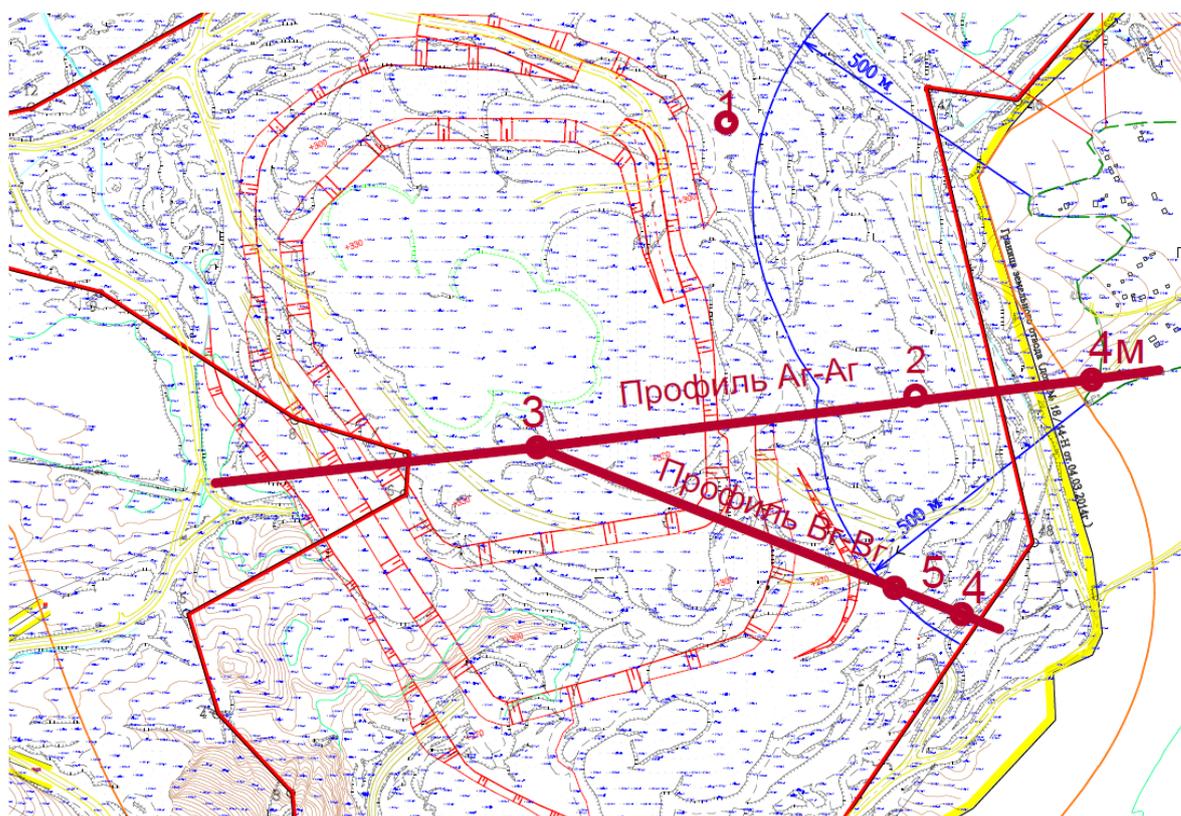


Рисунок 2.13 – Расположение инженерно-геологических скважин

Таблица 2.5 – Описание образцов, отобранных при бурении инженерно-геологических скважин

Скважина	№ Пробы	Глубина взятия образца, м	Описание образца	Дата отбора образца
1	1.1	11,0-11,3	Насыпной грунт. Сухой	10.03.2019
	1.2	27,1-27,3	Насыпной грунт. Супесь	10.03.2019
	1.3	36,0-36,3	Насыпной грунт	14.03.2019
	1.4	45,0-45,3	Насыпной суглинистый грунт	15.03.2019
	1.5	54,0-54,3	Насыпной грунт	15.03.2019
	1.6	62,0-62,3	Насыпной грунт	15.03.2019
	1.7	76,0-76,3	Насыпной грунт	
	1.8	89,0-89,2	Насыпной грунт	20.03.2018
	1.9	100,0-100,2	Насыпной грунт	21.03.2019
	1.10	111,0-111,3	Угольный шлам с породой	21.03.2019
2	2.1	5,0-5,3	Насыпной грунт	26.03.2019
	2.2	13,0-13,3	Насыпной грунт	26.03.2019
	2.3	20,0-20,3	Насыпной грунт	26.03.2019

Скважина	№ Пробы	Глубина взятия образца, м	Описание образца	Дата отбора образца
	2.4	28,0-28,3	Насыпной грунт	27.03.2019
	2.5	36,0-36,3	Насыпной грунт (щебень песчаника)	27.03.2019
	2.6	47,0-47,3	Насыпной грунт	31.03.2019
	2.7	55,0-55,3	Насыпной грунт	31.03.2019
	2.8	67,0-67,3	Насыпной грунт с супесчаным заполнителем	31.03.2019
	2.9	84,0-84,3	Насыпной грунт с суглинистым заполнителем	31.03.2019
	2.10	95,0-95,3	Насыпной грунт с суглинистым заполнителем	31.03.2019
	2.11	101,0-101,45	Уголь п/бл с алевролитом	11.04.2019
3	3.1	5,0-5,4	Насыпной грунт с суглинистым заполнителем	15.02.2019
	3.2	17,0-17,3	Насыпной грунт с сугл. зап.	15.02.2019
	3.3	30,0-30,3	Насыпной грунт	23.02.2019
	3.4	41,0-41,3	Насыпной грунт	23.02.2019
	3.5	51,0-51,3	Насыпной грунт маловлажный	24.02.2019
	3.6	66,0-66,25	Насыпной грунт (углистый шлам)	25.02.2019
	3.7	77,0-77,3	Насыпной грунт	02.03.2019
	3.8	87,0-87,3	Насыпной грунт	03.03.2019
	3.9	89,0-89,3	Насыпной суглинистый грунт	03.03.2019
4	4.1	3,0-3,3	Насыпной грунт	14.04.2019
	4.2	7,0-7,3	Насыпной грунт	14.04.2019
	4.3	11,0-11,3	Насыпной грунт	14.04.2019
	4.4	17,0-17,3	Насыпной грунт	14.04.2019
	4.5	20,7-21,0	Насыпной грунт	14.04.2019
	4.6	26,0-26,3	Галечник	15.04.2019
	4.7	31,0-31,3	Песок	15.04.2019

Для проведения лабораторных испытаний были изготовлены образцы горных пород из кернавого материала, полученного в скважинах №1, №2, №3. На основе исторических маркшейдерских наблюдений тело отвала было разбито на участки, которые были сформированы в пределах одного временного интервала, каждый из интервалов был опробован в рамках проведения инженерно-геологических работ.

Лабораторные испытания были проведены в Испытательном лабораторном центре (ИЛЦ) ООО «Газпром геотехнологии» на оборудовании, имеющем аккредитацию и соответствующее задачам исследования. Они были переданы в Испытательный лабораторный центр с сохранением свойств и условий естественного залегания горных пород. Керновый материал был представлен монолитами с единичной длиной не менее 20 см и диаметром не менее 11 см. Весь поступивший материал хранился до момента испытаний без доступа влаги и воздуха, что исключает нарушение естественной структуры и влажности керна. Образцы для проведения лабораторных исследований были изготовлены в соответствии с ГОСТ 21153.2-84 и 21153.3-85 [141-142].

Всего было выполнено следующее количество определений физико-механических свойств:

- влажность – 18;
- плотность – 18;
- гранулометрический состав – 18;
- коэффициент фильтрации K_f – 18;
- сопротивление срезу (для каждого образца минимум при трех различных нормальных нагрузках отличных от нуля) – 18;
- содержание растворимых включений (анализ водной вытяжки) – 18.

Испытания по определению значения сопротивления срезу были проведены методом одноплоскостного среза для определения следующих характеристик прочности: угла внутреннего трения φ и удельного сцепления C . Все испытания проводились по схеме неконсолидированного недренированного быстрого среза. Выбор данной схемы испытания обусловлен показателем текучести грунтов $I_L \geq$

0,5. Все образцы были изготовлены в форме цилиндра диаметром не менее 70 мм и высотой не менее 40 мм. Отбор материала из керна для изготовления образцов был осуществлен таким образом, чтобы максимальный размер частиц грунта в образце составляла не более 1/5 высоты образца.

Испытания были осуществлены на установках «Геотек», включающих измерительную систему АСИС.

Перед проведением эксперимента образец грунта был помещен в срезную коробку. Далее на образец грунта передавалось в одну ступень нормальное давление P , при котором проводился дальнейший срез образца. Нормальное давление рассчитывалось с учетом глубины отбора кернового материала. После передачи нормального давления приводился в действие механизм создания горизонтальной нагрузки. Скорость среза принималась равной 2,5 мм/мин. Испытание считалось законченным, когда срезающая нагрузка достигала максимального значения или относительная деформация образца достигала 10%. Время от момента начала прикладывания горизонтальной нагрузки до момента остановки эксперимента составляло не более 2 мин.

Определение срезной нагрузки τ проводилось при 3-6 различных значениях P . По измеренным в ходе эксперимента значениям деформаций γ , соответствующим различным напряжениям τ строились графики зависимости $\gamma = f(\tau)$. Для определения значений C и φ строились графики зависимости вида:

$$\tau = f(\sigma).$$

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление C определяют как параметры линейной зависимости $\tau = \sigma \cdot tg(\varphi) + C$.

Сводные данные по результатам испытаний приведены в таблице 2.6. Методика проведения испытаний соответствует ГОСТ 12248-2010 п. п. 5.1.5 [143].

Определение коэффициента фильтрации производилось методом переменного градиента напора (нестационарный режим фильтрации). Выбор данного метода обусловлен тем, что керновый материал представлял собой песчаные и глинистые грунты с проницаемостью близкой к значению 10^{-4} см/с.

Таблица 2.6 – Сводные данные по результатам определения основных физико-механических свойств

Количество определений		Физико-механические свойства			
		Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Удельное сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град
18	Минимальное значение параметра	1800	12	0,08	12
	Максимальное значение параметра	2120	32	0,37	30
	Среднее значение	1990	20,39	0,18	26,4

По результатам эксперимента строился график в координатах:

$$\ln\left(\frac{H_0}{H_0-S}\right) - (C \cdot t), \quad (2.1)$$

где H_0 – начальная высота уровня воды в пьезометре, отсчитывается от уровня слива воды;

S – снижение уровня воды в пьезометре, см;

t – время, за которое произошло снижение уровня воды на значение S , с.

$$C = \frac{F_k}{F_n I_k}, \quad (2.2)$$

где F_k – площадь поперечного сечения образца грунта, см²;

F_n – площадь фильтрационной трубки над образцом грунта, см²;

I_k – высота образца грунта, см [144].

Коэффициент фильтрации K_ϕ [см/с] определялся как угловой коэффициент построенной прямой линии, вычисленный по формуле:

$$K_\phi = \ln\left(\frac{H_0}{H_0-S}\right) / (C \cdot t) \quad (2.3)$$

Коэффициент фильтрации K_{10} , приведенный к условиям фильтрации при температуре 10 °С, вычислялся по формуле:

$$K_{10} = 864 \cdot \frac{K_\phi}{T}, \quad (2.4)$$

где $T' = 0,7 + 0,003 \cdot T_\phi$ – поправка для приведения значения коэффициента фильтрации к условиям фильтрации воды при температуре 10°С;

$T_{\text{ф}}$ – фактическая температура воды при испытании, °С;

864 – переводной коэффициент из см/с в м/сут.

В связи с тем, что грунт имеет слабую водопроницаемость, и падение воды до отметки 50 мм происходило более 10 мин, то испытание проводилось при начальном градиенте напора равном 0,8. Замеры производились три раза в течение эксперимента с интервалом в 1 час.

Анализ полученных результатов показывает, что значение коэффициента фильтрации изменяется в пределах от $1,22 \cdot 10^{-7}$ см/с до $8,81 \cdot 10^{-6}$ см/с (среднее значение составляет $2,03 \cdot 10^{-6}$ см/с). Большой разброс значений вызван неоднородностью свойств техногенных отложений, в первую очередь по гранулометрическому составу, который в значительной степени определяет фильтрационные свойства грунтовых материалов. Методика проведения испытаний соответствует ГОСТ 25584-2016 п. п. 4.3 [145].

Для 18 образцов, отобранных в теле отвала, было проведено определение в водных вытяжках массовой доли сухого остатка, удельной электрической проводимости, водородного показателя (рН), а также содержания ионов кальция, магния, а также сульфат-иона, хлорид-иона и бикарбонат-иона.

Данные по определению содержания растворимых включений выполнены в соответствии с ГОСТ 26423, ГОСТ 26424, ГОСТ 26425, ГОСТ 26426, ГОСТ 26428 [146-150].

После проведения механических испытаний образцы нарушенной структуры были использованы для определения гранулометрического состава. Следует отметить, что полученные результаты характеризуют заполнитель техногенных отложений, но не сами отложения. Заполнителем являются песчано-глинистые смеси с различным сочетанием массовой доли фракций. На рисунке 2.14. представлены примеры двух кривых гранулометрического состава с максимальным и минимальным содержанием глинистых частиц (табл. 2.7).

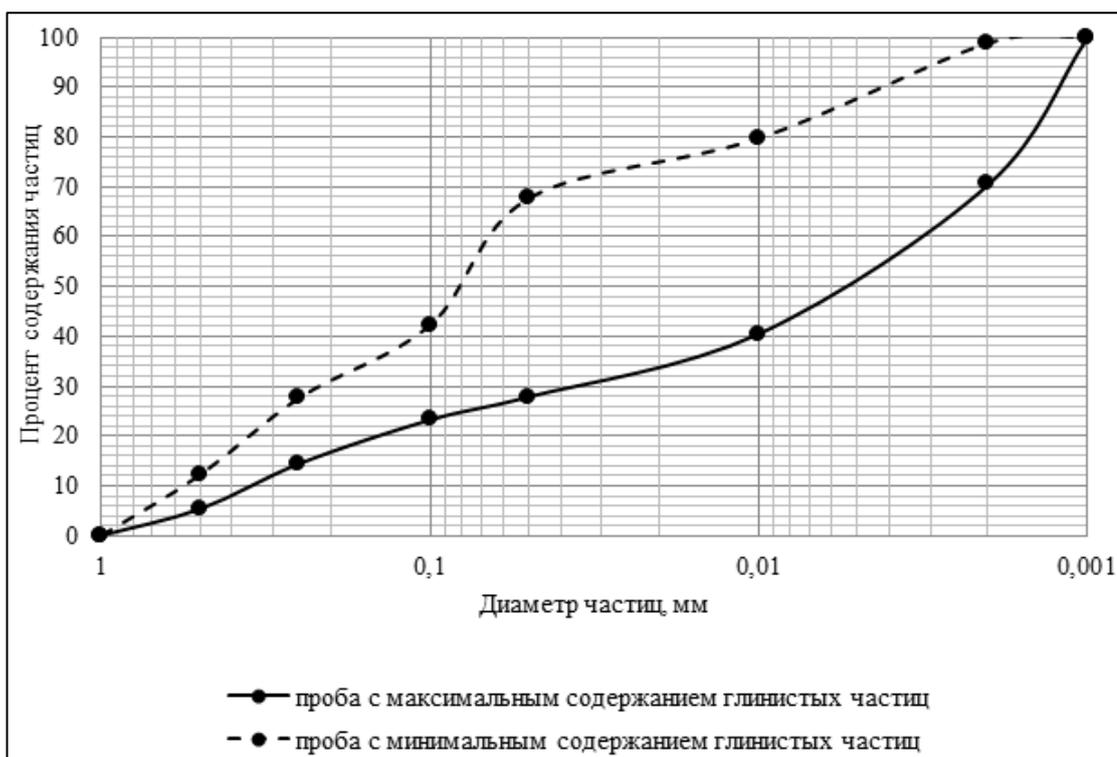


Рисунок 2.14 – Кривые гранулометрического состава для двух образцов техногенных отложений

Таблица 2.7 – Содержание фракций в образцах техногенных отложений

Размер фракции, мм		1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	<0,002
Массовая доля фракции, %	Образец № 2-6-6	5,35	9,08	8,77	4,64	12,63	30,06	29,46
	Образец № 2-7-6	12,22	15,42	14,6	25,43	11,97	19,16	1,2

Все эксперименты по определению гранулометрического состава выполнены в соответствии с ГОСТ 12536-2014 п.4.2, п.4.3. [151].

2.5. Оценка изменения физико-механических свойств отложений внутренних отвалов с течением времени

Для оценки степени изменения свойств техногенных отложений в теле отвала был проведен анализ результатов лабораторных исследований, описанных в прошлом разделе. На стадии планирования инженерно-геологических работ на основании маркшейдерских съемок тело отвала было разделено на элементы в соответствии с периодом формирования соответствующих участков. Опираясь на данную информацию, были спроектированы точки отбора проб вдоль скважин (рисунок 2.15).

Нужно отметить, что в процессе проведения буровых работ четких границ участков, сформированных в различные временные интервалы, выявлено не было. На момент проведения исследований тело отвала было относительно гомогенным, при этом были встречены интервалы, полностью сложенные глинистым материалом. Вероятнее всего, данные участки сформировались в результате складирования рыхлых четвертичных отложений.

На момент бурения скважин техногенные отложения представляли собой суглинки щебенистые, а также щебенистые грунты с суглинистым, глинистым или супесчаным заполнителем. Опыт эксплуатации внутренних и внешних отвалов вблизи Ерунаковского разреза показывает, что песчаники и алевролиты под действием атмосферных осадков и температуры достаточно быстро разрушаются в приповерхностных условиях. Однако вопрос изменения свойств техногенных отложений непосредственно в массиве при их длительном уплотнении под весом вышележащих пород, а также в результате дополнительного увлажнения остается до сих пор до конца невыясненным. Это связано с тем, что инженерно-геологические изыскания на отвалах производятся не системно и в малых объемах, что в большинстве случаев не позволяет выявить закономерности и подтвердить имеющиеся теоретические предположения.

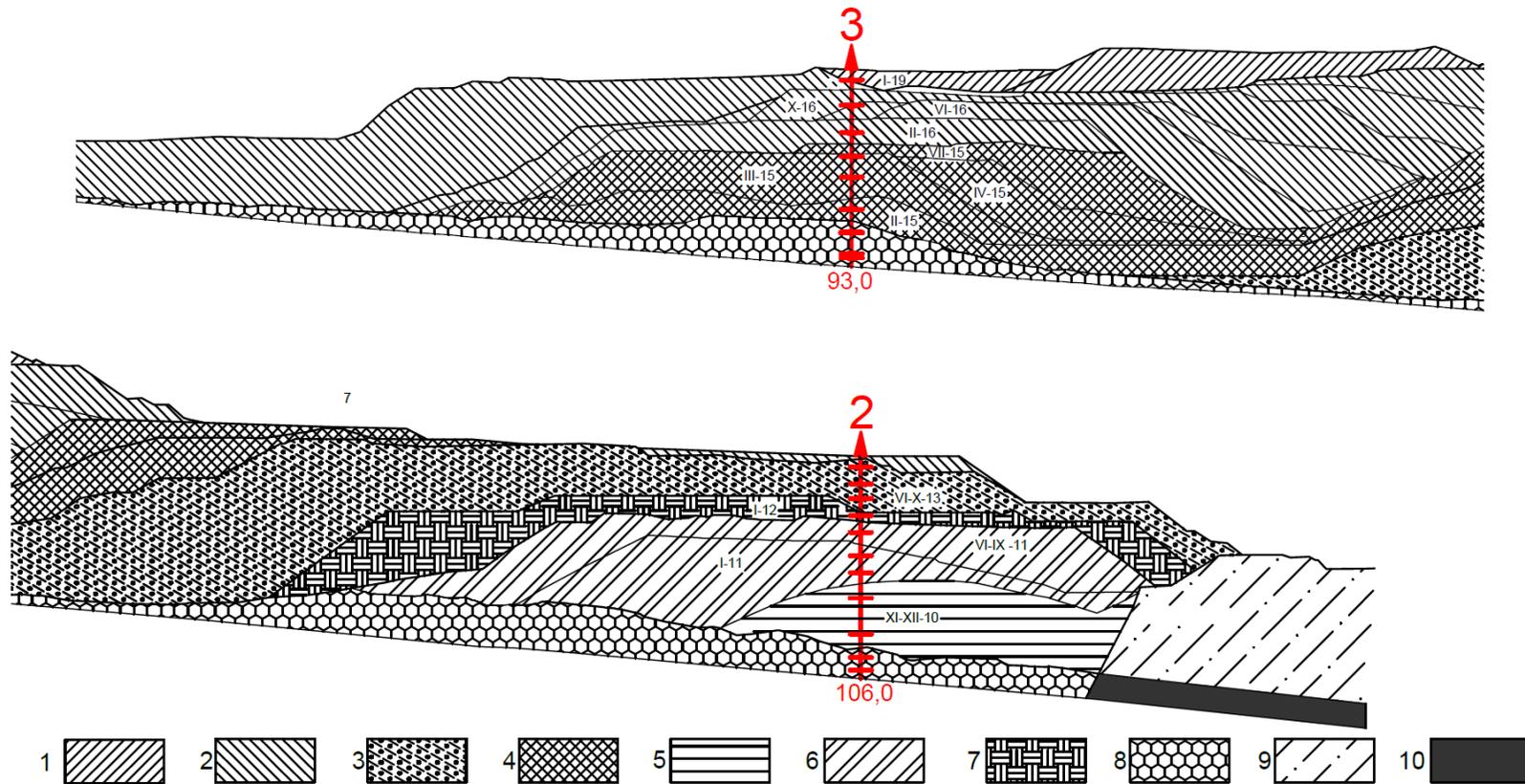


Рисунок 2.15 – Положение точек опробования отвальных масс в соответствии с порядком формирования отвала: 1-7 техногенные массы, отсыпанные в 2019, 2016, 2013, 2015, 2010, 2011, 2012 годах соответственно, 8 – техногенная насыпь, сформированная бестранспортным способом, 9 – вскрышные породы в борту отвала, 10 – угольный пласт

При отборе проб в рамках инженерно-геологических изысканий осуществлялась упаковка проб для сохранения естественной влажности. Результаты лабораторных испытаний по всем образцам приведены в таблицах 2.8 – 2.10.

Для оценки степени изменения показателей физико-механических свойств техногенных отложений в теле отвала и их взаимного влияния друг на друга построим корреляционную матрицу, в которую включены все характеристики, перечисленные в таблицах 2.8-2.10, а также период, который вскрышные породы находились в насыпи (таблица 2.11). Нужно отметить, что количество проб, которые использовались в данном анализе невелико и многие зависимости могут не прослеживаться в полученной матрице. Однако, можно сделать следующие заключения, основываясь на результатах корреляционного анализа.

1. Глубина отбора образца не имеет выраженной корреляционной связи ни с одним из физико-механических свойств отложений. Коэффициенты корреляции между глубиной отбора проб и показателями свойств не превышают значения 0,3. Данный результат подтверждает факт, что свойства отложений с течением времени в техногенном массиве определяются комплексом факторов, при этом величина действующего литостатического давления не является определяющей. В противном случае в результате уплотнения значения показателей и физических и механических закономерно возрастали. В рассматриваемом случае с глубиной в среднем возрастает плотность отложений, увеличение коэффициента фильтрации скорее связано с тем, что при укладке крупнообломочный материал перемещается по откосу на большее расстояние и, таким образом, на отметках, лежащих гипсометрически ниже, формируются участки с повышенной проницаемостью. Кроме того, коэффициент фильтрации на образцах рассматриваемого техногенного массива в силу анизотропии состава отвала определить крайне сложно.

Таблица 2.8 – Результаты определения физико-механических свойств техногенных отложений внутреннего отвала «Южный»

Скважина	№ Пробы	Глубина отбора образца, м	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Удельное сопротивление пород, МПа	Угол внутреннего трения пород, град.	Результаты определений коэффициента фильтрации	
							К _ф , 10 ⁻⁶ см/с	К ₁₀ , 10 ⁻⁴ м/сут
1	1.1	11,15	2040	24,00	0,20	29,00	0,912	6,06
	1.2	27,2	2120	20,00	0,16	29,00	1,12	7,44
	1.4	45,15	2050	32,00	0,16	29,00	2,07	17,90
	1.6	62,15	2120	23,00	0,08	27,00	1,07	9,44
	1.9	100,1	2120	19,00	0,20	29,00	8,81	5,86
2	2.1	5,15	2010	15,00	0,17	28,00	3,71	24,70
	2.4	28,15	1950	15,00	0,20	29,00	3,43	22,80
	2.6	47,15	1860	26,00	0,15	12,00	0,371	2,47
	2.7	55,15	1850	15,00	0,10	19,00	1,85	12,30
	2.8	67,15	2020	15,00	0,22	28,00	2,97	19,70
	2.9	84,15	2040	18,00	0,12	21,00	2,01	13,40
	2.10	95,15	1900	12,00	0,16	29,00	1,15	7,640
3	3.1	5,2	1800	17,00	0,17	30,00	0,776	5,16
	3.2	17,15	1870	27,00	0,20	29,00	0,671	4,46
	3.5	51,15	2120	18,00	0,19	29,00	1,21	8,04
	3.7	77,15	1840	18,00	0,20	26,00	1,28	15,20
	3.9	89,15	2100	28,00	0,37	28,00	0,122	0,811
4	4.5	20,85	1980	25,00	0,23	24,00	3,08	20,50

Таблица 2.9 – Результаты определения физических свойств и химического состава техногенных отложений внутреннего отвала «Южный»

Скважина	№ Пробы	Глубина отбора образца, м	Водородный показатель, ед.рН	Удельная электрическая проводимость, мСм/см	Плотный остаток, массовая доля, %	Кальций - ион, ммоль/100г почвы	Магний - ион, ммоль/100г почвы	Сульфат-ион, ммоль/100г почвы	Хлорид-ион, ммоль/100г почвы	Бикарбонат-ион, ммоль/100г почвы
1	1.1	11,15	7,77	0,172	0,133	0,735	0,637	1,201	0,150	0,700
	1.2	27,2	7,89	0,213	0,197	0,882	0,980	1,915	0,225	0,700
	1.4	45,15	7,63	0,236	0,190	1,029	0,637	1,433	1,075	0,300
	1.6	62,15	7,81	0,248	0,193	0,833	0,588	1,858	0,163	0,600
	1.9	100,1	7,74	1,654	0,510	1,911	2,009	1,802	5,988	0,600
2	2.1	5,15	8,02	0,249	0,133	1,029	0,686	0,924	0,200	0,680
	2.4	28,15	7,82	0,161	0,110	0,980	0,539	0,810	0,188	0,540
	2.6	47,15	7,98	0,137	0,123	0,980	0,392	0,754	0,188	0,700
	2.7	55,15	7,69	2,330	0,763	1,666	2,597	0,924	11,250	0,520
	2.8	67,15	7,89	0,480	0,183	0,882	1,225	0,584	1,438	0,600
	2.9	84,15	7,94	0,242	0,133	0,833	1,078	1,178	0,225	0,540
	2.10	95,15	7,93	0,302	0,193	1,176	0,784	1,235	1,000	0,580
3	3.1	5,2	8,03	0,232	0,167	0,980	0,441	1,207	0,225	0,740
	3.2	17,15	7,53	2,600	0,867	3,773	2,352	0,867	12,750	0,400
	3.5	51,15	7,87	0,227	0,133	0,980	0,735	0,952	0,238	0,540
	3.7	77,15	7,61	1,433	0,423	2,548	3,087	0,924	5,600	0,480
	3.9	89,15	7,52	0,665	0,190	1,078	0,686	0,980	1,200	0,560
4	4.5	20,85	7,66	2,050	0,743	1,666	1,274	0,867	10,250	0,520

Таблица 2.10 – Результаты определения гранулометрического состава техногенных отложений внутреннего отвала «Южный»

Скважина	№ Пробы	Глубина отбора образца, м	Описание образца	Гранулометрический состав						
				Массовая доля фракции, %						
				Размер фракции, мм						
				1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,002	<0,002
1	1.1	11,15	Насыпной грунт. Сухой	4,94	7,91	9,00	9,41	22,00	27,50	19,25
	1.2	27,2	Насыпной грунт. Супесь	8,21	10,83	10,52	30,18	16,10	21,47	2,68
	1.4	45,15	Насыпной суглинистый грунт	0,68	2,08	3,95	23,02	33,73	28,10	8,43
	1.6	62,15	Насыпной грунт	4,07	4,00	8,37	15,69	38,01	21,72	8,15
	1.9	100,1	Насыпной грунт	4,46	9,68	10,84	9,98	27,56	33,62	3,86
2	2.1	5,15	Насыпной грунт	3,03	7,70	9,30	23,51	23,15	16,94	16,37
	2.4	28,15	Насыпной грунт	2,64	14,17	17,88	13,28	12,14	17,34	22,55
	2.6	47,15	Насыпной грунт	5,35	9,08	8,77	4,64	12,63	30,06	29,46
	2.7	55,15	Насыпной грунт	12,22	15,42	14,60	25,43	11,97	19,15	1,20
	2.8	67,15	Насыпной грунт с супесчаным заполнителем	8,78	11,70	9,60	6,12	27,74	22,19	13,87
	2.9	84,15	Насыпной грунт с суглинистым заполнителем	7,35	14,25	12,37	3,32	27,26	16,36	19,08
	2.10	95,15	Насыпной грунт с суглинистым заполнителем	3,94	8,26	14,66	17,44	23,70	17,77	14,22
3	3.1	5,2	Насыпной грунт с суглинистым заполнителем	3,87	5,94	5,83	15,30	36,03	18,02	15,01
	3.2	17,15	Насыпной грунт с сугл. зап.	1,50	3,44	6,30	5,77	46,85	33,46	2,68
	3.5	51,15	Насыпной грунт маловлажный	20,10	17,64	10,03	21,88	16,86	5,62	7,87
	3.7	77,15	Насыпной грунт	9,44	15,36	13,72	22,59	35,23	2,43	1,21
	3.9	89,15	Насыпной суглинистый грунт	6,02	4,93	6,96	8,91	41,31	23,60	8,26
4	4.5	20,85	Насыпной грунт	2,51	4,71	8,71	10,51	17,65	29,42	26,48

Таблица 2.11 – Корреляционная матрица вещественного состава, показателей физико-механических свойств, а также глубины залегания и периода нахождения техногенных отложений в теле отвала «Южный» (интенсивность цвета отображает величину корреляционной связи)

	Глубина взятия образца	Период нахождения породы в отвале	Плотность	Влажность	Удельное сцепление пород	Угол внутреннего трения пород	Коэффициент фльтрации
Глубина взятия образца	1	0,5861	0,2337	-0,1029	0,1367	-0,1627	0,2627
Период нахождения породы в отвале	0,5861	1	0,1975	-0,2832	-0,2633	-0,5118	0,3303
Плотность	0,2337	0,1975	1	0,2265	0,1654	0,3432	0,2969
Влажность	-0,1029	-0,2832	0,2265	1	0,2517	-0,0746	-0,2924
Удельное сцепление пород	0,1367	-0,2633	0,1654	0,2517	1	0,3745	-0,0344
Угол внутреннего трения пород	-0,1627	-0,5118	0,3432	-0,0746	0,3745	1	0,1920
Коэффициент фильтрации	0,2627	0,3303	0,2969	-0,2924	-0,0344	0,1920	1
Водородный показатель	-0,2383	0,1528	-0,0582	-0,5470	-0,4378	-0,1730	0,0596
Удельная электрическая проводимость	0,1416	-0,1773	-0,3429	0,0357	0,0351	-0,0799	0,1944
Плотный остаток, массовая доля,	0,0618	-0,1870	-0,3566	0,0625	-0,0732	-0,0744	0,1434
Кальций - ион, ммоль/100г почвы	0,0218	-0,3859	-0,4145	0,1460	0,1168	0,0627	0,0655
Магний - ион, ммоль/100г почвы	0,2721	-0,0522	-0,3301	-0,1427	-0,0370	-0,0908	0,2155
Сульфат-ион, ммоль/100г почвы	0,1338	-0,2388	0,5223	0,1715	-0,3071	0,2989	0,2485
Хлорид-ион, ммоль/100г почвы	0,0660	-0,1526	-0,4002	0,0467	-0,0403	-0,1080	0,1296
Бикарбонат-ион, ммоль/100г почвы	-0,2552	-0,0280	0,0177	-0,3653	-0,0423	-0,1140	-0,0025
Содержание фракции 1,0-0,5 мм	0,2141	0,0665	0,1594	-0,3259	-0,0239	-0,1654	-0,1322
Содержание фракции 0,5-0,25 мм	0,2156	0,3755	-0,0637	-0,6327	-0,1545	-0,2622	0,1534
Содержание фракции 0,25-0,1 мм	0,2940	0,6069	-0,1858	-0,7239	-0,2107	-0,1643	0,2350
Содержание фракции 0,1-0,05 мм	-0,2027	-0,1525	0,0534	-0,2190	-0,2579	0,2396	-0,0463
Содержание фракции 0,05-0,01 мм	0,1155	-0,5922	-0,0011	0,4456	0,3438	0,3985	-0,1487
Содержание фракции 0,01-0,002 мм	-0,0948	0,0827	0,1243	0,5472	0,0733	-0,0783	0,2282
Содержание фракции <0,002 мм	-0,2223	0,3497	-0,1530	-0,0644	-0,0712	-0,3642	-0,1103
Содержание песчаных частиц,	0,0905	0,1904	0,0141	-0,5787	-0,2423	-0,0397	0,0368
Содержание пылеватых частиц	0,0292	-0,3926	0,0704	0,6355	0,2905	0,2432	0,0231

Таблица 2.11 (Продолжение) – Корреляционная матрица вещественного состава, показателей физико-механических свойств, а также глубины залегания и периода нахождения техногенных отложений в теле отвала «Южный»

