

НАО «Казахский Национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева» (Satbayev University)

УДК 553.3.072

На правах рукописи

ШАЙЫАХМЕТ ТАНИРБЕРГЕН КЕРІМБЕКҰЛЫ

**3D моделирование месторождения «Бескемпир» для оценки минеральных
ресурсов и инженерно-геологических условий**

6D075500 – Гидрогеология и инженерная геология

Диссертация на соискание ученой степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты:
Байбатша Адильхан Бекдилдаулы –
академик КазНАЕН, доктор геол.-
минерал. наук, профессор, зав.
«Инновационной геол.-минерал.
лабораторией» Satbayev University

Andrzej Muszynski – prof. dr hab. of
Adam Mickiewicz University
(Польша)

Республика Казахстан
Алматы, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	5
СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КАК ЦЕЛОСТНУЮ ПРИРОДНУЮ СИСТЕМУ И ИХ КОМПОНЕНТОВ КАК ПОДСИСТЕМ, КОТОРЫЕ ОПРЕДЕЛЯЮТ СВОЙСТВА И СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД.....	14
1.1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	16
1.2 ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕСТНОСТИ НА ОСВОЕНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ РАЙОНА	18
1.2.1 Геоморфология	18
1.2.2 Климатическая характеристика района	19
1.3 ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ	23
1.3.1 Стратиграфия и стратификация отложений и комплексов горных пород	23
1.3.1.1 Условия и формы залегания вмещающих пород	25
1.3.1.2 Условия и формы залегания полезного ископаемого	29
1.3.1.3 Создание геологической 3D модели месторождения.....	38
1.3.2 Тектоника.....	40
1.3.2.1 Положение месторождения в региональных структурах	40
1.3.2.2 Структура рудного поля и месторождения	41
1.3.2.3 Разрывные нарушения	42
1.3.2.4 Новейшие и современные тектонические движения.....	44
1.3.2.5 Создание структурной 3D модели месторождения	45
1.4 ЕСТЕСТВЕННОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД	47
1.4.1 Изучение естественных напряжений в горных породах.....	47
1.5 ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ.....	50
1.5.1 Природные геологические процессы и явления в районе работ.....	50
1.5.2 Геологические процессы и явления, связанные с разработкой месторождения	51
2 ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ	56
2.1.1 Гидрогеологические условия района	56
2.1.2 Методика и объёмы выполненных работ	59
2.1.3 Гидрогеологическая характеристика месторождения.....	61
2.1.4 Оценка обводненности месторождения.....	63
2.1.5 Химический состав подземных вод	65
2.1.6 Оценка водопритоков в подземные горные выработки	67
2.1.7 Прогноз водопритоков в горные выработки	69
2.1.8 Защита шахтного поля от обводнения	70
3 ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ОСНОВАМИ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ	73
3.1 ИЗУЧЕНИЕ ВАЖНЕЙШИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРНЫХ ПОРОД	73
3.1.1 Петрографический состав горных пород.....	75

3.1.2 Физико-механические свойства горных пород.....	85
3.1.3 Физическое состояние горных пород	87
3.1.3.1 Выветривание горных пород	88
3.1.3.2 Трещиноватость массива горных пород.....	89
3.2 МЕТОДЫ ПОЛЕВЫХ ОПЫТНЫХ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	92
3.2.1 Документация керна	94
3.2.2 Документирование стенок подземных выработок	107
3.3 ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ.....	111
3.4 ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ	120
4 ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И НЕГАТИВНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ.....	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	129
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	130

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:
Закон Республики Казахстан от 1 июля 2024 года № 103-VIII ЗРК. «О науке и технологической политике»;

Закон Республики Казахстан от 27 июля 2007 года № 319-III «Об образовании» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 04.07.2018 г.);

Кодекс Республики Казахстан «Водный кодекс Республики Казахстан» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 08.06.2024 г.);

Правила присуждения ученых степеней, утвержденных приказом МОН РК от 31 марта 2011 года № 127;

ГОСТ Р 7.0.4-2006 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Издания. Выходные сведения. Общие требования и правила оформления;

ГОСТ 7.12-93 - Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила;

ГОСТ 7.32 - 2001 - Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Инженерная геология месторождений полезных ископаемых – прикладной раздел инженерной геологии, изучающий состав и свойства верхних слоев земной коры, где осуществляется разработка месторождений, а также происходят различные геологические процессы и явления в связи с инженерной деятельностью человека.

Инженерно-геологические условия месторождений полезных ископаемых – целостная природная система, она определяет возникновение и развитие неблагоприятных геологических явлений (горное давление, деформации, разрушения, сдвигения и др.), обуславливающих безопасность проходки горных выработок, их устойчивость и рациональные условия эксплуатации, экологию геологической среды.

Геологическая среда – горные породы и почвы, слагающие верхнюю часть литосферы, во взаимодействии с атмосферой, подземной и наземной гидросферой и биосферой, находящиеся под воздействием инженерно-экономической деятельности человека и оказывающие влияние на жизнь общества.

Массив горных пород (или просто **массив**) – связанная часть земной коры, состоящая из совокупности горных пород одной или нескольких петрографических разностей, сформировавшихся в определенной геологической обстановке, в пределах которой локализуются все инженерно-геологические процессы и явления, обусловленные горными работами.

Геоинформационная система (географическая информационная система ГИС) – система сбора, обработки, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных.

Цифровая модель рельефа (ЦМР) – цифровое картографическое представление земной поверхности как в виде регулярной сетки высот, так и в виде нерегулярной сетки треугольников.

База данных – совокупность данных, организованных в соответствии с концептуальной структурой, описывающей характеристики этих данных и взаимоотношения между ними. База данных первичной инженерно-геологической информации необходима для обработки, структурирования и надежного хранения с возможностью изменений, дополнений и получения отчетов в удобном для пользователей виде.

3D моделирование месторождения – объемное представление месторождения в виде многомерного объекта в пространстве, в котором максимально отражено геолого-структурное строение изучаемого объекта.

СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

- ИГУ** – Инженерно-геологические условия
- МПИ** – Месторождение полезных ископаемых
- МГП** – Массив горных пород
- ГГИС** – Горно-геологическая информационная система
- ЦМР** – Цифровая модель рельефа
 - БД** – База данных
 - КМ** – Каркасная модель
 - БМ** – Блочная модель
- IDW** – Inverse distance weight
- RQD** – Rock Quality Designation (показатель качества породы)
- SRF** – Stress Reduction Factor (фактор снижения напряжений)
- RMR** – Rock Mass Rating (рейтинг массива горных пород)
 - GSI** – Geological Strength Index (геологический индекс прочности)
- MRMR** – Mining Rock Mass Rating (горный рейтинг массива горных пород)
- ISRM** – The International Society for Rock Mechanics (Международное сообщество по механике горных пород)
- IAEG** – International association for Engineering Geology (Международная ассоциация по Инженерной геологии)
- ISSMGE** – International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Международное сообщество по механике грунтов и геотехнической инженерии)

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. В Казахстане на разрабатываемых и вновь осваиваемых различных месторождениях полезных ископаемых (МПИ) наблюдаются следующие факторы: а) разведываются и передаются для разработки месторождения с все более сложными геологическими условиями; б) увеличивается глубина разработки месторождений подземным и открытым способами, в) ухудшается физическое состояние горных пород; г) усложняется инженерно-геологические условия (ИГУ) месторождения; д) применяется все более сложное и производительное оборудование, требующее создания надежных условий работы; ж) растут требования к рациональному использованию и охране недр, к улучшению условий работы и безопасности труда работников горных предприятий и др. Решение вышеперечисленных задач имеет прямую связь с достижениями инженерной геологии МПИ.

На сегодняшний день во многих горнодобывающих предприятиях горные работы ведутся без учета сложности ИГУ месторождений. В шахтных полях задействованы тяжелые, прогрессивные и мощные современные мобильные техники типа самоходного оборудования, внедрение которых осуществляется без обоснования специально проведенными инженерно-геологическими исследованиями. В результате такого подхода на участках отработки рудных тел образуются обширные площади обнажения кровли и огромные пустоты выработанного пространства, происходят массовое разрушение целиков, обрушение пород кровли и другие явления, тем самым, создаются опасные условия ведения работ в горных выработках. Есть статистика, в которой приводятся сведения о том, что в подземных шахтах три четверти несчастных случаев со смертельным исходом происходят при обрушениях кровли и разрушении поддерживающих целиков или транспортных операциях.

В диссертационной работе подчеркивается, что только всестороннее изучение компонентов инженерно-геологических условий и использование возможностей горно-геологических информационных систем через адаптацию создания объемных 3D моделей могут обеспечить количественные и качественные показатели оценки ИГУ месторождения (определение анизотропии инженерно-геологических параметров в пределах массива горных пород (МГП) в пространстве). Полученные 3D модели, характеризующие ИГУ месторождения, дают возможность достоверно и надежно прогнозировать сложность освоения месторождения, геологические процессы и явления (возникающие и развивающиеся под воздействием ведения горных работ), устойчивость массива. Таким образом, 3D модели будут обеспечивать рациональное использование природных ресурсов, повышения безопасности и эффективности эксплуатации и охраны окружающей среды. На современном уровне оценка ИГУ месторождений с основами 3D моделирования является весьма актуальной.

Оценка современного состояния решаемой научной или научно-технической проблемы. Инженерная геология МПИ является одним из развивающихся научных направлений прикладных разделов инженерной

геологии. Необходимость инженерно-геологического изучения различных месторождений металлических, неметаллических и горючих полезных ископаемых возникла из практических потребностей освоения и создания на их базе объектов горнодобывающего сектора.

Основоположником инженерной геологии акад. Ф.П. Саваренским введено понятие о геологических условиях строительства, а позже, в его капитальном труде «Инженерная геология» (1937-1939 гг.) появился термин «инженерно-геологические условия» [22]. Акад. А.А. Скочинский, характеризуя задачи горной науки (1946), отмечал необходимость использования достижения математики, физики, химии и цикла геологических дисциплин и обеспечения научного понимания сложных явлений и процессов, происходящих в недрах земли при разработке месторождений полезных ископаемых. Развивая идеи Ф.П. Саваренского, проф. И.В. Попов (1951) определил инженерную геологию в теоретическом отношении. В этом направлении в 1956 г. проф. П.Н. Панюков дал четкое разъяснение между терминами инженерно-геологические и горно-геологические условия, написав, что ИГУ (и особенности) в горной промышленности принято называть горно-геологическими условиями (и особенностями). В период все возрастающего антропогенного воздействия на природную среду и резкого обострения экологической ситуации инженерная геология, согласно определению акад. Е.М. Сергеева (1979), становится наукой о геологической среде, ее рациональном использовании и охране. В 1984 году проф. В.Д. Ломтадзе, определяя предмет инженерной геологии, ее содержание и положение в цикле геологических дисциплин, предложил рассматривать инженерную геологию как раздел прикладной науки.

С развитием горной науки и практики появились перед специалистами разных профилей вопросы оценки условий и прогноза изменения геологической среды с целью ее рационального использования и охраны при освоении месторождений со все более сложными природными условиями. Для решения выше поставленных задач, возникающих при разработке месторождений полезных ископаемых, оказалась инженерная геология, у которой большой опыт по изучению закономерностей геологических процессов и явлений, а также условий строительства и эксплуатации различных сооружений.

В целом, создание инженерной геологии МПИ связано с трудами таких ученых: П.Н. Панюков, С.В. Троянский, Д.И. Щеголев, М.В. Сыроватко, Г.Г. Скворцов, Н.И. Плотников, С.П. Прохоров, Н.Г. Паукер, Ю.Н. Малюшицкий, П.В. Васильев, С.И. Малинин, В.Л. Свержевский, Б.В. Смирнов, В.В. Фром, Г.А. Голодковская, А.Б. Байбатша и др. Также успешное развитие одного из прикладных наук – механики горных пород (М.М. Протодяконов, В.Д. Слесарен, П.М. Цимбаревич, Л.Д. Шевяков, И.М. Бахурин, С.Г. Авершин, Г.Н. Ж.С. Ержанов, Кузнецов, Д.А. Казаковский, М.М. Протодяконов (мл.), Б.В. Матвеев, А.Ж. Машанов, Л.И. Барон, Н.Н. Куваев, С.И. Попов, И.А. Турчанинов и др.), которая способствовала становлению инженерной геологии МПИ как одним из важнейших направлений на всех стадиях геологических работ и в процессе горного производства. В этот период развитие инженерной

геологии МПИ было обусловлено созывами многочисленных научных и научно-практических конференций, совещаний и симпозиумов по проблемам и вопросам этого прикладного раздела инженерной геологии [22, 30, 44].

Развитием инженерной геологии МПИ активно занимались В.Д. Ломтадзе, П.Н. Панюков, И.П. Иванов, Г.Г. Скворцов, Б.В. Смирнов, В.В. Фромм и др.

В последние годы практически все ведущие компании страны горнодобывающей отрасли полностью перешли на оценку минеральных ресурсов (МР) месторождений с основами 3D моделирования с использованием полученных данных при разведке и эксплуатации месторождений. К большому сожалению, сейчас на разрабатываемых МПИ, наблюдается существенное отставание инженерной геологии (оценка ИГУ) от геологии МПИ (оценка МР). Причиной такого характера дисгармонии является неполное решение инженерно-геологических задач при разведке и в процессе подготовительно-эксплуатационных работ, а иногда полное игнорирование проведения инженерно-геологических исследований. Это указывает на то, что геологическая служба рудников не имеет в своем составе высококвалифицированных и компетентных специалистов в области инженерной геологии МПИ.

Отмечая развитие инженерной геологии МПИ как научное направление и то, что в этом прикладном разделе инженерной геологии учеными, производственными и проектными организациями уже сделан приличный объем работ, надо сказать, что многие важные и сложные вопросы и методы решения инженерно-геологических задач при разведке и в период эксплуатации месторождения еще в недостаточной степени разработаны.

Основная научная идея заключается в разработке научного метода решения инженерно-геологических задач на основе 3D моделирования с использованием данных, полученных в результате специально проведенных инженерно-геологических исследований разведочных скважин и в горных выработках в условиях подземного способа разработки месторождения.

Обоснование необходимости проведения данной научно-исследовательской работы. В последнее время инженерная геология МПИ столкнулась с серьезной проблемой, заключающейся в разработке четких методов и предложений, а также рекомендаций по оценке ИГУ и прогнозу негативных геологических явлений и процессов. Эти исследования направлены на обеспечение рационального использования геологической среды и ее защиту от негативного воздействия горнодобывающих предприятий. Хотя уже достигнуты определенные результаты, существует множество вопросов, требующих специального изучения. В этой актуальной области необходимо провести еще много работы для разработки эффективных методов и рекомендаций.

Вышесказанная проблема не нашла своего решения из-за отсутствия мощных компьютерных технологий в советское и постсоветское времена. Без современных компьютерных технологий невозможно обработка большого количества информации и фактических данных. Решение инженерно-геологических задач с использованием инновационных компьютерных

технологий имеет огромные преимущества, которые раньше были невозможными. Поэтому оценка ИГУ МПИ на платформе инновационных компьютерных технологий на сегодняшний день весьма реалистична.

В рамках диссертационной работы была достигнута оценка ИГУ жильного золоторудного месторождения в цифровой среде с использованием 3D моделирования: результаты исследования обрабатываются в современных горно-геологических информационных системах, создаются база данных инженерно-геологических исследований и различные объемные 3D модели месторождения, на основе которых определяется анизотропия инженерно-геологических параметров в пределах массива горных пород. Далее в программном обеспечении осуществима качественная и количественная оценка ИГУ месторождения, прогнозирование сложности его освоения, негативных геологических процессов и явлений. Таким образом, в результате адаптации диссертантом основ 3D моделирования для решения задач инженерной геологии МПИ, данное направление переходит на новый уровень как в научном направлении, так и практическом. В этой связи диссертационная работа имеет огромную научно-практическую значимость.

Научная новизна. Автор диссертации на основании многолетней работы в подземных рудниках и накопленных опытов отечественных и зарубежных специалистов в области инженерной геологии месторождений твердых полезных ископаемых, проводил специальные инженерно-геологические исследования на месторождении «Бескемпир» в рамках полного теоретического курса обучения образовательной программы докторантуры (PhD) КазНИТУ имени К.И.Сатпаева. Результаты научно-исследовательских работ приведены в настоящей диссертации, научная новизна которых заключается в следующем:

1. Реализация оценки ИГУ МПИ на основе 3D моделирования, при помощи которого достигнуто получение качественных и количественных показателей о пространственной неоднородности, анизотропности и изменчивости ИГУ.

2. Оценка Минеральных ресурсов месторождения с учетом особенностей ИГУ МПИ.

3. Прогноз возникновения и развития возможных неблагоприятных геологических явлений и процессов по результатам оценки ИГУ МПИ на стадии строительства и эксплуатации горнодобывающих сооружений в подземных условиях.

Личный вклад автора. Автор диссертации лично проводил инженерно-геологические исследования в горных выработках месторождения «Бескемпир» на протяжении нескольких лет. Форматировал полученные результаты исследовательских работ в цифровую среду, выполнял работы в программном обеспечении Micromine и Leapfrog: создание базы данных, интерпретация инженерно-геологических компонентов и построение их 3D каркасной и блочной моделей, установление закономерностей в изменчивости свойств массива горных пород, качественная и количественная оценка ИГУ МПИ и прогноз изменения ИГУ, сложности освоения месторождения с развитием

горных работ и разработки рекомендации по учету негативных геологических явлений и процессов.

Цель исследований: Разработка научно-практического метода оценки ИГУ МПИ с основами 3D моделирования при разработке месторождений подземным способом.

Объектом исследований золоторудное месторождения «Бескемпир», разрабатываемое подземным способом.

Задачи исследований:

1. Изучение инженерно-геологических компонентов и их развития в условиях подземных горных выработок на разрабатываемом месторождении Бескемпир;

2. Анализ гидрогеологических условий исследуемого месторождения в инженерно-геологическом аспекте для определения влияния подземных вод на разработку месторождения подземным способом;

3. Оценка инженерно-геологических условий и минеральных ресурсов золоторудного месторождения Бескемпир;

4. Прогноз устойчивости массива горных пород и вероятности возникновения негативных геологических процессов и явлений в горных выработках.

Фактический материал и методы исследований. В основу диссертационной работы положены результаты научных исследований компонентов инженерно-геологических условий жильных золоторудных месторождений Акбакайского рудного поля, проведенных в их разведочных и эксплуатационных горных выработках. Для анализа и обобщения результатов исследований использованы математические методы обработки полученных количественных данных и цифровой формат создания 3D моделирования.

Были проведены исследования в инновационной геолого-минералогической лаборатории Satbayev University, где были изготовлены и изучены шлифы и аншлифы из образцов руд и рудовмещающих горных пород, отобранных из горно-разведочных выработок месторождения «Бескемпир».

Основной фактический материал получен в результате специальных инженерно-геологических исследований на золоторудном месторождении «Бескемпир» для обеспечения расширения фронта его эксплуатации. Автором выполнены следующие виды и объемы работ:

1. инженерно-геологическая документация порядка 660 п.м. керна разведочных скважин и более 20000 м² подземных горных выработок (капитальные, подготовительные и разведочные) общей протяженностью порядка 5000 м;

2. картирование геолого-структурных элементов месторождения;

3. изучение климатических условий района и подземных вод месторождения;

4. мониторинг геологических процессов и явлений при проходке подготовительных и очистных горных выработок рудника;

5. анализ результатов испытаний прочностных свойств 2790 образцов руд и рудовмещающих пород;

6. получение и обработка материалов 3D моделирования в программном обеспечении Micromine и Leapfrog.

Основные защищаемые научные положения:

1. Проведены исследования по следующим ключевым компонентам инженерно-геологических условий месторождения, таким как рельеф местности, геологическое строение, физические и механические свойства массива пород, их трещиноватость и другие. Все полученные в ходе работ данные переведены в цифровой формат и использованы для формирования базы инженерно-геологических данных, предназначенной для визуализации компонентов ИГУ МПИ в трёхмерном пространстве.

2. Установлено влияние подземных вод как одного из факторов, вызывающих изменения свойств горных пород, а также иницирующего развитие геологических процессов и явлений, затрудняющих строительство подземных горных выработок, эксплуатацию месторождения и выполнение инженерных работ.

3. Созданы различные объёмные 3D-модели: структурная, геологическая и блочная модели месторождения. На их основе проведена оценка инженерно-геологических условий месторождения Бескемпир и минеральных ресурсов с учётом инженерно-геологических сложностей.