	Удельная электрическая проводимость	Плотный остаток, массовая доля	Кальций - ион, ммоль/100г почвы	Магний - ион, ммоль/100г почвы	Сульфат-ион, ммоль/100г почвы	Хлорид-ион, ммоль/100г почвы	Бикарбонат-ион, ммоль/100г почвы
Глубина взятия образца	0,1416	0,0618	0,0218	0,2721	0,1338	0,0660	-0,2552
Период нахождения породы в отвале	-0,1773	-0,1870	-0,3859	-0,0522	-0,2388	-0,1526	-0,0280
Плотность	-0,3429	-0,3566	-0,4145	-0,3301	0,5223	-0,4002	0,0177
Влажность	0,0357	0,0625	0,1460	-0,1427	0,1715	0,0467	-0,3653
Удельное сцепление пород	0,0351	-0,0732	0,1168	-0,0370	-0,3071	-0,0403	-0,0423
Угол внутреннего трения пород	-0,0799	-0,0744	0,0627	-0,0908	0,2989	-0,1080	-0,1140
Коэффициент фильтрации	0,1944	0,1434	0,0655	0,2155	0,2485	0,1296	-0,0025
Водородный показатель	-0,6304	-0,5932	-0,6040	-0,5461	0,0140	-0,6055	0,6944
Удельная электрическая проводимость	1	0,9853	0,8681	0,8783	-0,1264	0,9891	-0,4281
Плотный остаток, массовая доля,	0,9853	1	0,8610	0,8371	-0,0557	0,9934	-0,4320
Кальций - ион, ммоль/100г почвы	0,8681	0,8610	1	0,7900	-0,1667	0,8672	-0,4908
Магний - ион, ммоль/100г почвы	0,8783	0,8371	0,7900	1	-0,1113	0,8528	-0,4107
Сульфат-ион, ммоль/100г почвы	-0,1264	-0,0557	-0,1667	-0,1113	1	-0,1595	0,1168
Хлорид-ион, ммоль/100г почвы	0,9891	0,9934	0,8672	0,8528	-0,1595	1	-0,4637
Бикарбонат-ион, ммоль/100г почвы	-0,4281	-0,4320	-0,4908	-0,4107	0,1168	-0,4637	1
Содержание фракции 1,0-0,5 мм	0,0498	0,0081	-0,1162	0,2154	-0,1935	0,0312	0,0620
Содержание фракции 0,5-0,25 мм	0,0513	-0,0112	-0,0814	0,3230	-0,3097	0,0376	0,0850
Содержание фракции 0,25-0,1 мм	0,0825	0,0426	-0,0231	0,2809	-0,1701	0,0782	0,0619
Содержание фракции 0,1-0,05 мм	-0,0201	0,0288	-0,0849	0,1288	0,3200	0,0012	-0,0686
Содержание фракции 0,05-0,01 мм	0,2792	0,2639	0,4613	0,1921	0,1239	0,2385	-0,3586
Содержание фракции 0,01-0,002 мм	0,2036	0,2543	0,1432	-0,1251	0,2320	0,2180	-0,0028
Содержание фракции <0,002 мм	-0,6478	-0,6527	-0,5419	-0,6800	-0,3620	-0,6109	0,4292
Содержание песчаных частиц,	0,0392	0,0245	-0,1111	0,2987	-0,0208	0,0399	0,0223
Содержание пылеватых частиц	0,3183	0,3364	0,4154	0,0673	0,2224	0,2972	-0,2608

Таблица 2.11 (Продолжение) – Корреляционная матрица вещественного состава, показателей физико-механических свойств, а также глубины залегания и периода нахождения техногенных отложений в теле отвала «Южный»

	Содержание фракции							Содержание песчаных частиц	Содержание пылеватых частиц
	1,0-0,5 мм	0,5-0,25 мм	0,25-0,1 мм	0,1-0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01-0,002 мм	<0,002 мм		
Глубина взятия образца	0,2141	0,2156	0,2940	-0,2027	0,1155	-0,0948	-0,2223	0,0905	0,0292
Период нахождения породы в отвале	0,0665	0,3755	0,6069	-0,1525	-0,5922	0,0827	0,3497	0,1904	-0,3926
Плотность	0,1594	-0,0637	-0,1858	0,0534	-0,0011	0,1243	-0,1530	0,0141	0,0704
Влажность	-0,3259	-0,6327	-0,7239	-0,2190	0,4456	0,5472	-0,0644	-0,5787	0,6355
Удельное сцепление пород	-0,0239	-0,1545	-0,2107	-0,2579	0,3438	0,0733	-0,0712	-0,2423	0,2905
Угол внутреннего трения пород	-0,1654	-0,2622	-0,1643	0,2396	0,3985	-0,0783	-0,3642	-0,0397	0,2432
Коэффициент фильтрации	-0,1322	0,1534	0,2350	-0,0463	-0,1487	0,2282	-0,1103	0,0368	0,0231
Водородный показатель	0,0734	0,2122	0,1482	0,0226	-0,4954	-0,2044	0,6073	0,1337	-0,4751
Удельная электрическая проводимость	0,0498	0,0513	0,0825	-0,0201	0,2792	0,2036	-0,6478	0,0392	0,3183
Плотный остаток, массовая доля,	0,0081	-0,0112	0,0426	0,0288	0,2639	0,2543	-0,6527	0,0245	0,3364
Кальций - ион, ммоль/100г почвы	-0,1162	-0,0814	-0,0231	-0,0849	0,4613	0,1432	-0,5419	-0,1111	0,4154
Магний - ион, ммоль/100г почвы	0,2154	0,3230	0,2809	0,1288	0,1921	-0,1251	-0,6800	0,2987	0,0673
Сульфат-ион, ммоль/100г почвы	-0,1935	-0,3097	-0,1701	0,3200	0,1239	0,2320	-0,3620	-0,0208	0,2224
Хлорид-ион, ммоль/100г почвы	0,0312	0,0376	0,0782	0,0012	0,2385	0,2180	-0,6109	0,0399	0,2972
Бикарбонат-ион, ммоль/100г почвы	0,0620	0,0850	0,0619	-0,0686	-0,3586	-0,0028	0,4292	0,0223	-0,2608
Содержание фракции 1,0-0,5 мм	1,0000	0,7622	0,2669	0,2814	-0,3895	-0,6060	-0,2664	0,7490	-0,6286
Содержание фракции 0,5-0,25 мм	0,7622	1,0000	0,7412	0,1824	-0,6326	-0,6530	-0,0099	0,8072	-0,8312
Содержание фракции 0,25-0,1 мм	0,2669	0,7412	1,0000	0,1422	-0,5874	-0,4552	0,0820	0,6173	-0,6853
Содержание фракции 0,1-0,05 мм	0,2814	0,1824	0,1422	1,0000	-0,2724	-0,4626	-0,4975	0,7117	-0,4618
Содержание фракции 0,05-0,01 мм	-0,3895	-0,6326	-0,5874	-0,2724	1,0000	0,1807	-0,3788	-0,5947	0,8263
Содержание фракции 0,01-0,002 мм	-0,6060	-0,6530	-0,4552	-0,4626	0,1807	1,0000	0,1110	-0,7379	0,7032
Содержание фракции <0,002 мм	-0,2664	-0,0099	0,0820	-0,4975	-0,3788	0,1110	1,0000	-0,3320	-0,2102
Содержание песчаных частиц,	0,7490	0,8072	0,6173	0,7117	-0,5947	-0,7379	-0,3320	1,0000	-0,8524
Содержание пылеватых частиц	-0,6286	-0,8312	-0,6853	-0,4618	0,8263	0,7032	-0,2102	-0,8524	1,0000

2. Показатель «Период нахождения породы в отвале» имеет более выраженную корреляцию с некоторыми из показателей физико-механических свойств отложений. В частности, угол внутреннего трения находится в отрицательной корреляционной зависимости с ним. Особенно это хорошо прослеживается при рассмотрении изменения свойств вдоль отдельных скважин. Рассмотрим скважину №3, которую в данном случае можно считать наиболее показательной, так как она находится в центральной части отвальной насыпи, где режим техногенного водоносного горизонта, а также складирование горной массы в данной точке будут наиболее характерными для всего массива. Значение коэффициента корреляции между периодом нахождения отложений в отвале и углом внутреннего трения составляет $-0,7368$. Это значение говорит о наличии выраженной связи. Таким образом, можно сделать следующее заключение: в первые пять лет (рисунок 2.16) наблюдается закономерное уменьшение одного из основных механических показателей отложений, влияющего на устойчивость откосного сооружения. То есть процессы выветривания, в том числе в результате «размокания» коренных пород, в большей степени влияют на механические свойства отложений, чем процессы уплотнения, которые номинально должны иметь положительную корреляционную связь во времени с механическими свойствами пород. Также нужно отметить, что складированные в более ранний период времени вскрышные породы имеют большую влажность, что обусловлено формированием техногенного водоносного горизонта. Таким образом, в основании отвала формируется массив отложений, который номинально имеет показатели механических свойств ниже, чем при их складировании. Данный фактор необходимо учитывать при прогнозировании состояния отвала на различных этапах его формирования. С высокой долей вероятности процессы выветривания со временем будут затухать и показатели механических свойств перестанут уменьшаться, а в результате процессов уплотнения под действием литостатического давления угол внутреннего трения будет несколько увеличиваться.

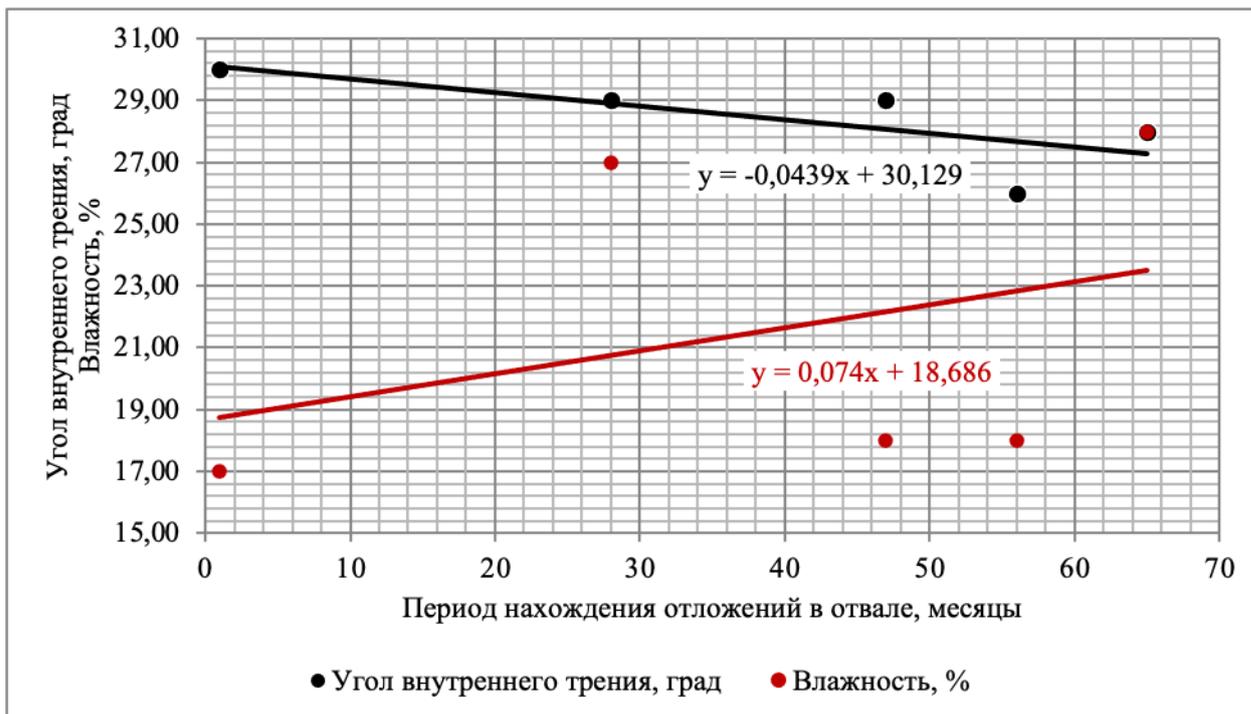


Рисунок 2.16 – Изменение значений угла внутреннего трения и влажности от периода нахождения отложений в теле отвала

3. Удельное сцепление, второй важнейший механических показателей отложений, влияющий на поведение массива в целом, не имеет таких выраженных корреляционных связей ни с глубиной отбора проб, ни с периодом нахождения породы в отвале (рисунок 2.17). Данный показатель обладает более высокими показателями изменчивости как для пород в естественном, так и нарушенном залегании. В связи с этим на столь малом количестве образцов выявить существенные зависимости не удалось. Так как в отвал осуществлялось одновременная укладка рыхлых четвертичных отложений и коренных пород, хотя и с четким соблюдением общих пропорций, пробы, отобранные в буровых скважинах, имеют слишком малый объем, чтобы была возможность оценить усредненные показатели сцепления, которые характерны для отдельных крупных элементов массива. Для выявления зависимостей или подтверждения гипотез, касающихся изменения удельного сцепления с течением времени в отвальной насыпи в различных инженерно-геологических и

гидрогеологических условиях, необходимо накопить достаточно большой объем натуральных данных для их статистической обработки.

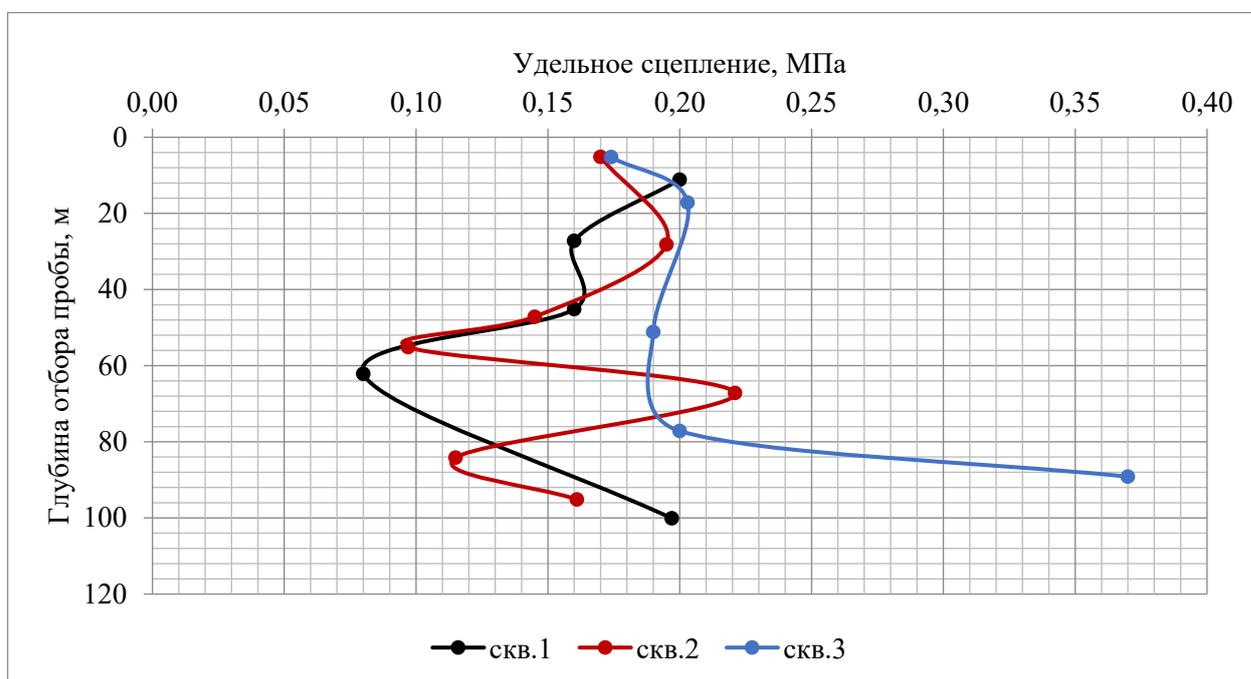


Рисунок 2.17 – Изменение удельного сцепления техногенных отложений с глубиной

4. В генеральной выборке влажность пород не имеет выраженной корреляционной зависимости с механическими свойствами пород. В то же время показатели гранулометрического состава имеют достаточно явно выраженную функциональную зависимость со значениями влажности (рисунок 2.18). Содержание песчаных частиц имеет отрицательную корреляционную связь с влажностью, то есть чем больше крупных частиц, тем отложения содержат меньше влаги, в свою очередь влажность прямо пропорциональна содержанию пылеватых и глинистых фракций. Данные закономерности вполне ожидаемы и логичны. Пылевато-глинистые отложения содержат большее количество влаги, чем песчаные. Наличие выявленной закономерности подтверждает правомерность применения корреляционного анализа на имеющейся выборке данных, полученных в результате инженерно-геологических исследований, проведенных на площади отвала «Южный».

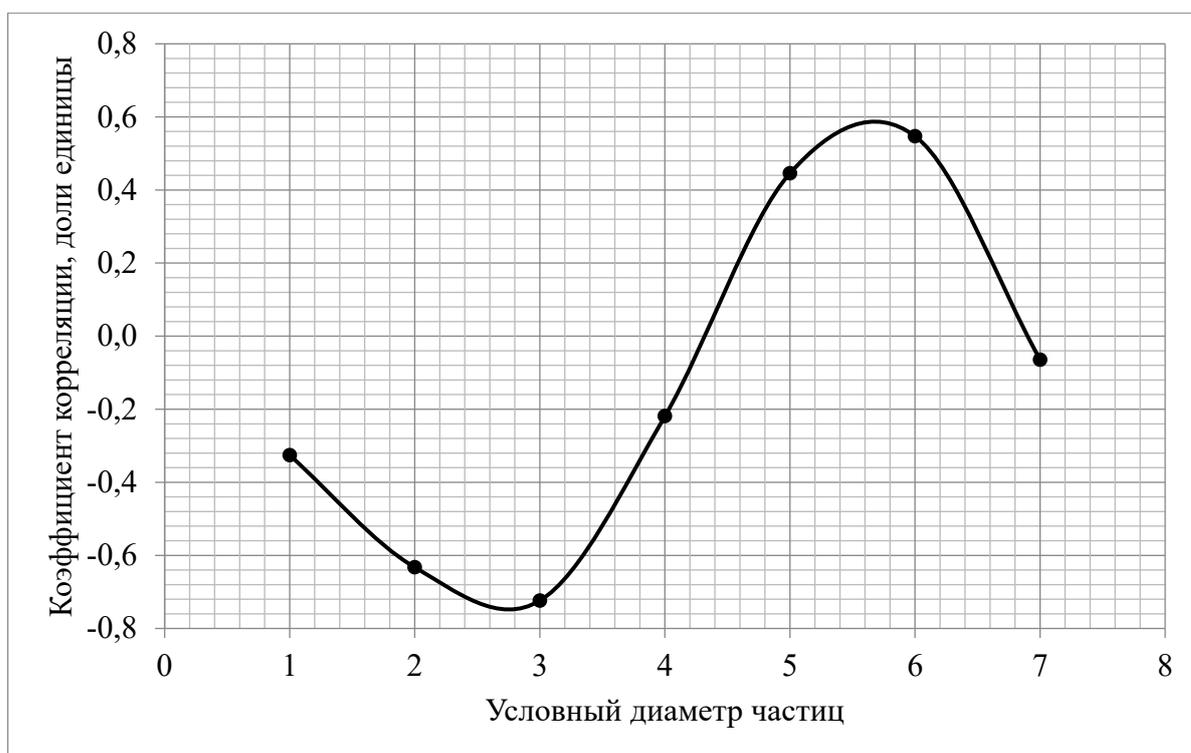


Рисунок 2.18 – Величина коэффициента корреляции между значением влажности грунтов и содержанием соответствующих фракций в техногенных отложениях (условные диаметры в мм соответствуют интервалам – 1: 1-0,5; 2: 0,5-0,25; 3: 0,25-0,1; 4: 0,1-0,05; 5: 0,05-0,01; 6: 0,01-0,002; 7: >0,0002)

5. Еще одной важной выявленной закономерностью является выраженная отрицательная корреляционная связь между концентрацией ионов кальция и магния в отложениях и содержанием глинистых частиц в образцах (рисунок 2.19). Это обусловлено тем, что песчаники и алевролиты на карбонатном цементе изначально содержат в себе меньше глинистого материала и, вероятно, их разрушение протекает медленнее. При одинаковой степени влияния всех остальных факторов данная зависимость, скорее всего, будет иметь еще более выраженный характер. Так, например, некоторые точки, в которых содержание глинистых частиц и содержание нерастворимых включений низкие соответствуют отложениям, которые в тело отвала были уложены относительно недавно.

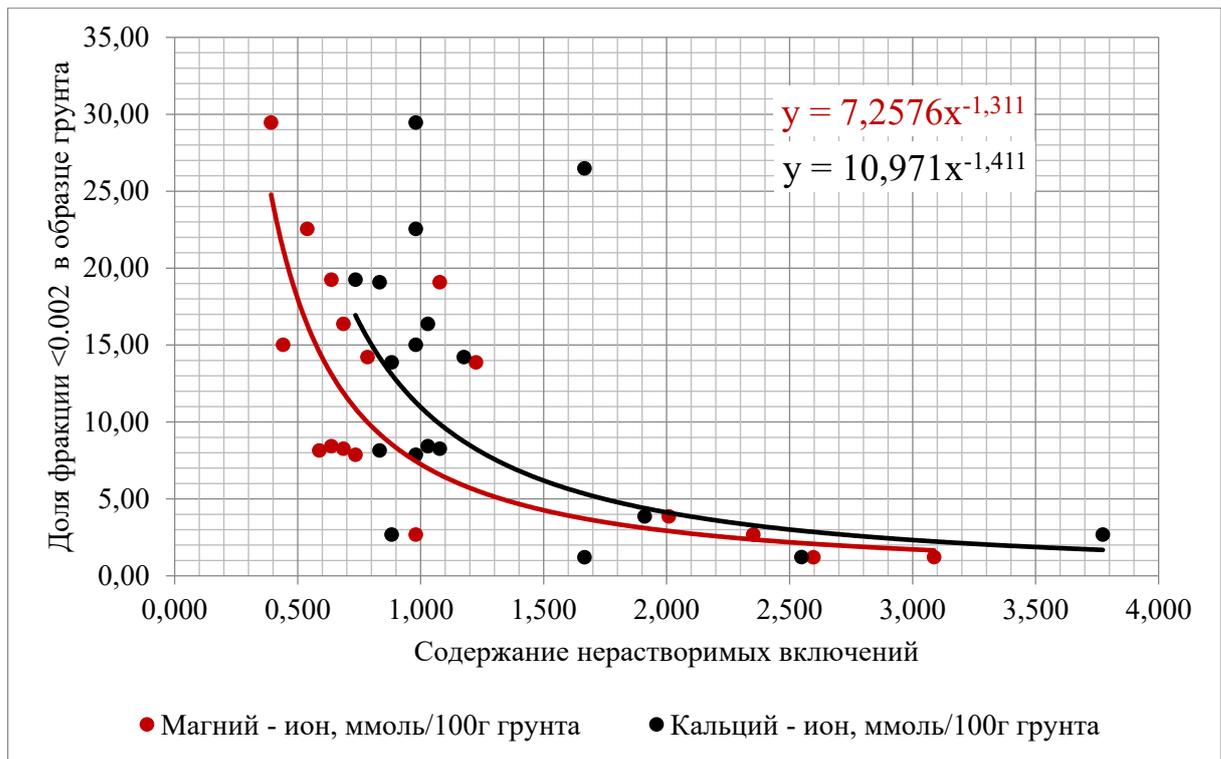


Рисунок 2.19 – Соотношение количества глинистых частиц в техногенных отложениях и содержания нерастворимых включений

Ограниченное количество данных по исследуемому внутреннему отвалу и отсутствие информации по изменению свойств отложений в течение длительного отрезка времени не позволяют в полной мере выявить закономерности изменения свойств техногенных грунтов в массиве. При этом выявленные закономерности уменьшения механических свойств говорят о необходимости предусматривать потенциальную возможность изменения свойств складированных в отвальную насыпь пород для сохранения устойчивости откосного сооружения и обеспечения безопасности эксплуатации объектов. Для минимизации рисков опасных деформационных явлений, которые могут охватывать значительную часть техногенной насыпи и привести к большим финансовым потерям, а также представляют опасность для здоровья и жизни людей, необходимо проводить гидрогеомеханический мониторинг. Он должен включать мероприятия по наблюдениям за положением водоносного горизонта в теле и основании насыпи, а также периодическое бурение инженерно-геологических скважин с отбором проб и последующим их исследованием в лабораторных условиях. Систематические

наблюдения позволят установить закономерности изменения отложений в пространстве и времени с учетом литологического состава, технологии складирования и т.д. В конечном итоге, данная информация должна быть использована на стадии проектирования внутренних отвалов для минимизации технологических рисков, связанных с негативными горно-геологическими явлениями.

Выводы по главе II

Проведенный анализ горно-геологических условий участков, относящихся к Ерунаковскому каменноугольному месторождению, показал, что по характеристикам вскрышных и вмещающих пород их необходимо разделять на несколько групп, имеющих принципиальные отличия в показателях свойств: рыхлые отложения; выветрелые коренные породы пермского возраста; незатронутые выветриванием коренные породы пермского возраста; горельники. Относительно простое геологическое строение, в том числе малые углы наклона синклиналичных структур позволяют при ведении добычных работ на Ерунаковском поле осуществлять внутреннее отвалообразование.

Для изучения свойств техногенных отложений внутреннего отвала «Южный» были пройдены четыре скважины, пересекающие тело насыпи на всю мощность. Отбор проб осуществлялся на основании районирования, выполненного с учетом времени складирования вскрышных пород.

Корреляционный анализ данных, полученных в результате инженерно-геологических изысканий, показал, что взаимосвязей между большинством физико-механических свойств горных пород и временем их нахождения в теле отвала не выявлено. На состояние пород оказывает влияние комплекс факторов, который включает состав отложений, скорость их выветривания в приповерхностных условиях, влажность, которая обусловлена формированием техногенного водоносного горизонта. Угол внутреннего трения – единственный механический параметр грунтов, который на протяжении первых 60 месяцев имеет выраженную обратно пропорциональную зависимость со временем нахождения

отложений в отвале. Для отдельных скважин значение коэффициента корреляции между периодом нахождения отложений в отвале и углом внутреннего трения превышает порог в -0,7.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА, ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ В ТЕЛЕ ОТВАЛА, НА ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ

Анализ аварийных ситуаций, произошедших при ведении открытых горных работ и связанных с деформацией отвальных массивов, показывает, что в большинстве случаев их причинами становится быстрое изменение гидрогеологических условий, которое не было учтено на стадии проектирования насыпи [152-162]. На сегодняшний день практически отсутствуют фундаментальные основы, позволяющие детально и с высокой достоверностью описывать механизмы формирования техногенных водоносных горизонтов в теле отвалов, сложенных вскрышными и вмещающими породами. Нужно отметить, что в условиях добычи угля данный вопрос стоит более остро, так как осуществляется складирование, с одной стороны, большего объема горной массы, с другой стороны, укладываемый материал имеет в значительной степени более низкие фильтрационные способности, чем при отработке рудных месторождений, особенно залегающих в массивах магматических или метаморфических пород.

Основным инструментом, позволяющим учитывать текущий уровень водоносного горизонта в теле техногенного массива, является гидрогеологический мониторинг [96, 163-166]. Однако его результаты могут быть получены на стадии непосредственной эксплуатации отвала, что определяет существенный дефицит информации на стадии проектных решений. На сегодняшний день отсутствует отработанный инструментарий для прогнозного моделирования поведения техногенного водоносного горизонта в теле и основании отвала. Во многом данная ситуация усложняется еще и высокой анизотропией свойств техногенных отложений в породном отвале, что определяет сложные (часто крайне нетривиальные) пути фильтрации подземных вод.

Кроме того, с течением времени изменяются и сами свойства отложений, что было показано в предыдущей главе на примере внутреннего отвала «Южный» Ерунаковского разреза. Таким образом, техногенная насыпь, сложенная вскрышными породами угольных разрезов, представляет собой сложную систему,

характеристики и состояние которой нелинейно изменяются во времени. Это предопределяет необходимость всестороннего и системного подхода при изучении данных объектов.

3.1. Гидрогеологические условия Ерунаковского каменноугольного месторождения

Эрозионная деятельность реки Томи и водотоков второго и более высших порядков привела к образованию сильно пересеченного водно-эрозионного и водно-кумулятивного рельефа.

По литолого-фациальным и геолого-стратиграфическим признакам среди осадочных отложений района исследуемой территории выделяют три водоносных комплекса. Первый водоносный комплекс приурочен к четвертичным отложениям, второй – объединяет мезозойские образования, третий – продуктивные отложения кольчугинской серии верхней перми.

Гидрогеологические условия территории определяются комплексом природных и техногенных факторов. К первым относится непосредственная близость реки Томи, участок находится на левом коренном берегу.

В целом гидрогеологические условия участка определяются его геоморфологическим положением и геологическим строением, в том числе наклонным залеганием пород с углом падения до 10° в сторону р. Томи.

Четвертичные отложения в районе распространены повсеместно, имея мощность от 0,2 до 60 м, их обводненность неравномерна. На водоразделах они представлены преимущественно тяжелыми пылеватыми разностями суглинков с прослоями и линзами глин мощностью от 1 до 20 м. Здесь они практически не содержат гравитационной (свободной) воды, глубина залегания грунтовых вод может достигать 15-20 м. У подножия склонов и в долинах речек и логов обводненность отложений резко увеличивается, в весенний период могут появляться рассеянные выходы источников с расходом от 0,01 до 0,10 л/сек. В тальвегах логов уровни грунтовых вод приближаются к дневной поверхности, что приводит к заболачиванию местности [167].

При этом фильтрационные свойства суглинков, вне зависимости от их залегания относительно элементов рельефа, практически не изменяются и остаются низкими.

В пределах участка получили распространение галечники. Образование их связано с размывом аллювиальных отложений террас реки Томи. В процессе эволюции цоколь террас был размыв мелкими водотоками, галечники переложены, обогащены глинистым материалом и частично смыты. Мощность галечников достигает 15,0 м при среднем порядке - 3,0 - 5,0 м [168].

На водоразделах, где отмечается высокий гипсометрический уровень залегания горизонта галечников, последние практически безводные, в понижениях рельефа, а также вблизи р. Томи обводнены. Их показатели фильтрационной способности напрямую зависят от степени отсортированности и наличия глинистого материала в виде заполнителя.

Питание подземных вод четвертичных отложений осуществляется за счёт инфильтрации атмосферных осадков, разгрузка происходит в местную речную сеть и в более глубокие водоносные горизонты. В ненарушенном состоянии естественный дренаж подземных вод происходил в реки Большая и Малая Ерунаковки, Большая Коровиха и Томь. Общее направление потока воды ориентированно в сторону реки Томи (рисунок 3.1).

Повышение уровней подземных вод в четвертичных отложениях и увеличение водообильности происходит в период снеготаяния и выпадения обильных дождей. Амплитуда колебания уровня подземных вод в разрезе года составляет 0,6-1,2 м.

Аллювиальные образования реки Томи, располагаются вдоль правого берега широкой полосой, то есть, они не захватывают площадь рассматриваемого участка.

Водоносный комплекс средне-верхнепермских угленосно-терригенных пород ерунаковской подсерии развит на значительной площади изучаемого района.

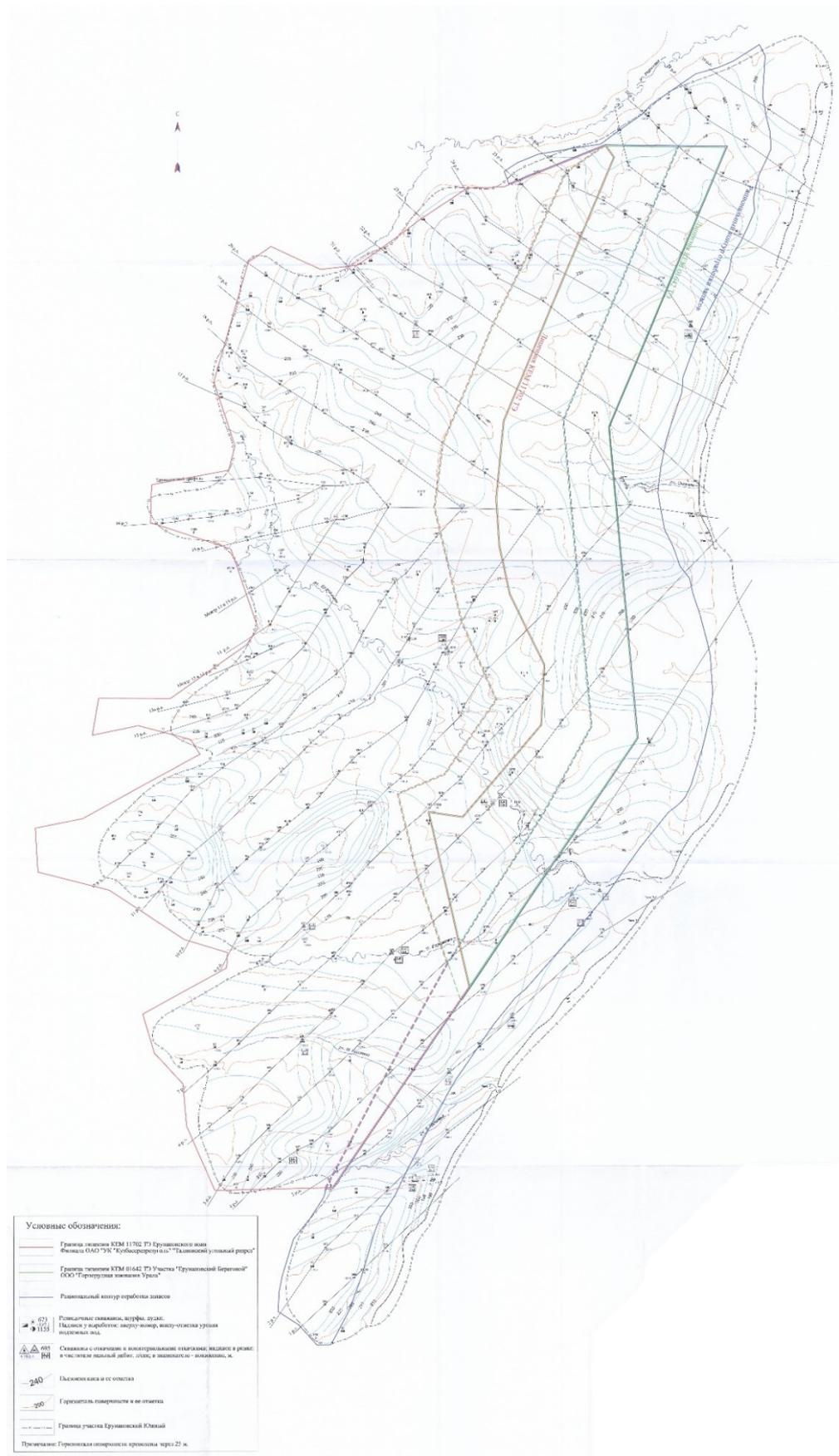


Рисунок 3.1 – Карта гидроизогипс района расположения Ерунаковского месторождения [121]

В связи с фациальной изменчивостью пород, отсутствием выдержанных водоупоров в пределах участка осуществить выделение водоносных горизонтов затруднительно.

Условия, когда трещиноватыми являются различные литологические разности, при этом проявляется наличие гидравлической связи между различными трещиноватыми зонами, позволяют рассматривать всю толщу в качестве единой трещиноватой водовмещающей зоны.

В целом обводненность пермских пород небольшая, при этом наиболее высокими водно-коллекторными свойствами и наибольшей проницаемостью обладают песчаники и угли, особенно при наличии мощной пачки песчаников в кровле или почве пласта угля. Основные характеристики водоносного комплекса, полученные при проведении геологоразведочных работ, приведены в таблице 3.1.

По химическому составу подземные воды дочетвертичных пород пресные, преимущественно гидрокарбонатные от кальциево-магниевых до натриевых. Минерализация вод составляет 0,5-0,9 г/л (в среднем 0,7 г/л).

Общая жесткость вод колеблется от 2,2 до 8,8 мг-экв/л. Воды обладают от слабощелочной до слабокислой реакции (рН изменяется от 6,7 до 8,8). Воды относятся к неагрессивным.

Как показали исследования, проведенные при разведке месторождения, из тектонических нарушений в гидрогеологическом плане наиболее проявил себя взброс II-II. Его зона обводнена несколько больше окружающих пород, но незначительно. Удельные дебиты скважин №№ 877 и 739 были равны $0,14 \div 0,30$ л/сек. Следует отметить, что, скорее всего, зона нарушения служит своеобразным каналом для разгрузки подземных вод. Так, по скважинам 667 и 739, вскрывшим нарушение, статический уровень воды установился выше дневной поверхности на 4,20 и 6,80 м, а скважина 598 после пересечения нарушения на глубине 173,0 м фонтанировала.

Таблица 3.1 – Результаты пробных и опытных откачек из скважин

№ п/п	№ скважины	Разведочная линия	Глубина скважины, м	Глубина обсадки трубами, м	Статический уровень, м	Понижение, м	Дебит, л/сек	Удельный дебит, л/сек	Мощность водоносного горизонта, м	Радиус скважины, м	Коэффициент фильтрации, м/сут	Опробованная толща пород	Примечание
1	695	3	112.00	30.30	21.00	2.70	0.33	0.12	45.00	0.038	0.27	Песчано-глинистая толща, вмещающая пласты угля 80, 79 и 78.	
						3.70	0.46	0.12					
2	740	3-4	140.60	14.00	8.00	7.20	0.60	0.10	185.00	0.038	0.14	Пласт 78 на выходе под четвертичные отложения	Опытная откачка
					7.00	13.70	1.34	0.10					
3	658	4	137.00	6.60	+1.80	0.65	0.14	-	60.00	0.038	0.47	Отложения, вмещающие пласты угля 82, 81, 80, 79 и 78	I и II понижение по самоизливу
						1.10	0.24	0.20					
						2.54	0.58	0.20					
4	667	5	92.45	14.00	+2.20	1.57	0.12	0.08	50.00	0.038	0.13	Отложения, вмещающие пласты 80, 79 и 78	По самоизливу
						0.90	0.07	0.08					
5	739	7	101.80	24.50	6.80	2.10	0.74	0.30	64.00	0.038	-	Песчаники, вмещающие пласт 78 через нарушение	По самоизливу
						4.25	1.38	0.30					
						5.80	1.76	0.30					
6	960	25	167.50	8.80	6.00	13.30	0.32	0.02	76.00	0.065	0.03	Отложения, вмещающие пласты 82-78	
						21.80	0.54	0.02					
						30.00	0.75	0.02					
7	961	3-4	26.20	16.70	+2.70	5.30	0.70	0.13	9.50	0.075	1.50	Отложения в интервале пласта 80, осложненные нарушением	
						9.80	1.32	0.13					

В целом гидрогеологические условия рассматриваемой территории можно оценить как сложные, это связано с природными факторами (большой расчлененностью рельефа и наличием крупной естественной дрены – реки Томи) и наличием искусственных дренажных систем в виде действующего карьера, в одной из частей которого сформирован отвал «Южный». Режим подземных вод рассматриваемой территории крайне изменчив, на него оказывает сильное влияние уровень воды в реке Томи. Годовые амплитуды колебания уровня реки и подземных вод, находящихся в горизонтах, непосредственно примыкающих к руслу соизмеримы, в среднем составляют 1,5-3,0 м, однако в некоторые годы могут превышать значение в 5-7 м.

3.2. Особенности техногенного режима подземных вод при формировании внутренних отвалов на угледобывающих предприятиях

Рассмотрим механизм и особенности формирования техногенного водоносного горизонта на примере внутреннего отвала «Южный». Геометрические показатели данного массива, технология формирования, а также геологические условия окружающей территории являются характерными для большинства внутренних отвалов, которые были отсыпаны на угледобывающих предприятиях РФ. Как показал анализ гидрогеологических условий, вблизи внутреннего отвала водоносный горизонт в ненарушенном массиве между бортом карьера и рекой Томью является безнапорным и имеет выраженный техногенный режим с частичной разгрузкой в водоносный горизонт, сформированный в теле отвала [121]. Вследствие ведения горных работ уровень водоносного горизонта снижен по отношению к первоначальным отметкам, дренаж осуществлялся непосредственно в сформированную выработку. В последние годы наблюдается постепенное восстановление уровня водоносного горизонта в связи с заполнением чаши карьера вскрышными породами и соответствующим снижением интенсивности дренажа.

Для детального описания современного состояния водоносного горизонта рассмотрим профиль Сг-Сг (рисунок 3.2), который проходит через инженерно-

геологическую скважину 2, и в непосредственной близости от мониторинговых скважин 4м, 5м, 6м, на северо-востоке ограничен урезом воды реки Томи.

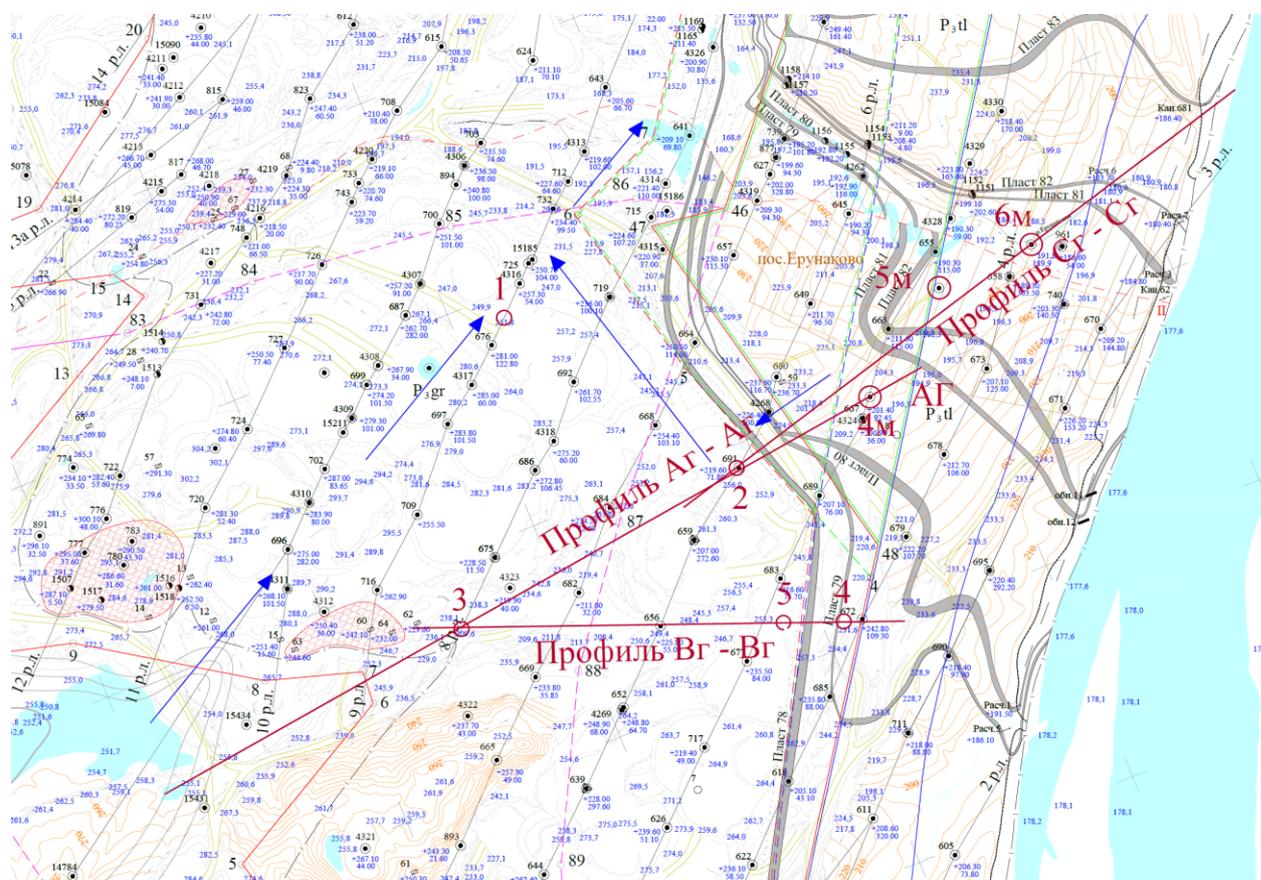
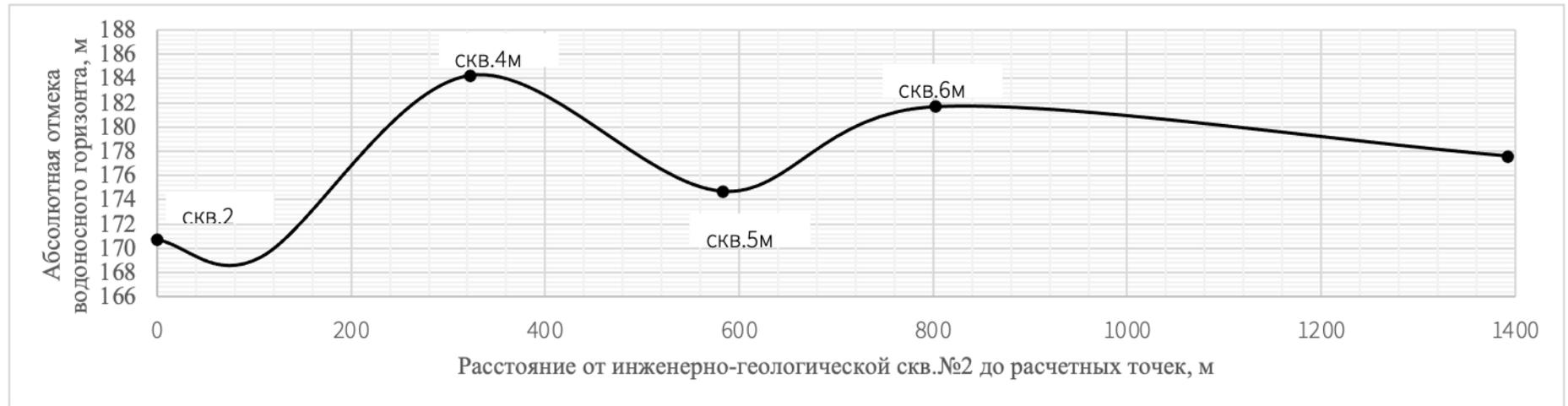


Рисунок 3.2 – Положение гидрогеологических профилей (стрелками указано направление движение подземных вод)

Изменение уровня водоносного горизонта (рисунок 3.3) имеет скачкообразный характер: в мониторинговых скважинах 4м и 6м уровни высокие, в то время как в скважине 5м – низкий. Так же стоит обратить внимание на тот факт, что в выбранном профиле четко отображается характер гидравлической связи между естественным и техногенным горизонтами, первый разгружается во второй, поэтому уровень воды в скважине 4м значительно превышает аналогичный показатель в инженерно-геологической скважине 2.

а)



б)

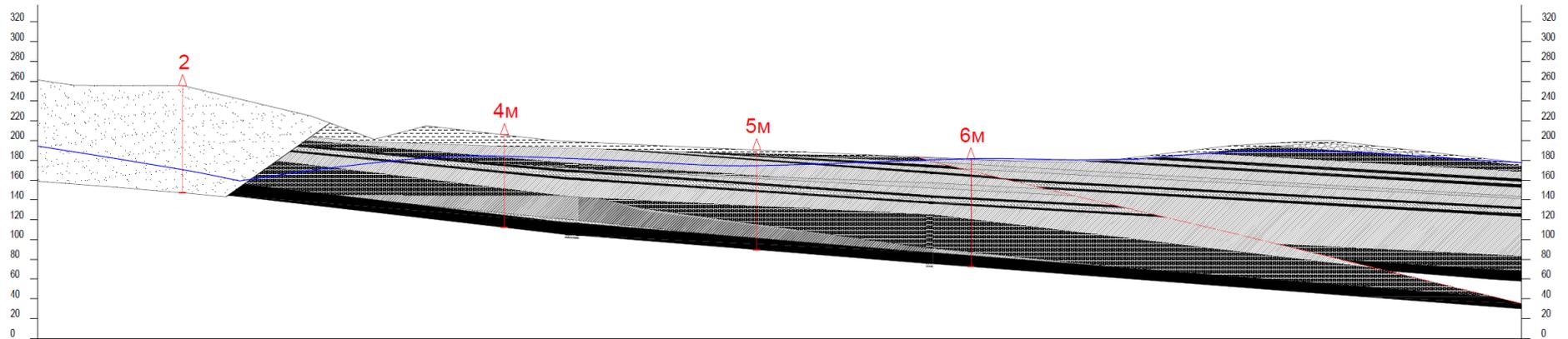


Рисунок 3.3 – Изменение уровня водоносного горизонта вдоль профиля Сг-Сг: а) в координатной плоскости с различным масштабом по осям; б) на разрезе с одинаковым масштабом по осям

Разницу в уровнях наблюдательных гидрогеологических скважинах 5м и 6м можно объяснить наличием между ними тектонического нарушения П-П, которое обуславливает более высокий гипсометрический уровень пластов горных пород в северном крыле, к которому принадлежит скважина 6м. Аналогичная картина наблюдалась при ведении геологоразведочных работ в районе нарушения вблизи разведочной линии 7 (рисунок 3.4).

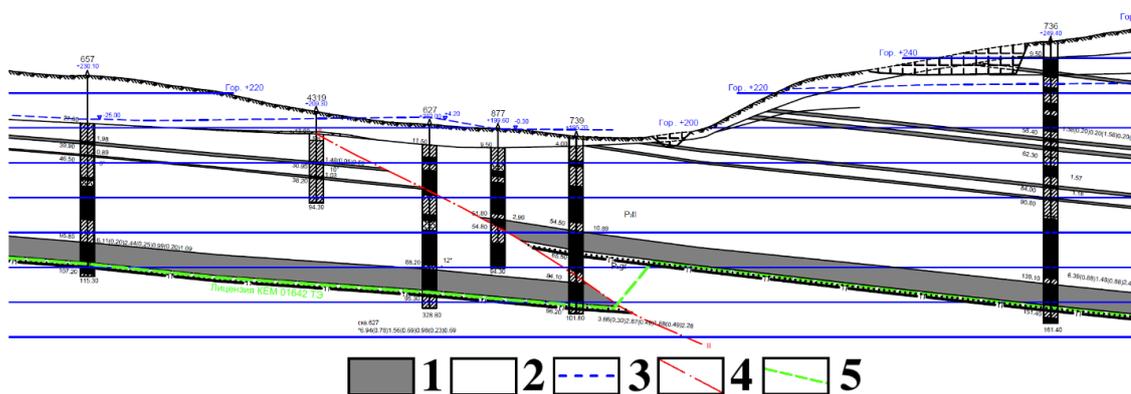


Рисунок 3.4 – Положение уровня водоносного горизонта вблизи тектонического нарушения на разведочной линии 7: 1 – пласты каменного угля; 2 – вскрышные породы; 3 – уровень водоносного горизонта; 4 – сместитель тектонического нарушения; 5 – граница лицензионного участка (дно выработки)

При этом образовавшаяся депрессионная воронка вблизи наблюдательной скважины 5м вероятно связана с разгрузкой водоносного горизонта через зону повышенной фильтрации тектонического нарушения, которое, как было отмечено в предыдущем разделе, имеет несколько повышенные фильтрационные свойства, чем углевмещающие породы.

Гидрогеологические условия рассматриваемого относительно небольшого участка между бортом карьера и урезом воды р. Томи являются сложными. На основе имеющихся точек наблюдения описать движение воды в горизонте можно только схематически, выделив основные закономерности. Тектоническое нарушение разделяет участок на две части со значительно отличающимися

гидродинамическими условиями. Разгрузка водоносного горизонта происходит главным образом в р.Томь, а также в другие более мелкие водотоки и частично – в техногенный водоносный горизонт в теле внутреннего отвала.

При формировании горнопромышленной системы «внутренний отвал – прибортовой массив» можно выделить для этапа развития гидрогеологических условий территории, которые были описаны выше. В конечной стадии формирования в выработанном пространстве отвала «Южный» стало препятствовать фильтрации подземных вод напрямую в карьер. Основные изменения гидрогеологических условий территории и их численные характеристики следующие:

1. уровень естественного водоносного горизонта между отвалом и зоной разгрузки (рекой Томью) с течением времени увеличивается в связи с формированием техногенной насыпи;
2. современные уровни естественного и техногенного водоносных горизонтов ниже тех, которые были до начала ведения добычных работ;
3. подземные воды техногенного горизонта, сформировавшегося в теле отвала, не перетекают в естественный горизонт; в результате откачки из пруда, расположенного северо-восточнее отвала «Южный» в выработанном пространстве, вдоль восточного борта карьера сформировалась зона с низким гипсометрическим уровнем залегания подземных вод, в которую разгружается в том числе естественный водоносный горизонт (рисунок 3.3);
4. уровень естественного водоносного горизонта достаточно быстро изменяется во времени при изменении условий окружающей среды (обильные осадки, таяние снега), особенно это характерно для мониторинговой скважины 5м, которая расположена в непосредственной близости тектонического нарушения, в опущенном крыле взброса II-II.

Таким образом, в западной части естественный и техногенный горизонты гидравлически связаны, питание второго осуществляется за счет первого, однако эта связь прерывается у восточного борта. Бурение двух инженерно-геологических

скважин (скв.4 и скв.5) показало, что на расстоянии 133 метров превышение уровня естественного водоносного горизонта над техногенным составляет 20,6 м.

Дальнейшее развитие отвальных работ в рамках существующего проекта, в том числе отсыпка до горизонта +330, существенно на гидрогеологическую обстановку рассматриваемого участка не повлияет, при условии сохранения откачки воды из прудка, расположенного северо-восточнее отвала «Южный» в выработанном пространстве.

3.3. Анализ результатов гидрогеологического мониторинга исследуемого участка

Для получения достоверной, полной и своевременной информации о состоянии подземной гидросферы в непосредственной близости к выработкам и отвалам организованы наблюдательные скважины (рисунок 3.5).

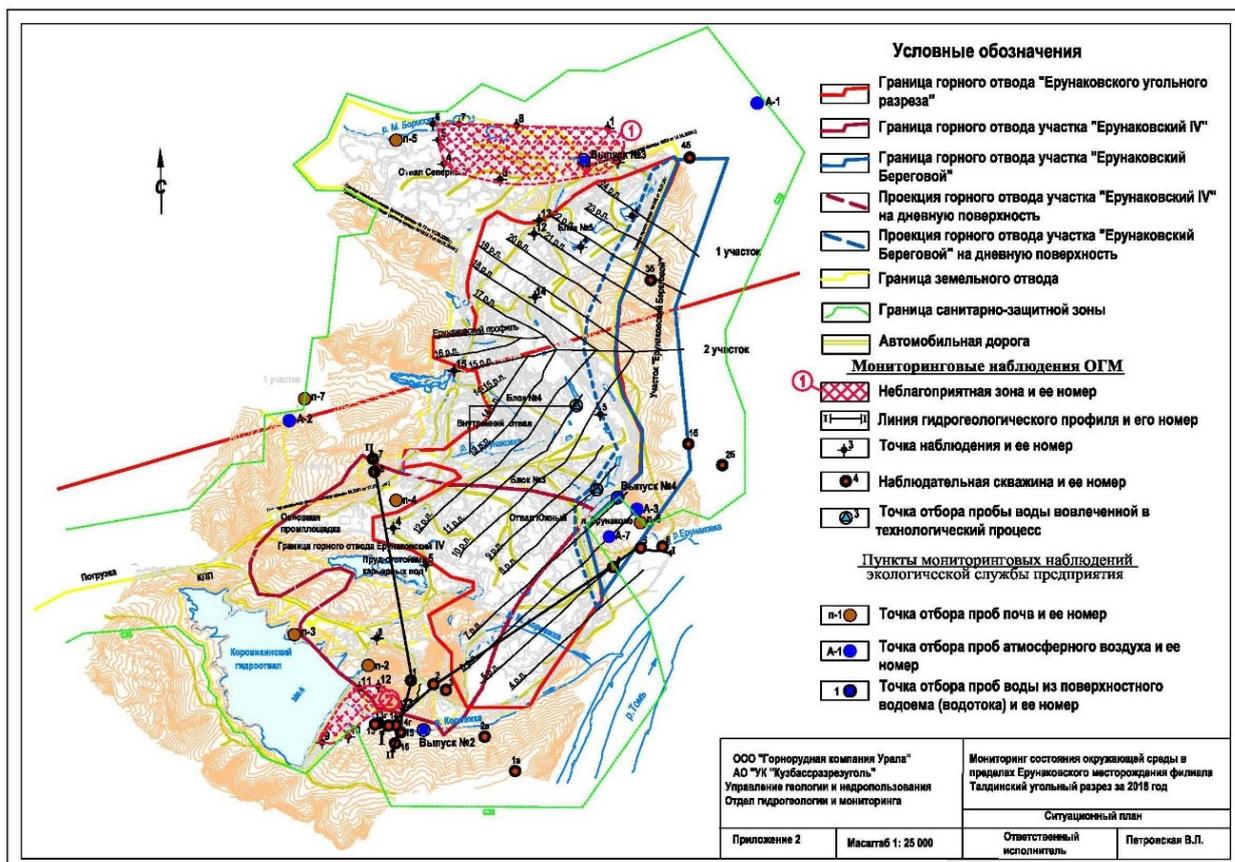


Рисунок 3.5 – План расположения наблюдательных гидрогеологических скважин

Для оценки гидрогеологической обстановки в массиве пород, заключенном между техногенной насыпью отвала «Южный» и р. Томью, наибольший интерес представляют скважины 1м – 6м, уровни в которых позволяют судить о состоянии и динамике изменений, которые происходят в водоносном горизонте в ненарушенной части породного массива. Анализ многолетних наблюдений показывает, что в скважинах 1м - 5м наблюдается постепенное увеличение уровня воды (таблица 3.2, рисунок 3.6а-3.6г).

Таблица 3.2 – Изменение уровней воды в наблюдательных скважинах

	Скв.1м	Скв.2м	Скв.3м	Скв.4м	Скв.5м	Скв.6м
Абсолютная отметка уровня воды до начала разработки месторождения, м	-	-	241,84	201,40	201,2	195,7
Абсолютная отметка уровня воды на момент начала наблюдений, м	249,40	241,40	232,50	166,00	170,97	182,5
Минимальный зафиксированный уровень воды, м	248,40	236,00	228,00	166,00	167,37	-
Максимальный зафиксированный уровень воды, м	256,67	247,63	240,84	196,03	178,34	-
Абсолютная отметка уровня воды на момент завершения проведения исследования, м	255,82	244,33	239,63	184,25	174,69	181,67
Изменение уровня воды за период наблюдений, м	6,42	2,93	6,87	18,25	3,72	-0,83
Отклонение от естественного уровня, м	-	-	-2,21	-17,15	-26,51	-14,03

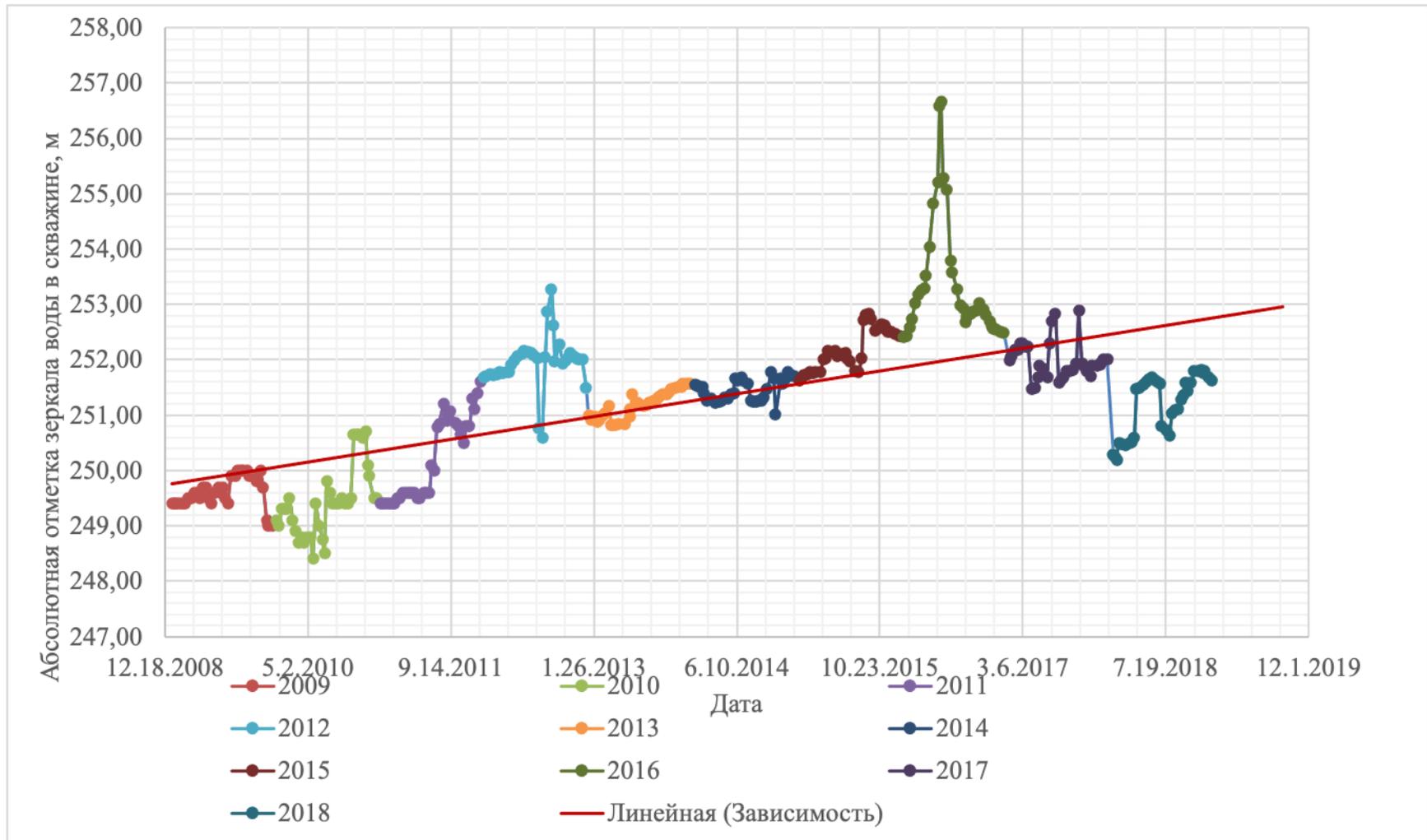


Рисунок 3.6а – Результаты наблюдения уровня водоносного горизонта в гидрогеологической мониторинговой скважине 1м (по данным гидрогеологических наблюдений, осуществленных специалистами АО «УК «Кузбассразрезуголь»)

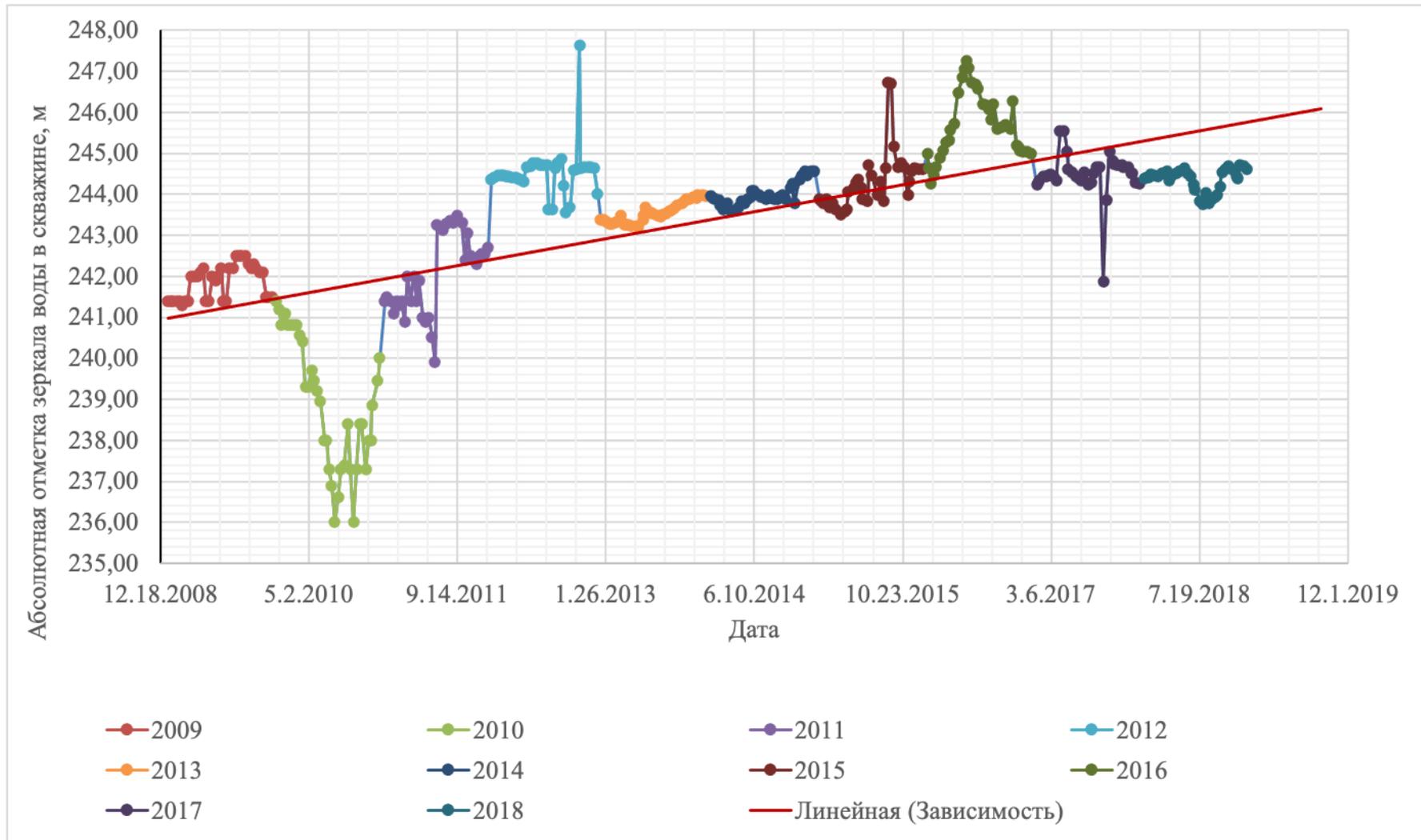


Рисунок 3.6б – Результаты наблюдения уровня водоносного горизонта в гидрогеологической мониторинговой скважине 2м (по данным гидрогеологических наблюдений, осуществленных специалистами АО «УК «Кузбассразрезуголь»)