4. Проведено районирование массива горных пород по категориям устойчивости, а также выполнен прогноз возникновения негативных геологических процессов и явлений в горных выработках.

Практическая значимость диссертации заключается в ее научно-прикладной ценности. В целом, выполненные работы направлены в оптимизации этапов работ инженерно-геологических исследований на стадии разведки и эксплуатации месторождения, повышения эффективности и достоверности оценки ИГУ МПИ, прогноза изменения ИГУ, возможных неблагоприятных геологических явлений и устойчивости массива. Обоснованность и достоверность научно-практического метода оценки ИГУ с основами 3D моделирования подтверждаются результатами, полученными при проходке подготовительных подземных горных выработок и ведении очистных работ в руднике месторождения «Бескемпир».

Результаты научных исследований автора диссертации внедрены в производство на действующем производственном объекте и успешно функционируют на месторождении «Бескемпир», служат для предотвращения возможных рисков, связанных с изменением ИГУ МПИ, геологическими негативными явлениями, которые приводят к снижению устойчивости массива при его вскрытии подземными горными выработками. Созданная 3D блочная модель параметров ИГУ МПИ является одним из важнейших инструментов рудника для достижения безопасной проходки горных выработок, рациональной отработки запасов и охраны геологической среды (Справка о внедрении разработки автора представлена в приложении 1).

Публикации и апробация работы. Результаты научно-исследовательских работ апробированы в виде 12 опубликованных научных статей, из них 2 работы в изданиях, входящих в базу данных Scopus, и 3 статьи в научных

изданиях, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, доложены и обсуждены в форме докладов на международных, республиканских и университетских научных конференциях: в Узбекистане – материалы международной научной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения акад. АН РУЗ Ибрагима Хамрабаевича Хамрабаева (2021 г); в трудах Сатпаевских чтений: 2019-2021гг.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 138 и включает в себя введение, четыре главы, заключение и список использованных источников, состоящий из 121 наименования. Она содержит 76 наглядных рисунков и 31 таблицу.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю акад. КазНАЕН, доктору геолого-минералогических наук, проф. А.Б. Байбатша и зарубежному научному консультанту, проф. доктор хаб. А. Мушински за поддержку, ценные советы и неоценимую помощь в выполнении диссертации.

1 ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ КАК ЦЕЛОСТНУЮ ПРИРОДНУЮ СИСТЕМУ И ИХ КОМПОНЕНТОВ КАК ПОДСИСТЕМ, КОТОРЫЕ ОПРЕДЕЛЯЮТ СВОЙСТВА И СОСТОЯНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД

Задачи инженерной геологии месторождений полезных ископаемых состоят в, оценке инженерно-геологических условий массива горных пород в пределах месторождения. Важными компонентами инженерно-геологических условий месторождений являются: рельеф местности, геологическое строение месторождения, физические и механические свойства массива пород, их трещиноватость, обводненность и газоносность, развитие инженерно-геологических процессов и явлений.

При изучении геологического строения месторождения в инженерно-геологическом плане действительно важно установить стратиграфию и характеристики горных пород, которые могут повлиять на строительство и эксплуатацию горнодобывающих предприятий. Анализ стратиграфии позволяет понять, как различные слои взаимодействуют друг с другом, а также выявить потенциальные зоны ослабления, которые могут стать источником проблем, таких как обрушения или сдвиги. Тектоническая структура месторождения также играет ключевую роль, так как она может влиять на распределение напряжений в горных породах и, следовательно, на их устойчивость. Важно учитывать не только геологические факторы, но и гидрогеологические условия, так как наличие подземных вод может значительно изменить механические свойства грунтов и привести к дополнительным рискам [1].

Эксперимент является важным методом научного познания в инженерной геологии. Он непосредственно связан с объективными природными процессами и осуществляется при помощи различной аппаратуры. В ходе эксперимента исследователь с определенной целью преднамеренно преобразует предметы и явления природы, используемые в качестве объектов исследования. В силу этого эксперимент как форма практики объективен по содержанию». В этой связи, было принято решение в рамках программы докторантуры провести экспериментальный метод инженерно-геологических исследований на месторождении жильного типа «Бескемпир», разрабатываемом подземным способом. В результате впервые в Казахстане разработана структура природной системы (ИГУ МПИ) с учетом разработки месторождения, позволяющая определить необходимый и достаточный набор компонентов и деталей ИГУ. Таким образом, достигнуто создание оптимального, эффективного и экономически целесообразного варианта схемы исследований и полного исключения из перечня работ большого количества разнообразных лишних компонентов ИГУ, изучение которых требует огромных средств и времени. Исходным материалам для создания различных моделей и математических расчетов на платформе инновационных компьютерных технологий является результаты работ полевых исследований. На протяжении двух лет проводились полевые исследования ИГУ в подземных условиях горных работ шахтного поля.

П.Н. Панюков (1978 г.) отмечал, что: «Недостаточное знание инженерно-геологических условий горно-строительных и горно-эксплуатационных работ и неумение оценивать их с горно-технологических позиций более опасно, чем сами неблагоприятные горно-геологические условия. Элемент неожиданности при возникновении различного рода нарушений нормальных условий производства работ в большинстве случаев является следствием этого. Вместе с тем всесторонний учет инженерно-геологических факторов таит в себе значительные резервы и возможности улучшения технико-экономических показателей работы горного предприятия и сохранения этих показателей в сложных горно-геологических условиях и на значительных глубинах залегания полезного ископаемого [1].



Рисунок 1 – Структура природной системы.

Эксперименты в инженерной геологии делятся на лабораторные и натурные (полевые). Роль последних возрастает при реализации различных результатов научных исследований в производство. Важная роль в развитии экспериментальных исследований принадлежит также техническому оснащению индустриализации инженерной геологии, которая берет на вооружение самые современные приборы и оборудование. Техническое оснащение инженерной геологии – один из главных путей повышения производительности труда в научных и производственных инженерно-геологических учреждениях, планировании и проведении экспериментов [1].

Предложенный автором диссертации научно-практический метод оценки ИГУ МПИ типа месторождения «Бескемпир», базирующийся на основе 3D моделирования имеет свою структуру природной системы, состоящую из подсистем и нескольких иерархических уровней. Предлагаемая схема представлена на рисунках 1-3.

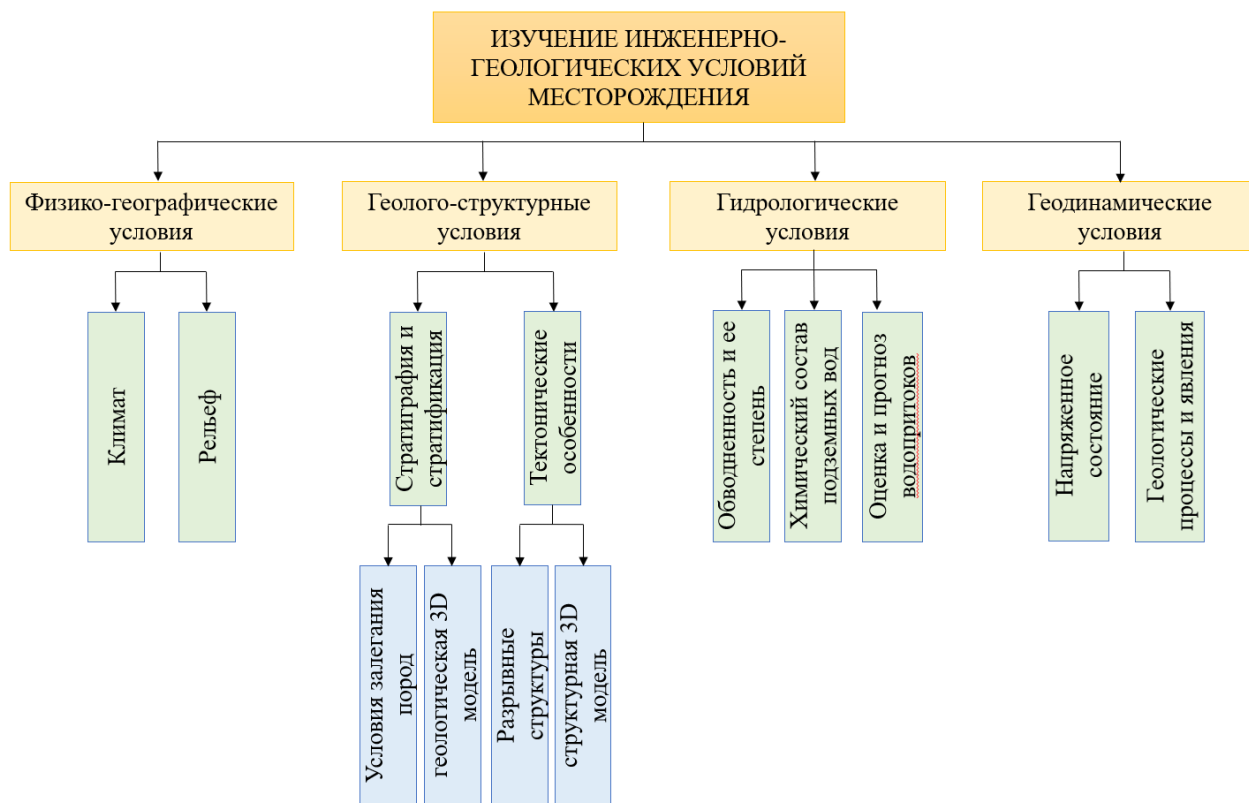


Рисунок 2 – Структура подсистемы изучения ИГУ месторождения.



Рисунок 3 – Структура подсистемы оценка ИГУ месторождения.

1.1 Общие сведения

Административно золоторудное месторождение «Бескемпир» находится в Южном регионе Казахстана в 260 км в северо-восточном направлении от горы Жамбыл и в 510 км в северо-западном от города Алматы, в непосредственной близости от поселка Акбакай. Поселок связан с автотрассой Алматы – Караганда асфальтированной дорогой протяженностью 120 км и находится на

таким же удалении от железнодорожной станции Кияхты. Обзорная карта района показана на рисунке 4.

Рассматриваемое месторождение находится в пределах планшета L-43-98-Б-6-3,4. Географические координаты центра месторождения следующие: 45°07'16" восточной долготы.



Рисунок 4 – Обзорная карта района работ.

Крупномасштабное геологическое изучение района начато в шестидесятых годах с геологической съёмки масштаба 1:50000. По результатам геологического картирования в комплексе с геофизическими и геохимическими методами выдвинуты рекомендации о перспективности района на золото. Акбакайское рудное поле было выявлено М.Н. Гринвальдом в 1967 г. в результате проведения поисковых работ масштаба 1:25000 - 1:10000. С этого времени здесь проводятся детальные поисковые работы, включая геологическую съёмку м-ба 1:10000-1:2000, поисково-оценочные и разведочные работы, сопровождающиеся геофизическими методами исследования (магниторазведка, электроразведка методами ВП, электрическое профилирование, гравиразведка, скважинные геофизические методы) [43] и литохимической съёмкой по сети 100x10 м с анализом проб на 24 элемента и на золото. В результате проведения этих видов работ геологическая изученность рудного поля является высокой. Силами тематической партии ПГО

«Южказгеология» составлены структурные карты м-ба 1:10 000 и 1:50000 на основе дешифрирования фотоматериалов, включая космические снимки. Проведено обобщение всего накопленного фактического материала с составлением прогнозно-металлогенических карт масштаба 1:10000 и 1:50000 и с оценкой прогнозных ресурсов.

На территории месторождения оценочные и разведочные работы завершены до 2000 г. и началась разработка месторождения подземным способом горнодобывающим предприятием ГРК «Балхаш». Впервые промышленные кондиции по месторождению «Бескемпир» были утверждены ГКЗ СССР 19.04.1985 г.

1.2 Влияние физико-географических особенностей местности на освоение месторождения полезных ископаемых района

1.2.1 Геоморфология

В геоморфологическом отношении участок расположен в пределах геоморфологической области Западного Прибалхашья, которая представляет юго-западную часть страны цокольных и денудационных равнин и низкогорий Центрального Казахстана.

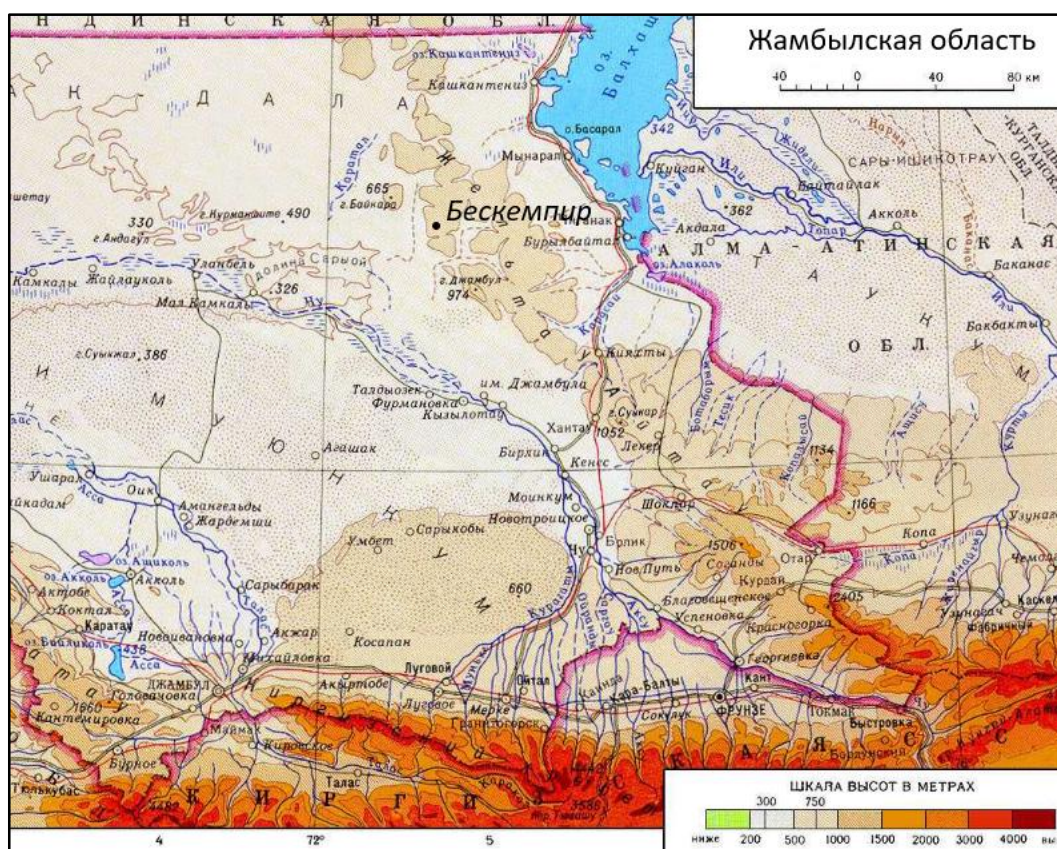


Рисунок 5 – Физическая карта района месторождения «Бескемпир».

Область Западного Прибалхашья. На северо-западном продолжении Шу-Илеских гор и к Западу от Балхаша расположено низкогорное поднятие с относительными превышениями 150-180 м, поднимающиеся над Прибалхашской равниной и восточной Бетпак-Далой.

В структурном отношении это антиклинорий, сложенный метаморфическими породами, в ядре которого вскрыты крупные гранитные интрузии. Рельеф района равнинный, расчленение незначительное. Над ровными поверхностями междуречий на 100-150 м поднимаются изолированные островные горы.

Район представляет собой слабовсхолмленную местность. Преобладающий тип рельефа – цокольная равнина с островными горами и сопочными массивами. Преобладающие высоты с абсолютными отметками 400-685 м, относительно высоты 20-120 м.

Поверхность территории представлена мелкосопочником с относительными превышениями ориентировочно 20-30 м и с абсолютными отметками 450-500 м. Местность района относится к низкогорному рельефу и ИГУ имеют свои особенности и сложности. Физическая карта района показана на рисунке 5.

1.2.2 Климатическая характеристика района

Климат района месторождения характеризуется континентальностью, жарким засушливым летом и холодной относительно малоснежной зимой, а также значительными годовыми и суточными амплитудами колебаний температуры воздуха.

Таблица 1 – Температура воздуха района месторождения «Бескемпир» [34]

Метеостанция	Месяцы												За год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Среднемесячная и среднегодовая температура воздуха, °С													
Балхаш	-13,9	-12,7	-4,4	8,2	16,3	22,2	24,2	22,1	15,5	6,9	-1,9	-9,7	6,1
Абсолютная максимальная температура воздуха, °С													
Балхаш	4	8	25	33	34	38	41	39	37	28	17	8	41
Абсолютная минимальная температура воздуха, °С													
Балхаш	-40	-40	-31	-14	-5	3	7	2	-5	-15	-33	-41	-40
Влажность воздуха, %													
Балхаш	78	78	76	57	45	43	42	42	48	60	74	81	64

В таблице 1 приведены некоторые характеристики температуры воздуха рассматриваемого района, а в таблице 2 и на рисунках 6 и 7 приведены данные

о средней скорости ветра по месяцам и за год, а также повторяемость направлений ветра.

Таблица 2 – Повторяемость направлений ветра и штилей в январе и июле [34]

Метеостанция	Направление								штиль
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Январь									
Балхаш	5	70	9	2	1	6	4	3	6
Июль									
Балхаш	9	30	6	6	14	17	7	11	4

Январь

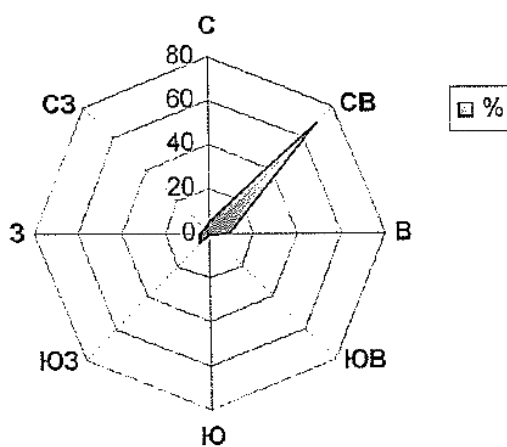


Рисунок 6 – Роза ветров в наиболее холодный период года (январь), %.

Июль

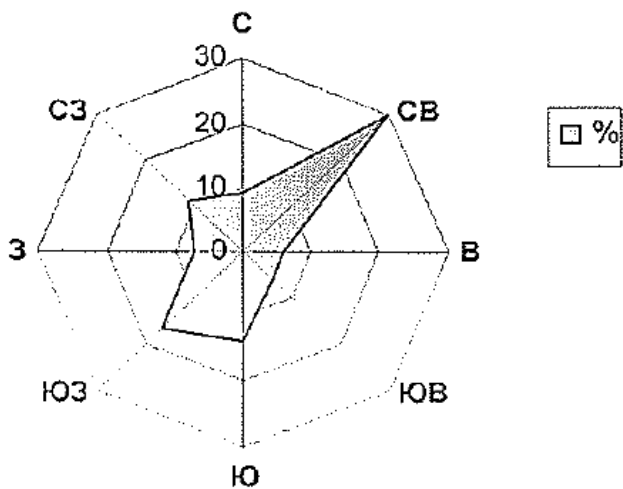


Рисунок 7 – Роза ветров в наиболее теплый период года (июль), %.

Количество осадков в течение года колеблется от 200 до 300 мм. Годовые осадки по району работ определены по метеостанциям Тюкен (1955-2013 гг.) и Акбакай с 2013 г.. Среднемесячные осадки за многолетие составляют 12,7 мм/мес. По расчету обеспеченность атмосферными осадками при 33,9 мм/год составляет 89,1%.

Лето жаркое, макс. абсолютная температура воздуха достигает: + 40,9 °С. Зима умеренно холодная, макс. абсолютная температура зимой: -39,7 °С.