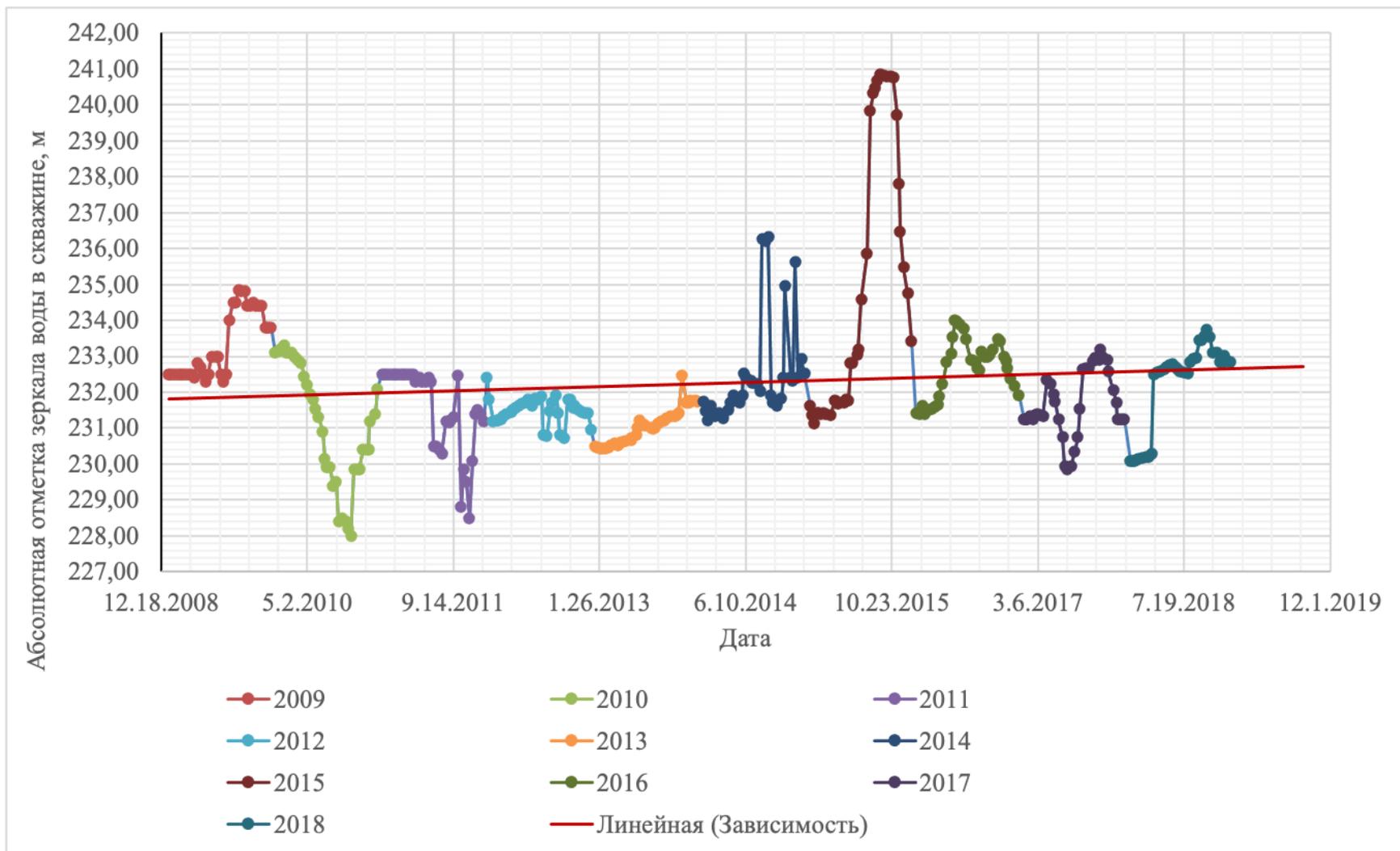


Рисунок 3.6в – Результаты наблюдения уровня водоносного горизонта в гидрогеологической мониторинговой скважине 3м (по данным гидрогеологических наблюдений, осуществленных специалистами АО «УК «Кузбассразрезуголь»)

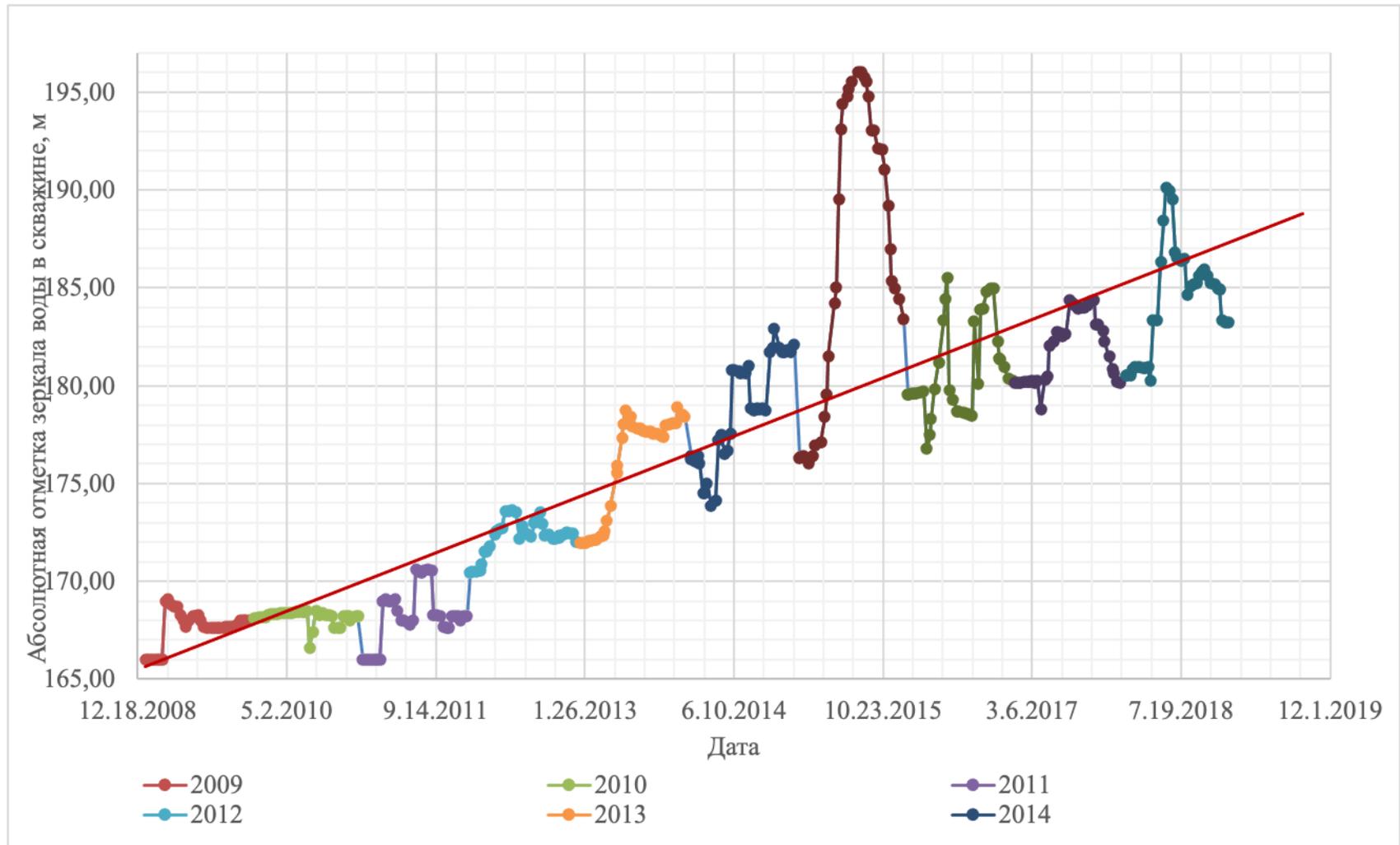


Рисунок 3.6г – Результаты наблюдения уровня водоносного горизонта в гидрогеологической мониторинговой скважине 4м (по данным гидрогеологических наблюдений, осуществленных специалистами АО «УК «Кузбассразрезуголь»)

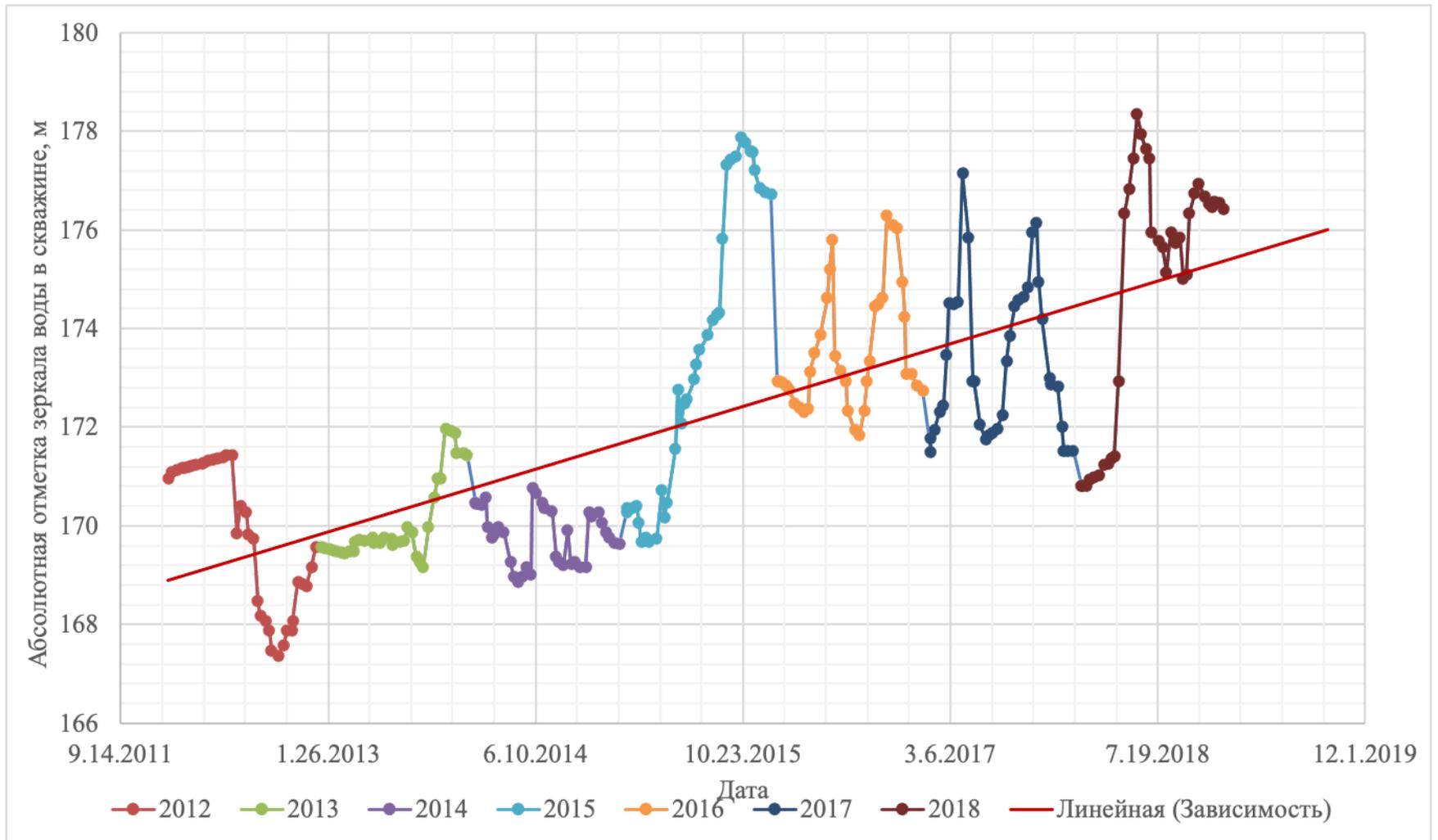


Рисунок 3.6д – Результаты наблюдения уровня водоносного горизонта в гидрогеологической мониторинговой скважине 5м (по данным гидрогеологических наблюдений, осуществленных специалистами АО «УК «Кузбассразрезуголь»)

Наиболее существенное поднятие уровня воды отмечается в скважине 4м (около 1,8 метра за год), при существующей динамике в соответствии с линейным трендом к середине 2025 года отметки водоносного горизонта достигнут естественных (до начала горных работ). Нужно отметить, что график изменения уровня воды в скважине 4м имеет выраженный максимум в 2015 году, который обуславливает достаточно быстрое возрастание тренда (см. рисунок 3.6г). Однако в последнее время уровень воды скачкообразно изменяется в течение года, но в среднем значения увеличиваются значительно медленнее, в сравнении с трендом, построенным за весь период наблюдений. За два года с 2016 по 2018 большая часть максимальных пиковых значений лежит в пределах 184-185м и только весной 2018 года уровень воды в скважине достиг отметки 190м.

Аналогичная гидрогеологическая картина складывается вблизи скважины 5м (см. рисунок 3.4д), общий тренд изменения уровня водоносного горизонта имеет возрастающий характер, скачки показателей имеют схожую амплитуду значений.

Данные по скважине 6м, находящейся в русле реки Большая Ерунаковка, остаются практически неизменными в течение всего периода наблюдения, отмечается самоизлив. Однако данные геологоразведочных работ показывают, что пьезометрический уровень ранее был на 14 метров выше [167].

Как показывает проведенный анализ, уровень водоносного горизонта является величиной с существенной временной изменчивостью, доказательством этому служат полученные кривые на рисунке 3.6. Этот факт определяет необходимость проведения контрольных замеров с большой частотой, чтобы своевременно отслеживать динамику гидрогеологических условий территории, которые, как будет показано ниже, играют ключевую роль в формировании геомеханической обстановки. Для получения более полной и достоверной информации, которая будет положена в прогноз гидрогеологической обстановки на изучаемой территории, необходимо увеличить частоту замеров, так как амплитуды колебания уровня водоносного горизонта превышают 4 м между двумя последовательными измерениями.

Весной в период снеготаяния замеры необходимо производить не реже одного раза в неделю. В летний и осенний период в штатном режиме эксплуатации и при отсутствии аномальных погодных и паводковых явлений (сильные ливневые дожди, резкое повышение уровня рек) периодичность 1 раз в декаду является достаточной, при резком изменении погодных условий или режима эксплуатации отвала «Южный» периодичность также может быть увеличена вдвое до завершения резких колебаний уровня водоносного горизонта. В зимний период количество измерений может быть сокращено до 2 раз в месяц при сохранении текущего уровня воды в прудке, расположенном в выработанном пространстве разреза.

Существовавшая до 2019 года сеть мониторинговых скважин не позволяла получать достоверную информацию о состоянии техногенного водоносного горизонта, так как в теле отвала не было наблюдательных точек, и текущая гидрогеологическая обстановка могла быть оценена только на основе имеющихся отметок поверхностных водоемов, часть из которых участвуют в питании техногенного водоносного горизонта, а прудок-отстойник в выработанном пространстве карьера является зоной разгрузки.

С целью наблюдения за уровнями техногенного водоносного горизонта в теле отвала была спроектирована сеть наблюдательных скважин (см. рисунок 2.13).

Первые три точки были позиционированы с целью получения максимально полной информации о гидрогеологической обстановке территории отвального массива:

- скважина 1 позволяет получить сведения для оценки характера движения воды от пруда-отстойника, расположенного западнее отвала до пруда-отстойника в выработанном пространстве карьера;
- скважина 2 необходима для получения информации, позволяющей осуществить моделирование фильтрации воды вдоль восточного борта выработки;
- скважина 3 позволяет получить данные для оценки уровня воды в центральной части техногенной насыпи.

Скважина 4 располагается на границе земельного отвода предприятия, она пройдена частично через техногенную насыпь частично через четвертичные отложения (галечные и песчаные отложения берега р. Томи) в непосредственной близости от места проявления оползневых явлений на берегу реки Томи и позволяет производить оценку гидрогеологической обстановки в массиве пород, слагающем борт карьера.

Основные работы, которые были проведены при бурении инженерно-геологических скважин, пройденных колонковым способом коронкой 112 мм, до контакта с естественными породами, расположенными в основании отвала перечислены ниже:

1. отбор проб (длина керна 30 см) колонковой трубой диаметром 108 мм для изучения физико-механических свойств грунтов;
2. обсадка трубой диаметром 108 мм с щелевым фильтром в соответствии с конструкцией, представленной на рисунке 3.7;
3. прокачка скважины для очистки от шлама и промывки до чистой воды;
4. отсыпка щебня для создания фильтра и подушки, колонна труб продергивалась на 0,2 м.
5. замер статического уровня воды в скважинах для определения характеристик водоносного горизонта (таблица 3.3);
6. установка в устье скважины оголовка высотой 0,8 м;
7. проведение опытно-фильтрационных работ.

Масштаб 1:500	Описание пород	Глубина подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Геологический разрез и конструкция скважины	Диаметр, мм	
					Глубина, м	
					бурения	обсадки
0						
5	Насыпной грунт состоящий из щебня алевролита и песчаника					
10				112 0,0 - 110,0	108,0 +0,8 - 109,8	
15						
20						
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						
60						
65						
70						
75						
80						
85						
90						
95				Фильтр в интервале 79,8-109,8		
100						
105						
110		110,0	110,0		Щебень	

Рисунок 3.7 – Пример организации наблюдательной гидрогеологической скважины на площади отвала «Южный»

Таблица 3.3 – Основные характеристики инженерно-геологических скважин

Номер скважины	Абсолютная отметка устья, м	Проектная глубина, м	Фактическая глубина, м	Глубина зеркала воды в скважине, м	Глубина залегания коренных пород
1	280,5	118	110	101,86	-
2	255,8	106	105	85,29	101
3	297,4	93	93	47,34	91
4	226,2	21	32,8	24,95	32

На основании результатов замеров в скважинах, пройденных в теле отвала, и в породах естественного залегания был проведен анализ текущего уровня техногенного водоносного горизонта и его положения относительно водоносного горизонта в ненарушенном массиве. Проведенный анализ показывает, что уровень воды в части тела отвала «Южный», расположенной у восточного борта карьера, значительно ниже, чем в непосредственной близости за пределами выработки (рисунок 3.8). Для подтверждения вышеприведенного факта между ранее пройденными скважинами 3 и 4 была пройдена дополнительно скважина 5 глубиной 104 м через всю толщу техногенных отложений. Точка выбиралась таким образом, чтобы ось скважины находилась в непосредственной близости от подошвы нижнего уступа карьера (рисунок 3.8).

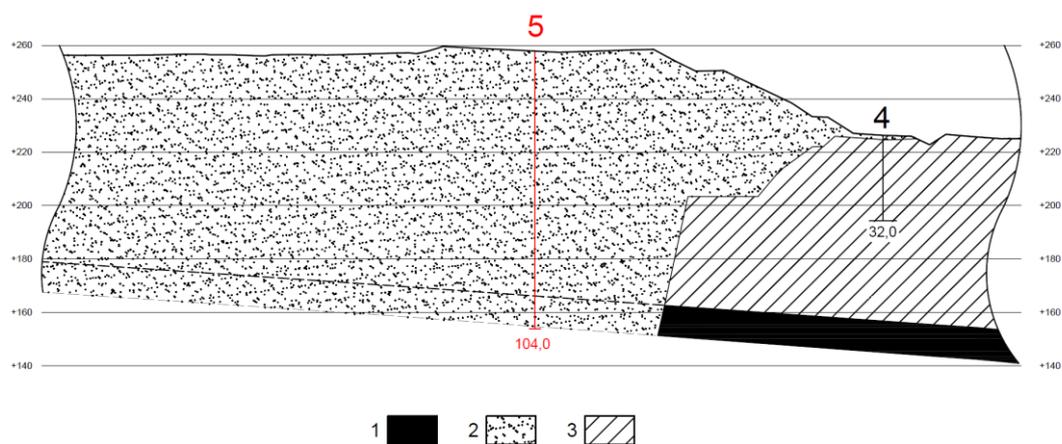


Рисунок 3.8 – Расположение инженерно-геологической скважины №5 относительно борта карьера в профиле Вг-Вг: 1 – угольный пласт; 2 – техногенная насыпь, 3 – вскрышные породы в борту выработки

В результате проведенных работ было установлено, что глубина залегания водоносного горизонта в теле отвала «Южный» в районе скважины 5 составляет 77,85 м и его гипсометрическая отметка значительно ниже, чем в ненарушенном массиве (рисунок 3.9 – 3.10). Это позволяет заключить, что естественный водоносный горизонт, располагающийся между бортом карьера и рекой Томью, частично разгружается в техногенный водоносный горизонт отвала «Южный».

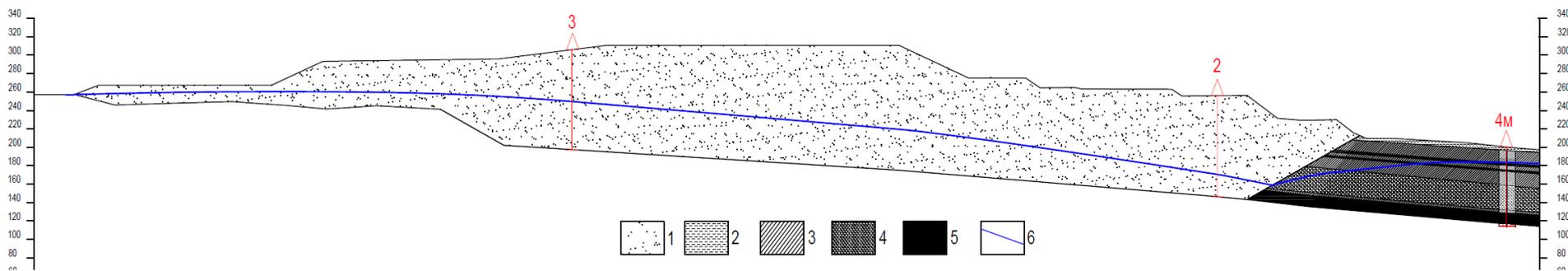


Рисунок 3.9 – Положение водоносного горизонта в теле отвала «Южный» и борту карьера по профилю Аг-Аг:
 1- техногенная насыпь, 2- четвертичные отложения; 3 и 4 – скальные вскрышные породы (песчаники и алевролиты),
 5 – угольный пласт, 6 - уровни водоносных горизонтов

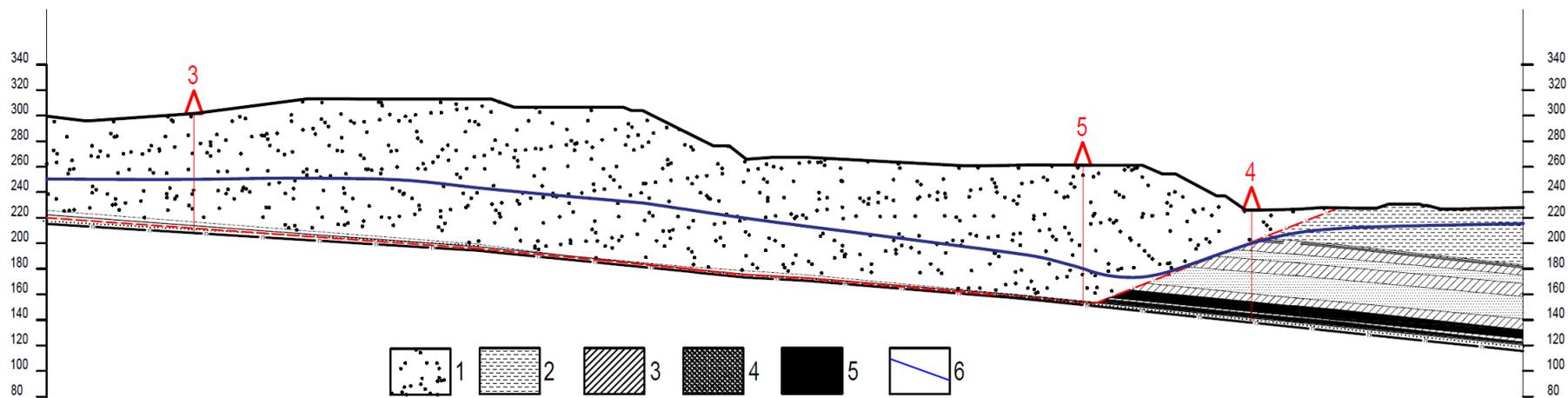


Рисунок 3.10 – Положение водоносного горизонта в теле отвала «Южный» и борту карьера по профилю Вг-Вг:
 1- техногенная насыпь, 2- четвертичные отложения; 3 и 4 – скальные вскрышные породы (песчаники и алевролиты),
 5 – угольный пласт, 6 - уровни водоносных горизонтов

3.4. Построение гидрогеологической модели внутреннего отвала «Южный», сформированного при освоении Ерунаковского каменноугольного месторождения

В результате добычи угля в районе месторождения на территории самого участка недр и прилегающей площади сформировался техногенный режим водоносного горизонта, развитого в четвертичных и пермских отложениях. Необходимо выделить несколько этапов развития горных работ, в рамках которых режимы и уровни водоносного горизонта были существенно различными [169]. Более подробно этапы формирования гидрогеологических условий описаны в начале главы 2.

Отметим, что при продвижении фронта формирования насыпи в направлении конечного положения восточного борта зона техногенного дренажа смещается на восток и в конечном итоге при достижении насыпью борта карьера формируется движение подземных вод, в том числе вдоль контактной зоны «борт карьера – техногенная насыпь», которое сохраняется до сегодняшнего дня [170]. Так как гипсометрический уровень поверхности насыпи в северо-восточной части значительно ниже и отсюда производится откачка воды, то формируется поток вдоль борта выработки в направлении с юга на север. В зоне контакта формируется основной поток воды в силу того, что основание отвала имеет наклон в сторону восточного борта, а фильтрационные свойства скальных вскрышных пород много больше, чем у техногенных, таким образом борт выработки создает барражный эффект и предотвращает перетекание воды из техногенного водоносного горизонта в естественный. Кроме того, техногенные отложения в прибортовой части обладают наибольшими фильтрационными способностями, так как были сформированы позднее всего и, соответственно, менее всего уплотнены, активное движение воды способствует выносу глинистого материала из техногенного массива и дополнительному увеличению фильтрационной способности отложений.

На сегодняшний день в связи с увеличением пути фильтрации воды и объема техногенной насыпи наблюдается постепенное восстановление положения водоносного горизонта до отметок, которые наблюдались до начала ведения

горных работ на участке, это обуславливает увеличение уровня воды в мониторинговых скважинах, что было отмечено в предыдущих разделах диссертации.

Соотношение фактических и естественных (наблюдавшихся до начала ведения горных работ) уровней подземных вод показывает, что в настоящее время их режим на участке остается в нарушенном состоянии. Глубина залегания подземных вод в мониторинговой скважине №4м и пробуренной инженерно-геологической №4 выше уровня р. Томи, это свидетельствует о том, что воронка депрессии не достигла реки и вода из нее на сегодняшний день в выработки не поступает, этому, в том числе, способствует залегание пород с наклоном до 10° в сторону реки.

Для моделирования уровня техногенного водоносного горизонта в теле отвала «Южный» использовались результаты, полученные:

- в результате маркшейдерской и геодезической съемки;
- при осуществлении наблюдений в пьезометрических скважинах;
- при выполнении лабораторных исследований техногенных отложений [121].

Водоносный горизонт в теле отвала «Южный» является безнапорным, в связи с этим положение поверхности депрессионной воронки в профиле рассчитывалось на основе закона Дарси:

$$H = \sqrt{H_1^2 - \frac{x}{l} \cdot (H_1^2 - H_2^2)}, \quad (3.1)$$

где H_1 – уровень водоносного горизонта в зоне питания;

H_2 – уровень водоносного горизонта в зоне разгрузки;

l – расстояние между зоной питания и разгрузки;

x – расстояние от зоны питания до рассматриваемой точки.

С использованием вышеприведенной зависимости произведем расчет по ключевому профилю I-I (рисунок 3.11), который проходит через два прудка-отстойника и скважину №1. Для расчетов использовались следующие данные: в зоне питания уровень был принят равным – 257,3 м, что соответствует отметке

зеркала воды в прудке-отстойнике западнее отвала «Южный»; уровень в зоне разгрузки соответствует абсолютной отметке зеркала воды в северо-восточном прудке-отстойнике, расположенного внутри выработки и равен 132,5м, длина пути фильтрации – 1486,68м.

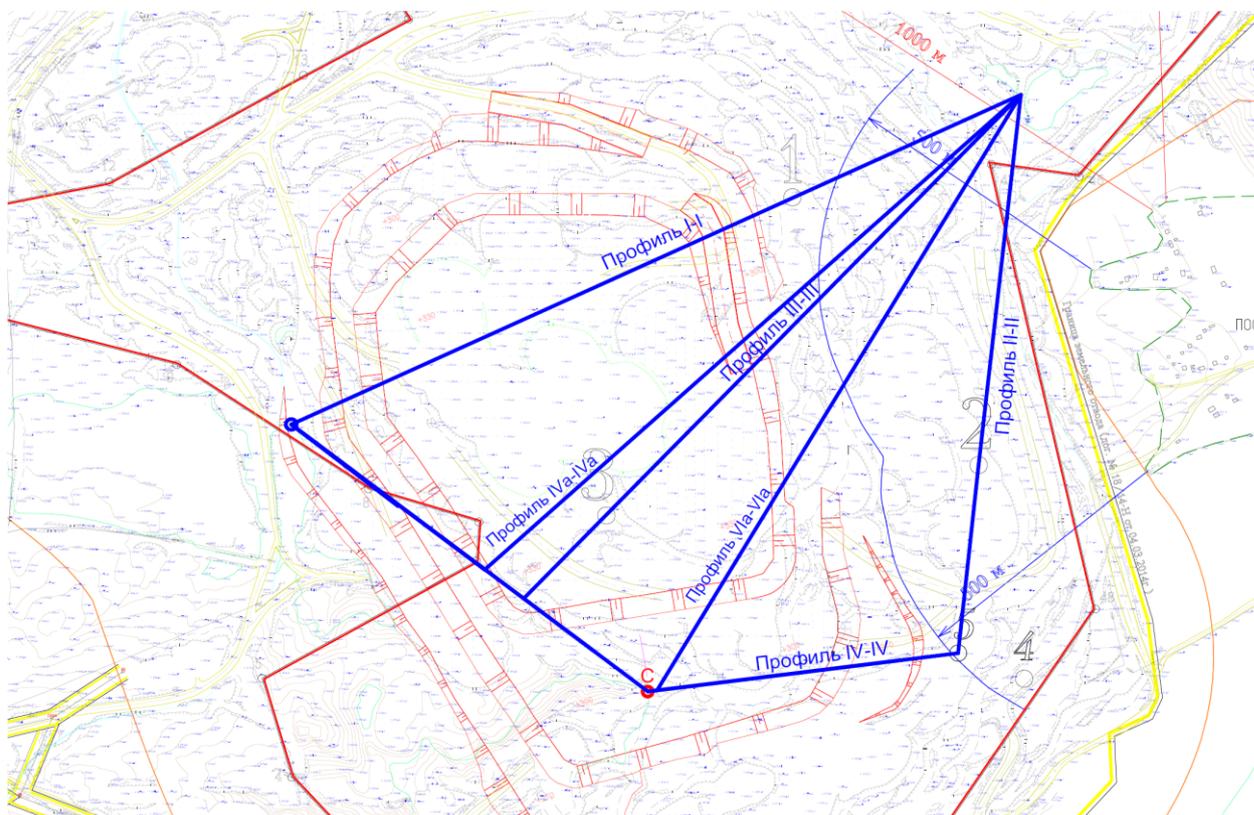


Рисунок 3.11 – Положение ключевых расчетных гидрогеологических профилей

Проведенные вычисления показали удовлетворительную сходимость рассчитанного уровня в скважине №1 и реального по состоянию на момент бурения, разница в уровнях составила 2,36 м (рисунок 3.12). Получившееся расхождение объясняется, в первую очередь, неоднородностью фильтрационных свойств техногенного массива, что объясняется тем, что соотношение рыхлой четвертичной вскрыши и скальной на этапах формирования отвала было неодинаковым, отложения имеют разную степень выветрелости и т.д.

Уравнение депрессионной кривой для расчетного гидрогеологического профиля I-I имеет вид:

$$H_I = -1,5024 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,061608952 \cdot x + 257,3, \quad (3.2)$$

где x – расстояние от прудка-отстойника до расчетной точки, м.

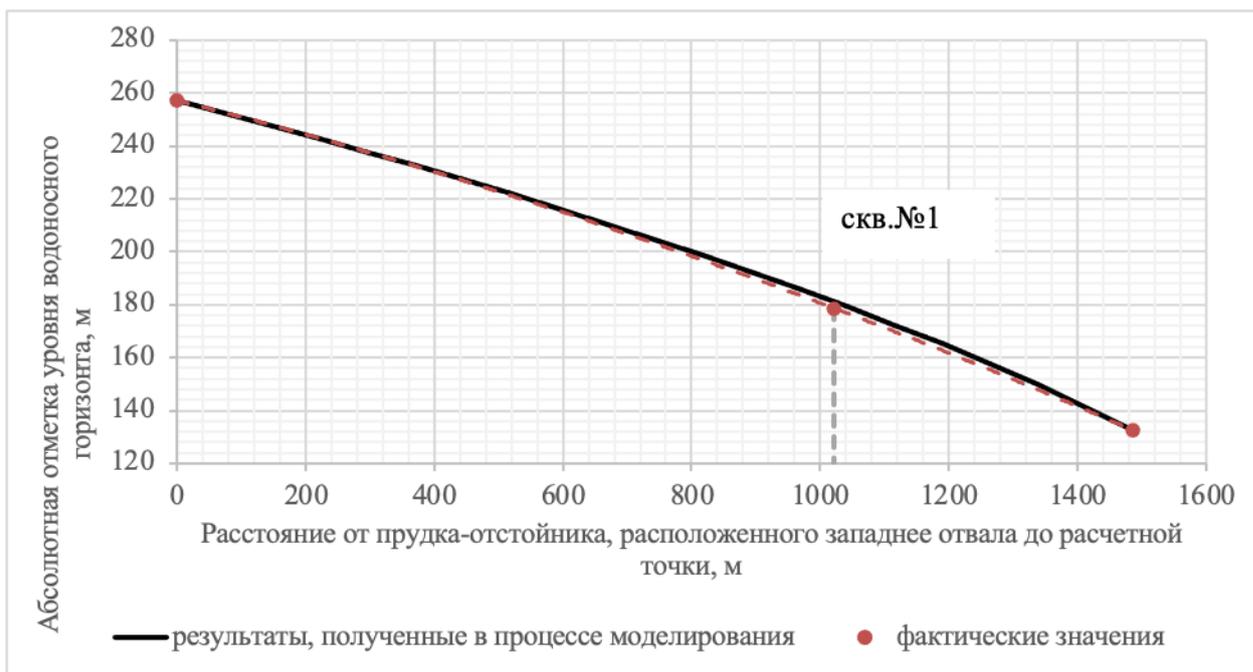


Рисунок 3.12 – Депрессионная кривая по профилю I-I

Аналогичные вычисления с использованием закона Дарси были осуществлены для ключевого расчетного гидрогеологического профиля II-II, проведенного вдоль конечного положения восточного борта карьера. Расчеты показали более низкую, в сравнении с данными полученными для сечения I-I (однако также удовлетворительную) сходимость между результатами моделирования и реальными данными, зафиксированными в процессе гидрогеологических изысканий, расхождение для скв.№2 составило 4,65 м (рисунок 3.13). Эти нестыковки можно объяснить более сложной гидродинамической системой, которая сформировалась вдоль борта выработки.