Общие данные по климатическим условиям района представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Климатические условия района (общие данные) [34]

№ п/п	Характеристика		Балхаш (м/ст Балхаш)
1	Климатический район		Ш-А
2	Температура воздуха, °С	Средняя годовая	+6,1
		Наиболее холодная пятидневка	-32,6
		Наиболее холодных суток	-34,5
		Абсолютный минимум	-39,7
		Абсолютный максимум	+40,9
		Средняя наиболее холодного периода	-17,6
		Средняя наиболее теплого месяца	27,3
		Средняя за отопительный период	-4,8
3	Продолжительность относительного периода, суток		187
4	Продолжительность периода со среднесуточной температурой <0°С, суток		135
5	Средняя месячная относительная влажность воздуха, %	Наиболее холодного месяца в 15 час	74
		Наиболее жаркого месяца в 15 час	44
6	Расчетная максимальная напора и скорость ветра при 2-мин. интервале осреднения, повторяемостью 1 раз в 10 лет м/сек		23
7	Преобладающее направление ветра		СВ
8	Годовая сумма осадков, мм		137
9	Нормативная глубина сезонного промерзания грунтов, м		1,39

Горные породы, слагающие местность изучаемого района, по инженерно-геологической классификации относятся к группам: твердые (скальные), имеющие повышенные прочность, устойчивость и крепость; относительно твердые (полускальные) – с более низким значением вышеперечисленных свойств за счет их трещиноватости и выветрелости [101, 104, 110]. Геологических явлений таких как осыпи, селевые потоки, повышенное напряженное состояние и повышенной тектонической активности отсутствует.

[77, 80, 86]. На рисунках 8-9 представлена цифровая модель рельефа (ЦМР) местности, построенная на основании результата топографо-геодезической съемки района с использованием инновационных компьютерных технологий – горно-геологической информационной системы (ГГИС). Создание 3D модели поверхности района осуществлялось в ГГИС Micromine.

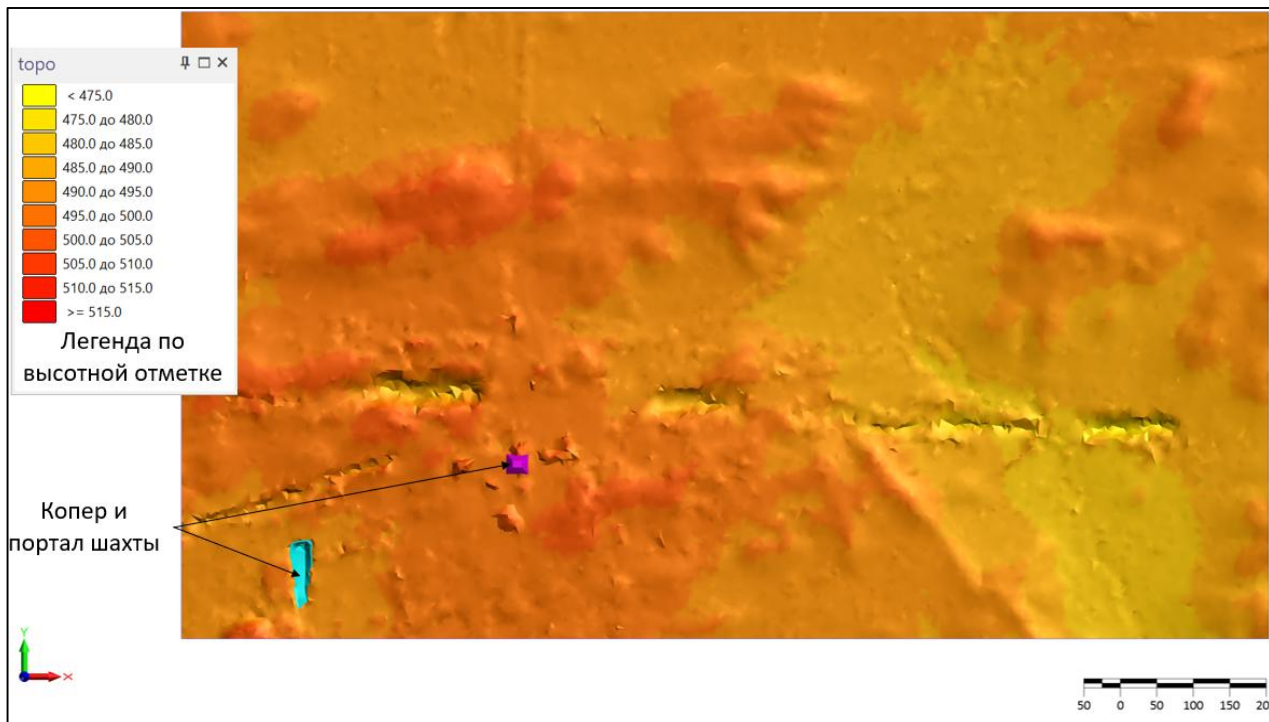


Рисунок 8 – ЦМР. Вид в плане.

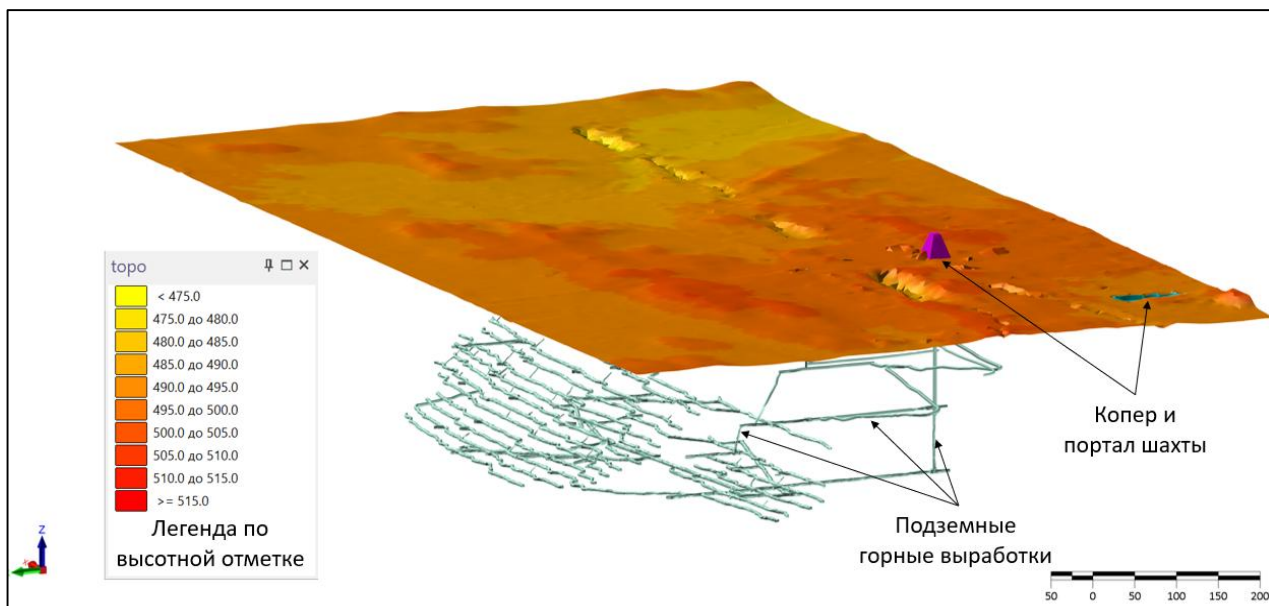


Рисунок 9 – ЦМР. Аксонометрический вид.

Сейчас ГГИС в горном секторе используется в качестве универсального инструмента для решения различных задачи, связанные с обработки большого

количества данных [25-27]. В западных странах принято сокращение MGIS – Mining GIS [113]. Специфика ГГИС по сравнению с другими информационными системами заключается в том, что она основывается на данных, привязанных к пространственным координатам [40, 42, 51, 53]. Таким образом, информация может быть представлена в виде объемных моделей, что дает возможность визуализировать её в графическом формате для удобства принятия решений.

Горно-геологическая информационная система Micromine, предназначенная для поддержки различных этапов в горнодобывающей промышленности таких как оценки минеральных ресурсов, инженерной геологии МПИ, планирования и управления данными.

В целом, в районе работ влияние физико-географических особенностей местности и климатических условий не имеет характера негативных воздействий для ведения горных работ в условиях подземной разработки месторождения. Только в паводковый период наблюдается увеличение уровня подземных трещинных вод, в этот период на месторождении проводятся специальные мероприятия, которые более подробно приведены в разделе 1.4.8.

1.3 Основные элементы геологического строения месторождения

Полноценные исследования инженерно-геологических условий района месторождений возможно только после их вскрытия. Инженерно-геологическое изучение месторождений обычно начинается тогда, когда их геологическое строение в широком понимании этого слова изучено достаточно детально, соответственно на стадии геологоразведочных работ [30].

Инженерно-геологическое изучение месторождения представляет собой дальнейшее целенаправленное исследование, целью которого является определение, какие геологические факторы могут оказывать наибольшее влияние на условия строительства горнодобывающих предприятий и проведение горных работ [1-5].

1.3.1 Стратиграфия и стратификация отложений и комплексов горных пород

В геологическом строении района месторождения самыми древними являются отложения ащисуской свиты неопротерозоя-кембрия, которые слагают ядерную часть антиклинали в пределах Жалаир-Найманской геоструктурной зоны. Отложения относятся к спилито-диабазовой формации и представлены лавами базальтовых, диабазовых порфиритов с горизонтами и линзами микрокварцитов и известняков. Вышележащая жамбылская свита верхнего кембрия сложена полимиктовыми и кварцевыми песчаниками, алевролитами, филлитовыми сланцами. Особенностью свиты являются широко развитые маломощные горизонты микрокварцитов, кремнистых сланцев, яшмокварцитов. Караталская свита нижнего-среднего ордовика перекрывает жамбылскую через базальные конгломераты. Она сложена гравелитами,

полимиктовыми песчаниками, алевролитами и туфами смешанного состава. Выделенные три свиты знаменуют начальную стадию тектонически активной развития района – стадию заполнения геосутуры.

Терригенные флишеидные отложения ордовика и вулканиты девона получили развитие уже в другой – андысайской структурно-формационной зоне. Первые представлены двумя свитами: андеркенской – среднего ордовика и доланкаринской – верхнего ордовика. Отложения андеркенской свиты развиты в восточной и юго-восточной части площади. В разрезе свиты доминируют тонкопереслаивающиеся песчаники, алевролиты, алевропелиты, в том числе углистые. Отмечаются достаточно протяженные (маркирующие) горизонты конгломератов, гравелитов и известняков. Песчаники зелено-серые средне- и грубозернистые, полимиктовые, реже олигомиктовые. Алевролиты и алевропелиты тёмносерого до сажистого цвета, имеют сланцевую или микрослоистую текстуру. В конгломератах галька хорошо окатана и представлена песчаниками, алевролитами, слюдисто-кремнистыми породами, кварцем, гранит-порфирами, диоритами.

Доланкаринская свита сандбья (O₂s dl) развита и в ней сложено Акбакайское рудное поле. Свита характеризуется однообразием разреза, полимиктовым составом и зеленовато-серым цветом пород. Здесь данная свита разделена на три пачки (снизу-вверх) [5, 6, 34].

- пачка полимиктовых песчаников (dl₃);
- пачка флишеидного переслаивания (dl₄);
- пачка грубозернистых отложений (dl₅).

Характерной особенностью пород доланкаринской свиты является наличие в них графитизированного углеродистого вещества в количестве первых десятых долей процента. Этим фактом объясняется большинство аномалий вызванной поляризации, выявленных при проведении детальных поисковых работ.

Отложения девона, залегающие с угловым несогласием на терригенно-осадочных породах ордовика, выполняют Кызылжартасскую грабен-синклиналь, западную часть Кенгирской вулканической постройки и небольшой тектонический блок южнее месторождения «Карьерное». Выше идут андезитовые, андезит-базальтовые и базальтовые порфириты, агломераты и одиночные горизонты липарито-дацитов. Вышележащая карасайская свита среднего-верхнего девона преимущественно туфогенная. Разрез её представлен туфами кислого состава, туфобрекчиями, липарито-дацитовыми порфирами, конгломератами и песчаниками с горизонтами андезитовых порфиритов. На геологической карте рудного поля, представленной рисунком 10, можно увидеть все вышеперечисленные образования.

Платформенные отложения кайнозоя имеют небольшое развитие. В бортах ручья Андысай, в районе месторождения «Светинское» встречаются останки пестрых глин и гравелитов миоцен-плиоцена и плиоцена.. На площади месторождения «Аксакал» развиты современные элювиально-делювиальные образования мощностью от 0,5-1,5 до 5,0 м.

Месторождение «Бескемпир» локализовано в интрузивном массиве рудного поля. В этой связи глубже изучены магматические породы района.

Изучение и полный учет данных стратиграфии и стратификации отложений и комплексов горных пород, составляющих месторождения и их отдельные части, имеют не только важное значение с точки зрения общей геологии, но и существенное значение для инженерно-геологических задач [95, 121].



Рисунок 10 – Геологическая карта Акбакайского рудного поля.

1.3.1.1 Условия и формы залегания вмещающих пород

Магматические породы представлены тремя интрузивными и одним дайковым комплексами. Последний выделен в 1976 г. при детальном изучении района работ.

Шу-Балхашский (дораннеордовикский) комплекс развит в Жалайыр-Найманской геосутурной зоне. Он представлен телами гипербазитов и интрузиями габбро, габбро-диоритов и диоритов, вытянутыми в виде цепочки тел вдоль всей зоны. Гипербазитовые тела затронуты серпентинизацией.

Кызылжартасский (ранне-среднедевонский) габбро-диоритовый комплекс. Комплекс представлен породами нескольких интрузивных фаз. К первой фазе внедрения относятся субсогласные со слоистостью, реже секущие тела небольших размеров, сложенные диабазами, диабазовыми порфиритами, конгасдиабазами и диоритовыми порфиритами. При детальном изучении этих интрузий на площади Олимпийского месторождения установлено, что диабазовые порфириты имеют зону закалки на контакте с диоритовыми порфиритами биотитового и биотит-роговообманкового состава, т. е.

становление этих небольших по размеру интрузий происходило в две стадии. Они чётко различаются по естественной радиоактивности. Ко второй фазе внедрения отнесены габбро-диориты интрузивного облика, которыми сложен Кенгирский шток. Собственно, Кызылжартасский интрузив завершает формирование комплекса. Он сложен породами от габбро-диоритов через кварцевые диориты и гранодиориты до адамеллитов и гранитов. Основную часть интрузива слагают гранодиориты, на которые наложен под воздействием гранитов Жельтау кремнисто-калиевый метасоматоз. По данным предыдущих работ, кызылжартасские гранодиориты в сравнении со стандартными характеризуются более высоким содержанием калия, причём содержание его на площади «Бескемпир» несколько выше, чем на месторождении «Акбакай», что можно объяснить близостью гранитов Жельтау (кремнисто-калиевым метасоматозом) [5, 34].

Единичные дайки такого состава известны в Кызылжартасском и Кенгирском штоках, их отличием от более поздних даек является ороговикование под воздействием гранитов Жельтау.

С вулканитами среднего и верхнего девона связаны субвулканические интрузии этого же возраста. Они предоставлены преимущественно гранит-порфирами, фельзит-порфирами, кварцевыми порфирами. Меньшим развитием пользуются гранодиорит-порфиры и андезитовые порфириты. Порфиновые породы слагают ряд вулканических жерл, экструзий субпластовой формы, дайки встречены как среди стратифицированных девонских вулканитов, так и среди пород ордовика.

Постпозднедевонский дайковый комплекс пользуется широким развитием в пределах Кызылжартасского и Жельтауского массивов, несколько меньшим - в ордовикских отложениях. Дайки комплекса имеют преимущественно широтное и север-северо-восточное простирание. В южном эндоконтакте Кызылжартасского интрузива комплекс сгруппирован в широтный дайковый пояс, получивший название Акбакайский. К постпозднедевонскому комплексу отнесены [34]:

1) дайки и штоки гранит-порфиров (фельзит-порфиров), гранодиорит-порфиров;

2) дайки лампрофиров и меланократовых диоритовых порфиритов. Они тесно пространственно связаны с рудными телами и сами нередко несут наложенную золото-кварц-сульфидную минерализацию;

3) дайки лампрофиров вариолитовой структуры также тесно связаны с оруденением. По возрасту они являются внутрирудными;

4) дайки лампрофиров и диабазовых порфиритов послерудные (позднерудные) и занимают секущее положение по отношению ко всем магматическим и рудным образованиям.

Акбакайский дайковый пояс. Дайковый пояс прослеживается широтной полосой в южном эндоконтакте Кызылжартасского интрузива, часть даек входит и в граниты Жельтау. Протяжённость пояса с запада на восток превышает более 6 км, а ширина примерно 500-600 м. Пояс представлен сериями и одиночными дайками разного возраста и состава, что говорит о

неоднократном повторении плана деформаций во времени. В составе пояса преобладают дайки постпозднедевонского дайкового комплексов, кызылжартасский комплекс представлен менее широко, а жельтауский – непротяжёнными извилистыми дайками аплитов и гранит-порфиров, не имеющих чёткой структурной ориентировки, они здесь не рассматриваются. Кызылжартасский комплекс представлен дайками кварцевых диоритовых порфиритов и диоритовых порфиритов (плагипорфиритов), постпозднедевонский комплекс – дайками гранодиорит-порфиров, меланократовых диоритовых порфиритов, лампрофиров и диабазовых порфиритов.

В поясе обособляются дайки запад-северо-западного простирания, а по падению – крутые и наклонные. Все дайки падают к северу, крутое падение под углом 60-70° и 75-80°, а пологопадающие под углом 40-52°. Дайка подвергалась термальному метаморфизму (биотитизирована) [41] и отнесена к Кызылжартасскому комплексу. Протяжённость её по простиранию составляет 2 км, мощность 3-5 м. Протяжённость даек северного падения также достигает 2-3 км, мощность варьирует в пределах 1-10 м, средняя – 2-3 м. Выделяются также отдельные серии сближенных даек лампрофиров, общая мощность серии составляет порядка 10-20 м.

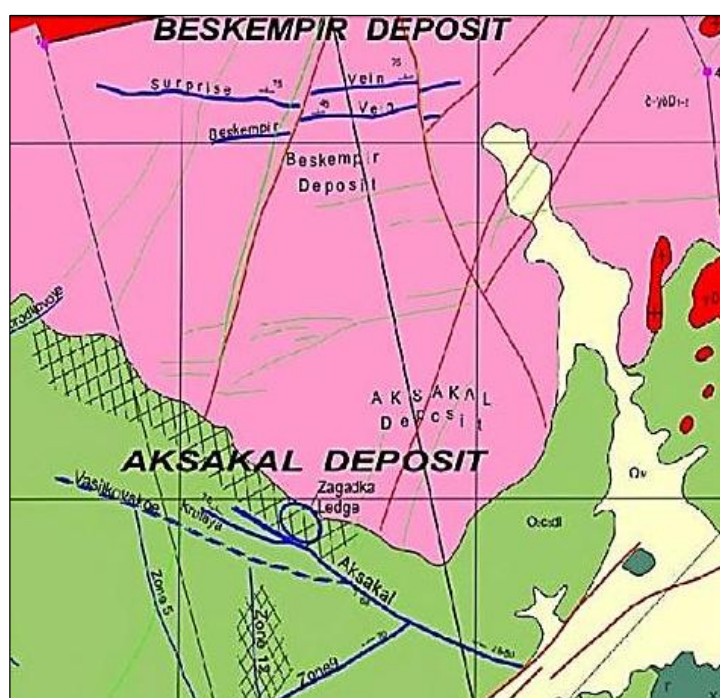


Рисунок 11 – В рудном поле имеется две группы золоторудных месторождений: первая (розовый) кызылжартасский гранодиорит, а вторая (зеленый) терригенные образования.

В рудном поле выделены две группы золоторудных месторождений и проявлений как показано на рисунке 11: первая – локализована в кызылжартасских гранодиоритах в пределах Акбакайского рудного пояса (непромышленные проявления известны и за его пределами); вторая – в

терригенных образованиях верхнего ордовика. В пределах пояса определяющее значение в пространственном размещении даек, месторождений и рудных тел имеет субширотный Бескемпирский разлом, по характеру смещений являющийся левосторонним сбросо-сдвигом с горизонтальной составляющей 1,8 км и вертикальной 300 м. Разлом падает к югу под углом 80-85° на западном фланге и 75° на восточном. Возраст основной амплитуды сдвига определён как позднерудный.

Месторождение «Бескемпир» локализовано на восточном фланге дайкового пояса, в висячем боку Бескемпирского разлома. Рудные тела месторождения наследуют условия залегания даек лампрофиров и меланократовых диоритовых порфиритов, локализуясь, преимущественно, в тех же разломах, что и дайки, последние нередко оказываются оруденелыми [5, 6].

Рудоконтролирующий дайковый пояс на всём своём протяжении пересекается дайками лампрофиров и диабазовых порфиритов север-северо-восточного простирания (аз. падение 100-120°, угол 75-80°). Эти дайки имеют ветвящееся строение, нередко представлены пучками и небольшими сериями.

Ввиду важного значения даек в контроле рудных тел, в расшифровке генезиса и возраста оруденения они подвергались всестороннему изучению как геологами-производственниками, так и научными работниками. По данным ранее проведённых работ установлено [34]:

- широтные дайки лампрофиров, на которые наложено золотокварцевое оруденение, пересекают дайки гранодиорит-порфиритов и сами прорываются дайками диабазовых порфиритов;

- дайки лампрофиров вариолитовой структуры являются внутрирудными (пересекают и метаморфизуют кварцевые жилы, но на них накладывается продуктивная сульфидная минерализация);

- абсолютный возраст лампрофировых даек север-северо-восточного простирания даёт цифры 241-256 млн лет, что соответствует середине пермского периода. В этих дайках установлены ксенолиты жильного кварца, содержащего золото 0,2 г/т.

Дайки северо-северо-восточного простирания представлены лампрофирами и диабазовыми порфиритами, характеризуются свежим обликом. Они прорывают рудные тела, пуская в них маломощные апофизы. В свою очередь, на эти дайки наложена позднерудная кварц-кальцит-антимонитовая и кварц-кальцитовая минерализация. Таким образом, однозначно устанавливается возрастное положение интрузивов, оруденения и даек.

В таблице 4 приведён петрохимический состав некоторых дайковых и интрузивных пород, развитых на месторождении «Бескемпир» и для сравнения – аналогичные данные по месторождению «Акбакай».

Магматические породы района работ месторождения образуют сравнительно большое интрузивное тело – трещинный интрузивный массив. При таких размерах и формах залегания эти породы слагают приличное поле,

на котором полностью размещен комплекс инженерных сооружений шахтного поля рудника «Бескемпир».

Таблица 4 – Петрохимический состав интрузивных и дайковых пород Акбакайского рудного поля и месторождения «Бескемпир» [34]

Название пород (месторождение)	Кол-во анализов	Химический состав (основные компоненты). %							
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO+ Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Гранодиорит по ДЭЛИ		65.0	15.9	4.3	1.9	4.4	3.7	2.7	0.57
Гранодиорит (Акбакай)	16	65.6	14.9	4.7	2.1	3.6	3.5	3.0	0.64
Гранодиорит (Бескемпир)	2	65.2	14.6	4.1	2.4	3.4	3.5	3.8	0.68
Гранодиорит-порфир	1	72.5	13.1	5.2	0.68	0.84	4.0	4.7	0.2
Лампрофиры рудоконтролирующие (Акбакай)	6	47.1	16.6	8.8	6.3	7.6	3.1	2.6	1.44
Дайка Сюрприз	2	54.3	14.3	6.9	8.5	5.7	3.0	1.6	0.8
Дайки лампрофиров ССВ направления	2	52.8	16.2	6.8	5.3	5.1	4.7	3.0	1.2
Дайки лампрофиров ССВ направления	1	44.9	16.8	14.3	5.6	4.0	3.5	2.0	1.6
Дайка Центрального разлома	1	49.2	15.5	8.4	7.1	6.8	4.1	2.9	1.4
Диабазовый порфирит (широтная дайка)	1	45.9	15.4	8.8	6.6	10.0	3.0	1.2	1.7

1.3.1.2 Условия и формы залегания полезного ископаемого

На месторождении известно две основные и две второстепенные рудные жилы. Основные жилы: Бескемпир (пологое падение), Сюрприз (крутое падение) и второстепенная жила Сюрприз-2 (крутое падение) контролируются дайками. Второстепенная жила Березитовая (пологое падение) не связана с дайками, отличается убогими содержаниями золота, и блоков с промышленным содержанием металла по ней оконтурить не удалось.

На площади месторождения «Бескемпир» как широтные, так и особенно север-северо-восточные дайки имеют большое распространение. Рудоконтролирующими здесь являются Бескемпирская дайка кварц-биотитовых порфиритов (ашаффитов) и дайка Сюрприз, отвечающая по составу меланократовым диоритовым порфиритам.

Дайка диоритовых порфиритов, к которой приурочена жила Сюрприз, представляет собой темно-серую чаще зеленовато-серую породу порфировой структуры, в последнем случае по дайке проявлены процессы хлоритизации, окварцевания, эпидотизации. В порфировых выделениях преобладают мелкие таблички плагиоклаза, отмечается также биотит, роговая обманка; основная

масса породы микролитовая. Характерной особенностью этой дайки является наличие в ней включений прозрачного («льдистого») бессульфидного кварца, который содержит 1.2 г/т золота, 2.4 г/т серебра и 0.02 % мышьяка. Форма включений от угловато-изометричной до уплощённой, линзовидной. Размеры составляют 1-3 до 5-10 см. Такая же особенность была отмечена ранее для дайки, контролирующей жилу Фроловскую на восточном фланге Акбакайского месторождения. Протяжённость дайки Сюрприз превышает 2 км простирание её широтное с отклонением до запад-северо-западного на западном фланге, падение северное под углом 65-70°. По падению дайка выклинивается на глубине 400 м, кулисообразно сменяясь новой аналогичного состава. Мощность дайки составляет 2-3 м.

Дайка кварц-биотитовых порфиритов, контролирующая жилу Бескемпир, в неизменном виде имеет темно-серую окраску, при наложении минерализации цвет её меняется от светло-серого до желтовато-зеленого. Структура породы порфировая, основная масса микролитовая, войлочная. Порфировые выделения представлены биотитом, развитом в большом количестве (до 30-40 %) и редкими округлыми зёрнами кварца. Дайка имеет широтное простирание, падая к северу под углом 40-50°. Строение её кулисообразное. Протяжённость частных даек (кулис) составляет 70-90 м, в поперечном сечении они залегают на расстоянии 1-5 м одна от другой, на западном фланге это расстояние увеличивается до 10-20 м, мощность даек 1,5-2 м. Общая протяжённость дайки кварц-биотитовых порфиритов достигает 3 км.

Обе рудоконтролирующие дайки пересекаются на глубине 70-140 м, образуя единую совмещённую дайку на протяжении 10-30 м по падению. Взаимоотношения даек наблюдались в штреках на гор. 120 м. Одна от другой дайки отделены тонкой трещинкой, реже имеют постепенные переходы.

Рудные тела месторождения надёжно увязываются как по простиранию, так и по падению. До глубины 210 м одновариантность увязки подтверждена поверхностными и подземными, в т. ч. восстающими выработками. Глубже увязка произведена по данным бурения. По геологическим данным увязка обоснована, во-первых, выдержанностью элементов залегания жил, во-вторых, структурным контролем рудных тел дайками, которые, помимо элементов залегания, визуальнo четко отличаются как одна от другой (дайка диоритовых порфиритов для жилы Сюрприз и дайка кварц-биотитовых порфиритов для жилы Бескемпир), так и от поперечных даек лампрофиров, плагиопорфиритов и др. Однозначность увязки подтверждена и методами скважинной геофизики. Аналогичные значения поляризуемости и проводимости, увязанные между скважинами методами электрической корреляции и радиоволнового просвечивания, совпадают в пространстве с рудными телами, причем других сколько-нибудь значимых аномальных зон не выделяется.

Выделение в пределах горных выработок разломы (сместители) геометризованы достаточно четко на глубину по данным бурения с использованием данных геологической документации кернa и комплекса каротажных методов. Ниже приводится описание морфологических особенностей рудных тел.

Жила Сюрприз [5, 34] разведана с поверхности канавами и траншеями и по простиранию штреками на четырех горизонтах (20, 60, 120 и 180 м). На горизонте 180 м рудное тело прослежено штреком на 1100 м. Горизонтальная протяженность жилы достигает 1700 м. Ниже она разведана скважинами до горизонта примерно +20 (470 м) (скв. 936, 990). Обе эти скважины показали содержание золота 3,5-3,4 г/т при стволовой мощности 1 м. По восстанию жила прослежена восстающими выработками. По падению она разведана колонковыми скважинами, пробуренными по сети 80x40 м.

В структурном отношении жила контролируется дайкой диоритовых порфириров – лампрофиров, локализуясь попеременно в контактах одного или обоих боков ее или внутри дайки, а на некоторых участках – на небольшом (1-4 м) удалении от нее. Рудное тело обычно представлено полосой интенсивно оруденелой или неравномерно оруденелой дайки, одной или двумя жильными зонами окварцованных прожилков березитов (хлоритизированных гранодиоритов). В последнем случае кварц-березитовые жилы тяготеют к контактам рудоконтролирующей дайки, и она полностью включается в контур рудного тела, независимо от степени ее гидротермальной переработки. Непрерывное кварцево-жильное выполнение отсутствует. Протяженность собственно кварцевых жил и линз по простиранию не превышает 30-40 м, чаще составляет порядка 10 м, а мощность 0,10-1,40 м. Они обычно залегают в контактах рудоконтролирующей дайки, окаймляясь соизмеримыми по мощности полосами березитов с внешней стороны и окварцованной дайки с внутренней.

На небольших по протяженности участках жила имеет локальные изгибы в пределах до 20° (азимут падения 345-15°, угол падения 60-80°).

Средняя протяженность жилы около 1000 м. Мощность ее изменчива, варьирует в пределах от 0,10 до 6,46 м, средняя составляет 1,6-1,7 м. Коэффициенты вариации не превышают 70%.

В приповерхностной части по восстанию жила постепенно выклинивается, линия выклинивания полого погружается к флангам от центральной части жилы. На западном фланге на поверхности месторождения в районе 22 профиля жила срезается Бескемпирским разломом. Восточнее профиля 22 линия среза постепенно погружается, достигая глубины примерно 570 м в районе профиля 50. Далее жила на этих глубинах не разведывалась. При этом остается высокая вероятность обнаружения промышленных руд именно на глубоких горизонтах восточного фланга этой жилы. В пользу этого говорят данные скважин 918 и 1160 (0,6 м мощности при содержании золота 1,7 г/т и 1,27 м при 3,4 г/т соответственно), а также постепенное погружение Бескемпирского разлома.

В контуре промышленных руд жила нарушена десятью разломами (№№ 1-10), наиболее значительным является разлом Центральный (№ 1), горизонтальная амплитуда смещения жилы по нему увеличивается с глубиной. Данные об амплитудах смещений жил, характере смещений приведены в табл. 1.7. На продольной вертикальной проекции все линии пересечения жилы разрывами, за исключением разлома 2, склоняются к востоку, при этом линии пересечения разломами 1, 3, 4, 5, 6 и 8 имеют прямолинейный характер, угол

склонения 60-70°. Элементы залегания других разломов менее выдержаны. В плоскости жилы блоки, разобщенные сместителями, имеют трапецевидную или треугольную форму. Помимо названных разломов, в значительной степени проявлена трещинная тектоника, которая, за исключением отдельных случаев, не нарушает сплошности жилы – амплитуды смещений по трещинам не превышают 1-2 м.

Жила разломом Центральный разделена на две части, которые отличаются некоторыми особенностями морфологии, характером оруденения и степенью тектонической нарушенности. Другие поперечные разрывы и трещины оказывают только локальное влияние на морфологию жилы, а в целом ее морфологические особенности остаются неизменными. В тектоническом блоке жила к востоку от разлома Центрального имеет простую морфологию, невысокую продуктивность, а трещинная тектоника развита незначительно.

В блоке, расположенном западнее разлома Центрального, распределение золота более неравномерное, а общий уровень продуктивности значительно выше.

В интервале 263-267 м западного штрека горизонта 60 м к северо-западу от рудного тела отходит за пределы выработки кварц-березитовая жила Сюрприз-2, а жила Сюрприз после разветвления сохраняет широтное простирание. К участку сопряжения приурочен неравномерно обогащенный золотом участок протяженностью до 25 м. Явно обогащенный золотом участок устанавливается при сопряжении с жилой Березитовой, в интервале 55-80 м западного штрека гор. 120 м.

В отличие от верхней части, на уровне гор. 180 м и глубже, дайка значительно реже оказывается оруденелой на полную мощность, чаще в ней выделяется четкая интенсивно окварцованная полоса или кварцево-березитовая жила залегает на некотором удалении от дайки. Так, на протяжении 130 м к западу от Центрального разлома в штреке гор. 180 м рудное тело, представленное кварц-березитовой жилой, залегает в 2-3 м к югу от лежащего бока дайки. Последняя не имеет оруденения. Мощность жилы составляет порядка 1 м с одним локальным раздувом до 3,5 м, который приурочен к меридиональной дорудной трещине. В интервале 90-100 м жила пересекает дайку, фиксируясь прожилковым окварцеванием по всей мощности последней, при этом, мощность рудного тела изменяется от 0,3 (до дайки) до 3,3 м (в окварцованной дайке). Далее до отметки 145 м жила залегает уже к северу от дайки, на удалении 1-3 м от неё. Начиная от отметки 145 м, жила примыкает к висячему боку дайки и далее, до конца прослеженного отрезка интервала, в контур рудного тела, помимо прерывистых кварц-березитовых жил, постоянно входит оруденелая полоса дайки, реже – вся дайка.

В интервале 152-156 м западного штрека гор. 180 м отмечено сопряжение с жилой Березитовой, которая по диагонали пересекает дайку. На участке сопряжения признаков обогащения золотом ни той, ни другой жилы не отмечено. В интервале 390-470 м этим же штреком прослежено сопряжение с жилой Сюрприз-2. Морфология жилы на участке сопряжения осложнена поперечными трещинами с амплитудами смещений 1-1,5 м, в одном случае – 4

м, а также пересечением рудного тела ветвящейся дайкой послерудных лампрофиров субмеридионального простирания. Единая жила разделяется на две ветви после пересечения ее крутопадающей поперечной трещиной (отметка 396 м), затем в интервале 396-432 м штреком прослежены две изломанные параллельные жилы с азимутом простирания 285^0 . Жила Сюрприз включает полосу неравномерно оруденелой дайки, мощность ее изменяется от 0,5 до 2-2,5 м, а жила Сюрприз-2 отделена от нее прослоем хлоритизированных гранодиоритов мощностью около 1 м. Мощность самой кварц-березитовой жилы составляет 0,3-0,8 м. Далее к западу жилы постепенно расходятся – жила Сюрприз снова приобретает широтное простирание, Сюрприз-2 сохраняет северо-западное.

Начиная от отметки 590 м (уровень профиля 30), рудное тело постепенно отклоняется к северу, приобретая азимут простирания 290^0 . На отметке 608 м от него в южную стенку выработки отходит кварцевый прожилок мощностью 5-10 см. Оруденелая дайка после локального пережима мощности (до 0,4 м) в месте ответвления прожилка, отклоняется к северу еще больше (азимут простирания $295-300^0$) и, очевидно, на уровне профиля 28 соединяется с жилой Сюрприз-2. По данным бурения в профиле 28, жила Сюрприз на уровне горизонта 180 м представлена маломощной кварц-березитовой (без дайки) жилой, которая хорошо увязывается в широтном направлении с вышеотмеченным, ответвившимся от рудного тела кварцевым прожилком. Глубже горизонта 180 м рудоконтролирующая дайка снова появляется, т.е. линия выклинивания дайки склоняется к западу круче, чем самой жилы. Скважинами, пробуренными в профиле 26, пересечена только жила Сюрприз-2, а до жилы Сюрприз они оказались недобуренными.

Золотоносность глубоких горизонтов жилы неравномерная и, в целом, невысокая. По гор. 180 м можно отметить один относительно обогащенный золотом участок, характеризующийся с некоторыми особенностями внутреннего строения. Участок прослежен в интервале 510-535 м штрека, примыкает к разлому 8 с востока. Здесь плоскостью разлома жила приведена в локальное соприкосновение с жилой Сюрприз-2, а сама смещена в плане разломом амплитудой 22-23 м. Рудное тело в этом интервале представлено всей дайкой, которая окаймлена с висячего бока кварцевой, а с лежачего – оруденелой дайковой полосой. В промежутке между рудными полосами дайка окварцована тонкими кварцевыми прожилками и просечками. Прожилки полого падают к юго-востоку – ориентированы диагонально к контактам дайки. Мощность рудного тела составляет 1,5-2,5 м, мощности собственно кварцевой жилы и рудодайковой полосы варьируют от 0,1 до 0,6 м. Содержания золота в кварце составляет 17-56 г/т, в дайке, окварцованной тонкими диагональными прожилками 2-10 г/т, а в целом по рудному телу от 2,5 до 7 г/т. Следует отметить, что западнее профиля 28, вплоть до линии среза жилы Бескемпирским разломом, вероятность обнаружения балансовых запасов золота очень высокая.

Жила Сюрприз-2 [34] расположена на западном фланге месторождения, выполняя крутопадающий к северу разрыв субширотно-северо-западного

простирается. Восточной границей жилы является линия ее сопряжения с жилой Сюрприз, с запада и на глубине она срезается Бескемпирским разломом.

Жила изучена горными выработками с поверхности, на горизонтах 60 и 180 м. С поверхности она полностью прослежена канавами вплоть до Бескемпирского разлома на протяжении более 700 м. На горизонте 60 м она попутно пересекалась ортами из штрека, пройденного по жиле Сюрприз в промежутке профилей 37-34, непрерывно прослежена штреком только 27 м на уровне профиля 34.

Простирается жилы $270-295^\circ$, в среднем 280° . Углы падения выдержаны в пределах $65-70^\circ$, лишь на локальных участках, вблизи разрывов, устанавливается выполаживание до 55° . По особенностям морфологии и условиям залегания жила Сюрприз-2 аналогична жиле Сюрприз, в западной части контролируется точно такой же дайкой диоритовых порфиров, вблизи сопряжения представлена кварц-березитовой жилой без дайки. Протяженность этой кварц-березитовой жилы составляет порядка 600 м на поверхности и 300 м на глубине.

На горизонте 60 м кварц-березитовая жила ответвляется от жилы Сюрприз к северу в интервале 263-367 м западного штрека, имеет простирается $385-290^\circ$ на горизонте 40 м, затем постепенно разворачивается до широтного. Контакты ее четкие, мощность варьирует от 0,9 до 3,9 м, средняя 1,9-2 м, содержание золота невысокое, порядка 3-4,0 г/т. Жила без дайки протягивается до разлома 6, в другом (западном) его боку рудное тело оказывается смещенным к северу с амплитудой 5-6 м, в то время как сама дайка Сюрприз смещена к югу примерно с такой же амплитудой. Такой характер смещения в принципе возможен, учитывая несколько различные элементы залегания двух тел, однако, более вероятным представляется объяснить этот факт не только дорудным, но и додайковым временем заложения разрыва с последующим неоднократным подновлением. Последнее подтверждается и тем, что в разных боках разрыва, дайки оказываются не только смещенными, но и практически выклиниваются непосредственно перед плоскостью сместителя. Крайняя западная часть жилы между разломом 8 и Бескемпирским разломом практически полностью имеет низкие содержания золота на уровне около 2 г/т и является забалансовой.

Жила Бескемпир [5, 34] выполняет наклонный к северу под углом $40-45^\circ$ разрыв широтного простирается и на всем протяжении контролируется дайкой кварц-биотитовых порфиров, имеющей кулисообразное строение. На западном фланге (западнее пересекающихся разломов 6 и 7) жила становится забалансовой и до Бескемпирского разлома является непромышленной. На восточном фланге жила оконтурена методом неограниченной экстраполяции, до полного выклинивания она не прослежена. С глубиной жила, очевидно, естественно выклинивается на западном фланге и срезается Бескемпирским разломом в центральной части.

Жила разделена, помимо поверхности, штреками на четырех горизонтах и ниже горизонта 180 м она разведана скважинами (период разведки). При эксплуатации месторождения было пройдено большое количество восстающих и 4 поэтажных штрека ниже гор. 180 м. Внутреннее строение, морфология и

особенности жилы практически одинаковы во всей разведанной части, независимо от глубины и положения в том или другом тектонически обособленном блоке.