В южной части профиля II-II большая часть воды в техногенный горизонт поступает за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также воды из прудка, расположенного юго-западнее отвала. По мере продвижения на север к потоку, отходящему от области скважины 5, добавляется вода, которая в результате сформировавшегося гидрогеологического режима движется с запада (от прудка-отстойника).

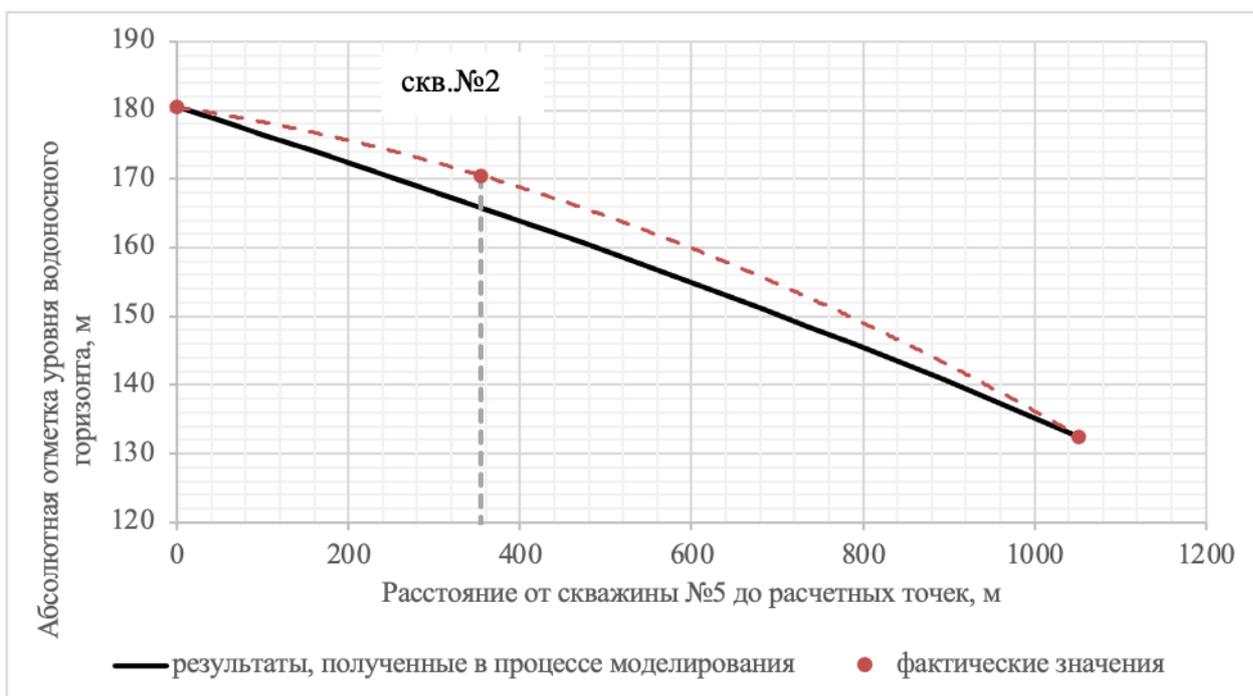


Рисунок 3.13 – Депрессионная кривая по профилю II -II

Данный режим транзита объясняет высокий фактический уровень водоносного горизонта в районе скважины 2, чем полученный в результате расчетов на основе закона Дарси. Последний предполагает моделирование достаточно идеализированной ситуации, при которой движение потока воды однонаправленно, а среда относительно изотропна.

Уравнение депрессионной кривой по профилю II-II получим путем интерполяции фактических отметок [170]:

$$H_{II} = -2,50972 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,01955546 \cdot x + 180,45, \quad (3.3)$$

где x – расстояние от скв. №5 до расчетной точки, м.

В профиле III-III различные фильтрационные свойства техногенных отложений и сложное распределение потоков обуславливают большое расхождение между данными, полученными при моделировании депрессионной кривой по закону Дарси (рисунок 3.14) и реальными уровнями водоносного горизонта. Для скважины 3 разница составляет 9,35 м.

Уравнение депрессионной кривой примем в виде:

$$H_{III} = -5,74439 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,018151092 \cdot x + 256,36, \quad (3.4)$$

где x – расстояние от профиля IV-IV до расчетной точки, м.

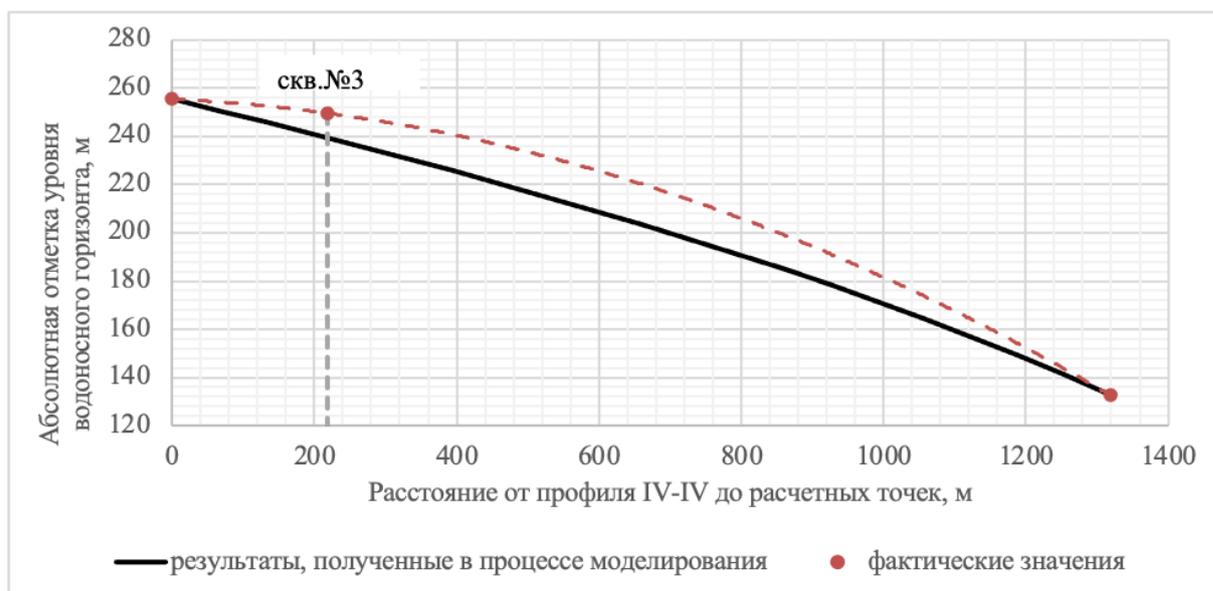


Рисунок 3.14 – Депрессионная кривая по профилю III -III

Четвертый расчетный гидрогеологический профиль состоит из двух частей (рисунок 3.15):

1. от пересечения с профилем I-I до точки С – гидрогеологическая обстановка данного участка полностью определяется наличием искусственных поверхностных водоемов, положение депрессионной кривой между двумя указанными точками определяется режимом естественного водоносного горизонта;
2. от точки С до пересечения с профилем II-II – участок проходит по техногенному водоносному горизонту, с достаточно быстрым понижением уровня в сторону скв.№5 и соответственно большим значение напорного градиента.

Математическое выражение, описывающее депрессионную кривую по профилю IV-IV имеет вид:

$$H_{IV} = \begin{cases} -3,6992 \cdot 10^{-8} \cdot x^2 - 4,3125 \cdot 10^{-3} \cdot x + 257,3; & 0 \leq x \leq 828,89 \\ -3,84924 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 0,040289 \cdot x + 313,54; & 828,89 \leq x \leq 1408,36' \end{cases} \quad (3.5)$$

где x – расстояние от профиля I-I до расчетной точки.

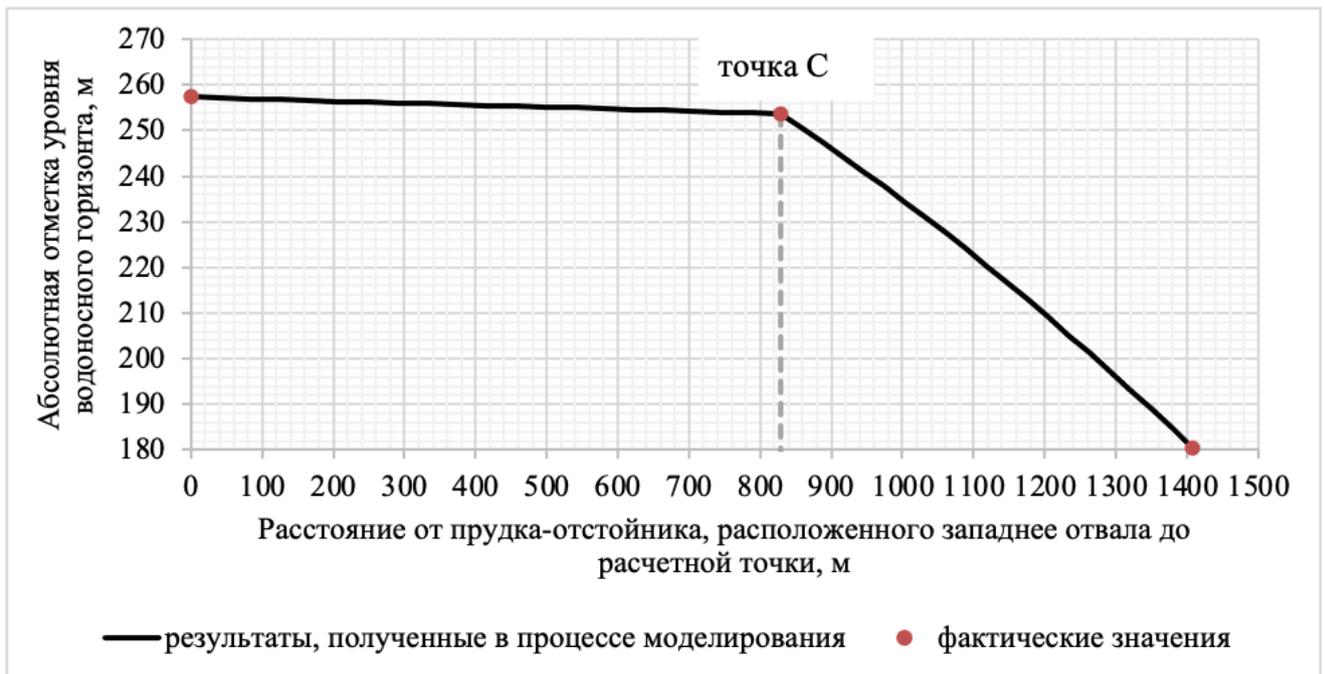


Рисунок 3.15 – Депрессионная кривая по профилю IV-IV

Проведенные вычисления показывают, что в выбранных расчетных профилях депрессионные кривые имеют в параболическую зависимость вида:

$$H = Ax^2 + Bx + C. \quad (3.6)$$

Методами аппроксимации определим зависимости, с помощью которых можно вычислить коэффициенты A и B параболических уравнений депрессионных кривых, проведенных от некоторой точки профиля IV-IV к прудку-отстойнику, расположенному в выработанной пространстве карьера на северо-востоке, и удаленной на расстояние l от пересечения профилей I-I и IV-IV (см. рисунок 3.11)

Для вычислений зависимостей составим таблицу исходных данных, в которую входят значения коэффициентов параболических уравнений, полученных для депрессионных кривых по профилям I-I, II-II и III-III (таблица 3.4).

В результате вычислений получим:

$$\begin{cases} A = 7,8416 \cdot 10^{-11} \cdot l^2 - 1,2088 \cdot 10^{-7} \cdot l - 1,50243 \cdot 10^{-5} \\ B = -5,61102 \cdot 10^{-8} \cdot l^2 + 1,1075 \cdot 10^{-4} \cdot l - 6,1608952 \cdot 10^{-2} \end{cases} \quad (3.7)$$

где l – расстояние от профиля I-I до расчетной точки вдоль профиля IV-IV.

Таблица 3.4 – Характеристики депрессионных кривых по расчетным гидрогеологическим профилям

	Профиль I-I	Профиль II -II	Профиль III -III
Расстояние от профиля I-I, м	0	1453,12	540,29
A	$-1,50243 \cdot 10^{-5}$	$-2,50972 \cdot 10^{-5}$	$-5,74439 \cdot 10^{-5}$
B	-0,061608952	-0,019155546	-0,018151092
C	257,3	180,45	256,36

Значение свободного коэффициента C вычисляется из соотношения для депрессионной кривой H_{IV} .

Таким образом, на основе полученных закономерностей можно рассчитать уровень техногенного водоносного горизонта для произвольной точки, заключенной на плане между профилями I-I, II-II и IV-IV. Выделенная часть техногенной насыпи в наибольшей степени может оказывать потенциальное воздействие на состояние естественного массива пород, заключенного между отвалом и урезом реки Томи. В связи с этим в последующих главах при оценке устойчивости отвала будет преимущественно рассматриваться восточный откос отвала «Южный», это обусловлено, в том числе тем, что залегание коренных пород в районе месторождения определяет преимущественное направление смещений в эту сторону.

В качестве примера были построены депрессионные кривые для двух профилей IVa-IVa и VIa-VIa согласно рисунку 3.11 (рисунок 3.16). В таблице 3.5 представлены значения коэффициентов, рассчитанные на основе полученных в процессе моделирования зависимостей.

Для расчета уровня техногенного водоносного горизонта в теле отвала «Южный» при различных гипсометрических отметках уреза воды в прудках-отстойниках и пьезометрических скважинах реализована модель, которая в табличной форме выводит значения для контрольных разрезов, их количество может быть настроено пользователем и составлять от 1 до 9.

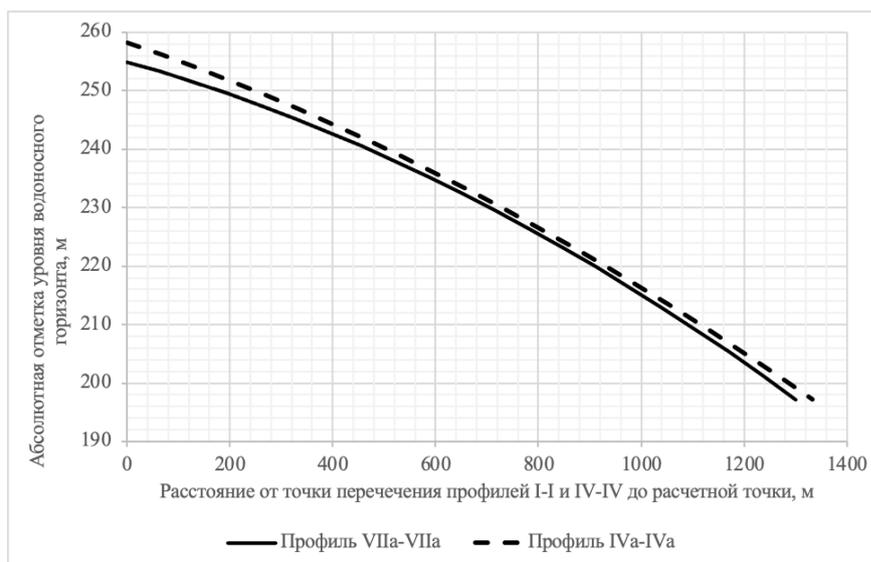


Рисунок 3.16 – Депрессионная кривая по профилям IVa-IVa и VIa-VIa

Таблица 3.5 – Характеристики депрессионных кривых по расчетным гидрогеологическим профилям

	Профиль IVa-IVa	Профиль VIa -VIa
Расстояние от профиля I-I, м	450	850
A	$-5,35411 \cdot 10^{-5}$	$-6,11168 \cdot 10^{-5}$
B	-0,020765599	0,011935097
C	255,35	251,49
Протяженность профиля, м	1333,212	1301,074

Положение профилей задается расстоянием от точки пересечения профилей I-I и IV-IV до выбранной пользователем точки вдоль профиля IV-IV, вторая точка профиля является фиксированной – это прудок-отстойник в выработанном пространстве карьера.

Для визуализации уровня водоносного горизонта в теле отвала «Южный» был разработан инструментарий, позволяющий строить поверхности в трехмерной среде (рисунок 3.17) [171]. Исходными данными для программы служат файл в формате .xlsx с тремя основными листами:

- в листе "R" содержатся координаты точек в пространстве, которые составляют поверхности (рассчитываются с помощью гидрогеологической модели и автоматически формируют набор входных данных);
- лист "Layers" – с его помощью пользователь может указать, какие поверхности необходимо отобразить в трехмерной модели; существует три опции отображения: points - отображает точки, по которым построена поверхность, lines - отображает скелет поверхности, построенный линиями и surface строит полигональную 3d-поверхность; для каждого слоя можно выбрать любую из трёх опций, поставив 1 в соответствующем столбце;
- лист "Options" содержит настройки работы программы: X,Y,Z центра - координаты центра модели; Радиус X, Y, Z - расстояние от центра до границы отрисовки, эти параметры задают масштаб, рекомендуется использовать значения $X=Y$.

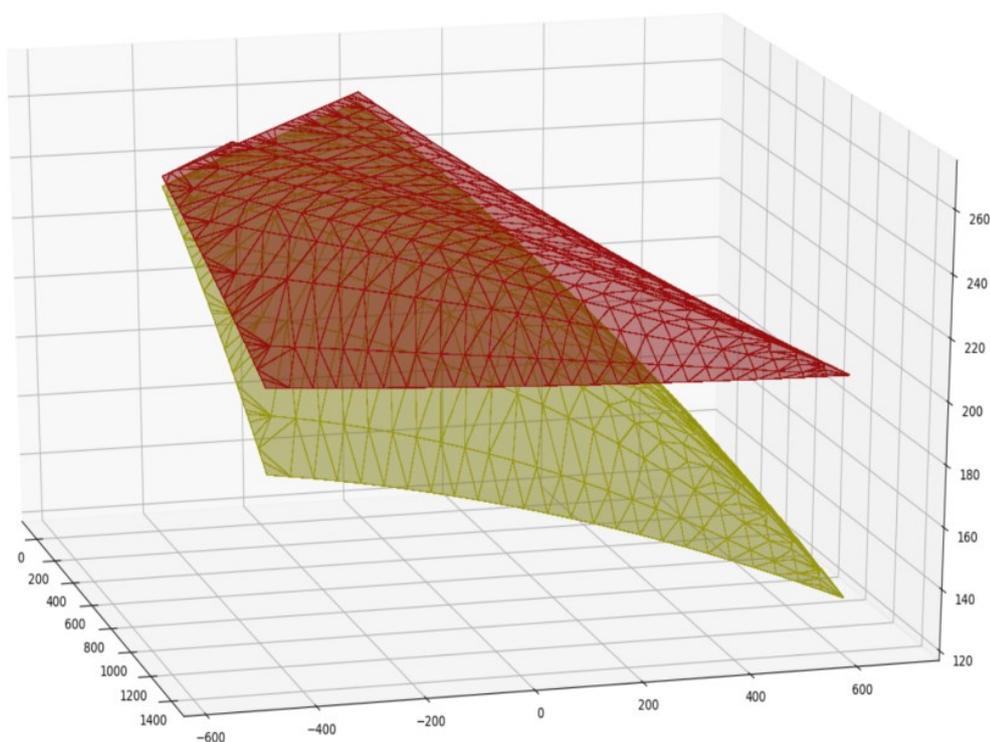


Рисунок 3.17 – Трехмерная модель фактического (зеленая поверхность) уровня водоносного горизонта в теле отвала «Южный» и при восстановлении отметок, которые были до начала ведения горных работ (красная поверхность)

Разработанный инструментарий позволяет в интерактивном режиме оценивать уровень техногенного водоносного горизонта в теле отвала, а также применять полученные результаты для проведения геомеханических и других расчетов.

Выводы по главе III

Анализ геологической и гидрогеологической обстановок показал, что для района расположения внутреннего отвала «Южный» характерно наклонное залегание пород, а также особенности рельефа обуславливают движение подземных вод преимущественно в восточном направлении с зоной разгрузки в пойме реки Томи.

При формировании системы «внутренний отвал – прибортовой массив» можно выделить два этапа развития гидрогеологических условий территории. Первый, при котором развитие горных работ определяет перемещение рабочего борта вдоль падения угольного пласта и соответственно развития депрессионной воронки вблизи карьера. Второй – соответствует временному интервалу, при котором формирование в выработанном пространстве отвала стало препятствовать фильтрации подземных вод напрямую в карьер.

В теле внутреннего отвала «Южный» сформирован техногенный водоносный горизонт, его питание осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и воды, заключенной в двух искусственных водоемах (на западе и юго-западе). Основное направление движения воды осуществляется к водосборному пруду, расположенному в северо-восточной части выработки.

В результате перетекания воды из естественного водоносного горизонта в техногенный западнее, севернее и южнее рассматриваемого внутреннего отвала осуществляется питание последнего. Сформировавшаяся зона интенсивной фильтрации вдоль контакта «отвал – борт» в восточной части отвала «Южный» обуславливает отсутствие гидравлической связи между техногенным водоносным горизонтом и естественным водоносным горизонтом, сформированным между восточным бортом карьера и берегом реки Томи.

С применением полученной гидрогеологической модели, охватывающей большую часть тела внутреннего отвала, и разработанного инструментария можно осуществить расчет текущего или прогнозного уровня техногенного водоносного горизонта для произвольной точки, заключенной на плане между контрольными гидрогеологическими профилями I-I, II-II и IV-IV. Выделенная часть техногенной насыпи в наибольшей степени может оказывать потенциальное воздействие на состояние естественного массива пород, заключенного между отвалом и урезом реки Томи.

ГЛАВА 4. ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ С УЧЕТОМ ФАКТИЧЕСКИХ И ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ ОТВАЛОВ И ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УЧАСТКА

Формирование внутренних отвалов определяет изменение гидрогеологических условий территории, в свою очередь отсыпка техногенного массива выше первоначального уровня дневной поверхности способствует увеличению нагрузок на прибортовой массив, что может стать причиной развития деформационных явлений [172].

Как упоминалось ранее, территория отвала «Южный» располагается вблизи берега реки Томи, а породы имеют наклонное залегание на восток, то есть к долине водотока. Несомненно, такие инженерно-геологические условия определяют необходимость оценки влияния техногенной насыпи на геомеханическое состояние прибортового массива пород, которые частично разуплотнены в результате ведения взрывных работ, и в нем сформировался техногенный режим подземных вод.

Вышеперечисленные факторы необходимо рассматривать в качестве потенциальных причин оползневых процессов, зафиксированных непосредственно на берегу р.Томи. Однако анализ причин деформационных явлений, зафиксированных на берегах водотоков, показывает, что наиболее распространенными факторами, оказывающими влияние на их гидрогеомеханическое состояние, являются резкое изменение уровня воды, а также процессы боковой эрозии, которые активно развиваются в периоды паводков и половодий [173].

В данной главе проведена оценка влияния отвала на прибортовой массив на текущей стадии формирования техногенного массива и при его формировании до проектных отметок. Необходимо отметить, что в соответствии с планом развития горного предприятия в ближайшие пять лет предполагается вовлечение в отработку участка «Береговой», который расположен восточнее действующих

выработок. Данный фактор также значительно повлияет на гидрогеомеханическую обстановку территории.

4.1. Проведение натурного обследования отвала «Южный» и потенциально оползневого берега р.Томи в районе ведения горных работ

С целью сбора информации и оценки текущего состояния откосных сооружений, потенциально оползневых береговых склонов, а также гидрогеологической и гидрологической ситуации в третьей декаде января 2019 года были организованы работы по проведению натурных исследований отвала и района деформаций участка берега реки Томи. В процессе непосредственного полевого обследования территории ведения горных работ и прилегающих площадей проводилось фотографирование ключевых участков, описание и анализ текущего состояния объектов горнопромышленной природно-техногенной системы.

Основные факты, отмеченные в результате натурного обследования:

1. визуальные наблюдения не выявили деформаций техногенного массива (отвала «Южный»), отсутствуют характерные трещины, вызванные деформациями откосных сооружений;
2. на момент проведения обследования основная часть складированных вскрышных пород представлена алевролитами и песчаниками, из которых формируется в соответствии с проектными решениями отвал «Южный»; четвертичные отложения (глины и суглинки) складированы преимущественно в центральной части техногенной насыпи для исключения формирования больших участков в основании и теле массива, состоящих целиком из глинистых пород, которые при увлажнении могут сформировать зоны ослабления, по которым в свою очередь могут происходить смещения (рисунок 4.1);
3. на западе и юго-западе относительно отвала «Южный» расположены два искусственных водоема (абсолютные отметки зеркала воды составляют 257,3-253,7 м), питание осуществляется за счет сбора дождевых и талых вод;



Рисунок 4.1 – Формирование отвала «Южный», совместная укладка алевролитов и песчаников с глинистыми породами

4. северо-восточнее отвала «Южный» в выработанном пространстве расположен пруд-отстойник (абсолютная отметка уреза воды ~132,5 м), в который осуществляется перекачка воды из действующей выработки, а также происходит разгрузка техногенного водоносного горизонта, образовавшегося в теле отвала; из прудка-отстойника осветленная вода поступает в реку Ерунаковка за пределы карьерной выработки с целью общего понижения уровня водоносных горизонтов в зоне ведения добычных работ (рисунок 4.2 и 4.3);
5. в основании северо-восточного откоса отвала «Южный» выявлены места высачивания воды из тела техногенного массива, что свидетельствует о том, что нижняя его часть сформирована из материала с высокими фильтрационными показателями (щебня и глыб алевролитов и песчаников);

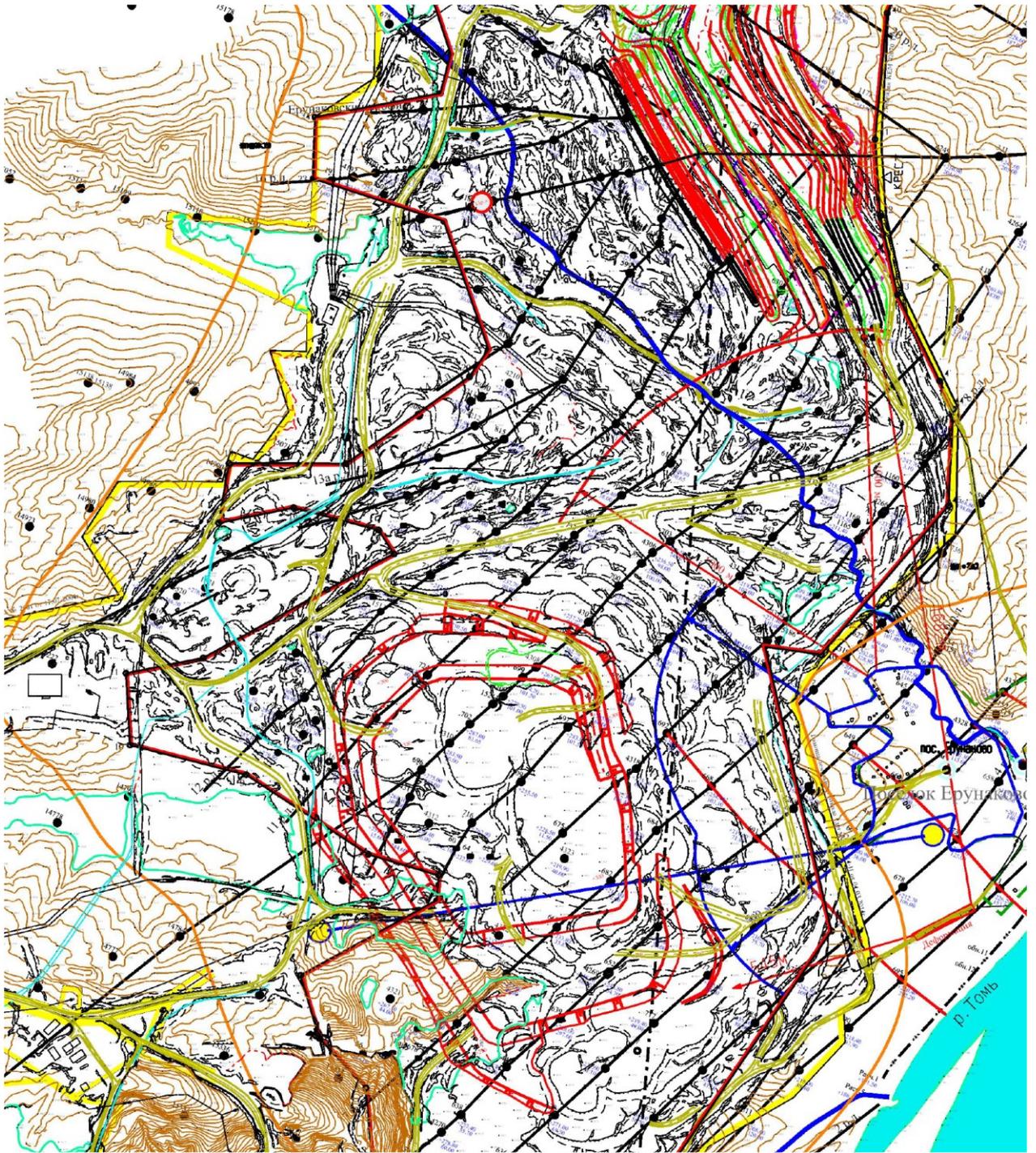


Рисунок 4.2 – План района ведения горных работ в районе отвала
«Южный»



Рисунок 4.3а – Искусственный водоем северо-восточнее отвала «Южный» в выработанном пространстве



Рисунок 4.3б – Искусственный водоем западнее отвала «Южный»

- б. дочетвертичные вскрышные породы в климатических условиях Кемеровской области (в первую очередь, под действием атмосферных осадков) в отвальной насыпи быстро выветриваются с образованием щебня

песчаников и алевролитов и песчано-глинистого материала, данный факт свидетельствует о необходимости уточнения свойств техногенных отложений в основании, так как в результате длительного замачивания, их свойства и характеристики, а соответственно и показатели физико-механических свойств значительно изменились, что может неблагоприятно сказаться на устойчивости отвального массива;

7. на расстоянии 135 метров от границы земельного отвода в юго-восточном направлении от отвала «Южный» выявлены деформации коренного берега реки Томи, на обследуемом участке была проложена автодорога, абсолютная отметка поверхности террас в районе деформаций составляет ~ 225 м, уреза воды в период межени ~ 178 м, минимальное расстояние от нарушенной дороги до уреза воды составляет 220 м, угол откоса достигает 46-47° (рисунок 4.4);



Рисунок 4.4 – Вид на оползневой цирк с юго-западной стороны

8. смещенный массив (участок коренного левого берега р. Томи) покрыт кустарниками и деревьями, многие из них (возраст которых значительно

превышает десять лет) имеют характерные искривленные стволы (рисунок 4.5.), что косвенно может свидетельствовать о деформациях берега, происходивших раньше случившегося оползня и о том, что массив периодически находился в состоянии близком к предельному равновесному; в период проведения обследования текущее состояние рассматриваемого участка берега оценить было сложно в связи с наличием снежного покрова значительной мощности;



Рисунок 4.5 – Смещенный массив пород с древесной растительностью, имеющей искривленные стволы

9. оползневой массив представляет собой часть юго-восточного склона гряды холмов, протянувшихся вдоль р. Томи, по которой была проложена автомобильная дорога, при этом необходимо отметить, что на северо-западном склоне деформации выявлены не были, хотя он имеет схожие параметры;

10. в районе проведения обследования русло р. Томи имеет слабоогнутую форму (рисунок 4.6.), что с учетом направления течения может способствовать активизации процессов береговой эрозии, однако последние выявлены не были; на представленном космическом снимке хорошо видны последствия оползневой деформации берега и процесс размыва суглинков и глин речным потоком;
11. по поселку Ерунаково протекает река Ерунаковка, являющаяся левым притоком Томи, представляющая собой небольшой водоток, не оказывающий значительного влияния на гидрогеологическую и гидрогеомеханическую обстановку участка;



Рисунок 4.6 – Космический снимок района обследования (красной рамкой обведен оползневой участок)

12. на площади ведения горных работ и прилегающих к ней территориям организованы гидрогеологические наблюдения; при проведении натурного обследования были произведены гидрогеологические измерения в мониторинговой скважине, расположенной в поселке в пойме реки Ерунаковка; на данном участке грунтовые воды обладают напором (пьезометрический уровень на 0,5 м выше дневной поверхности), отмечен самоизлив подземных

вод из скважины с дебитом ~4,5-5 литров/мин (рисунок 4.7); вода в скважине прозрачная, имеет слабый запах.



Рисунок 4.7 – Самоизлив подземных вод из мониторинговой гидрогеологической скважины №6, расположенной в пойме р. Ерунаковка

Проведенные натурные обследования позволили осуществить сбор необходимой информации для дальнейшего моделирования геомеханического состояния отвала «Южный» и прилегающего к нему массива пород [121].

4.2. Построение инженерно-геологической и геомеханической моделей отвала Южный с учетом его фактических и планируемых параметров

Для оценки состояния отвала «Южный» было определено положение ключевых расчетных геомеханических профилей, по которым проведена оценка состояния техногенного массива путем расчета коэффициента запаса устойчивости. Очевидно, что наиболее вероятны деформации отвала в сторону реки Томи, это обусловлено наклонным залеганием пород основания в этом направлении. По данным анализа инженерно-геологических и гидрогеологических

условий эксплуатации, а также с учетом фактических и проектных параметров отвала «Южный» для оценки его геомеханического состояния было выбрано четыре контрольных расчетных профиля (рисунок 4.8).

Общее состояние техногенной насыпи в фиксированный момент времени будем характеризовать минимальным значением коэффициента запаса устойчивости из получившихся по четырем геомеханическим профилям. Выбранные сечения охватывают весь фронт породного массива между конечным положением восточного борта карьера и урезом реки, который потенциально может оказывать негативное воздействие на устойчивость берега Томи.