Протяженность рудного тела 1700 м, глубина распространения оруденения в центральной части и в восточном фланге составляет 360-400 м, при протяженности жилы по падению 550-600 м. Аналогично жиле Сюрприз, коэффициенты вариации мощности жилы не превышают 70 %, средняя мощность составляет 1,70-1,80 м. От жилы Сюрприз рассматриваемая жила отличается и некоторыми особенностями морфологии, внутреннего строения и закономерностям размещения обогащенных участков. Морфологической особенностью жилы Бескемпир является наличие закономерно размещенных в ее плоскости раздувов рудного тела, обусловленных кулисообразным строением рудоконтролирующей дайки. По внутреннему строению жила отличается, во-первых, большей выдержанностью, как по длине, так и по мощности частных кварцевых, кварц-березитовых и березитовых жил, которые окаймляют рудоконтролирующую дайку или залегают на небольшом удалении от неё. Во-вторых, сама дайка, хотя и бывает смятой и тектонически рассланцованной, но сплошность ее не нарушена продольными внутрирудными прожилками и, как следствие, внутри неё нет четких оруденелых дайковых полос, как это было характерно для крутой жилы. Полосы интенсивно оруденелой дайки всегда протягиваются в ее эндоконтактах. Реже бывает интенсивно или неравномерно оруденелой вся дайка. При этом наложенная сульфидная минерализация и окварцевание равномерно (при интенсивном оруденении) распределены по всей массе дайки, в отличие от брекчевидной текстуры руд по дайке Сюрприз.

В контуре промышленных запасов жила нарушена десятью поперечными разломами (№№ 1-10). Данные об амплитудах и характере перемещений блоков по разломам приведены в табл. 1.7. Линии пересечений жилы разломами склоняются к востоку под углом 50-55°, исключение составляет разлом 9, который склоняется под углом порядка 30° и разлом 2, след пересечения которого склоняется в обратном (западном) направлении под углом 65-75°. Малоамплитудная трещинная тектоника проявлена неравномерно и, за исключением единичных случаев, практически не нарушает сплошности рудного тела.

Как отмечалось выше, характерной морфологической особенностью жилы Бескемпир является наличие в ее плоскости закономерно расположенных раздувов рудного тела. Помимо повышения в 1,5-3 раза мощности, в раздувах, как правило, отмечается и повышение концентрации золота, т. е. они заключают вполне определенную часть запасов богатых руд. Образование раздувов рудного тела обусловлено кулисообразным строением рудоконтролирующей дайки. Протяженность каждой частной дайки составляет, как правило, 70-100 м, затем она выклинивается, а на ее продолжении прослеживается тектонический шов – трещина, которая постепенно затухает. Одновременно справа в 1-5 м появляется новая частная дайка. Частные дайки кулисообразно заходят одна за другую на протяжении порядка 10-20 м. К

интервалам кулисообразного захождения рудоконтролирующих (рудолокализирующих) разрывов один за другой и приурочены разрывы рудного тела. Такие раздувы друг от друга отличаются только мощностью и продуктивностью, а внутреннее строение их одинаково и рассматривается ниже на типичном примере. В интервале 70-110 м восточного штрека гор. 180 м отмечается кулисообразное захождение рудоконтролирующих разрывов. Начиная от отметки 70 м, одна из частных даек постепенно выклинивается, но кварц-березитовая жила продолжается, сохраняя на протяжении 20 м высокий уровень золотоносности, мощность ее составляет 0,5-0,6 м. Одновременно в 5 м южнее появляется другая частная дайка, которая далее непрерывно протягивается на 100 м, в свою очередь, сменяясь новой. От отметки 70 м штрека мощность рудного тела резко увеличивается, достигая 5-6 м, протяженность раздува 20 м, а содержание золота в ней порядка 9 г/т.

В месте раздува рудное тело одновременно включает в свой контур две частные дайки (два рудолокализирующих разрыва), в пространстве между которыми развита серия диагональных трещин, выполненных прожилками золотоносного кварца. Распространение прожилков ограничено контактом всяческого бока одной из частных даек и параллельным ей разрывам, находящимся на продолжении предыдущей кулисы дайки, сам разрыв выполнен кварц-березитовой жилой. Среди прожилков выделяется диагональная система с азимутом падения 30-50°, угол падения 20-45°, кроме того, отмечаются ветвящиеся прожилки, линзы и гнезда кварца, не имеющие четкой ориентации. В характеризуемом раздуве рудного тела вмещающие гранодиориты переработаны до березитов, хотя в других, аналогичных случаях, гранодиориты частью сохраняют первоначальную структуру, но оказываются окварцованными и сульфидизированными по массе, приобретая порфиоровидный облик.

Во всех случаях, в промежутке между двумя частными рудоконтролирующими разрывами (дайками), контакт между окварцованными березитами (чаще порфиоровидными гранодиоритами) и неизменными гранодиоритами четкий и ориентирован по направлению диагональных прожилков, часто совпадает с крайним из них. Рудоконтролирующая дайка во многих случаях также пересекается этими прожилками и границей их распространения является противоположный блок дайки, либо они соединяются с кварцевой жилой, залегающей в этом противоположном боку. В случае же, как в приведенном примере, когда кварц-березитовые жилы залегают в обоих боках дайки и диагональные прожилки в неё не распространяются, пересечение дайки приходится производить по диагонали на их продолжении с определенной долей условности.

Таким образом, несмотря на прерывистое строение рудолокализирующего разрыва, вмещающего как дайку, так и наложенные кварц-березитовое оруденение, рудное тело в местах кулисообразного захождения друг за друга частных швов, сохраняет свою сплошность. Без того, продуктивность его, при переходе от одного шва к другому, значительно повышается, как за счет увеличения мощности, так и за счет повышения содержаний золота. По

простирацию раздувы рудного тела имеют средний шаг 70-80 м, а в приповерхностной части жилы, на ее западном фланге, этот шаг сокращается до 40, даже до 20 м. Восточный фланг глубинной части жилы, начиная от уровня профиля 54, наоборот, характеризуется постепенным увеличением шага между раздувами. Сами раздувы часто проявлены нечетко, не отличаясь существенно по мощности от остальной части жилы. Причиной этого является изменение в строении рудоконтролирующего разрыва – его выполняющая дайка становится практически непрерывной. Частные дайки, в местах их кулисного захождения, соединяются маломощными апофизами, оруденение соответственно наследует условия залегания дайки.

Раздувы рудного тела в его плоскости имеют восточное склонение под углом 45-55°, что подтверждено штреками на разных горизонтах, восстающими выработками и буровыми скважинами. В частности, выше охарактеризованный раздув по восстанию пересечен скважиной П-4 в профиле 48, в интервале сопряжения жилы Бескемпир с крутопадающей жилой (гор. 120 м), он не устанавливается, на горизонте 60 м разведан штреком на уровне профиля 46. Вниз по склонению, раздув рудного тела пересечен скважиной 592 в профиле 52 на глубине 318 м, т. е. этот конкретный раздув диагонально протягивается во всей плоскости жилы. Можно отметить еще несколько аналогичных раздувов, которые достаточно уверенно увязываются в плоскости жилы в пределах горизонтов горных работ. Один из них находится непосредственно вблизи пересечения жилы плоскостью разлома Центрального, висячем его боку он установлен на трех горизонтах (60, 120 и 180 м) и склоняется параллельно линии пересечения жилы разломом. Другой прослеживается от уровня профиля 44 на гор. 180 м, до горизонта 120 м (уровень профиля 42), вблизи горизонта 60 м на уровне профиля 41 он выклинивается, как и вся жила на этом горизонте. Другие менее четко выраженные раздувы рудного тела, очевидно подобно рудоконтролирующей дайке, имеют кулисообразное строение по склонению.

Жила Березитовая [34] не имеет промышленного оруденения и не контролируется дайками. Общее простирание жилы северо-восточное, по азимуту 70° с локальными колебаниями в пределах 50-80°, падение северо-западное под углом 50° с отклонениями в пределах 40-55°. Она расположена на западном фланге месторождения, пересекаясь в приповерхностной части с жилой Бескемпир на уровне профиля 44, линия пересечения ее в плоскости последней, очень круто под углом 80-85° склоняется к западу. После пересечения жила, очевидно, на коротком расстоянии выклинивается, не достигая крутопадающей жилы. Глубже сопряжения жил Сюрприз и Бескемпир, она прежде пересекается с крутопадающей жилой, в этом случае прослеживается после пересечения до сопряжения с пологопадающей жилой Бескемпир. Так, на горизонте 180 м жила Березитовая пересекает Сюрприз на уровне профиля 40 и после пересечения примыкает к лежащему боку жилы Бескемпир на уровне профилей 43-44. Линия пересечения двух жил склоняется к западу под углом порядка 15°.

С поверхности жила по простиранию прослежена траншеей на протяжении 940 м в промежутке профилей 28-40, подземными выработками она

вскрывалась попутно в местах пересечений с основными жилами месторождения, а также штреком из шурфа 32. Кроме того, она охарактеризована буровыми скважинами. Жила нередко имеет ветвящееся строение, представлена слабозолотоносными березитами, чередующимися с кварц-серицитовыми метасоматитами. Прожилково-жильный кварц в ее составе имеет подчиненное значение – прожилки его в массе метасоматитов редки, а протяженность отдельных линз кварца составляет 5-10 м, в единичных случаях до 20 м, при мощности 0,2-0,4 м. Мощность всей жилы варьирует в пределах 0,2-5 м, составляя в среднем 1-1,5 м. Золотоносность ее на уровне 1-2 г/т и лишь по отдельным спорадическим пробам достигает первых десятков г/т.

1.3.1.3 Создание геологической 3D модели месторождения

По результатам инженерно-геологических исследований условий и формы залегания горных пород (вмещающие и слагающие рудную жилу) были получены исходные данные о геологической особенности месторождения. Эти данные переведены в цифровую среду и на их основании создана объемная трехмерная модель месторождения на платформе ГГИС Micromine.

В ходе научно-исследовательских работ в пределах месторождения определено два вида домена (1-вмещающие породы, 2-рудные тела) и оценка ИГУ МПИ с основами 3D моделирования осуществляется по каждому домену. В этой связи выполненные работы в этом разделе имеет большую значимость в подготовке массива для оценки изменчивости инженерно-геологических условий в пространстве [9-11, 60]. На рисунках 12-15 представлена построенная автором диссертации геологическая модель месторождения «Бескемпир». Создание объемных трехмерных моделей месторождения Бескемпир включает из нескольких этапов работ [57, 62].

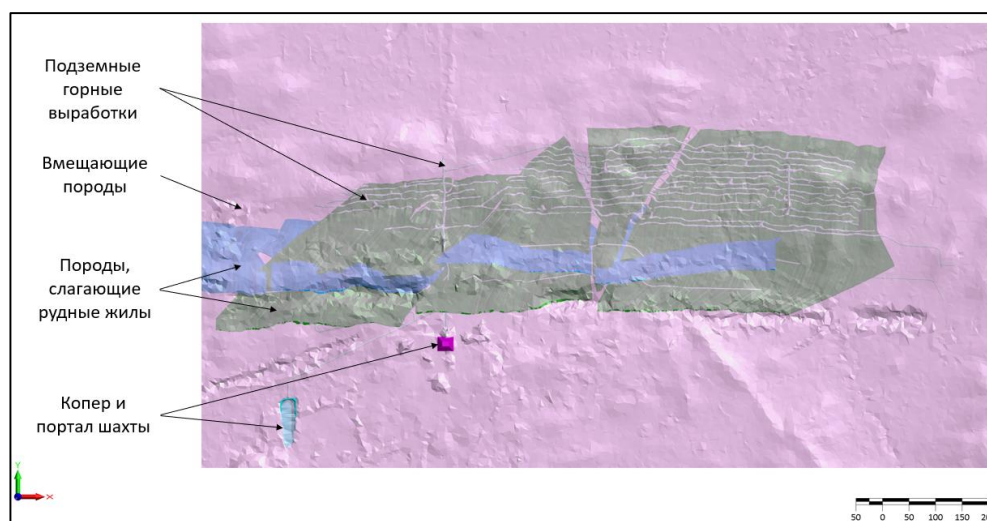


Рисунок 12 – Геологическая модель месторождения. Вид в плане.

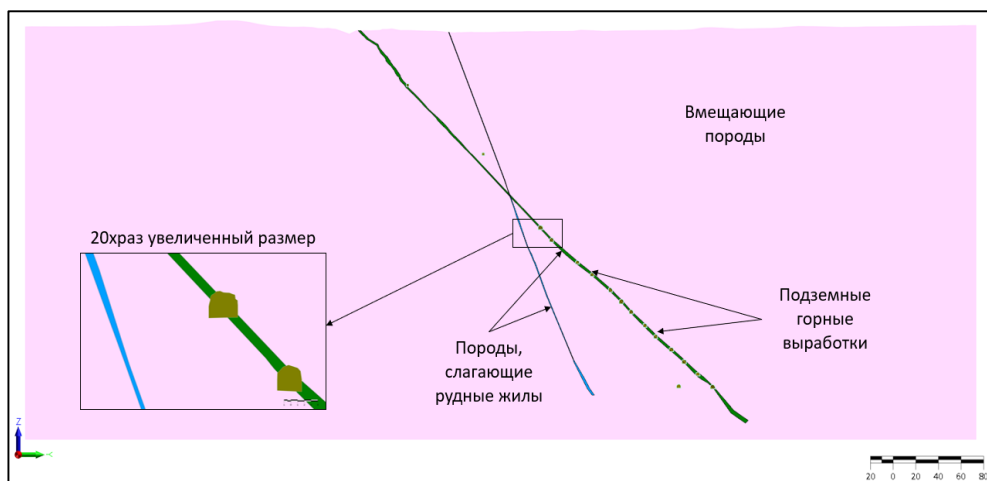


Рисунок 13 – Геологическая модель месторождения. Вид в разрезе.

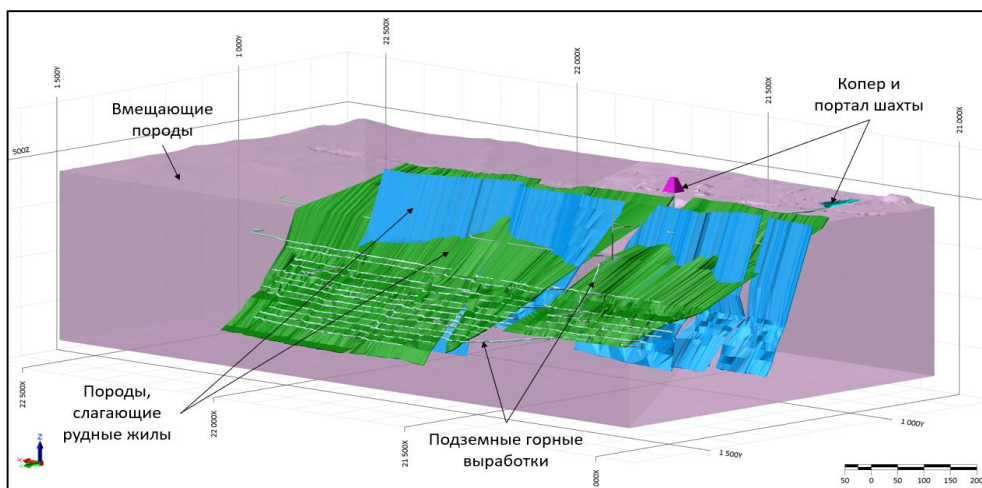


Рисунок 14 – Геологическая модель месторождения. Аксонометрический вид, 1-вариант.

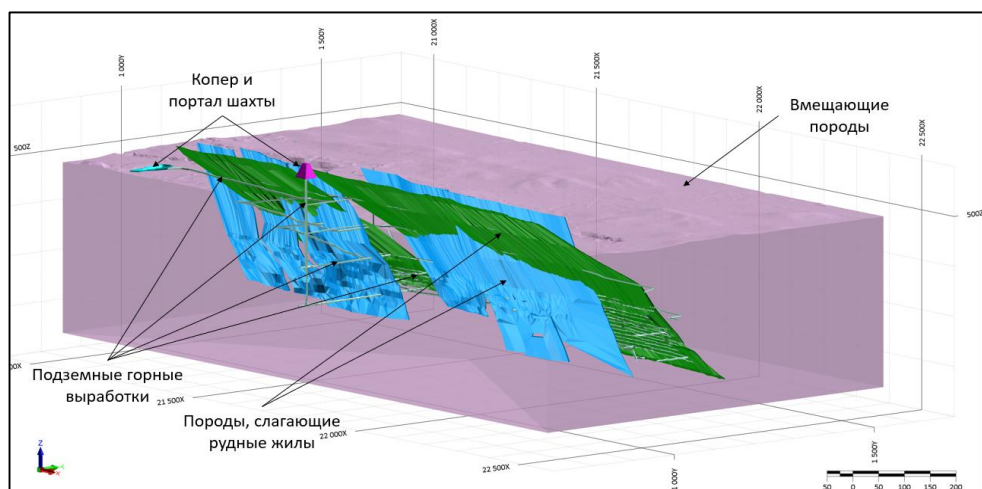


Рисунок 15 – Геологическая модель месторождения. Аксонометрический вид, 2-вариант.

1.3.2 Тектоника

1.3.2.1 Положение месторождения в региональных структурах

В 1973-78 гг. научно-исследовательскими и геологическими организациями Казахстана проведен широкий комплекс работ, включающий как обобщение всего накопленного за предыдущие десятилетия материала, так и новые исследования практически по всем направлениям геологии, начиная от геоморфологии и кончая глубинной геофизикой. Результаты работ изложены в многотомном труде Чу-Илийское рудное поле, удостоенном в 1985 г. Государственной премии СССР [34].

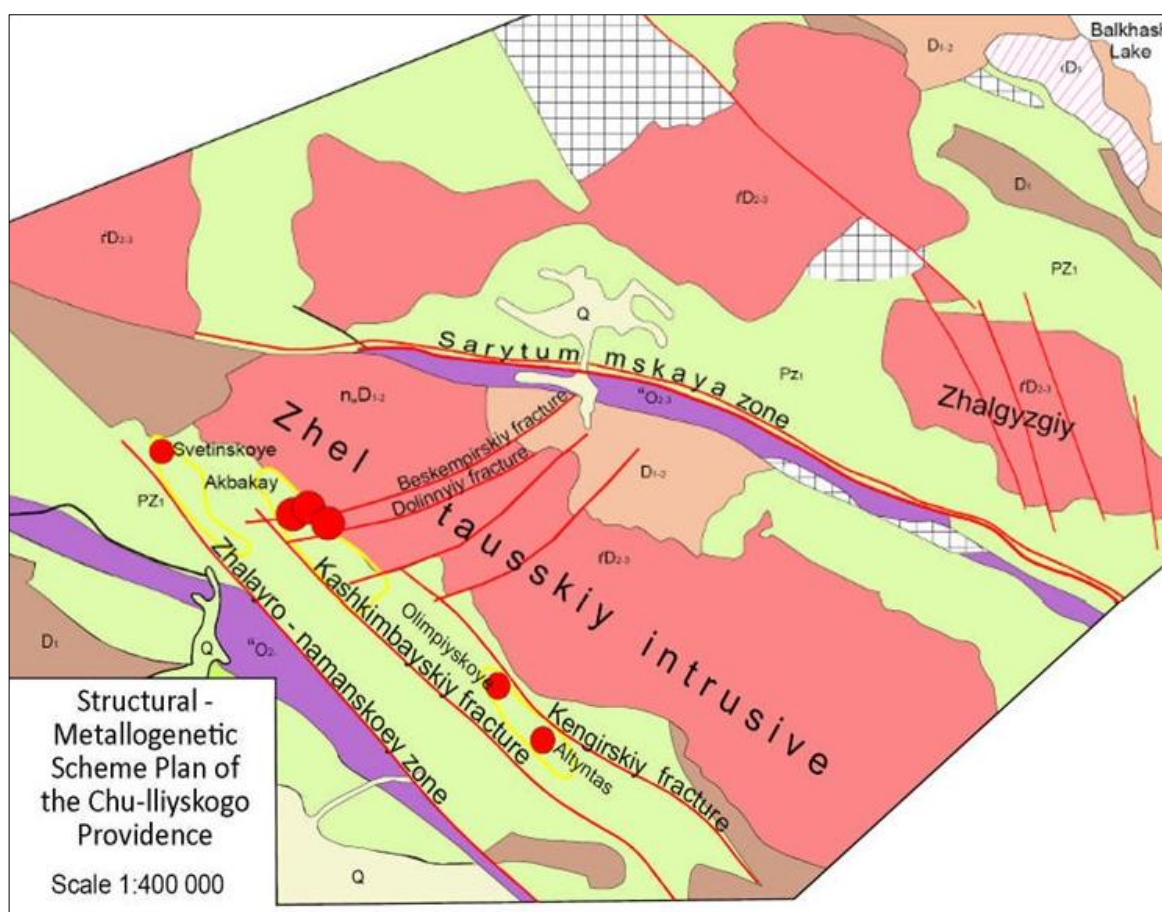


Рисунок 16 – План Шу-Илеского рудного поля.