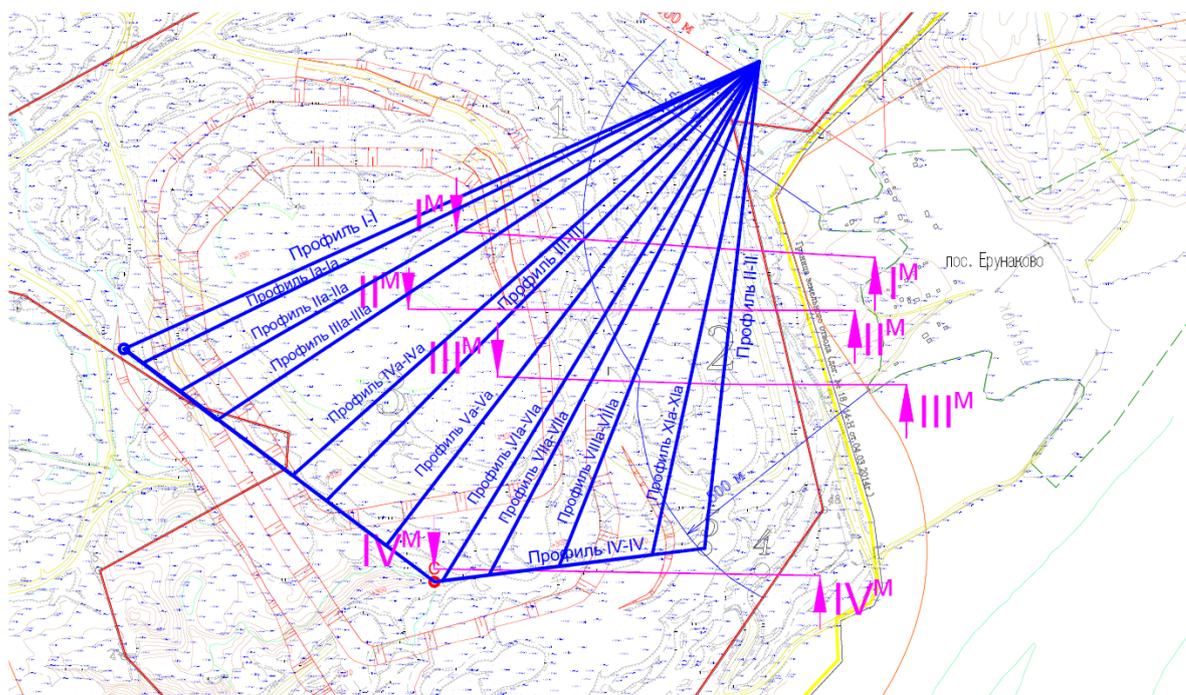


Рисунок 4.8 – Расположение расчетных геомеханических профилей (синим цветом указаны гидрогеологические профили для вычисления положения уровня водоносного горизонта, малиновым – геомеханические профили)

Для проведения расчетов коэффициента запаса устойчивости на основании геологических данных, маркшейдерской съемки и проекта развития отвала «Южный» были построены разрезы по выбранным профилям при фактических и проектных параметрах техногенного массива (рисунки 4.9а-г). Также были выделены инженерно-геологические элементы, для которых был определен набор

необходимых физико-механических характеристик с учетом проведенных лабораторных испытаний (таблица 4.1). Свойства пород наклонного основания были выбраны минимальными, в данном случае значения получаемых коэффициентов запаса устойчивости будут несколько занижены. В дальнейшем при необходимости изменении проекта отвалообразования для уточнения инженерно-геологической модели техногенной насыпи и его основания необходимо провести районирование основания по соответствующим показателям, характеризующим прочностные свойства пород (угол внутреннего трения, удельное сцепление или укрупненно, проводя оконтуривание литологических разностей, которые будут характеризовать положение слабых и относительно крепких пород в основании отвала) [174-175].

На сегодняшний день в соответствии нормами и правилами расчета устойчивости отвалов, при оценке состояния откосного сооружения используются модели, которые учитывают факторы, влияющие на его устойчивость, описанные выше: гидрогеологические (положение уровня водоносного горизонта в теле массива), технологические (геометрические параметры сооружения, вибрационное воздействие транспорта и взрывных работ) и инженерно-геологические (литологический состав массива и его основания, физико-механические свойства отложений).

Таблица 4.1. – Физико-механические свойства расчетных геологических элементов (РГЭ), используемые при оценке устойчивости отвала «Южный»

№ РГЭ	Описание РГЭ	Физико-механические свойства		
		Плотность, кг/м ³	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, кПа
1	Техногенные отложения отвала «Южный»	1990	26,4	181
2	Слабые породы основания	2100	10	16
3	Относительно крепкие породы основания	2100	18	20

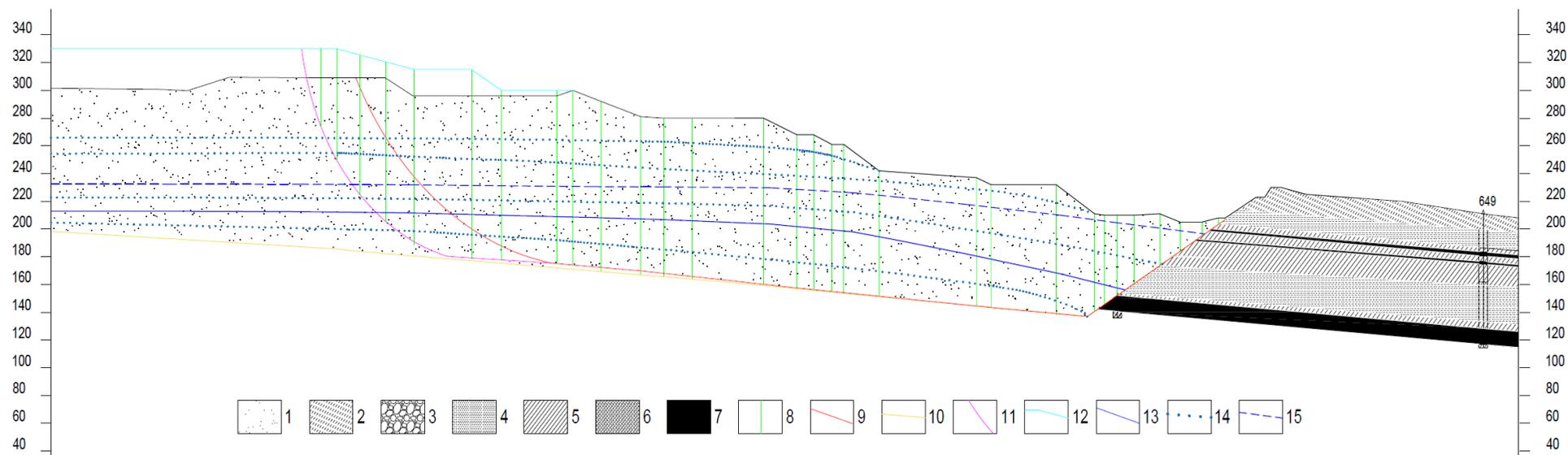


Рисунок 4.9а. – Разрез отвала «Южный» с прилегающей территорией по линии Г^М - Г^М:

1 – отвальная насыпь; 2 – рыхлые четвертичные отложения (преимущественно суглинистого и глинистого состава); 3 – четвертичные аллювиальные валунно-галечные отложения; 4 – песчаники; 5 – мелкозернистые алевролиты; 6 – крупнозернистые алевролиты; 7 – уголь; 8 – границы расчетных блоков; 9 – наиболее вероятная поверхность скольжения в теле отвала при текущих параметрах насыпи; 10 – линия контакта техногенных отложений и основания; 11 – наиболее вероятная поверхность скольжения в теле отвала при проектных параметрах насыпи; 12 – проектные отметки отвала «Южный»; 13 – текущий уровень водоносного горизонта; 14 – смоделированные уровни водоносного горизонта, которые использовались в геомеханических расчетах; 15 – уровень водоносного горизонта при его восстановлении до первоначальных отметок (до начала ведения горных работ)

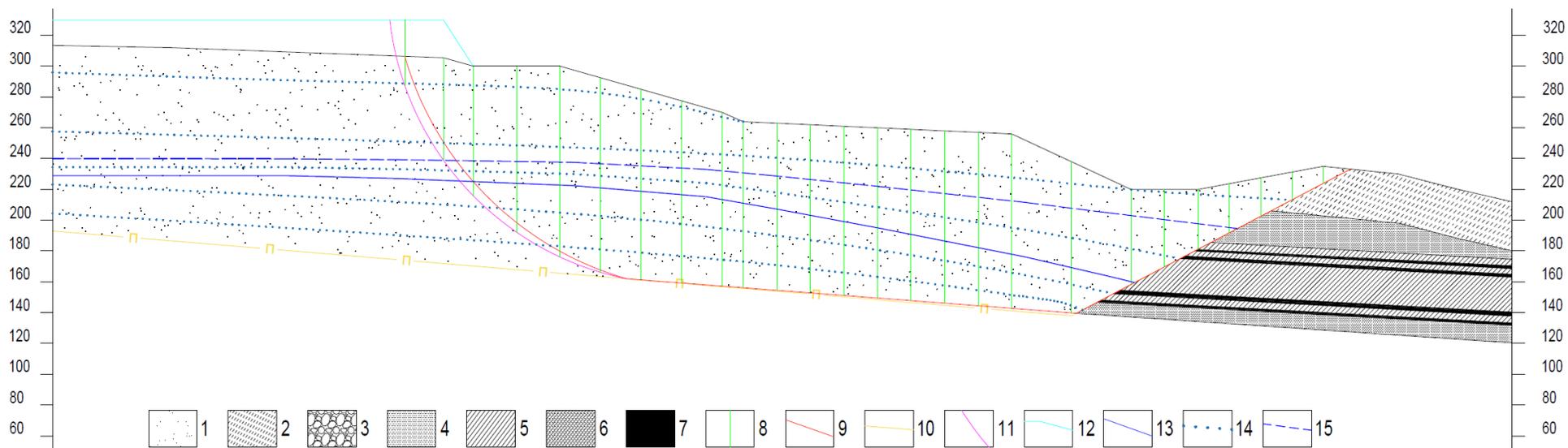


Рисунок 4.9б – Разрез отвала «Южный» с прилегающей территорией по линии П^М - П^М (условные обозначения аналогичны рисунку 4.9.а)

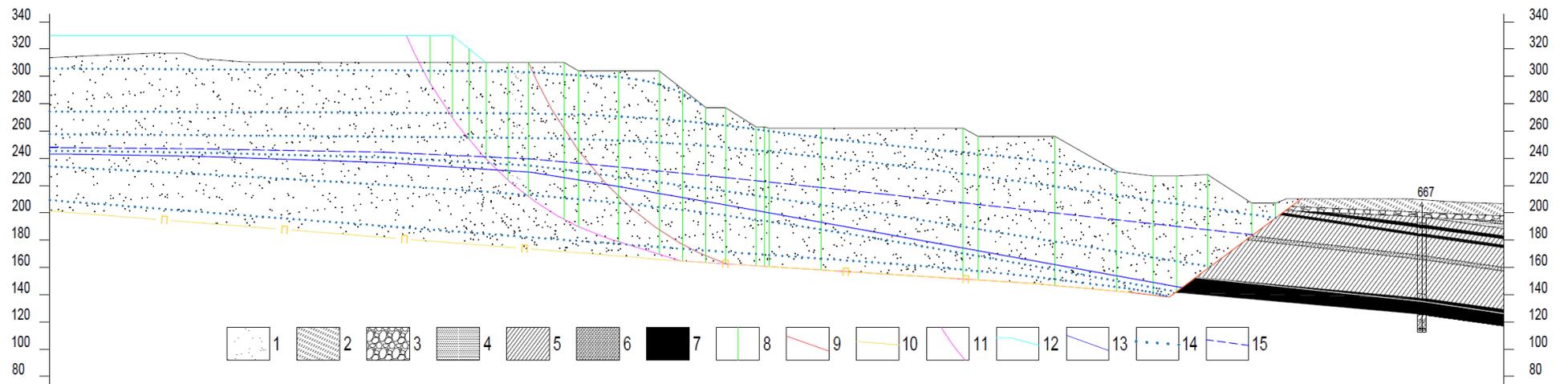


Рисунок 4.9в – Разрез отвала «Южный» с прилегающей территорией по линии ПП^М - ПП^М (условные обозначения аналогичны рисунку 4.9.а)

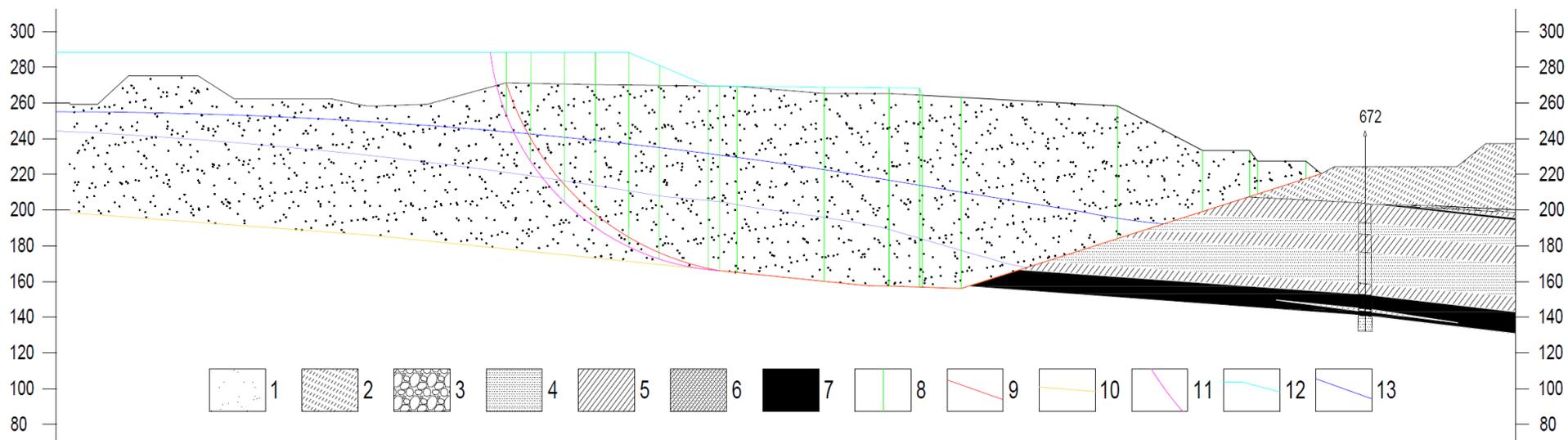


Рисунок 4.9г – Разрез отвала «Южный» с прилегающей территорией по линии IV^М - IV^М (условные обозначения аналогичны рисунку 4.9.а)

Для оценки состояния оползнеопасного склона или откоса путем расчета коэффициент запаса устойчивости на основании метода алгебраического суммирования сил воспользуемся формулой:

$$\eta = \frac{\sum_i [(P_i \cos \alpha_i - \gamma_{w,i} H_{av,w,i} l_{w,i}) \operatorname{tg} \varphi_i + C_i l_i] + F_{other\ holding}}{\sum_i P_i \sin \alpha_i + F_{other\ shear}}, \quad (4.1)$$

где $P_i = \gamma_i H_{av,i} l_i$;

γ_i – плотность (объемный вес) отложений в зоне скольжения, т/м³ ($\cdot 10^3$ кг/м³);

$H_{av,i}$ – высота расчетного блока, м;

l_i – длина основания расчетного блока, м;

$\gamma_{w,i}$ – вес единицы объема воды (плотность воды), т/м³ ($\cdot 10^3$ кг/м³);

$H_{av,w,i}$ – средний уровень водоносного горизонта в расчетном блоке, м;

$l_{w,i}$ – длина основания обводненного расчетного блока, м;

φ_i – угол внутреннего трения, град.;

C_i – удельное сцепление отложений в зоне скольжения, т/м² ($\cdot 10^4$ Па);

α_i – угол наклона основания расчетного блока к горизонтали, град.;

$F_{other\ holding}$ – прочие удерживающие силы;

$F_{other\ shear}$ – прочие сдвигающие силы [61, 81, 83, 162].

В представленной математической зависимости все параметры считаем независимыми друг от друга, при этом, как упоминалось ранее, все они имеют различную степень пространственно-временной изменчивости. Для рассматриваемого объекта – отвала «Южный» – наиболее целесообразно значение коэффициента запаса устойчивости для прогнозирования состояния техногенного массива определять в зависимости от изменения положений уровня подземных вод, этот параметр отличается наибольшей изменчивостью во времени в представленной модели.

4.3. Оценка устойчивости отвала «Южный» в условиях текущей гидрогеологической обстановки и при ее изменениях в процессе развития горных работ

На основании математических зависимостей, описанных в предыдущем разделе текущей главы, по четырем контрольным геомеханическим профилям, изображенным на рисунке 4.8, были проведены расчеты коэффициента запаса устойчивости при различной степени обводненности техногенного массива. Степень обводненности определяли как отношение площади разреза обводненной части потенциального оползневого массива, к общей площади разреза потенциального оползневого массива. Уровень водоносного горизонта в теле отвала «Южный» определялся на основании гидрогеологической модели, описанной в главе 3. Полученные результаты представлены на рисунках 4.10 – 4.13 и таблице 4.2.

Геомеханическая обстановка в каждом из профилей имеет свои особенности. Профиль I^M- I^M имеет наименьшие значения коэффициента запаса устойчивости, то есть он слабейший. При текущем уровне водоносного горизонта с учетом проекта развития отвальных работ после отсыпки последнего яруса (+330) значение коэффициента запаса устойчивости немного превышает нормативное значение – 1,2. Последнее выбрано в соответствии с Правилами обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах, отвал классифицирован, как внутренний, состоящий из рыхлых песчано-глинистых отвалообразующих породы и расположенный на слоистом основании [176-177]. При этом в случае повышения уровня водоносного горизонта до отметок, которые наблюдались до начала ведения добычных работ на месторождении, состояние откоса будет близко к предельно равновесному ($k_{уст} = 1,066$). Несомненно, что такая ситуация требует проведения специализированных наблюдений за состоянием откосного сооружения, в том числе оперативно оценивать степень его устойчивости при изменяющейся гидрогеологической обстановке [178-179].

Таблица 4.2 – Значение коэффициента запаса устойчивости (η) при различной степени обводненности массива (S): серым цветом выделены ячейки со значениями для фактического уровня водоносного горизонта и смоделированного уровня, после восстановления до первоначальных отметок

профиль I ^М - I ^М	факт. параметры отвала	S, д.е.	0	0,097	0,277	0,359	0,415	0,504	0,567	0,692	0,835	1	-	-
		η , д.е.	1,720	1,653	1,521	1,457	1,411	1,338	1,282	1,148	1,023	0,795	-	-
	проект. параметры отвала	S, д.е.	0,000	0,103	0,267	0,343	0,394	0,477	0,535	0,660	0,791	1	-	-
		η , д.е.	1,393	1,336	1,243	1,196	1,163	1,107	1,066	0,962	0,873	0,606	-	-
профиль II ^М - II ^М	факт. параметры отвала	S, д.е.	0	0,083	0,214	0,330	0,393	0,438	0,509	0,559	0,695	0,959	1	-
		η , д.е.	2,132	1,937	1,814	1,697	1,638	1,595	1,526	1,474	1,328	0,979	0,890	-
	проект. параметры отвала	S, д.е.	0	0,091	0,221	0,337	0,399	0,443	0,512	0,560	0,698	0,944	1	-
		η , д.е.	1,679	1,619	1,517	1,418	1,371	1,337	1,282	1,241	1,115	0,852	0,701	-
профиль III ^М - III ^М	факт. параметры отвала	S, д.е.	0	0,050	0,170	0,217	0,295	0,351	0,435	0,493	0,695	0,863	0,986	1
		η , д.е.	1,510	1,484	1,394	1,352	1,301	1,263	1,205	1,165	1,001	0,849	0,691	0,663
	проект. параметры отвала	S, д.е.	0	0,048	0,176	0,234	0,302	0,351	0,425	0,475	0,663	0,823	0,965	1
		η , д.е.	1,627	1,601	1,499	1,441	1,397	1,363	1,313	1,279	1,127	0,982	0,803	0,732
профиль IV ^М - IV ^М	факт. параметры отвала	S, д.е.	0	0,065	0,135	0,406	0,468	0,510	0,574	0,620	0,717	1	-	-
		η , д.е.	2,857	2,776	2,679	2,252	2,158	2,095	1,994	1,922	1,770	1,290	-	-
	проект. параметры отвала	S, д.е.	0	0,067	0,140	0,423	0,491	0,536	0,604	0,652	0,755	1	-	-
		η , д.е.	4,516	4,384	4,224	3,506	3,336	3,223	3,053	2,933	2,677	2,125	-	-

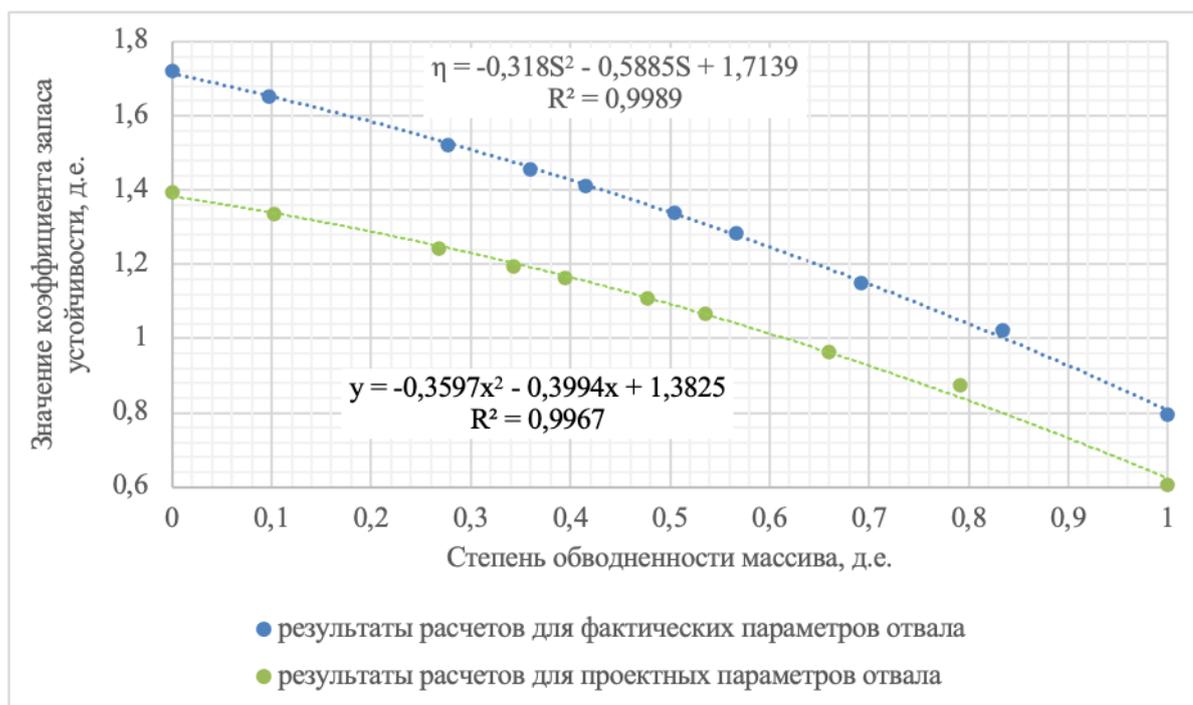


Рисунок 4.10 – Изменение коэффициента запаса устойчивости, рассчитанного по контрольному геомеханическому профилю I^M – I^M в зависимости от степени обводненности массива

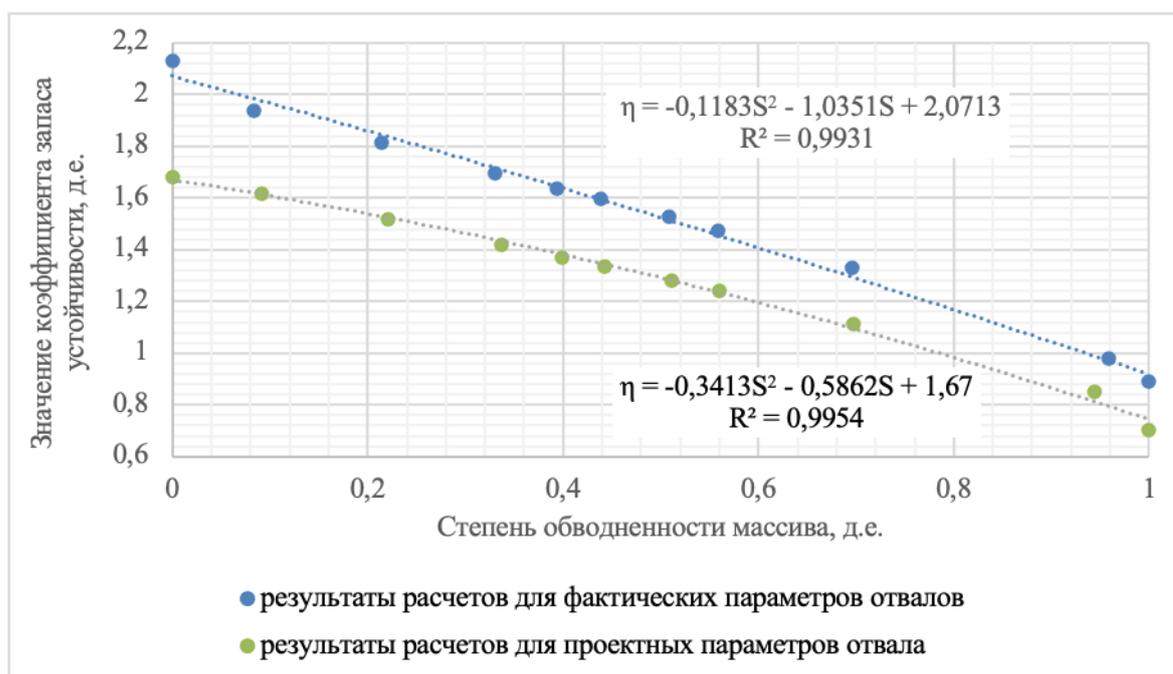


Рисунок 4.11 – Изменение коэффициента запаса устойчивости, рассчитанного по контрольному геомеханическому профилю II^M – II^M в зависимости от степени обводненности массива

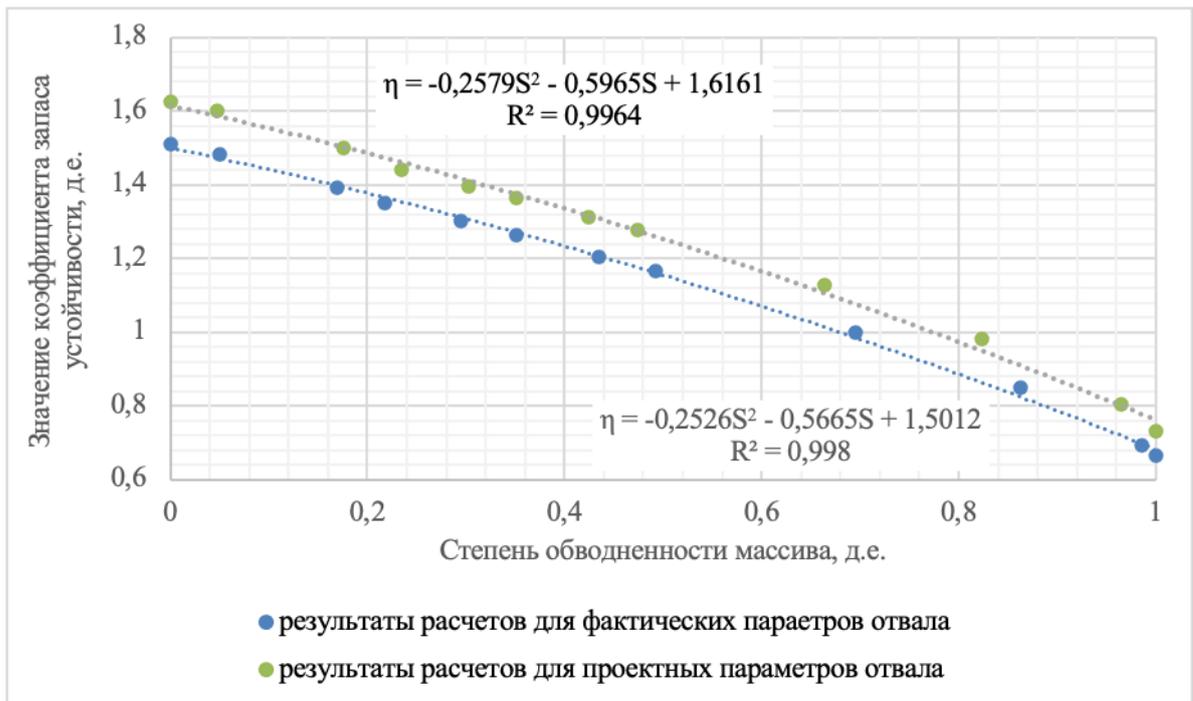


Рисунок 4.12 – Изменение коэффициента запаса устойчивости, рассчитанного по контрольному геомеханическому профилю III^М – III^М в зависимости от степени обводненности массива

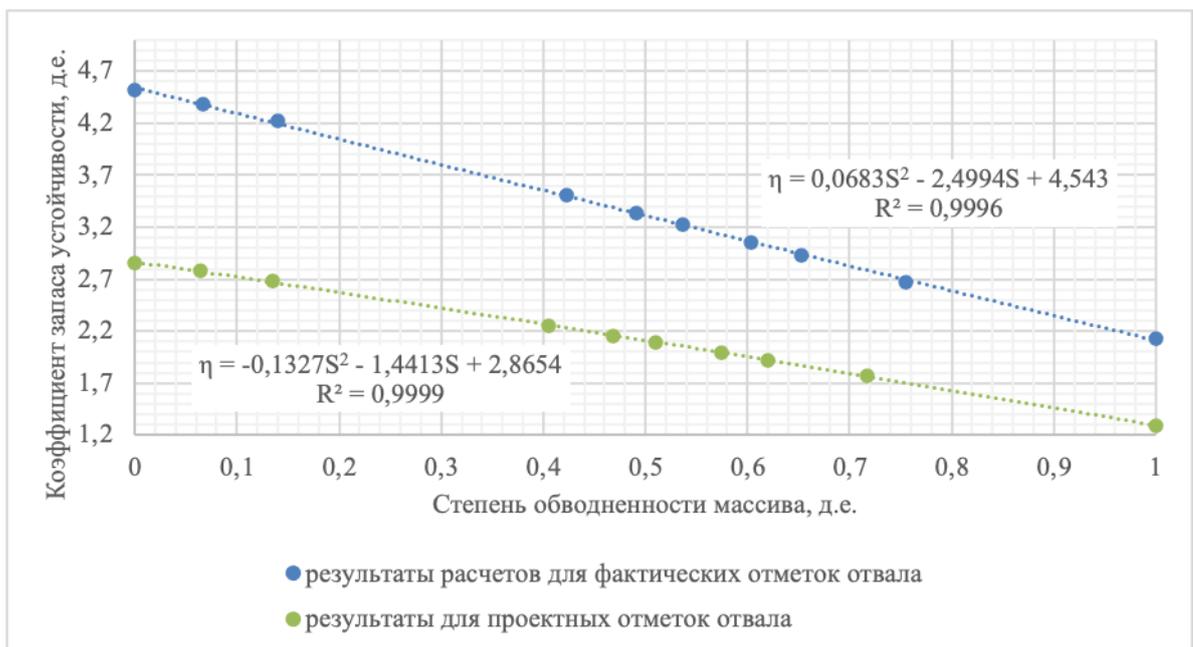


Рисунок 4.13 – Изменение коэффициента запаса устойчивости, рассчитанного по контрольному геомеханическому профилю IV^М – IV^М в зависимости от степени обводненности массива

По контрольным профилям II^м - II^м, III^м- III^м и IV^м - IV^м были получены большие значения коэффициента запаса устойчивости, даже с учетом дополнительного увлажнения массива они превышают значение 1,15.

Для расчета критической степени обводненности, при котором коэффициент запаса устойчивости равен нормативному (1,2) и предельному, была произведена аппроксимация полученных результатов. С целью повышения точности для каждого профиля в фактических и проектных отметках рассчитывались параболические зависимости.

Таким образом, решение задачи по определению критических уровней обводненности сводится к решению двух уравнений вида:

$$\eta(S) = 1,2;$$

и

$$\eta(S) = 1,0.$$

В таблице 4.3 приведены результаты вычислений критических значений степени обводненности массива по каждому профилю.

В третьем контрольном сечении результаты для фактических и проектных отметок взяты одинаковыми, так как на сегодняшний день уже достигнуты параметры отвала, при которых его устойчивость минимальна в рамках существующего проекта формирования рассматриваемого техногенного массива.

Проведенные геомеханические расчеты показывают, что отвал «Южный» при фактических параметрах и текущем уровне техногенного водоносного горизонта устойчив, коэффициент запаса устойчивости превышает нормативный, по выбранным профилям его минимальное значение составляет 1,35. При формировании насыпи в проектных отметках минимальное значение коэффициента запаса устойчивости составит 1,24 (в условиях современной гидрогеологической обстановки).