По данным этих исследований в Шу-Илеском рудном поле (рис. 16.) выделяются осевая его часть – Жалайыр-Найманская геосутурная (синклиновая) структура северо-западного простирания протяженностью более 600 км и шириной от 12 км в центральной части (на уровне Акбакайского рудного поля) до 38-40 км на северо-западе и юго-восточном флангах. В 50 км на север и субпараллельно ей проходит вторая крупная структура рудного поля – Сарытумская зона, рассматриваемая как ветвь Жалайыр-Найманской. Протяжённость её 260 км при ширине от 2-4 до 15 км. Между этими

синклинорными зонами находится геоантиклинальное поднятие, сложенное породами ордовика-девона и интродурированное средне-основной и кислой магмой позднеорогенного этапа коледонид и этапа тектономагматической активности герцинского и, возможно, более позднего времени. Часть геоантиклинального поднятия, сложенная терригенно-вулканогенными породами, выделяется Андысайская структурно-формационная (и металлогоническая) зона, в которой локализуется Акбакайское рудное поле. Северо-восточной границей зоны служит крупный Жельтауский массив гранитов. Рудное поле располагается на его северо-западной оконечности.

Акбакайское рудное поле расположено в 3 км к северо-востоку от Жамбылского разлома – одного из краевых разломов Жалайыр-Найманской геосутурной зоны. Оно четко ограничено в пространстве с разломами: Кашкимбай с юго-запада, Кенгирс с северо-востока, Кызылжартас с севера и Южно-Кенгир с юга. Протяжённость его по простиранию 15 км при ширине 3,5-4 км. С северо-запада рудное поле перекрывается вулканитами девона, выполняющими Кызылжартасскую грабен-синклиналь, месторождение «Бескемпир» локализовано в данной структуре [6, 7].

1.3.2.2 Структура рудного поля и месторождения

Глубинные разломы, ограничивающие Жалайыр-Найманскую рифтовую зону, имели основное значение при формировании структуры рудного поля и месторождения. Краевым Жамбылским разломом описываемая площадь делится на две части. Отложения тектонически активного неопротерозоя-кембрия в юго-западной части образуют крупную антиклинальную структуру запад-северо-западного простирания, в ядерной части которой на поверхность выведены магматические породы Шу-Балхашского комплекса. Северо-Восточное крыло структуры наращивается отложениями караталской свиты ордовика [34].

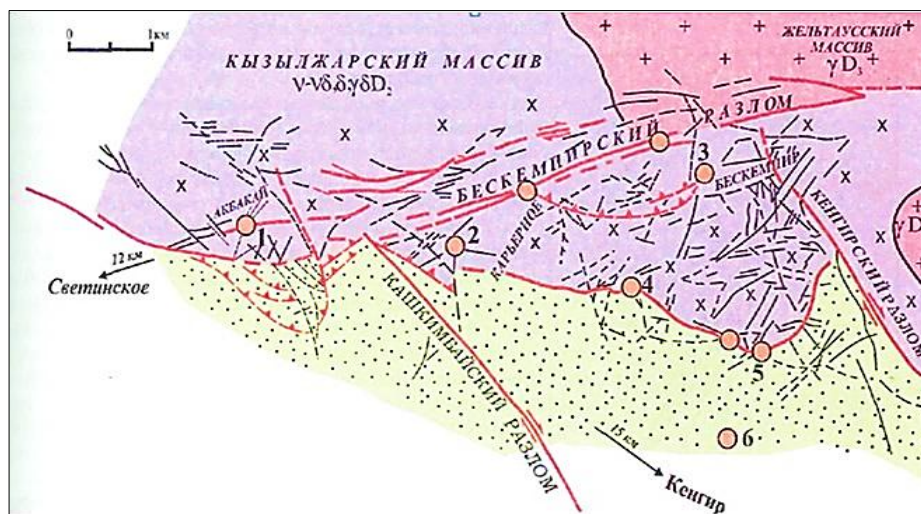


Рисунок 17 – Тектоническая нарушенность района.

К северо-востоку от Жамбылского разлома развиты флишоидные отложения среднего-верхнего ордовика. Генеральное простирание пород северо-западное, унаследованное от простирания Жалайыр-Найманской зоны, флишоидные отложения образуют в целом синклиналичную структуру, полого погружающуюся к северо-западу. В эту структуру вписываются и Кызылжарская грабен-синклиналь, выполненная вулканитами девона. В пределах площади крупномасштабной геологической карты, откартированы более мелкие брахискладки с очень пологими углами падения пород 20-30°, редко 50°. В частности, к западу от Кашкимбайского разлома породы образуют Акбакайскую брахисинклиналь, в ядерной части которой залегает верхняя пачка доланкаринской свиты. Между Кашкимбайским и Кенгирским разломами, собственно на площади рудного поля, отложения свиты имеют моноклиналичные залегания с падением пород на запад под углом 20-30°. Такое пологое залегание имеют и вулканогенные породы девона [20]. Структурная схема района работ представлена на рисунке 17.

1.3.2.3 Разрывные нарушения

Приведенные сведения в диссертации по результатам исследований разрывных нарушений массива горных пород уточняют тектоническое строение месторождения, имеющее важную роль при оценке его инженерно-геологических условий. Разрывные нарушения, особенно крупные, практически постоянно сопровождаются зонами дробления, трещиноватости и ослабления пород. Поэтому на месторождении «Бескемпир» расчленение горных пород на тектонические блоки увеличивает сложность и неоднородность геологического строения и имеет большое значение в связи с образованием участков и зон разрушенных пород, которые могут являться причиной слабой их устойчивости в горных выработках. Все это требовало детального изучения тектонического положения месторождения и отдельных их частей, расположения тектонических нарушений и их свойства, обуславливающих значительную однородность геологического строения. Разрывные структуры приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Классификация разрывных структур [34]

Система нарушений, их положение и время заложения	Краткая характеристика	Примеры
1-группа Региональные разломы древнего заложения северо-западного простирания, параллельные глубинным разломам Жалайыр-Найманской зоны	Протяженность от несколько до первых десятков км. Представлены зонами смятия и дробления мощностью от 1 до 20-30 км, в которых развиты прожилки безрудного кварца, кальцита, пиритизация	Кенгирский, Кашкимбайский и др.
2-группа Долгоживущие разломы	Протяжённость от несколько до 10-15 км. Представлены чёткими	Кызылжартасский, Бескемпирский,

второго порядка субширотного и восток-северо-восточного простирания, заложенные до внедрения Кызылжартасского комплекса	жилами с милонитами мощностью 0.5-2 м; зоны дробления сопровождаются зонами катаклаза, мощность 20-30 м. В швах кварц-кальцитовые жилы, линзы и прожилки позднерудных ассоциаций	Долинный, Южно-Кенгирский и др.
3 группа Разрывы третьего и более высоких порядков, заложенные после внедрения основной фазы Кызылжартасского комплекса		
<i>1 система.</i> Разрывы, оперяющие региональные разломы северо-западного простирания по типу трещин скола. Заложены в первый этап развития структур	Чёткие трещины, контролирующие одиночные дайки диоритовых порфиритов Кызылжартасского комплекса (разлом № 2), в песчаниках отмечена золото-кварц-сульфидная минерализация (Шуак)	Разлом рудной зоны Шуак, Меридиональный, разлом № 2 месторождения «Бескемпир» и др.
<i>2 система.</i> Поперечные к региональным разломам северо-западного простирания разрывы типа трещин отрыва. Заложены в первый этап развития структур	Широко развиты в блоке, ограниченном Кенгирским и Кашкимбайским разломами, несогласно простиранию песчаников. В интрузиве – одиночные разрывы (жила Березитовая). Зоны дробления, некоторые из них контролируют дайки и рудные тела	Разрыв Кенжемской рудной зоны, Бейхтуской зоны, жилы Березитовой и др.
<i>3 система.</i> Разрывы, оперяющие разломы второго порядка по типу трещин скола. Заложены во второй этап развития структур	Протяжённость от сотен м до 2-3 км. Контролируют дайки разного возраста и состава, кварцевые жилы, зоны березитов и метасоматитов; тектонические швы с глиной трения	Разрывы, вмещающие крутые дайки и жилы Бескемпирского месторождения
4 группа Разрывы и трещины, заложенные после внедрения основной фазы Жельтауского комплекса		
<i>4 система.</i> Трещины отрыва типа лестничных жил, развитие в промежутке между частными швами разрывов системы. Заложены в дорудный этап	Протяжённость – первые метры, до 10 м. Серии трещин, ограниченные сближенными частными швами на участках кулисообразного их выклинивания или развитые внутри широтных даек, диагонально к их контактам. Контролируют обогащенные участки и раздувы рудного тела	Характерны для жилы Бескемпир, в меньшей степени для жилы Сюрприз
<i>5 система.</i> Разрывы, оперяющие разломы второго порядка по типу трещин скола и отрыва. Заложены в дорудный этап	Протяжённость сотни м. Маломощные зоны смятия и дробления. Сопровождаются кварц-хлорит-серицитовыми метасоматитами	Разломы 4, 6, 7 и 9 месторождения «Бескемпир» и др.
<i>6 система.</i> Разрывы, оперяющие разломы второго порядка по типу трещин отрыва, трансформированные в сколы. Заложены в поздний рудный этап	Протяжённость сотни метров-первые км. Контролируют дайки лампрофиров и диабазовых порфиритов, прорывающие рудные тела. Чёткие швы с глиной трения; наложены и на сами дайки	Разломы 1, 3, 5, 8, 10 месторождения «Бескемпир» и др.

5-группа Трещинные структуры, не обнаруживающие видной связи с разломами		
В интрузиве – контракционные трещины, в терригенной толще – послойные срывы	Зоны трещиноватости и смятия, иногда вмещают кварцево- березитовые залежи и линзы, а также прожилково-вкрапленное оруденение	Жайдарман, Север- ный Акбакай, Юж- но-Самородковое, Загадка и др.

Таблица 6 – Элементы и амплитуды смещений по основным разломам месторождения «Бескемпир» [34]

№№ сместителей и место замера	Элементы залегания, град.		Амплитуда смещения			Характер смещения
			блоков, м			
	азимут падения	угол падения	горизонт.	вертик.	истинная	
Разлом № 1						
Поверхность	105-110	75-80	73	66	98	Левосторонний сбросо-сдвиг
Гор. 60 м	110	75-80	82	72	110	
Гор. 120 м	115	75-80	86	63	106	
Гор. 180 м	115-120	75-80	88	56	104	
Гор. 260 м	115-125	75-80	88	50	100	
Разлом № 3						
Поверхность	130-135	75-85	0	0	0	
Разлом № 4						
Поверхность	115-132	80-90	44	18	48	Левосторонний сбросо-сдвиг, сдвиг
Гор. 60 м	115-130	85-90	32	10	32	
Гор. 120 м	120-130	80-90	34	16	38	
Гор. 180 м	130	80-90	16	14	17	
Гор. 260 м	130	80-90	16	14	17	
Разлом № 5						
Поверхность	120	85-90	0	0	0	Левосторонний сбросо-сдвиг
Гор. 180 м	120-130	85-90	27	25	36	
Гор. 260 м	120-130	85-90	27	25	36	
Разлом № 6						
Поверхность	105-110	75-85	0	0	0	

Сведения об элементах залегания и амплитудах смещений разломов в компонованном виде приведены в таблице 6.

1.3.2.4 Новейшие и современные тектонические движения

На территории района исследований для изучения новейших, а также современных тектонических движений проводятся повторные нивелировки с использованием электронного тахеометра. Полученные геодезические данные показывает, что активных новейших колебательных движений земной коры не

наблюдаются, испытывающие тектонические колебательные движения разного направления и разной скорости. Касательно сейсмических явлений района есть заключение ТОО «КазГеоплюс» (номер лицензии 17002087), по которому сейсмичность района работ: Согласно СН РК 2.03.-30-2017, район строительства сейсмичен, 6 баллов [34].

1.3.2.5 Создание структурной 3D модели месторождения

Тектонические нарушения, особенно крупные, постоянно сопровождаются участками и зонами дробления, брекчирования и милонитизации пород. Поэтому явление расчленения горных пород на тектонические блоки обычно увеличивает сложность и неоднородность геологического строения и имеет большое значение в связи с образованием участков и зон разрушенных пород [91,92,94,100], которые могут являться причиной малой их устойчивости в горных выработках, большой деформируемости пород, местного повышения сейсмичности и т. д. Все это требует детального изучения структурно-тектонического положения месторождений и отдельных их частей, расположения тектонических нарушений, обуславливающих значительную однородность геологического строения.

При инженерно-геологических исследованиях разрывных нарушений в горных выработках в первую очередь проводилась их картирование на каждом поэтажном штреке и горизонте, далее определилась истинная мощность и изучался вещественный состав заполнителя [36,47] разлома. Определено сопровождение тектонических нарушений со стороны как висячего бока, так и лежащего структурными элементами таких как зон дробления и трещиноватости и установилась мощность каждого из них в пространстве. Следующим шагом являлось непосредственная работа в программном обеспечении Micromine: полученными сведениями о разломах пополнилась электронная база данных ИГУ и визуализировались трехмерной среде. Проводилась интерпретация и увязка данных по всем горным выработкам. Таким образом, создана каркасная модель разрывных нарушений и их сопровождающих структурных элементов. В результате проделанных работ создана 3D модель, характеризующая структурно-тектоническое положение массива, в пределах которого активно ведутся горные работы. Другими словами, можно сказать создана структурная модель месторождения [58,61]. На рисунках 18-21 представлены фрагменты 3D структурной модели из различных ракурсов.

Структурная модель месторождения создана автором с использованием функционалов каркасного моделирования ГГИС Micromine. С использованием стрингов осуществлено каркасное моделирование как эксплицитным методом, так и имплицитным [49,50]. В результате достигнута создание 3D модели тектонических положений месторождения.

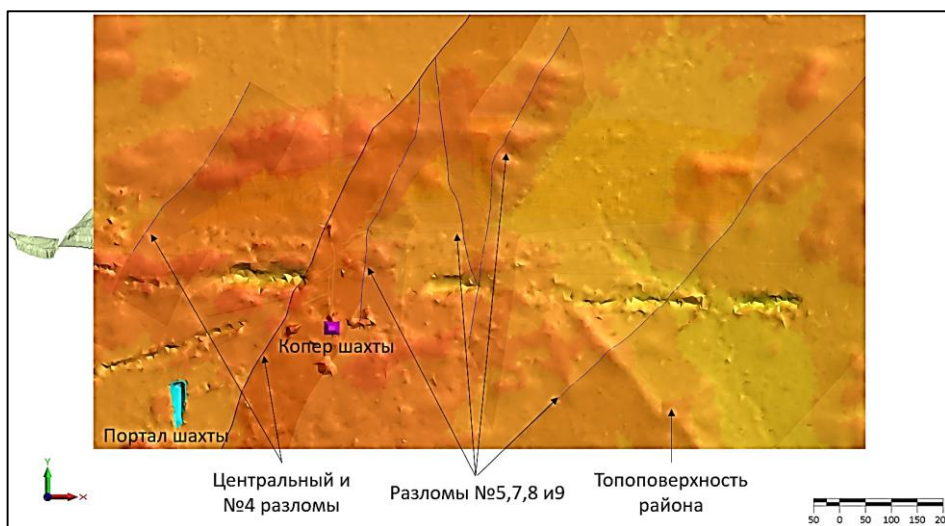


Рисунок 18 – Структурная модель месторождения. Вид в плане.

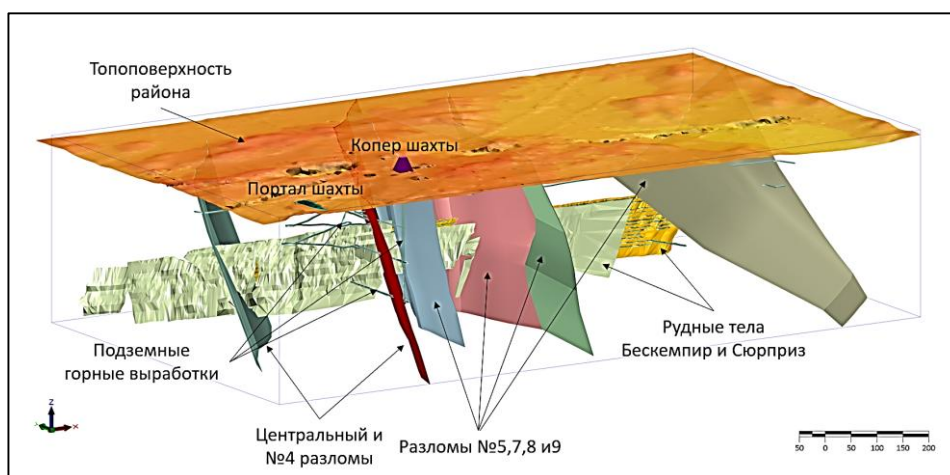


Рисунок 19 – Структурная модель месторождения. Аксонометрический вид с топоповерхностью. 1-вариант.

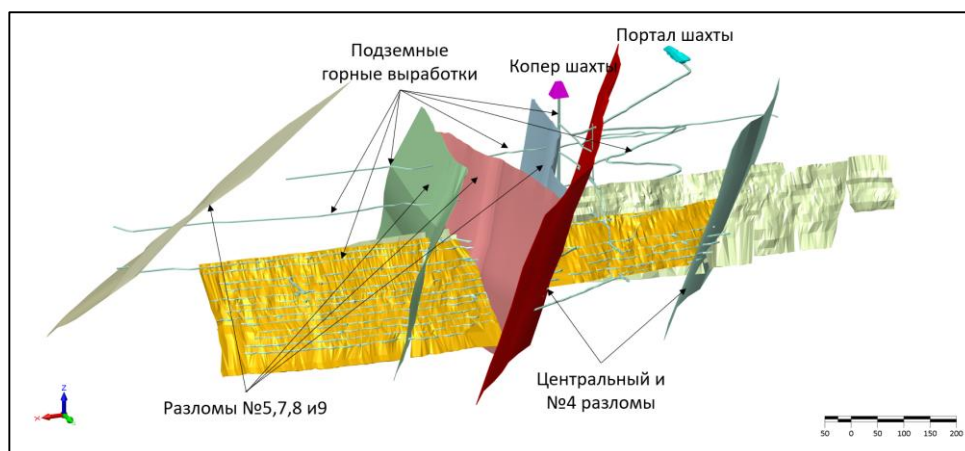


Рисунок 20 – Структурная модель месторождения. Аксонометрический вид. 2-вариант.

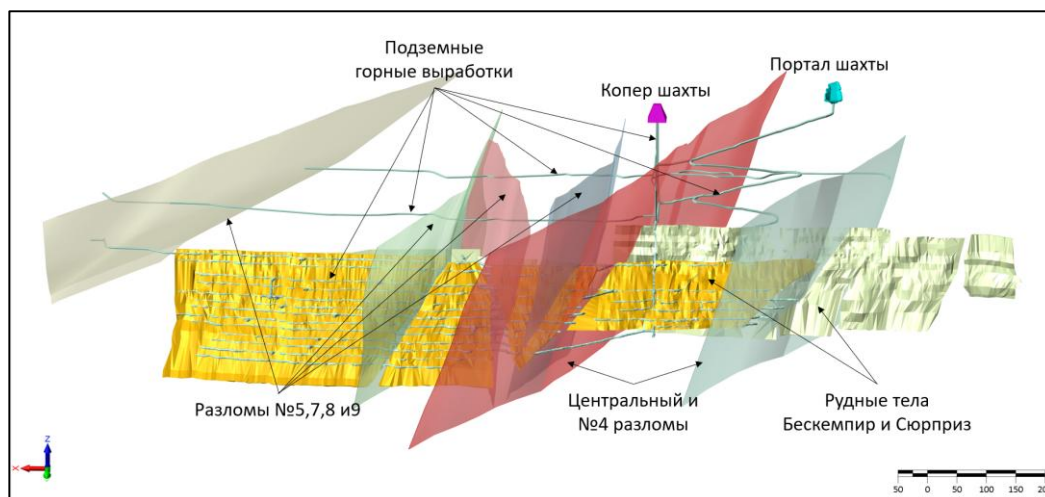


Рисунок 21 – Структурная модель месторождения. Аксонометрический вид, 3-вариант.