Таблица 4.3а. – Критические значения степени обводненности

Фактические параметры отвала «Южный»										
Профили	Критическое значение степени обводненности при нормативном значении коэффициента запаса устойчивости (1,2)	Абсолютные отметки уровней воды в скважинах, соответствующие критической степени обводненности, м*				Критическое значение степени обводненности при предельном равновесном состоянии откоса (коэффициент запаса устойчивости равен 1,0)	Абсолютные отметки уровней воды в скважинах, соответствующие критической степени обводненности, м*			
		скв.1	скв.2	скв.3	скв.5		скв.1	скв.2	скв.3	скв.5
профиль I ^м - I ^м	0,647	-	-	-	-	0,836	-	-	-	-
профиль II ^м - II ^м	0,773	-	-	-	-	0,935	-	-	-	-
профиль III ^м - III ^м	0,442	211,0	199,4	252,0	203,0	0,679	-	-	-	-
профиль IV ^м - IV ^м	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Проектные параметры отвала «Южный»										
Профили	Критическое значение степени обводненности при нормативном значении коэффициента запаса устойчивости (1,2)	Абсолютные отметки уровней воды в скважинах, соответствующие критической степени обводненности, м*				Критическое значение степени обводненности при предельном равновесном состоянии откоса (коэффициент запаса устойчивости равен 1,0)	Абсолютные отметки уровней воды в скважинах, соответствующие критической степени обводненности, м*			
		скв.1	скв.2	скв.3	скв.5		скв.1	скв.2	скв.3	скв.5
профиль I ^М - I ^М	0,335	187,7	179,8	250,4	186,2	0,616	-	-	-	-
профиль II ^М - II ^М	0,595	-	-	-	-	0,785	-	-	-	-
профиль III ^М - III ^М	0,442	211,0	199,4	252,0	203,0	0,679	-	-	-	-
профиль IV ^М - IV ^М	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Абсолютные отметки уровней в скважинах для критических степеней обводненности рассчитаны только для тех случаев, когда уровни воды находятся в промежутках значений между текущими и потенциально возможными после восстановления водоносного горизонта до естественного уровня, который наблюдался до начала ведения горных работ.

Таблица 4.3б. – Уровни воды в скважинах, при которых необходимо увеличить частоту гидрогеологических замеров

	скв.1	скв.2	скв.3	скв.5
Текущий уровень воды в скважинах	178,64	170,51	249,66	180,45
Уровень воды, при котором необходимо увеличить частоту замеров в условиях фактических отметок отвала «Южный»	207,80	196,51	251,76	200,78
Уровень воды, при котором необходимо увеличить частоту замеров в условиях проектных отметок отвала «Южный»	186,81	178,87	250,33	185,65

Потеря устойчивости откосного сооружения может произойти при значительном поднятии уровня техногенного горизонта, однако в условиях рассматриваемой природно-технической системы эти уровни практически недостижимы в силу геоморфологических особенностей территории, фильтрационных свойств пород [180]. Расчетные уровни, при которых массив теряет свою устойчивость, превышают естественные уровни, которые наблюдались до освоения месторождения.

4.4. Влияние внутреннего отвала «Южный» на состояние прибортового массива Ерунаковского разреза

Как показали геомеханические расчеты в предыдущей разделе, отвал «Южный» находится в устойчивом состоянии. Несомненно, что большие значения коэффициентов запаса устойчивости по выбранным контрольным профилям обеспечиваются за счет упора техногенной насыпи в борт карьера. Для оценки степени влияния отвала на породный массив, заключенный между телом отвала и рекой Томью, построим эпюры избыточного оползневого давления по контрольным геомеханическим профилям для нескольких степеней обводненности массива (рисунок 4.14-4.17).

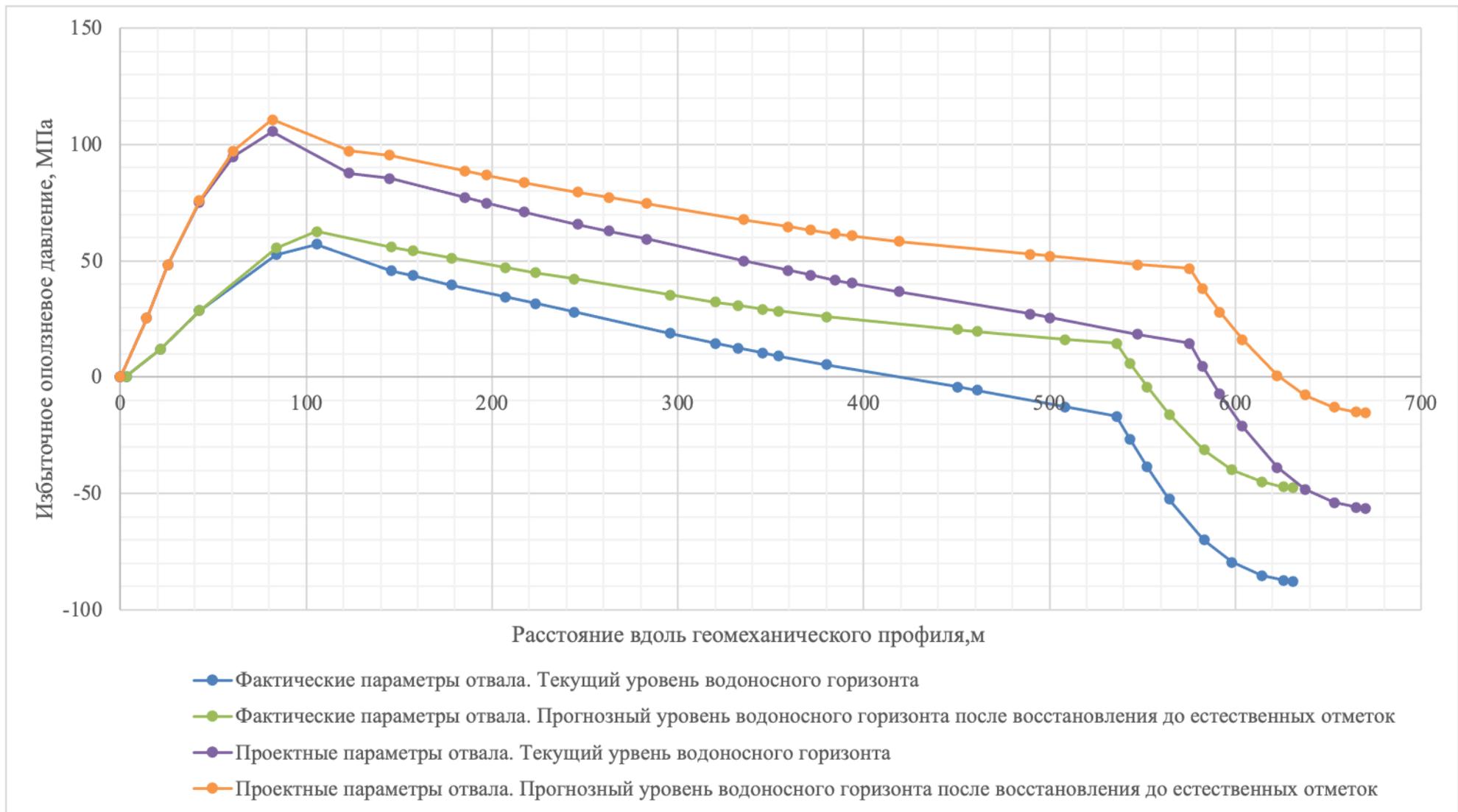


Рисунок 4.14 – Эпюры избыточного оползневого давления, построенные вдоль профиля Г^М- Г^М

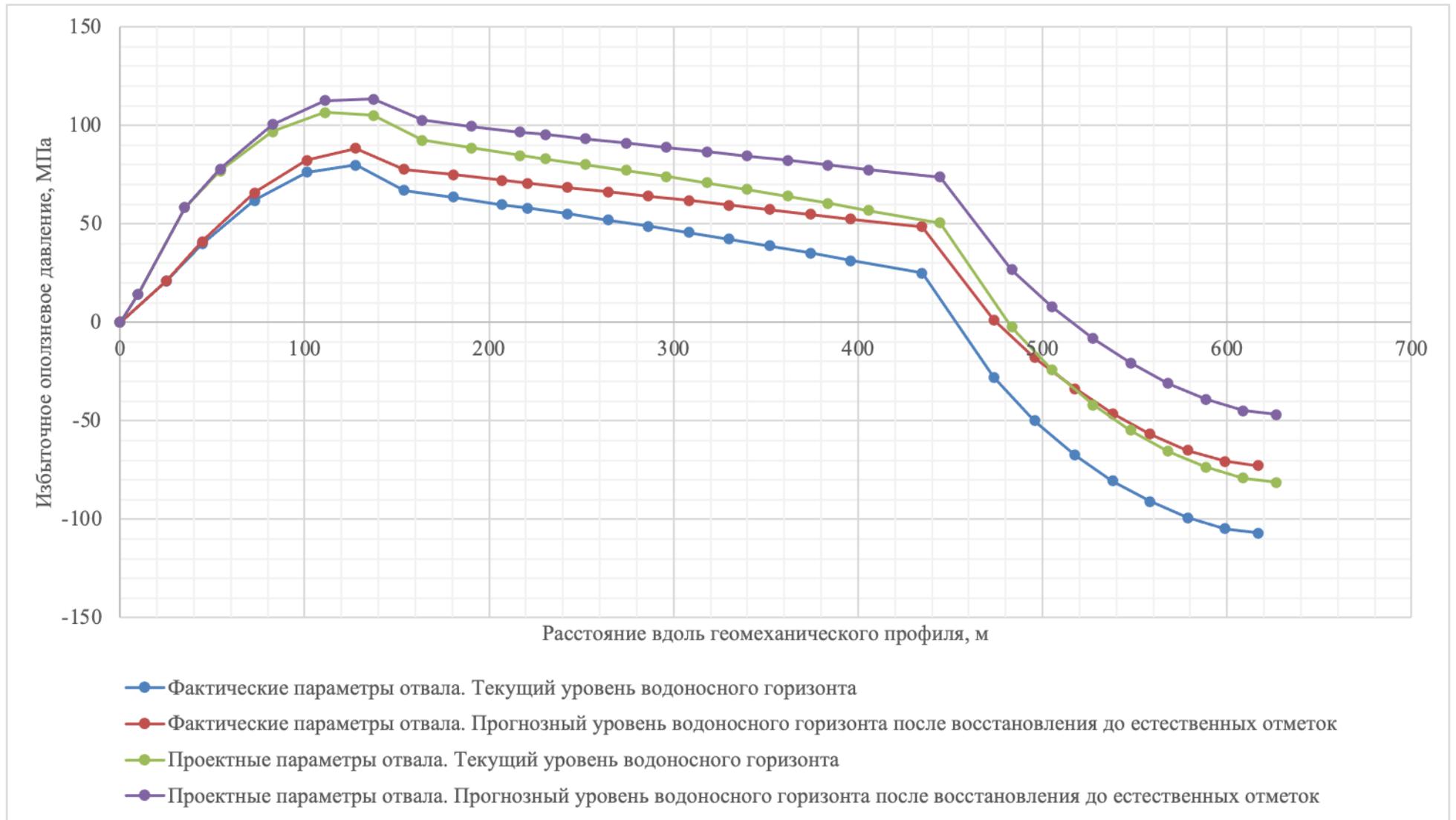


Рисунок 4.15 – Эпюры избыточного оползневое давления, построенные вдоль профиля II^М- II^М

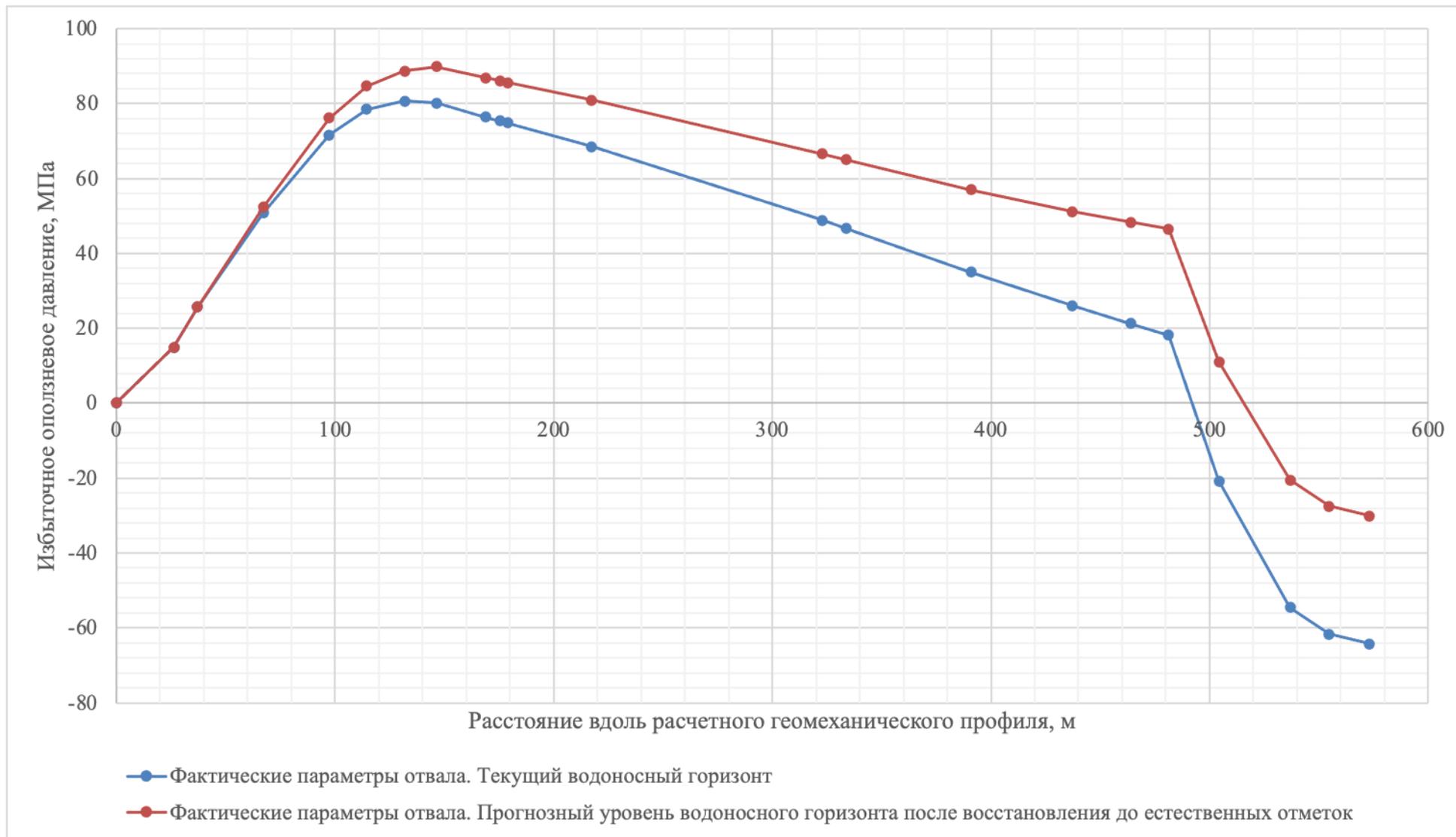


Рисунок 4.16 – Эпюры избыточного оползневого давления, построенные вдоль профиля III^M- III^M

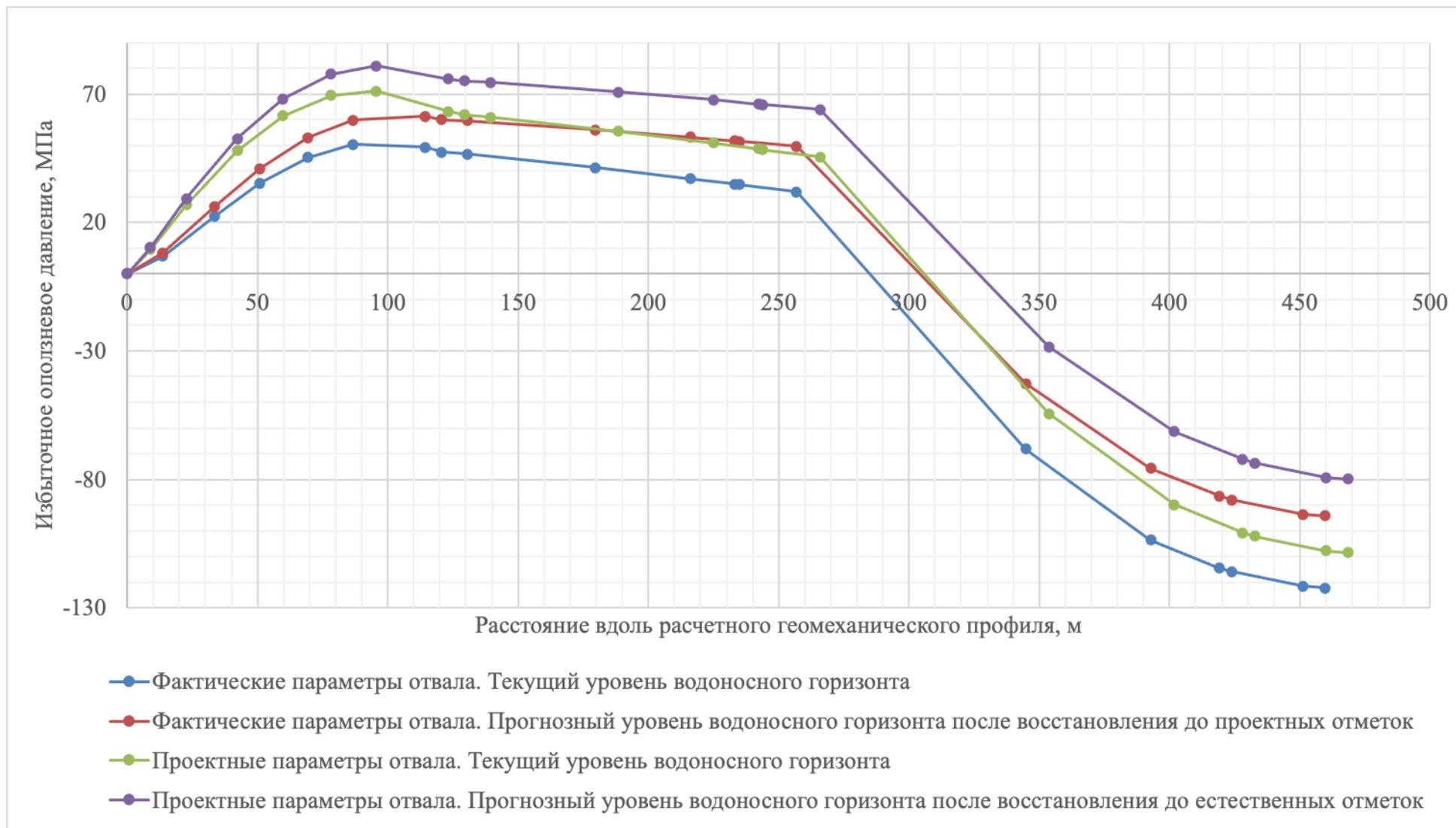


Рисунок 4.17 – Эпюры избыточного оползневого давления, построенные вдоль профиля IV^М- IV^М

Полученные графики имеют выраженную закономерность, каждый из них состоит из трех характерных частей: первая – это активная зона оползня, в ней сдвигающие силы превалируют над удерживающими, соответственно кривая избыточного оползневого давления возрастает; вторая – убывающая часть, которая свойственна для участка потенциально оползневого массива, расположенного на наклонном основании, которым является дно карьера; третья – резко убывающая, которая характеризует соотношение удерживающих и сдвигающих сил вдоль борта карьера. При увеличении уровня водоносного горизонта происходит выполаживание второй части кривых оползневого давления, это объясняется увеличением гидростатических сил и, соответственно, уменьшением удерживающих.

На сегодняшний день для всех профилей кроме I^M- I^M характерно положительное значение избыточного давления в сечении, проходящем вертикально через точку подошвы нижнего уступа борта выработки. Максимальное значение избыточного оползневого давления у борта определено в профиле IV^M- IV^M и составляет 31,8 МПа. В дальнейшем при развитии горных работ в соответствии с проектом и возможном повышении уровня техногенного водоносного горизонта максимальное избыточное давление для аналогичного сечения будет наибольшим в профиле II^M- II^M (73,75 МПа).

Нужно отметить, что выявленное избыточное оползневое давление достаточно быстро компенсируется за счет сил трения и сцепления пород, слагающих борт карьера. Оценим расстояние, на котором произойдет полная компенсация сдвигающих сил. Для этого воспользуемся соотношением [81, 83]:

$$\frac{a}{\cos \alpha} = l = \frac{E}{[(\gamma H_{av} \cos \alpha - \gamma_w H_{av.w}) \operatorname{tg} \varphi + C] - \gamma H_{av} \sin \alpha'} \quad (4.2)$$

где E – величина избыточного давления, т/м² ($\cdot 10^4$ Па);

γ – плотность (объемный вес) отложений в зоне скольжения, т/м³ ($\cdot 10^3$ кг/м³);

H_{av} – высота расчетного блока, м;

l – длина основания расчетного блока, м;

γ_w – вес единицы объема воды (плотность воды), т/м³ ($\cdot 10^3$ кг/м³);

$H_{av.w}$ – средний уровень водоносного горизонта в расчетном блоке, м;

φ – угол внутреннего трения, град.;

C – удельное сцепление отложений в зоне скольжения, т/м² ($\cdot 10^4$ Па);

α – угол наклона основания расчетного блока к горизонтали, град.

Примем: $H_{av.w} = \frac{1}{2} H_{av}$, $\varphi = 31^\circ$, $C = 200$ кПа, $\gamma = 2100$ кг/м³, угол наклона и среднюю высоту блока для каждого разреза выбирается индивидуально в зависимости от условий залегания пород, в соответствии с рисунком 4.9 [162].

В условиях текущего состояния в профиле IV^м- IV^м избыточное оползневое давление будет компенсировано на расстоянии 65,74 метра (высота блока взята равной 64 м, а угол падения пород – 4,92°). Для проектных отметок в профиле II^м- II^м оползневое давление будет компенсировано на расстоянии 108,75 м (высота блока принята равной 90 м, угол падения пород – 4,74°).

Таким образом, можно заключить, что оползневое давление отвальных масс не может оказывать воздействие, которое бы привело к смещениям в массиве горных пород естественного сложения, заключенного между восточным бортом карьера и урезом реки Томи. Даже с учетом дополнительного увлажнения и отсыпки еще одного яруса с учетом проектных решений внутренний отвал сохранит свою устойчивость, а отвальная насыпь не будет оказывать значительного оползневого давления.

В Заключении ООО НПФ «Карбон» №8-15к «Геомеханическая экспертиза проектных решений устойчивых параметров отвала «Южный» Ерунаковского поля филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Галдинский угольный разрез» и влияние отвалообразования и взрывных работ на оползневые явления берега р.Томи и дороги, ведущей в пос. Ерунаково» приводятся расчеты устойчивости отдельных ярусов отвала, с учетом поверхности скольжения, проходящей через них и слабое четвертичное основание. Произведенные вычисления показывают, что коэффициент запаса устойчивости по выбранным профилям также значительно превышает нормативный [181-183].

Детальный анализ, а также геомеханическое моделирование массива пород, который подвергся деформации, показывает, что основной причиной оползня является резкое повышение уровня Томи в период активного снеготаяния с

последующим увлажнением контакта галечников и глин, в результате чего прочностные свойства последних резко снизились (рисунок 4.18).

Рассмотрим наиболее вероятный сценарий событий, в результате которого произошел оползень. Геологическое строение рассматриваемого участка берега р.Томи характерно для данной местности: расчлененный рельеф, достаточно крутая гряда холмов вдоль подмываемого левого берега, толща четвертичных суглинков перекрывает слой галечников, ниже которых залегают пермские породы. Водоносный горизонт охватывает всю толщу трещиноватых алевролитов и песчаников, а также угольные пласты, его кровля проходит по пласту галечников. Последний из упомянутых породных слоев имеет наибольшие фильтрационные показатели, соответственно по нему происходит разгрузка водоносного горизонта в реку Томь, следует отметить, что галечники выходят на дневную поверхность в непосредственной близости от уреза воды в период межени. Таким образом, галечники служат своеобразной дренирующей «подушкой», которая ограничивает контакт четвертичных глинистых пород с водоносным горизонтом.

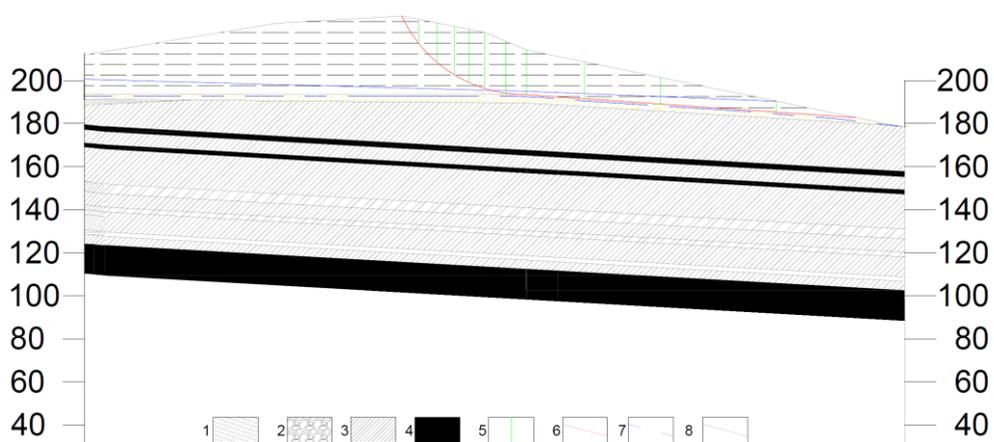


Рисунок 4.18 – Геологический разрез оползнеопасного берега р.Томи:

- 1 – четвертичные глинистые отложения, 2 – аллювиальные галечники,
- 3 – переслаивание алевролитов и песчаников, 4 – угольный пласт, 5 – граница расчетных блоков, 6 – кривая скольжения, 7 – уровень водоносного в период межени, 8 – уровень водоносного горизонта в период половодья

В годы высоких половодий (например, 2011, 2013, 2015 годы), которые наблюдаются достаточно часто в связи с интенсивным снеготаянием и обильными осадками, уровень реки превышает отметки кровли галечников и водный поток непосредственно контактирует с глинистым слоем [184]. Этот процесс приводит к дополнительному увлажнению глин за счет сил капиллярного поднятия воды (высота капиллярного поднятия для глин может превышать 10 м). Соответственно в зоне контакта «галечник – глина» происходит резкое снижение прочностных свойств глин, а также за счет полного водонасыщения снижается трение между окатанным галечником и наклонно залегающим выше массивом глинистых пород. В сложившихся условиях угол внутреннего трения в зоне контакта снижается до значения $5-7^\circ$, при этом глинистые породы массива в результате капиллярного поднятия воды становятся значительно «тяжелее» (плотность в естественном состоянии может увеличиться на $200-300 \text{ кг/м}^3$), что также неблагоприятно сказывается на устойчивости берега. Еще одним фактором, отрицательно влияющим на состояние откоса, является прямой контакт глинистых пород с водным потоком, последний разрушает склон у основания и тем самым снижает его устойчивость [185].

Расчет устойчивости потенциально оползневого склона в условиях межени реки показали, что коэффициент запаса устойчивости равен 1,57 (плотность породы принималась равной 1900 кг/м^3 , угол внутреннего трения $11,5^\circ$, сцепление 656 кПа). Обратными расчетами (коэффициент запаса устойчивости был принят равным 1) было определено, что смещение склона вероятнее всего произошло в результате увлажнения глинистых пород, а физико-механические свойства в зоне скольжения составили: плотность 2100 кг/м^3 , угол внутреннего трения – $6,2^\circ$, а удельное сцепление – 341,5 кПа.

Проведенный анализ показывает, что наибольшее влияние на устойчивость рассматриваемого участка оказывают инженерно-геологические и гидрогеологические показатели. Рассматриваемый участок левого (коренного) берега реки Томи сложен четвертичными суглинками, перекрывающие аллювиальные галечные отложения, ниже которых залегают коренные породы,

представленные переслаиванием песчаников и алевролитов. Коренные породы и галечники обводнены, последние имеют высокие показатели фильтрационных свойств и выходят на дневную поверхность в береговой части. Таким образом, слой галечников служит естественной фильтрующей «подушкой» в массиве.

Результаты проведенных исследований по оценке состояния системы «внутренний отвал – прибортовой массив» позволяют обеспечить безопасность наращивания техногенной насыпи до проектных отметок. Кроме того, при вовлечении в отработку прилегающих участков недр, расположенных восточнее рассмотренных, созданные модели позволят оценить размер целиков, которые обеспечат безопасное извлечение запасов угля.

Выводы по главе IV

Геомеханическое моделирование отвала «Южный» с учетом текущих и проектных параметров показало, что коэффициент запаса устойчивости при существующих уровнях водоносного горизонта превышает значение 1,2. Увеличение обводненности массива, которое может произойти в случае прекращения откачки воды из пруда-накопителя или его ликвидации (засыпки) в результате развития горных работ, приведет к уменьшению показателей устойчивости. Расчеты, проведенные для случая восстановления уровней водоносного горизонта до первоначальных (естественных) отметок показывают, что отвал сохранит устойчивость, и не будет оказывать значительного влияния на естественный породный массив.

Результаты геомеханического моделирования системы «внутренний отвал – прибортовой массив» от границы восточного борта до уреза воды р. Томи показывают, что значение коэффициента запаса устойчивости этого сложного природно-техногенного откосного сооружения еще более высокие. При этом давление, которое оказывается техногенной насыпью на борт карьера, компенсируется массивом естественного сложения на расстоянии менее 110 метров от границы внутреннего отвала.

Основной причиной потенциальных деформаций участка берега реки Томи является резкое поднятие уровня грунтовых вод, приводящее к увлажнению глинистых отложений на контакте с галечниками и соответствующему снижению угла внутреннего трения и сцепления. При этом возможно смещение оползневого блока по контакту пород. В периоды высокого поднятия уровня р.Томи выход аллювиальных галечников оказывается ниже уреза воды реки. Активное таяние снега, осадки и поднятие уровня реки (как следствие уменьшение напорного градиента) способствуют резкому поднятию водоносного горизонта. При этом его уровень станет выше уровня кровли галечников, что приведет к увлажнению четвертичных суглинков, и как следствие значительному снижению их физико-механических свойств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, представляющей собой законченную научно-квалификационную работу, на основе выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований изменения гидрогеомеханической обстановки в районе угледобывающего предприятия решена актуальная научная задача оценки состояния системы «внутренний отвал – прибортовой массив», имеющая важное значение для обеспечения безопасности отработки пологих угольных пластов и устойчивости прилегающих потенциально оползнеопасных территорий.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации, полученные лично автором:

1. Анализ опыта формирования внутренних отвалов на угледобывающих предприятиях показал, что при их отсыпке в теле массива происходит формирование техногенного водоносного горизонта, обуславливающее изменение физико-механических свойств отложений и определяющее общую устойчивость насыпи.

2. Корреляционный анализ данных, полученных в результате инженерно-геологических изысканий, показал, что взаимосвязь между большинством физико-механических свойств горных пород и временем их нахождения в теле отвала не выявлена. Угол внутреннего трения на протяжении первых 60 месяцев имеет обратно пропорциональную зависимость от времени нахождения отложений в отвале.

3. На основании проведенных исследований установлено, что при формировании системы «внутренний отвал – прибортовой массив» можно выделить два этапа развития гидрогеологических условий территории. Первый – при котором происходит перемещение рабочего борта вдоль падения угольного пласта и развитие депрессионной воронки вблизи выработки. Второй – соответствует временному интервалу, при котором формирование отвала в выработанном пространстве препятствует фильтрации подземных вод в карьер.

4. Установлено, что питание техногенного водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации осадков и поверхностных вод, а также перетекания воды из естественного горизонта западнее, севернее и южнее рассматриваемого внутреннего отвала. Зона интенсивной фильтрации вдоль контакта борта и техногенной насыпи в восточной части отвала «Южный» обуславливает отсутствие гидравлической связи между техногенным водоносным горизонтом и естественным водоносным горизонтом, сформированным между восточным бортом карьера и берегом реки Томи.

5. Разработан инструментарий для построения гидрогеологической модели техногенного водоносного горизонта в теле внутреннего отвала, позволяющий оценить положение депрессионной кривой в зависимости от природных и техногенных факторов.

6. Установлена параболическая зависимость изменения коэффициента запаса устойчивости от степени обводненности массива (при различных уровнях техногенного водоносного горизонта в системе «внутренний отвал – прибортовой массив»).

7. Доказано, что при восстановлении уровня водоносного горизонта на территории формирования внутреннего отвала до отметок, наблюдавшихся до начала ведения горных работ, значение коэффициента запаса устойчивости системы «внутренний отвал – прибортовой массив» снижается в среднем на величину от 10 до 15%.

8. Результаты проведенного моделирования состояния системы «внутренний отвал – прибортовой массив» позволили установить, что оползневое давление, которое оказывается техногенной насыпью на борт карьера, компенсируется воздействием массива естественного сложения на расстоянии менее 110 метров от границы внутреннего отвала.

9. Результаты диссертационного исследования используются для обоснования устойчивости системы «внутренний отвал – прибортовой массив» при оценке состояния оползнеопасного берега реки Томи вблизи расположения

внутреннего отвала «Южный» Ерунаковского поля Талдинского филиала АО «УК
«Кузбассразрезуголь».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зиновьева О.М., Колесникова Л.А., Меркулова А.М. и др. Анализ экологических проблем в угледобывающих регионах // Уголь. – 2020. – № 10. С. 62-67.
2. Угольная промышленность России – проблемы и их решение/ Ecology-of.ru. [Электронный ресурс] – URL: <http://ecology-of.ru/pochva/ugolnaya-promyshlennost-rossii-problemy-i-ikh-reshenie> (дата обращения 13.02.2022)
3. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров. – М.: Изд-во АГН. – 2001. – Т. 1, 2 – 694 с.
4. Ческидов В.И., Норри В.К. Бестранспортная технология вскрышных работ на разрезах Кузбасса: состояние и перспективы// ФТПРПИ. – 2016. – № 4. – С. 109-116
5. Чантурия В.А., Козлов А.П., Шадрунова И.В., Ожогина Е.Г. Приоритетные направления развития поисковых и прикладных научных исследований в области использования в промышленных масштабах отходов добычи и переработки полезных ископаемых // Журнал «Горная Промышленность». – 2014. – №1 (113). – С.54-57
6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства природных ресурсов РФ. – Режим доступа: <https://www.mnr.gov.ru> (дата обращения 20.03.2023)
7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства природных ресурсов РФ. – Режим доступа: <https://www.mnr.gov.ru> (дата обращения 19.03.2022)
8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства природных ресурсов РФ. – Режим доступа: <https://www.mnr.gov.ru> (дата обращения 23.01.2022)
9. Оганесян Л.В., Мирлин Е.Г. Проблема исчерпания минерально-сырьевых ресурсов Земной коры // Горная Промышленность. – 2019. – №6. – С.100-105
10. Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 08 декабря 2020 г. № 505 об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых»

[Электронный ресурс] // КонсультантПлюс. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru> (дата обращения 12.09.2022)

11. Свиридова Т.В., Боброва О.Б., Волкова Е.А., Прягинский А.Ю., Сомова Ю.В. Обеспечение устойчивости откосов бортов карьеров с целью предупреждения аварий и чрезвычайных ситуаций // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова». – 2016. – Т14. – №4 (113). – С.5-11.