1.4 Естественное напряженное состояние горных пород

Естественные напряжения в горных породах представляют собой сумму гравитационной и тектонической энергии, приобретенной и накопленной в доинверсионные и постинверсионные тектонические этапы развития каждого месторождения полезных ископаемых. Часть этой энергии необратимо расходуется на преобразование физико-механических свойств горных пород в виде пластической деформации: уплотнения, уменьшения пористости, смыкания пустот, трещин и повышения прочности. Значительная часть энергии аккумулируется в консолидированных породах в виде упругих напряжений, способных освободиться из обнаженных поверхностей горных выработок, вызывая динамические формы проявления горного давления. Величина напряжений в горных породах зависит от их физического состояния. В сильно трещиноватых и пористых горных породах энергия естественных напряжений может быть затрачена полностью на «устранение» их этих структурных дефектов. В относительно монолитных горных породах эта энергия, не имея пути разрядки, накапливается в них. Ориентировка главных составляющих естественного поля напряжений определяется направлениями воздействия тектонических сил. Следовательно, встает важная проблема тектонической реконструкции, которая основывается на всестороннем геолого-структурном анализе и изучении условий формирования месторождений полезных ископаемых [1].

1.4.1 Изучение естественных напряжений в горных породах

Измерения естественных напряжений в горных породах, выполненные на многих рудниках и шахтах различных стран, полностью подтверждают общие закономерности их распределения, наблюдающиеся повсеместно в мире. В общем напряженное состояние горных пород в условиях их естественного

залегания имеет геологическую природу и связано, как считают многие исследователи, с существованием глобального поля напряжений, обусловленного преимущественно современным сжатием Земли. Это поле напряжений неоднородно не только по природе сил его вызывающих (гравитационных, тектонических и др.), но и по ориентировке в пространстве его составляющих. Во многих случаях оно характеризуется значительной анизотропией горизонтальных сжимающих напряжений. Основными факторами, определяющими распределение естественного поля напряжений в горных породах, являются их структурно-тектоническое положение в земной коре, трещиноватость и выветрелость, петрографический состав, строение и физико-механические свойства [1].

Таблица 7 – Результаты измерения естественных напряжений на месторождении «Акбакай»

Место измерения, горизонт	Глубина от дневной поверхности Н, м	Средние значения напряжений, МПа			Сумма горизонтальных напряжений ($\sigma_x = \sigma_y$), МПа
		σ_x	σ_y	$\sigma_z = g\rho H$	
Карьер	60	5.2	3.3	2.2	8.5
	60	5	3.2	2	8.2
2-гор.	120	7.8	4.4	3.3	12.2
	120	6.3	5.7	3.5	12
3-гор.	180	9.1	6.6	5.4	15.7
	180	10.5	5.1	5.2	15.6
4-гор.	240	12.1	7.1	6.7	19.2
	240	14,0	5.1	7.2	19.1
	240	13.7	5.3	6.8	19
5-гор.	300	12.2	10.4	8.6	22.6
	300	14	9	8.2	23
	300	13.8	8.8	8.5	22.6

В последнее время имеются разные методы и способы изучения напряженного состояния породного массива и основным из них являются метод разгрузки ВНИМИ, дискования керна, ультразвуковой и др. [45, 79, 81]. Естественное поле напряжений в горных породах месторождения «Бескемпир» изучалось автором данной диссертации и сотрудником компании АО АК «Алтыналмас» Асылым М. (2019) методом сопоставления с аналогией для определения: величины и направления главных напряжений в горном массиве, приуроченных к различным геологическим структурам; изменения естественного поля напряжений в зависимости от типа и в разных элементах геологических структур; влияние на естественное поле напряжений трещиноватости.

В качестве аналогии приняты детали напряженного состояния массива горных пород месторождения «Акбакай», которые изучены проф. Нурпеисовой

М.Б. и др. (2012-2015 гг.). Горный массив подробно исследован экспериментальным методом в подземных условиях горных работ шахтного поля до горизонта 300 м. Полученные результаты являются одной из важнейших частей исследований естественных напряжений, и соответственно они считаются как завершением определенного этапа комплекса работ. Для изучения естественных напряжений в горных породах в шахтном поле были использованы образцы из стенок разведочных штреков и керна скважин, пробуренных поперек основному направлению подземных горных выработок вне зоны влияния очистных работ, т. е. изучены во взаимно перпендикулярных трех направлениях: субширотном (вдоль рудных тел), субмеридиональном (поперек направлениям лежачего и висячего боков) и в направлении погружения.

Напряжение на месторождении Акбакай определено методом разгрузки на различных горизонтах (на дне карьера 60 м и горизонты 120 м, 180 м, 240 м и 300 м). В таблице 7 приведены результаты измерения естественных напряжений в горных породах месторождения «Акбакай».

Анализ результатов измерения на месторождении «Акбакай» показывает, что все виды напряжений с глубиной меняются, особенно сумма значений горизонтальных напряжений. Тектонические условия формирования и проявления напряжений в горных выработках шахтного поля позволили создать представление о формировании естественного поля напряжений, объяснить причины анизотропии его главных компонентов. Индикатриса естественного поля напряжений [85] месторождения представляет собой трехосный эллипсоид, большая ось которого соответствует главным субмеридиональным горизонтальным напряжениям, средняя - главным субширотным горизонтальным, а наименьшая - главным вертикальным.

Месторождения «Акбакай» и «Бескемпир» расположены в одном рудном поле и их генезис идентичный. Соответственно естественно напряжённое состояние массива горных пород шахтного поля рудника «Бескемпир» изучалось методом аналогии на основании результатов выше выполненных работ проф. Нурпеисовой М.Б. и др. (Молодой ученый, №33 (323)/2020). В шахте рудника «Акбакай» по результатам исследований определено, что естественное поле напряжений на различных участках месторождения в зависимости от их геологического строения и глубины залегания, свойств и состояния слагающих их горных пород различное. Признаки динамических явлений по вмещающим породам и явления дискования керна эксплуатационных и разведочных скважин не наблюдаются. В целом в пределах месторождения массив характеризуется относительно спокойным геологическим строением. Резкое снижение естественных напряжений происходит в зонах тектонических нарушений. На месторождении «Бескемпир» аналогичная ситуация – на горизонтах 120, 180 и 260 м независимо от формы и размеров поперечного сечения, увеличения пролета и глубины расположения выработки опасные деформации отсутствуют. Перераспределение напряжений в горных породах наблюдается не только вокруг горизонтальных и наклонных

выработок, но и вертикальных, и оно практически везде имеет состояние равновесия кроме зон тектонических нарушений.

В связи с вышеизложенным можно заключить, что на месторождении «Бескемпир» естественные напряжения в горных породах находятся на уровне нормальных гравитационных. Избыточные горизонтальные напряжения в массиве горных пород зафиксированы в зонах вдоль разрывных разломов и их ориентировка определяется направлениями векторов тектонических сил. Таким образом, после проведения подземных горных выработок происходит перераспределение напряжений, возникает новое поле напряжений в окружающих их породах в состоянии равновесия кроме зон ослабления.

1.5 Геологические процессы и явления

Оценка влияния геологических процессов и явлений на инженерно-геологические условия геологической среды невозможна без знания других ее элементов – горных пород и содержащихся в них подземных вод, рельефа местности и напряженного состояния. При этом исследования на месторождениях проводятся по трем направлениям: а) изучение природных геологических процессов и явлений; б) исследование вызванных деятельностью человека искусственных или активизации природных процессов; в) прогноз новых процессов и явлений в связи с освоением месторождения на базе анализа инженерно-геологических условий данной территории и закономерностей возникновения и развития природных процессов [1].

В этом разделе приведены результаты инженерно-геологических исследований на месторождении «Бескемпир» по вышеперечисленным первым двум направлениям.

1.5.1 Природные геологические процессы и явления в районе работ

Природа и механизмы различных типов деформаций, разрушений, перемещений и сдвигов горных пород в подземных выработках и на склонах карьеров часто имеют значительную сложность. Под механизмом перемещений подразумевается характер, способ и тип движения горных масс под воздействием различных сил. Перемещение можно определить как движение отдельных объемов или взаимосвязанных объемов горных пород, а также их вязкое течение под воздействием силы тяжести, гидродинамического давления и других факторов. Механизм движения горных масс определяет характер геологических процессов и явлений. [30, 31].

При изучении природных геологических процессов и явлений в районе работ за основу использована система классификации проф. В.Д. Ломтадзе (1977). Результаты работ приведена в табл. 8.

Таблица 8 – Результаты исследований природных геологических процессов и явлений района работ

Геологические процессы и явления			
Виды	Процессы	Явления	Наличие в районе работ
Природные	Деятельность поверхностных вод	Подмыв и разрушение берегов, морей, озер и водохранилищ; подмыв и разрушение речных берегов (эрозия); размыв склонов, овражно-балочные явления	Нет
	Паводки на горных реках	Сели	Нет
	Деятельность поверхностных и подземных вод	Заболачивание территории; просадочные явления	Нет
	Деятельность подземных вод	Карст; пльвуны; суффозия	Нет
	Действие гравитационных сил	Оползни; обвалы	Нет
	Деятельность ветра	Развевание и навевание	Нет
	Промерзание и оттаивание	Термокарст; морозное пучение; наледи	Нет
	Действие внутренних сил пород	Набухание; усадка; разуплотнение	Нет
	Действие внутренних сил земли	Сейсмические явления	Нет

1.5.2 Геологические процессы и явления, связанные с разработкой месторождения

По направлению изучения геологических процессов и явлений, связанных с отработки рудных тел МПИ есть несколько классификации, разработанных П.Н. Панюковым, Г.К. Бондариком, М.Е. Певзнером, Б.В. Смирновым, В.Д. Ломтадзе, А.Б. Байтбатша и др.

При проведении инженерно-геологических исследований установлено, что на месторождении «Бескемпир» при ведении горных работ подземным способом наблюдается нарушение равновесия естественных напряжений горных пород и их перераспределение в шахтном поле. В результате взаимодействия массива горных пород с горными выработками возникают разнообразные геологические явления, реализующиеся в различных формах и масштабах. На развитие геологических явлений решающее влияние оказывают геологические и горно-технические факторы [8, 9].

Таблица 9 – Геологические процессы и явления, связанные с разработкой месторождения подземным способом

Геологические процессы и явления	
Наиболее распространенные	на месторождении «Бескемпир»
Выветривание, разуплотнение и искусственное разрушение горных пород по контурам выработок	Да
Расслаивание, зависание и обрушение горных пород в кровле, бортах и забоях выработок	Да
Вывалы и образование куполов в кровле и бортах выработок	Да
Выдавливание, пучение горных пород в почве выработок	Да
Оползание горных пород в бортах выработок	Нет
Отжим горных пород и угля	Нет
Динамические явления: стрельяние, толчки, горные удары	Нет
Газодинамические явления – выбросы угля и газа	Нет
Горное давление на крепи выработок, целики, защитные слои и другие элементы их конструкций	Нет
Сдвигание горных пород и образование мульд сдвижения, заколов, трещин, провалов на поверхности земли; деформации и разрушения наземных сооружений	Да
Оседание поверхности земли при длительных и значительных откачках воды, нефти и газа	Нет
Фильтрационные деформации	Нет
Внезапные прорывы воды и пльвунов в горные выработки	Нет
Прорывы глин в горные выработки	Нет
Карстовые явления	Нет
Водопроявления	Да
Мерзлотные явления	Нет

В таблице 9 приведены сведения о наиболее распространенных геологических явлениях на месторождениях полезных ископаемых при их разработке подземным способом и нынешняя инженерно-геологическая обстановка месторождения «Бескемпир». Из таблицы 9 видно, что какие виды явлений связано только с одним видом инженерной деятельности человека.

Здесь необходимо обратить особое внимание на то, что все виды инженерно-геологических процессов и явлений на месторождении «Бескемпир», разрабатываемое подземным способом, имеет геологическую природу. Они могут распространяться на все элементы инженерно-геологических условий месторождения, шахтного поля [24, 39, 54], так и более ограниченные, примыкающие к границу выработок [21]. Таким образом формируется взаимодействие геологической среды (массив горных пород) с особым типом сооружения (подземные горные выработки шахты). Поэтому вкратце остановимся на описание геологических процессов и явлений, возникающих при разработке месторождения «Бескемпир».

Выветривание горных пород – это изменение состояния горных пород под действием колебаний температуры воздуха и действия воды в виде развития трещин, расслаивания пород, размягчения, размокания, набухания. Процесс выветривания особенно активно протекает на участках распространения тектонических нарушений, зон повышенной трещиноватости, на участках различных форм водопроявлений. Показатель выветривания пород – это интенсивность их осыпания из кровли и стенок подземных выработок.

Разуплотнение горных пород. Происходит при вскрытии горных пород подземными горными выработками. Оно тем больше, чем на большей глубине породы разрабатываются, чем при большем избыточном напряжении они находятся. Мощность зоны разуплотнения в скальных и полускальных породах составляет 15-20 м, а в подземных выработках не превышает 3-5 их максимальных сечений. Развиваются трещины разгрузки, разуплотнения примерно параллельно обнаженной поверхности, по которым происходит смещение пород, образование ступенчатости по откосам, оползней структурного типа и обвалов, расслаивание пород.

Искусственное разрушение горных пород. Происходит под влиянием естественных (природных) сил и при воздействии на них горного давления, перераспределения напряжений, буровзрывных работ (БВР) и горнодобывающих машин. Ведение БВР оказывает динамическое воздействие на горные породы, повышается напряжение, возникают сейсмические сотрясения. Все эти воздействия развиваются с различной скоростью и неодинаковой интенсивностью на разном расстоянии от очага взрыва. Ближайшей зоной к очагу взрыва является зона ударной волны сжатия горных пород, скорость ударной волны больше скорости звука. Затем следует подзона волны напряжений, значительного повышения напряжений в горных породах, трещинообразования, их рыхления в результате формирования трещин кольцевого и радиального направлений, скорость возникновения таких явлений стремится к скорости звука и подзоны ближнего действия взрыва протяженностью несколько метров. Зона дальнего действия характеризуется упругопластическими и сдвиговыми деформациями блоков горных пород, сопровождающимися некоторым их дроблением, раскрытием и расширением скрытых и закрытых трещин.

Расслаивание, зависание и обрушение. Характерно для осадочных пород разной степени литификации, что объясняется их слоистым строением и текстурами напластования, являющимися поверхностями и зонами ослабления. По этим поверхностям происходят образования пластовых отдельностей в кровле горных выработок, обрушение горных пород вслед за продвижением забоя непосредственно при выемке горных пород или после перестановки крепи, зависание горных пород до 3-4 м в кровле на расстоянии нескольких метров от забоя, обрушение или плавное прогибание по мере продвижения забоя дальше. Пластовые отдельности при наклонном залегании пород в стенках выработок обуславливают их отделение и сползание, а в почве – легкое разрушение и выпирание. Петрографические текстурные особенности пород определяют анизотропию их прочностных и деформационных свойств.

Вывалы и образования куполов в подземных выработках. Вывал – локальное обрушение небольшого объема горных пород из кровли, отделяющегося при определенном сочетании в породах поверхностей слоистости, сланцеватости, трещин, зон дробления и др. зон ослабления. Вывалы образуются в призабойной части по мере продвижения забоя, в выработанном пространстве незакрепленных выработок, при удалении и перестановке крепи. В результате вывалов образуются купола различной формы. Нередко вывалы образуются в породах, слагающих не только непосредственную, но и основную кровлю, особенно на участках, где прослеживается неустойчивая – ложная кровля. В зависимости от угла и ширины пролета выработки вывалы бывают безупорные и упорные. Когда же имеется сочетание нескольких систем трещин, в породах кровли выработок образуются вывалы полуупорного типа.

Выдавливание (пучение) горных пород почвы подземных выработок. Явление распространенное и наблюдается в достаточно разнообразных геологических условиях. Эти деформации горных пород вызывают деформации горных выработок, деформации и разрушение крепей и иногда приводят к полному разрушению горных выработок, Выдавливание пород начинается со стороны боков и почвы при наличии воды в породах. Оно усиливается с глубиной расположения горных выработок относительно поверхности земли и зоны влияния очистных и других горных выработок. Вероятность и интенсивность выдавливания возрастает с увеличением глубины выработок до 300-400 м. Однако на этих глубинах важное значение приобретает влажность, плотность, прочность пород. Поэтому на этих глубинах нередко на одних участках породы значительно выдавливаются, а на других устойчивы, деформируются слабо, С глубиной закономерность развития этого явления более сложная.

Сдвигание горных пород и образование мульд сдвижения. Рассмотрим сдвигание горных пород на примере месторождения «Бескемпир». Система отработки месторождения – этажно-камерная с отбойкой руды в открытую камеру. Выемка руды ведется отдельными блоками. При такой отработке толща пород со стороны висячего бока теряет опору, обрушается, вызывая сдвигание вмещающих пород и земной поверхности. Геологическими факторами процесса являются структурные особенности массива горных пород, мощность рудной жилы (чем больше вынимаемая мощность жилы, тем интенсивнее процесс сдвижения), угол падения жилы и вмещающих пород, тектоническая нарушенность массива горных пород. К горнотехническим факторам относятся глубина и система разработки.

Оседание поверхности земли на участках, сложенных плотными, прочными и крепкими породами, при прочих равных условиях меньше, чем на участках, сложенных слабыми породами. Это связано с тем, что слабые породы обладают меньшей жесткостью, большей пластичностью и ползучестью и прогибаются больше, а при наклонном и крутом их залегании легче сползают, сдвигаются по поверхностям ослабления в сторону выработанного пространства.

Увеличение выработанного пространства (длины или ширины очистной выработки) обычно вызывает увеличение оседания поверхности земли только до полной подработки территории. Дальнейшее увеличение размеров выработанного пространства приводит к расширению дна мульды сдвижения, т. е. участка наибольшего оседания поверхности земли.

Существенное влияние на увеличение оседания поверхности земли оказывает уменьшение глубины расположения горных выработок, увеличение их размеров и степень нарушения ими состояния и условий залегания горных пород. Наконец, частичная или полная закладка выработанного пространства и характер самой закладки также влияют на оседание поверхности земли.

Все перечисленное показывает, что зависимость оседания поверхности земли на подрабатываемых территориях от многих факторов затрудняет оценку и прогноз этого явления. Поэтому его природа недостаточно изучена, что обуславливает необходимость при его оценке и прогнозе использовать сравнительно-геологический анализ и средние значения, полученные из фактических наблюдений, или различные эмпирические зависимости, выявленные по данным этих наблюдений.

2 ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Инженерная геология особенно тесно связана с гидрогеологией [24]. Изучение горных пород и оценка их свойств не могут быть проведены независимо от их влажности, без учета устойчивости горных пород под воздействием воды. Подземные воды являются причиной возникновения большинства геологических процессов и явлений и фактором, способствующим их развитию. Не учитывая влияние подземных вод нельзя решать задачи, связанные с оценкой геологических условий строительства и эксплуатации сооружений, разработкой МПИ, выполнением различных инженерных работ, рациональным использованием геосреды и ее охраной. Подземные воды являются важным элементом ИГУ. Поэтому инженерная геология тесно соприкасается с гидрогеологией при изучении различных форм нахождения, питания и разгрузки, взаимосвязи с поверхностными водами. Как гидрогеология, так и инженерная геология изучают подземные воды, т.е. имеют как бы один предмет исследований, но решают разные задачи и подходят к ним по-разному. Гидрогеология изучает подземные воды как полезное ископаемое, поэтому поиски, разведка и промышленная оценка месторождений подземных вод являются ее первостепенными задачами. Инженерная геология рассматривает подземные воды как причину изменений свойств горных пород, возникновения и развития геологических процессов и явлений, осложняющих строительство и эксплуатацию сооружений и выполнение инженерных работ.

2.1.1 Гидрогеологические условия района

Район месторождения «Бескемпир» относится к Шу-Илескому бассейну трещинных вод и характеризуется засушливым, континентальным климатом, полным отсутствием постоянно действующих поверхностных водотоков и денудационным типом рельефа. Река Шу протекает ориентировочно в 100 км от месторождения. Район сложен различными породами палеозоя, прорванными интрузиями кислого состава. Водоносность их определяется в основном степенью трещиноватости и проявлением разрывной тектоники. Локальные участки с несколько повышенными запасами подземных вод, характеризуются благоприятными морфологическими условиями для интенсивного водопоглощения, приурочены к тектоническим нарушениям и мощным зонам дробления. Четвертичные отложения, представлены суглинками, супесями и глинами мощностью до 5,0 м, слагают понижения, как правило, являются безводными [20]. На рисунке 22 показана геолого-гидрогеологическая карта района работ.