12. Сергина Е.В. Комплексный мониторинг состояния природно-технических систем открытой разработки угольных месторождений // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн.наук: – СПб.: СПГУ, 2015. – 165 с.

13. Ожигин Д.С. Управление состоянием устойчивости прибортового массива на угольных разрезах // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн.наук: – Казахстан.: КГТУ, 2018. – 155 с.

14. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. № 2914-р [Электронный ресурс] // Официальный сайт Правительства России. – Режим доступа: <http://government.ru> (дата обращения 23.01.2022)

15. Экономические показатели динамики изменения стоимости угля – URL: <https://ru.tradingeconomics.com/commodity/coal> (дата обращения 13.02.2022)

16. Супрун В.И., Радченко С.А., Левченко Я.В., Ворошилин К.С., Минибаев Р.Р., Морозова Т.А. Закономерности формирования отвальных массивов при отработке крупных угольных месторождений // Уголь. – 2017. – № 7. – С. 32-38

17. Томаков П.И., Коваленко В.С. Рациональное землепользование при открытых горных работах. – М.: Недра, 1984. – 213 с.

18. Васильева А.Д. Инженерно-геологическое обоснование устойчивости высоких отвалов угольных месторождений Кузбасса // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн.наук: – СПб.: СПГУ, 2019. – 186 с.

19. Нурок Г.А., Лутовинов А.Г., Шерстюков А.Д. Гидроотвалы на карьерах. – М.: Недра, 1977. – 311 с.

20. Мироненко И.А., Протасов С.И. Проблемы переукладки гидроотвалов четвертичных вскрышных пород // Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений. Сб. докладов Междунар. Научно-практ. конф. – Екатеринбург, 2018 – с. 22-25

21. Ческидов В.В. Комплексное зондирование намывных отложений гидроотвала № 2 разреза «Кедровский» // Горная промышленность. – 2011. – № 6 (100). – с. 70-76
22. Мельников Н.В. Краткий справочник по открытым горным работам. Издание 4-е, переработанное и дополненное. (Москва: Издательство «Недра», 1982). Основы горного дела: Учебник / Под ред. акад. К.Н. Трубецкого. – М.: Академический Проект, 2010. – 231 с.
22. Трубецкой К.Н., Потапов М.Г., Винницкий К.Е., Мельников Н.Н., Мироненков В.А. и др. Справочник. Открытые горные работы. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.
23. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. – М.: Недра, 1978. – 541 с.
24. Ржевский В.В., Болотова Л.Е. Экология горного производства. – М.: МГИ, 1988. – 243 с.
25. Арсеньев А.И., Букин И.Ю., Мироненко В.А. Устойчивость бортов и осушение карьеров, Учебник для вузов. – М.: Недра, 1982. – 165 с.
26. Шешко Е.Ф. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых – М.: Углетехиздат, 1957 г. – 495 с.
27. Панюков П.Н. Инженерная геология. – М.: Недра, 1978. – 269 с.
28. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики / М.: Недра, 1974.– 298 с.
29. Ческидов В.И. Очередность отработки пологих и наклонных угольных пластов с размещением вскрышных пород во внутренних отвалах // Автореферат на соискание ученой степени канд. техн.наук: – Новосибирск, 1999. – 55 с
30. Галустьян Э.Л. Геомеханика открытых горных работ: справоч.пособие. – М.: Недра, 1992. – 272 с.
31. 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
32. Попов В.Н., Байков Б.Н. Технология отстройки бортов карьеров – М.: Недра, 1991.– 252 с.
33. Попов И.И., Окатов Р.П. Борьба с оползнями на карьерах – М.: Недра, 1980. – 239 с.
34. Алешин Б.Г., Анистратов Ю.И., Благов О.И., Винницкий К.Е., Галустьян Э.Л., Гладченко Е.С., Ищук И.Г., Каландаришвили В.А., Красавин А.П., Кутузов Б.Н., Манкевич В.В., Медников Н.Н., Мельников Н.Н., Мироненко В.А., Норматов

Ю.А., Подэрни Р.Ю., Потапов М.Г., Решетняк С.П., Сеинов Н.П., Сухорученков А.И., Томаков П.И., Трубецкой К.Н., Тынтеров И.А., Чирков С.Е., Шендеров А.И., Школяренко В.В. Справочник. Открытые горные работы. – М.: Горное Бюро, 1994 – 590 с.

35. Иванов И.П. Инженерная геодинамика / И. П. Иванов, Ю. Б. Тржцинский – СПб: Наука, 2001. – 416 с.

36. 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.

37. Панюков П.Н., Ржевский В.В., Истомина В.В., Гальперин А.М. Геомеханика отвальных работ на карьерах. – М.: Недра, 1972. – 184 с

38. Гальперин А.М., Кутепов Ю.И., Кириченко Ю.В., Киянец А.В., Крючков А.В., Круподеров В.С., Мосейкин В.В., Жариков В.П., Семенов В.В., Клапперих Х., Тамашкович Н., Чешлок Х. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях: Монография. – М.: Издательство «Горная книга», 2012. – 336 с.

39. Русский И.И. Отвальное хозяйство карьеров. – М.: Недра, 1971. – 240 с.

40. Певзнер М.Е. Борьба с деформациями горных пород на карьерах – М.: Недра, 1978 – 255 с.

41. Дашко Р.Э., Каган А.А. Механика грунтов в инженерно-геологической практике – М.: Недра, 1977. – 237 с.

42. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А. Закономерности формирования техногенных пород при отвалообразовании // Исследование сдвижения горных пород и гидрогеомеханических процессов в массивах сложной структуры при разработке месторождений: Сб. науч. тр. ВНИМИ – СПб, 1992. – С.83-96

43. Пустовойтова Т.К., Мочалов А.М., Гурин А.Н. Совершенствование методов расчета устойчивости откосов // Сб. научных трудов «70 лет ВНИМИ» – СПб: ВНИМИ, 1999 – 494 с.

44. Крячко О.Ю. Управление отвалами открытых горных работ – М.: Недра, 1980. – 256 с.

45. Томаков П.И., Коваленко В.С. Вовлечение в производство ресурса выработанного пространства – основное направление в снижении ресурсоемкости и улучшении экологических показателей угледобычи на разрезах Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень – 1998. – № 3. – С. 37–44.

46. Демин А.М., Шушкина О.И. Напряженное состояние и устойчивость отвалов в карьерах – М.: Недра, 1978. – 159 с.

47. Селюков А.В. О технологической значимости внутреннего отвалообразования при открытой разработке угольных месторождений Кемеровской области / А.В. Селюков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2015. – №5. – С.23-34.
48. Ильин А.И., Гальперин А.М., Стрельцов В.И. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах – М.: Недра, 1985. – 248 с.
49. Шпаков П.С., Шпакова М.В., Долгоносов В.Н., Юнаков Ю.Л. Аналитический способ расчета устойчивости откоса на слабом основании неограниченной мощности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 8. – С. 92-99
50. Галустьян Э.Л. Геомеханика открытых горных работ: справоч.пособие – М.: Недра, 1992. – 272 с.
51. Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S. Quantification of the Geological Strength Index chart// 47th US Rock Mechanics «Geomechanics Symposium held» – USA, San Francisco, 2013 – 3116 p.
52. Stewart T., Atkins L. Engineering Properties of Combined Coarse and Fine Coal Waste. – U.S. Bureau of Mines, RI 8623, 1982 – 423p.
53. Hustrulid W., Kuchta M., Martin R. Open pit mine planning and design – CRC Press, 2013 – 1305 p.
54. Muller L. Rock mechanics / Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1972 – 388 p.
55. Szwedzicki T. Geomechanics research. Rock mass response to mining activities. Inferring large-scale rock mass failure / CRC Press, 2018 г. – 192 p.
56. Chen S.H. Computational geomechanics and hydraulic structures / Springer, 2019 г. – 907 p.
57. Томаков П.И., Коваленко В.С. Природоохранные технологии открытой разработки крутых и наклонных угольных месторождений Кузбасса // Уголь, 1992. – №1. – С. 16-20.
58. Новые решения в технике и технологии добычи угля открытым способом. / Под ред. Н.В. Мельникова и К.Е. Веницкого. – М.: Недра, 1976. – 424 с.
59. Новожилов М.Г., Хохряков В.С., Пчелкин Г.Д., Эскин В.С. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 2. Технология и комплексная механизация открытых разработок. – М.: Недра, 1971. – 552 с.
60. Доклад о Целях в области устойчивого развития, 2022 год [Электронный ресурс] // Официальный сайт Организации Объединенных Наций. – Режим доступа: <https://unstats.un.org> (дата обращения 11.03.2023)

61. Гальперин А.М., Ферстер В., Шеф Х.Ю. Техногенные массивы и охрана окружающей среды. – М.: МГГУ, 1997. – 534 с.
62. Ненашев А.С. Исследование эффективности разработки месторождений Южного Кузбасса этапами с внутренними отвалами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МГИ, 1975 – 12с.
63. Рутковский Б.Т. Блочный способ отработки карьерных полей с большим простиранием // В кн. Разработка угольных месторождений открытым способом. – Кемерово: КузПИ, 1982. – С. 81–87
64. Еременко В.А., Галченко Ю.П., Мясков А.В., Косырева М.А. Исследование напряженного состояния массива при использовании конвергентной горной технологии // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук, 2019. – Т. 6. – № 2. – С. 78-85.
65. Анистратов Ю.И., Ильин С.А., Ржевский В.В. Открытые горные работы в сложных условиях. – М.: Недра, 1964 г. – 296 с.
66. Батугин А.С., Батугина И.М., Петухов И.М. Горное дело и окружающая среда. Геодинамика недр. – М.: МГГУ, 2012 г. – 121 с.
67. Деревяшкин И.В., Демченко А.В., Мерзляков В.Г. Открытая геотехнология. основы горного дела. – М.: РУДН, 2019. – 260 с.
68. Демченко А.В., Деревяшкин И.В. К вопросу обустройства отвалов вскрышных пород при добыче угля в Кузбассе // Маркшейдерия и недропользование. – 2016. – № 6 (86). – С. 41-46
69. Таланин В.В. Обоснование параметров и технологии строительства карьера первой очереди при углубочно-сплошных поперечных системах разработки: дисс. на соискание степ. канд. техн. наук: - М., МГГУ, 2006. – 160 с.
70. Ческидов В.И., А.С. Бобыльский // Технологическо-экологические аспекты отвалообразования вскрышных пород на разрезах Кузбасса // Технология добычи полезных ископаемых ФТПРПИ, № 5, 2017 – С. 96-104
71. Еременко Е.В. Особенности проектирования карьера на основе закономерностей формирования техногенного ресурса // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S38. – С. 95-103.
72. Еременко Е.В., Косолапов А.И. К вопросу управления техногенным ресурсом карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № S1-1. – С. 249-259.
73. Сидоров В.В., Косолапов А.И. оценка влияния объема вскрышного грузооборота на возможную производственную мощность разреза при разработке

угольных месторождений, представленных наклонной свитой пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. № 4. – С. 33-42.

74. Ильин А.И., Гальперин А.М., Стрельцов В.Н. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах. – М.: Недра, 1985. – 248 с.

75. Федотов Г.С., Пастихин Д.В. Влияние положения трассы вскрывающих выработок на объем горной массы в конечном контуре карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 6. – С. 115-123.

76. Харионовский А.А., Гришин В.Ю., Коликов К.С., Удалова Н.П. Проблемы использования отходов угледобычи // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 10-1. – С. 45-55.

77. Томаков П.И. Отвалообразование при отработке крутых пластов транспортной системой с размещением пустых пород в выработанное пространство // Сб. науч. тр. КузНИУИ, 1963. – №11, – С. 98-108

78. Радионов А.К. Открытые горные работы. – М.: МГГУ, 2016 – 560с.

79. Корякин А.И., Цепилов И.И. Селективно-слоевая технология разработки сложноструктурных крутых и наклонных залежей Кузбасса // Доклад на симпозиуме «Неделя горняка – 98» – М.: МГГУ, 2.02.98 - 6.02.98 – С. 4-6

80. Ненашев А.С. Исследование эффективности разработки месторождений Южного Кузбасса этапами с внутренними отвалами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МГИ, 1975. –130 с.

81. Гальперин А.М., Кириченко Ю.В. Кутепов Ю. И. Комплексный подход к экологически безопасному освоению техногенных массивов // Журнал «Горная Промышленность». – №5 (99). – 2011. – С.22-30

82. Гальперин А.М., Кириченко Ю.В., Зуй В.К., Кретов С.И. Мониторинг техногенных массивов // «Неделя Горняка-2002», семинар № 1. – С. 42-44

83. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ – М.: МГГУ, 2003. –473 с.

84. Гальперин, А.М, Кутепов Ю.И., Кириченко Ю.В. и др Освоение техногенных массивов на горных предприятиях – М.: Горная книга, 2012 – 336 с.

85. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Васильева А.Д. Обоснование устойчивости внешних отвалов Кузбасса и мониторинг их состояния // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 4. – С. 109–120.

86. Кутепов Ю.И., Норватов Ю.А., Кутепова Н.А. Указания по методам гидрогеомеханического обоснования оптимальных параметров гидроотвалов и отвалов на слабых основаниях. Часть 1. Изучение гидрогеомеханических условий строительства и рекультивации отвальных сооружений. – Л.: ВНИМИ, 1989 – 55 с.

87. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А. Закономерности формирования техногенных пород при отвалообразовании // Исследование сдвижения горных пород и гидрогеомеханических процессов в массивах сложной структуры при разработке месторождений – СПб: Сб. науч. тр. ВНИИМ, 1992. – С.83-96.

88. Крячко О.Ю. Управление отвалами открытых горных работ М.: Недра, 1980. – 256 с.

89. Хлопцов Д.В., Винников В.А. Определение давления горных пород на крепь скважины // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 8. – С. 72-82.

90. 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 С.П.; КузГТУ. – Кемерово, 2008. – 33 с.

91. Кириченко Ю.В., Ческидов В.В., Пуневский С.А. Геомеханика: инженерно-геологическое обеспечение управления состоянием массивов горных пород: учеб. пособие. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2017. – 90 с.

92. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика: Учебник. – М.: КДУ, 2007. – 440 с.

93. Мироненко, В. А., Шестаков В. М. Основы гидрогеомеханики / Москва: Недра, 1974.– 298 с.

94. Абелев М.Ю., Цытович Н.А. Вопросы теории фильтрационной консолидации для сильносжимаемых водонасыщенных глинистых грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1964. – №3. – с.11-14.

95. Флорин В.А. Основы механики грунтов. ч. 1, Н. – М.: Гостройиздат, 1961. – 356 с

96. Бондарик Г.К, Ярг Л.А. Природно-технические системы и их мониторинг // Инженерная геология. – 1990. – № 5. – с. 3-9

97. Попов В.Н., Шпаков П.С., Юнаков Ю.Л. Управление устойчивостью карьерных откосов – М.: Горная книга, 2008. – 683 с.

98. Dawson E.M.; Roth W.H., Drescher A. Slope stability analysis by strength reduction // Geotechnique, 1999. – 49(6). – p. 835-840

99. Das B.M. Advanced soil mechanics / Продвинутая механика грунтов // CRC Press, 2019 г. – 734 p.
100. Derringh E. Computational engineering geology / Вычислительная инженерная геология // Prentice-Hall Inc, 1998. – 337 p.
101. Arshi An. Reclamation of coalmine overburden dump through environmental friendly method // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2017. – № 24. – P. 371–378.
102. Bell F.G. Engineering geology / Инженерная геология // Elsevier, 2007 – 593 p.
103. Zhang XQ, Zou JX. Research on collaborative control technology of coal spontaneous combustion and gas coupling disaster in goaf based on dynamic isolation // Fuel. – 2022. – V. 321. – 124123
104. Zhi-hui Zhang, Da Zhang, Xin-kui Xiang, Xin-you Zhu, Xiao-long He. Geology and mineralization of the supergiant Shimensi granitic-type W-Cu-Mo deposit (1.168 Mt) in northern Jiangxi South China // China Geology. – 2022. – №5. – p. 510-527
105. Демин А.М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов – Москва: Недра, 1973. – 217 с.
106. Шушкина О.И. Исследование устойчивости внутренних бестранспортных отвалов (на примере Талдинского и Томусинского месторождений Кузбасса). Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. тех. наук, // ИГД им. А. А. Скочинского – 1973 – 15 с.
107. Имансакипова Б.Б., Турсбекова Г.Ж., Турсбеков Н.С., Турабаев Э.Н. Оценка влияния подземных вод на устойчивость отвала // Вестник КРСУ – 2017. – Том 17. – № 5 – С.195-197
108. Курехин Е.В. Технологические схемы отвалообразования вскрышных пород в карьерной выемке смежного участка // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. – Т. 328. – № 5. – С.67–82
109. Ольховатенко В.Е. Инженерная геология угольных месторождений Кузнецкого бассейна [Текст]: монография / В.Е. Ольховатенко. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 150 с.
110. Жабко А. В. Новая концепция оценки устойчивости откосов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 10. – С. 104–124.
111. Котельников Д.Д., Конюхов А.И. Глинистые минералы осадочных пород. – М.: Недра, 1986 – 247 с.

112. Деревянкин В.В. Оценка состояния отвальных насыпей с учетом динамики горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – М.: Издательство «Горная книга» – 2018. – № 11 (специальный выпуск 46). – 20 с.

113. Каплунов Д.Р., Федотенко В.С. Устойчивое развитие горнотехнических систем как переход от добычи полезных ископаемых к освоению георесурсов и сохранению недр // Горный журнал. – 2021. – № 8. – С. 4-7.

114. Колесников И.Ю., Морозов В.Н., Татаринов В.Н., Татарина Т.А. Напряженно-деформированное энергетическое районирование геологической среды для размещения экологических инфраструктурных объектов // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2017. – № 2 (20). – С. 77-88.

115. Гвишиани А.Д., Вайсберг Л.А., Татаринов В.Н., Маневич А.И. Системный анализ в горных науках и уменьшении природного ущерба // В сборнике: Системный анализ: моделирование и управление. Материалы Международной конференции, посвященной памяти академика А.В. Кряжимского. Ответственный редактор К.О. Бесов, 2018. – С. 43-45.

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

117. Певзнер М.Е. Борьба с деформациями горных пород на карьерах / М. Е. Певзнер. – М.: Недра, 1978 – 255 с.

118. Фролов С.В. Причины возникновения и преимущества формирования внутреннего отвалообразования в выработанном пространстве карьера // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – Отдельный выпуск № 2. – С. 323-431

119. Мартыненко В.П. Обоснование рациональных параметров горных работ глубоких карьеров при внутреннем отвалообразовании // Доклад на симпозиуме «Неделя горняка – 98» Москва, МГГУ, 2.02.98 - 6.02.98, Семинар №2 – С. 146-150

120. Романенко А.В. Теоретическое обоснование горнотехнической возможности размещения в глубоких карьерах отвалов скальных пород и экологические проблемы их рекультивации. – Днепропетровск: Сб. научн. тр. ИППЭ НАН Украины. – 2001. – №3. – С. 249-256.

121. Отчет по НИР «Геомеханическая экспертиза фактических и проектных параметров отвала «Южный» Ерунаковского месторождения ООО «Горнорудная компания Урала» / НИТУ МИСИС, 2019 – 196 с.

122. Условия формирования бассейна. Угленосность // Угольная база России. Т. 2. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края, Республики Алтай / Под ред. А. З. Юзвицкого, А. П. Авдеева и др. – М.: ООО «Геоинформцентр», 2003 – 604 с

123. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист №-45 – Новокузнецк. Объяснительная записка. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2007

124. Куртигешев В.С., Бычков А.И., Шатилова Г.А., Скребков А.В., Ефремова Н.М. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист N-45-III (Кемерово). Объяснительная записка. – Санкт-Петербург, 2001. (Министерство природных ресурсов Российской Федерации, Комитет природных ресурсов по Кемеровской области, ФГУПП Запсибгеолсъемка) – 159 с.

125. Волкова А.Н. Сравнительная литологическая характеристика балахонской серии юга и севера Кузнецкого бассейна // Известия Томского Политехнического Института им. С.М. Кирова, 1959 – т.99 – С.127-140

126. Нейбург М.Ф. Опыт стратиграфического и возрастного подразделения угленосной серии осадков Кузнецкого бассейна. // Изв. ГГРУ, 1931. – Т. 50. – № 5. – С. 67-82.

127. Ильина В.И., Михеева А.Б. Палинологическая характеристика юрских отложений Кузбасса. В кн.: Стратиграфия мезозоя и кайнозоя Средней Сибири. – Новосибирск: Наука, 1967 г. – 194 с.

128. Быстрицкая Л. И. Растительные комплексы в юрских отложениях Кузбасса «Матер, по стратиграфии и палеонтологии Западной Сибири» – Томск: ТГУ, 1974 –76 с.

129. Арцер А.С. Угли кольчугинской серии Кузбасса и наиболее перспективные направления их нетопливного использования // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн.наук: – Москва, 1985. – 223 с.

130. Юзвицкий А.З. Верхнепалеозойские отложения Восточного Кузбасса // Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1987. – № 6. – С. 19-25

131. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Лескова Е.В., Фатеев А.В., Семин А.Ю. Сейсмические активизации при разработке угля в Кузбассе // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т.1. №12. – С.37-43

132. Зудин А.Н., Николаев С. В., Галкина Л.И., Буткеева О.Ю., Ефимова Л.И., Панычев В.А., Понаморев Е.А. Обоснование стратиграфической схемы

неогеновых и четвертичных отложений Кузнецкой котловины// Проблемы стратиграфии и палеогеографии плейстоцена Сибири. – Новосибирск: Наука, 1982, – С. 133-149

133. Макеев В.М. Новейший перекрестный структурный план Кузнецкой перигорной области и его влияние на горно-геологические условия месторождений в Кузбассе // Геология и разведка. – 1998. – № 3. – С. 10-23

134. Угольная база России. Том. II. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири.-М.: ООО «Геоинфоцентр», 2003.- 604 с.

135. 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.

136. Щёкина М.В., Салтанова Е.А., Ермолов А.В. Совершенствование методики и технических средств натуральных исследований техногенных месторождений // Печ.Мат. IV Международной экологической конференции студентов и молодых ученых. – М.: МГГУ, 2001 – с.86-89

137. Черкас О.В. Морфоструктурное районирование кузнецкой впадины как основа при создании прикладных карт // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн.наук: – ИГМСО РАН – Новосибирск, 2015. – 120 с.

138. Постановление администрации города Новокузнецка от 31 марта 2022 г. № 73 «Об утверждении муниципальной программы Новокузнецкого городского округа «Укрепление общественного здоровья населения Новокузнецкого городского округа» [Электронный ресурс] // ИПП Гарант.ру. – Режим доступа: <https://www.garant.ru> (дата обращения 07.04.2022)

139. Трофимова Г.И Оценка инженерно-геологических условий и состояния окружающей среды при разработке открытым способом угольных месторождений Ерунаковского района Кузбасса // Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук: – Томск: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. – 147 с.

140. Ольховатенко В.Е., Трофимова Г.И. Характеристика физико-механических свойств горных пород Ерунаковского Южного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. – № 12. – С. 95-105

141. Межгосударственный стандарт ГОСТ 21153.2-84 «Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии» (утв. и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по Управлению качеством продукции и стандартам от 19 июня 1984 г. N 1973) [Электронный

ресурс] // ИПП Гарант.ру. – Режим доступа: <https://www.garant.ru> (дата обращения 22.12.2020)

142. ГОСТ 21153.2-84 "Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии" (утв. и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по Управлению качеством продукции и стандартам от 27 июня 1985 г. № 3731) [Электронный ресурс] // ИПП Гарант.ру. – Режим доступа: <https://www.garant.ru> (дата обращения 22.12.2020)

143. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости [Электронный ресурс] // ИПП Гарант.ру. – Режим доступа: <https://www.garant.ru> (дата обращения 22.11.2021)

144. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 59691-2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические. Метод определения водопроницаемости» утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 сентября 2021 г. № 973-ст. [Электронный ресурс] // ИПП Гарант.ру. – Режим доступа: <https://www.garant.ru> (дата обращения 22.11.2022)

145. ГОСТ 25584-2016 Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 ноября 2016 г. № 1570-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 25584—2016 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 мая 2017 г [Электронный ресурс] // ИПП Гарант.ру. – Режим доступа: <https://www.garant.ru> (дата обращения 30.11.2022)

146. ГОСТ 26423-85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 8 февраля 1985г. №283. [Электронный ресурс] // Информационный портал «Охрана труда в России» – Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/> (дата обращения 30.11.2022)

147. ГОСТ 26424 Почвы. Метод определения ионов карбоната и бикарбоната в водной вытяжке Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 8 февраля 1985г. №283. [Электронный ресурс] // Информационный портал «Охрана труда в России» – Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/> (дата обращения 30.11.2022)

148. ГОСТ 26425 Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 8 февраля 1985г. №283. [Электронный ресурс] // Информационный портал «Охрана

труда в России» – Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/> (дата обращения 30.11.2022)

149. ГОСТ 26425 Почвы. Методы определения иона сульфата в водной Вытяжке Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 8 февраля 1985г. №283. [Электронный ресурс] // Информационный портал «Охрана труда в России» – Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/> (дата обращения 30.11.2022)

150. ГОСТ 26425 Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке Постановление Государственного комитета СССР по стандартам от 8 февраля 1985г. №283. [Электронный ресурс] // Информационный портал «Охрана труда в России» – Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/> (дата обращения 30.11.2022)

151. ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 5 декабря 2014 г. N9 46) [Электронный ресурс] // Информационный портал «Охрана труда в России» – Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/> (дата обращения 13.12.2022)

152. Артюшин Ю.И. Моделирование безопасного ведения горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 1. – 38 с.

153. Ческидов В.В., Липина А.В. Обоснование и ранжирование комплекса критериев оценки безопасности эксплуатации откосных сооружений // Исследования по геоинформатике: труды Геофизического центра РАН. 2017. Т. 5. № 2. С. 48-53

154. Дранишников Л.В., Завгородний В.В. Анализ и оценка возникновения техногенных аварий с целью управления их безопасностью на основе информационных технологий // Математическое моделирование – 2008. – № 2. – 8 с.

155. Henley E., Kumamoto H. Reliability engineering systems and risk assessment. – М.: Mashinostroenie, 1984. – 528 p.

156. Ловчиков А.В. Различие в опасности горных ударов на рудниках и угольных шахтах // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2017. – Т. 4. – № 2. – С. 105 – 111.

157. Пелипенко М.В., Баловцев С.В., Айнбиндер И.И. К вопросу комплексной оценки рисков аварий на рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 11. – С. 180–192

158. Jalbout A., Simser B. Rock mechanics tools for mining in high stress ground conditions at Nickel Rim South Mine // Newsletter (Australian Centre for Geomechanics) – vol. 46 – Dec. 2017.

159. Архипов И.А., Филин А.Э. Анализ состояния аварийности на угольных предприятиях России // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 1. – С. 208–215

160. Грязев М.В., Стась Г.В., Кусакина Е.В. Методические положения оценки вероятности крупных аварий в угольной промышленности // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2018. – Вып. 2. – С.127-136

161. Заключение экспертизы промышленной безопасности №66-2009 в части анализа риска горных производств и объектов по оценке устойчивости ярусов автоотвалов ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» при эксплуатации самосвалов повышенной грузоподъемности / Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР», Кемерово, 2009.

161. Правила проведения экспертизы промышленной безопасности / шифр ПБ 03-246-98, утвержденным постановлением Госгортехнадзора России от 06.11.1998 г. №64, зарегистрированы в Минюсте РФ 08.12.1998 г., регистрационный №1656, введены в действие с 26.12.1998 г. [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации – Режим доступа: <https://http://pravo.gov.ru> (дата обращения 12.10.2022)

162. Ческидов В.В., Маневич А.И., Липина А.В. Получение и анализ больших данных в практике мониторинга состояния горнотехнических сооружений // Горная промышленность. – 2019. – № 2 (144). – С. 86-88.

163. Cheskidov V.V., Lipina A.V., Manevich A.I. & Kurenkov D.S. Status Monitoring of Sloping Structures // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources. – London: CRC Press, 2019. – P. 41-47. DOI: 10.1201

164. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынии В.Г. Горнопромышленная гидрогеология: Учебник для вузов – М.: Недра, 1989. – 287 с.

165. Гальперин А.М., Зайцев В.С., Харитоненко Г.Н., Норватов Ю.А., Геология: Часть III -Гидрогеология: Учебник для вузов. -М.: Горная книга, 2008. – 400 с.

166. Ческидов В.В. Применение инженерно-геологических и гидрогеологических методов исследований для информационного обеспечения геотехнологий (N 2823) учеб. пособие / В. В. Ческидов; МИСиС, Каф. геологии и маркшейдерского дела. – М.: [МИСиС], 2017. – 114с.

167. Геологические материалы по участкам «Таллинские 1-2»: Геологический отчет по детальной разведке «Таллинское месторождение и участки Таллинские 1-2 в Ерунаковском районе Кузбасса / Трест Кузбассуглегеология. Левобережная геологоразведочная партия, 1970 – 163с.
168. Юшкин В.Ф. О прогнозе оседаний грунтов в бортах карьера // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ – Новосибирск – Т2 – №5 – 2019 – с. 132-137
169. Cheskidov V.V., Lipina A.V., Melnichenko I.A., Integrated monitoring of engineering structures in mining // Eurasian Mining. – 2018. – № 2. – С. 18-21.
170. Васильева Н.В., Бойков А.В. Математические методы обработки данных: Методические указания к лабораторным работам – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2019. – 76 с.
171. Ческидов В. В., Липина А. В., Красноцветов М. А. Моделирование уровня техногенного водоносного горизонта в отвалах угольных разрезов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 6 (специальный выпуск 5). – С. 3-19.
172. Липина А.В., Маневич А.И. Перспективные направления в проектировании сетей пунктов сбора информации при инженерно- геологических исследованиях намывных массивов, откосных сооружений и их оснований // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 1. – С. 387-395.
173. Липина А.В. закономерности изменения гидрогеомеханических условий системы «внутренний отвал – прибортовой массив» // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2023 – №3 – С.15-28.
174. Технический проект разработки Ерунаковского каменноугольного месторождения. Отработка запасов угля в границах участков «Ерунаковское месторождение» и «Ерунаковский Береговой», Кузнецкая проектная компания, 2020 – 430 с.
175. Проект технического перевооружения горнотранспортной части Ерунаковского угольного разреза филиала ОАО «Кузбассразрезуголь». Том 1. Книга 1. Гипроуголь. Новосибирск, 2007 – 340 с.
176. Правила безопасности при разработке угольных месторождений открытым способом. ПБ 05-619-03. Утверждены постановлением Госгортехнадзора России от 30.05.03. №45. [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации – Режим доступа: <https://pravo.gov.ru> (дата обращения 12.05.2022)

177. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – Спб.: ВНИМИ, 1998 – 208 с.

178. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 №116-ФЗ в установленном порядке (в ред. Федерального закона от 18.12.2006 №232-ФЗ). [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации – Режим доступа: <https://http://pravo.gov.ru> (дата обращения 12.10.2022)

179. Методические указания по расчёту устойчивости и несущей способности отвалов. – Л.: ВНИМИ, 1987 – 127 с.

180. Кириченко Ю.В., Щёкина М.В., Гусарова А Мониторинг техногенных массивов. (Тезисы) Печ. Материалы Первой международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» – М.: РУДН, 2002 – с.232 - 234.

181. Предварительное заключение ООО НПФ «Карбон» №2/07к о причине, характере и основных факторах, оказавших влияние на возникновение оползневых деформаций откосов естественных склонов, повлёкших нарушение опор ЛЭП 110 кВ и угрожающих повреждению других объектов (автодороге, соединяющей разрез с важными для разреза пунктами, АБК разреза и др.) Филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Ерунаковский угольный разрез», а также прогноз таких деформаций и противооползневые мероприятия, выполненные на основании изучения горногеологических условий оползневого участка по результатам натурного обследования фактического состояния, сбора и анализа необходимых данных и материалов, 2007– 38 с.

182. Заключение ООО НПФ «Карбон» №08-15к «Геомеханическая экспертиза проектных решений устойчивых параметров отвала «Южный» Ерунаковского поля филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез» и влияние отвалообразования и взрывных работ на оползневые явления берега р.Томь и дороги, ведущей в пос. Ерунаково», 2015 – 57 с.

183. Заключение ООО НПФ «Карбон» №8-12к об устойчивости бестранспортных отвалов, размещаемых на неустойчивое основание нерабочего борта участка «Северный» филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Таллинский угольный разрез» (Ерунаковское поле), 2012 – 62 с.

184. Cheskidov V., Lipina A., Kassymkanova K.-K., Bornman M. Modern methods of monitoring and predicting the state of slope structures // E3S Web of Conferences 105, 01001 (2019), DOI: 10.1051/e3sconf/201910501001

185. Cheskidov V., Kurenkov D., Lipina A., Grobler H. Slope monitoring systems design for mining enterprises / В сборнике:5th International Innovative Mining Symposium // E3S Web of Conferences IIMS, 2020. – 174. – 01025 – 6 с.