В районе, согласно их стратиграфической принадлежности и гидрогеологическим особенностям, выделяются следующие водоносные горизонты[34]:

- подземные воды открытой трещиноватости девонских отложений;
- подземные воды открытой трещиноватости ордовикских отложений;

– подземные воды открытой трещиноватости интрузивных образований.

Кроме того, так же выделяются водопроницаемые, но практически безводные современные отложения.

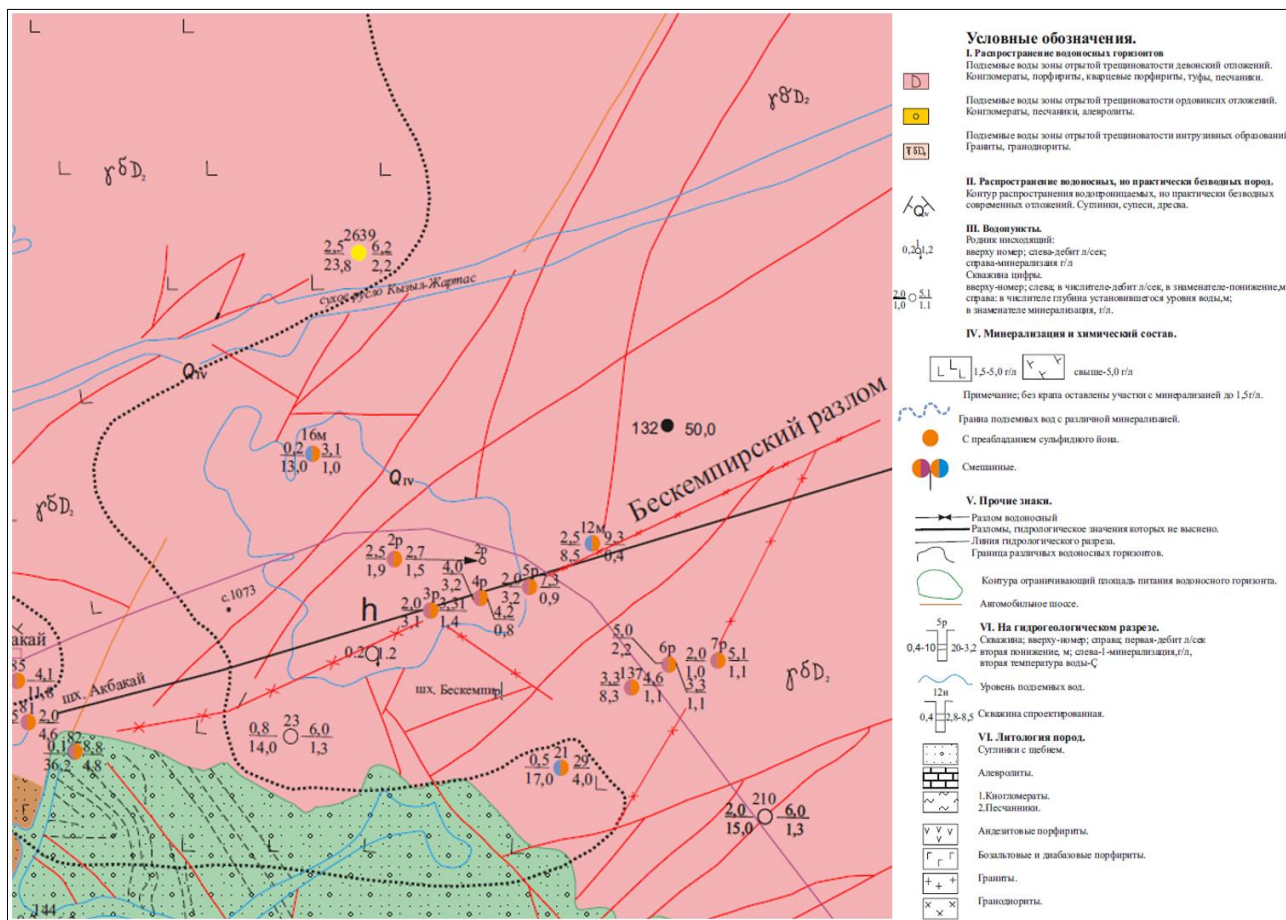


Рисунок 22 – Геолого-гидрогеологическая карта района работ.

Подземные воды открытой трещиноватости девонских отложений (D_{1-2}). Отложения девона развиты незначительно и слагают Кызылжартасскую синклинали, которая расположена в западной части района. Подземные воды приурочены к трещиноватой выветрелой зоне конгломератов, порфиритов, туфов и песчаников. Мощность зоны обводненной трещиноватости пород колеблется от 25 до 50 м. Уровень подземных вод вскрывается на глубинах от 1,5 до 12 м. Обводненность пород – слабая. Дебиты скважин не превышают 0,6 л/сек при понижении уровня воды на 11,0-26,0 м. В межень большинство родников пересыхают. Постоянно действующие родники имеют дебиты в десятки и сотые доли л/сек.

Подземные воды сильно солоноватые с минерализацией 5-10 г/л. По химическому составу хлоридно-сульфатно-натриевые. В зонах тектонических нарушений, обновленных в альпийское время, встречаются подземные воды с минерализацией 0,7-1,2 г/л.

Подземные воды данных отложений не имеют большого практического значения и могут быть использованы только на отдельных участках для нужд отгонного животноводства.

Подземные воды открытой трещиноватости ордовикских отложений (О). Терригенные отложения ордовика распространены в южной части района. Водовмещающими породами являются конгломераты, песчаники и алевролиты. Мощность зоны обводненной трещиноватости пород не превышает 50-60 м. Водообильность ордовикских отложений изучена пробными откачками из одиночных скважин. Глубина залегания подземных вод, в зависимости от отметок дневной поверхности, изменяется от 1,3 до 24,6 м. Дебиты скважин составляют 0,04-0,2 л/сек при понижении уровня воды на 6,5 м.

Подземные воды по химическому составу сульфатно-хлоридно-натриевые преимущественно с минерализацией 1,1-1,5 г/л. Подземные воды ордовикских отложений могут быть использованы для водоснабжения животноводческих ферм.

Подземные воды открытой трещиноватости интрузивных образований. Желтауский интрузивный комплекс, представленный гранитами, составляют северную и северо-восточную часть района. Центральная часть района сложена гранодиоритами Кызылжартасского интрузивного комплекса. Подземные воды приурочены к зонам экзогенной трещиноватости и тектонических нарушений. Глубина обводненной зоны трещиноватости пород достигает 40-70 м, а в зонах тектонических нарушений до 300 м и более. Гранодиориты характеризуются меньшей водообильностью, чем граниты. Дебиты скважин изменяются от сотых долей до 0,24 л/сек, при понижениях уровня воды на 43,0 и 27,6 м. Водоприток в шахту «Акбакай» глубиной 260 м составил 17 м³/час. На Бескемпирском месторождении подземных вод скважины, вскрывшие граниты, дали воду с дебитом 2,0-5,0 дм³/с. При понижении уровня воды до 8,5 м. Подземные воды гранитов более пресные, преимущественно с минерализацией до 1,5 г/л. Минерализация подземных вод, приуроченных к гранодиоритам, и достигает 4,6-11,8 г/л.

Подземные воды зоны открытой трещиноватости интрузивных образований ($\gamma\delta D_2$) занимают большую часть территории участка и слагают краевую часть крупного массива Желтау. Водовмещающими породами являются трещиноватые граниты и гранодиориты. С поверхности водовмещающие породы перекрыты легкими суглинками с включениями дресвы до 20 % мощностью до 3,0 м. Слой суглинка не является гидроизоляционным. До глубины 40 м развиты трещины выветривания, а по тектоническим разломам, расчленяющим интрузивный массив до 50-60 м. Подземные воды имеют свободную поверхность, они вскрываются на глубине 2-4 м. Режим подземных вод – естественный, подъем уровня весной – осенью и понижение – летом-зимой. Основной фактор изменения режима – величина атмосферных осадков.

2.1.2 Методика и объёмы выполненных работ

Методика и объёмы гидрогеологических работ, проведенных на месторождении «Бескемпир», были определены геологическим заданием, предусматривающим детальное изучение гидрогеологических условий месторождения для прогноза водопритоков в горные выработки. Гидрогеологические исследования проведены в соответствии с утвержденным проектом в 1983-85 гг. В состав гидрогеологических исследований при детальной разведке месторождения входили (табл. 10): бурение гидрогеологических скважин, геофизические исследования в скважинах, пробные и зональные откачки, режимные наблюдения, наблюдения за водопритоками в разведочную шахту № 2, отбор проб подземных вод, лабораторные исследования [34].

Таблица 10 – Основные объёмы выполненных работ [по 34]

№ п/п	Виды работ	Ед.измер.	Объем выполненных работ
1	Бурение гидрогеологических скважин	<u>скв.</u> п.м.	<u>5</u> 1300
2	Пробные откачки	<u>откачка</u> бр/см	<u>1</u> 3
3	Приоритетные откачки	<u>оскачка</u> бр/см	<u>9</u> 35
4	Геофизические исследования	скв	4
5	Режимные наблюдения	<u>скв.</u> месяц	<u>13</u> 75

Бурение гидрогеологических скважин. Основным видом работ при изучении гидрогеологических условий месторождения являлось бурение гидрогеологических скважин с проведением по ним гидрогеологической документации, пробных и зональных откачек и опробования. Они бурились с целью прослеживания изменения литологического состава, мощности и фильтрационных свойств водовмещающих пород и изучения качества подземных вод [34].

Учитывая слабую обводненность пород и возможность получения полноценной гидрогеологической информации по данным шахтного водопритока всего пробурено 5 гидрогеологических скважин глубиной от 105 до 300 м общим объёмом 1300 п.м., в том числе скв. 25^Г пройдена за пределами месторождения, в зоне сочленения Кошкимбайского и Бескемпирского разломов. В центральной части месторождения пройдены скв. 21^Г, 24^Г на флангах – скв. 22^Г и 23^Г. Сква. 23^Г на западном фланге месторождения пересекла Бескемпирский разлом на глубине 208,7 м. Максимальная глубина скважин (300 м) определялась глубиной разработки месторождения, т. е.

скважины характеризуют гидрогеологический разрез до глубины 300 м. Бурение скважин осуществлялось станком ЗИФ-650М с поинтервальным отбором керна через 10 м с промывкой забоя чистой водой. Вследствие устойчивости стенок скважины фильтровыми колоннами не обсаживались. Конструкция скважин определялась условиями проведения в них пробных и зональных откачек. Начальный диаметр скважин 132 мм, конечный – 112-93 мм.

Верхняя неустойчивая часть разреза, представленная супесчано-суглинистыми отложениями до глубины 5 м, перекрыта кондуктором диаметром 127 мм. По окончании бурения и опробования скв. 21^Г, 22^Г и 23^Г включены в режимную сеть.

Геофизические исследования в скважинах [34]. Каротажные исследования в скважинах с целью изучения гидрогеологических условий месторождения проводились каротажной партией Южно-Казахстанской комплексной геолого-геофизической экспедиции ПГО "Южказгеология". В задачи каротажных исследований входили уточнение литологического разреза скважин, выявление обводненных трещиноватых зон и определение их эффективной мощности, а также диаметра скважин, поиски радиоактивных руд.

Для решения поставленных задач применялся соответствующий комплекс каротажных исследований: стандартный каротаж, гамма-каротаж, кавернометрия и расходометрия. По результатам стандартного каротажа уточнялся геологический разрез скважин. По значениям гамма-каротажа отбивались зоны тектонических нарушений и рудной минерализации, обладающие повышенной радиоактивностью.

Кавернометрией определялись наличие в разрезе зон трещиноватости и фактические диаметры скважин. Кроме того, этот метод использовался при интерпретации данных расходометрии.

Расходометрические наблюдения применялись для качественной и количественной характеристики водного потока, циркулирующего по стволу скважины. Метод основан на прямом изменении направления и скорости движения воды, вызванного возбуждением водоносного горизонта с помощью налива или откачкой. Наблюдения проводились с использованием тахометрических расходомеров ТСР 34/70 ЭМ. Основной шаг замеров выбирался в зависимости от гидрогеологического разреза (5-10 м), а при детализации выявленных интервалов водопритоков (водопоглащений) сокращался до 0,5-1,0 м. По точкам наблюдений строился график зависимости расхода воды по стволу скважины ($Q = f(h)$), являвшийся основным фактическим материалом проведения расходометрии. Расходометрические исследования были проведены в 4-х скважинах.

Поинтервальные откачки проводились для изучения изменения фильтрационных свойств пород в вертикальном разрезе в 3-х скважинах глубиной по 300 м каждая. Опробование проводилось "сверху-вниз", поинтервально через каждые 100 м проходки скважины с одним максимальным понижением уровня эрлифтом при помощи компрессора ПК-10. Диаметр водоподъемных труб составлял 89 мм, пьезометрических и воздухоподувных –

3/4". Замеры уровня воды и дебита в начале откачки проводились через 5-15 минут, затем через 1-2 часа. Дебиты скважин замерялись объёмным способом, динамический уровень – электроуровнем и рулеткой. Отвод откачиваемой воды производился по водоотводу из обсадных труб на расстояние 50 м. Наблюдения за восстановлением уровня после откачки первоначально через 5-15 минут, затем регулярно через каждый час.

Продолжительность поинтервальной (пробной) откачки в зависимости от времени стабилизации уровня изменялась в пределах от 2 до 5 бр/см. Всего было проведено 9 поинтервальных откачек (35 бр/см).

На стадии детальной разведки (1983-84 гг.) в режимную сеть дополнительно включены гидрогеологические скважины 21^Г, 22^Г и 23^Г. Учитывая стабильность режимобразующих факторов (скудность питания, отсутствие постоянных водотоков), замеры уровней проводились с частотой 2-3 раза в месяц. Уровни подземных вод замерялись рулеткой.

Для изучения химического состава подземных вод в годовом разрезе из режимных скважин отбирались пробы воды 4 раза в год (весной, летом, осенью и зимой) на сокращенный химический анализ. Отбор проб воды осуществлялся пробоотборником Симонова.

Наблюдение за водопритоками в разведочную шахту № 2 глубиной 180 м проводятся с 1982 г. В процессе шахтного водоотлива по сезонам года (4 раза в год) также отбирались пробы воды на сокращенный химический анализ. Всего при режимных наблюдениях было отобрано 90 проб воды.

Лабораторные исследования. При разведке месторождения «Бескемпир» производилось детальное изучение качества подземных вод. Отбор проб воды для изучения ее химического состава и физических свойств производился при проведении пробных и поинтервальных откачек, а также при наблюдениях за режимом подземных вод. Лабораторные исследования заключались в изучении химического состава, в определении содержания микрокомпонентов и урана в подземных водах [34].

Таким образом, комплекс гидрогеологических работ, проведенных в 1983-85 гг., позволил детально изучить гидрогеологические условия месторождения и оценить прогнозные водопритоки в будущие подземные горные выработки.

2.1.3 Гидрогеологическая характеристика месторождения

Месторождение «Бескемпир» расположено в Андысайской структурно-формационной зоне, вблизи северо-западной оконечности Жельтауского массива гранитов [20].

В геоморфологическом отношении участок месторождения представляет собой слабохолмистую денудационную равнину с абсолютными отметками 470-500 м. Относительное превышение водоразделов над местным базисом эрозии не превышает 20-25 м.

Поверхностные, постоянно действующие, водотоки как на месторождении, так и вблизи его отсутствуют. Наиболее крупные сезонно действующие ручьи Кашкимбайсай и Бескемпирсай находятся в 3-4 км от месторождения.

Поверхностный сток в них появляется весной, в период интенсивного снеготаяния (март, апрель), продолжительность которого не превышает 20 суток. В межень вода остаются лишь в плесах, которые в маловодные годы пересыхают.

Месторождение с поверхности перекрыто дресвяно-щебенистым материалом мощностью 1,0-1,5 м, достигающей 3-4 м в понижениях рельефа.

В структурно-тектоническом отношении месторождение приурочено к узлам сопряжений разрывных нарушений субширотного и северо-восточного направлений, обусловившим его сложное блоковое строение [20, 34].

Субширотные разрывные нарушения, выполненные дайками среднего и основного состава протяженностью до 2-3 км и мощностью до 3,5 м характеризуются слабой обводненностью. Смещающие субширотные тектонические структуры и рудные тела, разрывные нарушения северо-восточного направления сопровождаются узкими линейно вытянутыми зонами трещиноватости, служащими путями циркуляции трещинных вод. Подземными горными выработками установлена незначительная обводненность в зонах сопряжений разрывных нарушений.

В обводнении месторождения участвуют подземные воды открытой трещиноватости интрузивных пород. Водовмещающими породами являются неравномерно трещиноватые гранодиориты.

Водоносность интрузивных пород определяется степенью их трещиноватости. Зона выветривания развита до глубины 20-30 м. Тектонические обводненные трещины скважинами фиксировались на глубинах до 202 м, безводные – на глубинах до 214 м [34].

Трещины скола приурочены к разрывным нарушениям второго порядка, оперяющие субширотные разломы. Простираение трещин субширотное ($80-95^{\circ}$), угол падения $45-55^{\circ}$ на север. Другая система трещин с углами падения на северо-восток имеет северо-западное простираение ($290-305^{\circ}$). Мощность их не превышает 2-3 мм, протяженность достигает 10-15 м. Поверхности трещин гладкие и шероховатые. Наиболее обводнены места пересечения трещин, приуроченных к зонам разрывных тектонических нарушений. В таких зонах модуль трещиноватости достигает 20-30. В монолитных блоках, за пределами зоны разломов, величина модуля трещиноватости уменьшается до 2-5. Трещины зачастую залечены продуктами гидротермальных изменений пород.

Максимальная трещиноватость и обводненность пород характерна для верхней части разреза. По данным расходометрических исследований в скважинах мощность зоны обводненной трещиноватости пород достигает 102 м.

Глубина образования и залегания подземных вод в зависимости от отметок дневной поверхности изменяется от 8,5 до 18,3 м [34].

Водообильность горных пород низкая. Дебиты скважин по площади колеблются от сотых долей до 0,24 л/с при понижениях уровня воды до 44,2 м.

Максимальный дебит (0,24 л/с) был получен из скв. 23^Г, пройденной в зоне Бескемпирского разлома. Величина удельного дебита скважин изменяется в пределах от 0,0003 до 0,01 л/с.

Водовмещающие породы характеризуются низкими фильтрационными свойствами. Величина коэффициента фильтрации колеблется в пределах от 0,0004 (скв.21^Г) до 0,006 л/сутки (скв.23^Г).

Водообильность и фильтрационные свойства водовмещающих отложений в разрезе изучены шестью зональными откачками из скважин 22^Г и 23^Г и одной пробной из скважины 21^Г, результаты которых характеризуются следующими данными

Наиболее достоверный гидрогеологический материал был получен при проходке подземных горных выработок [59]. В рудовмещающих гранодиоритах была пройдена шахта глубиной 185 м с системой горизонтальных горных выработок на глубинах 60, 120, 180 и 260 м. При проходке шахтного ствола до глубины 90 м наблюдался капеж и повышенная влажность стенок с суммарным расходом до 2,0 м³/ч. Далее до глубины 185 и 265 м шахта проходила практически в сухих условиях. По мере проходки подземных горных выработок водопритоки постепенно увеличивались. Минимальный водоприток составил 1,5 м³/ч, а максимальный – 11,4 м³/ч. Средняя величина водопритоков колеблется в диапазоне 2,2-8,6 м³/час, что объясняется расширением фронта проходки подземных выработок.

Некоторое увеличение водопритока в шахту на 0,8-1,0 м³/ч отмечается в паводковые периоды. При проходке рудных штреков по жилам "Сюрприз" и "Бескемпир" при подсечении разломов водопритоки наблюдаются в виде капежа и небольших струй с расходом до 0,3-0,5 м³/ч.

При шахтном водоотливе со среднегодовой производительностью 8,6 м³/ч вокруг подземных горных выработок сформировалась воронка депрессии. Анализ карты гидроизогипс, построенный по состоянию на 25.05.1985 г. показывает, что поверхность зеркала подземных вод имеет форму эллипса и отражает влияние искусственных факторов и структурно-тектонических элементов. Длинная ось эллипса совпадает с направлением рудных штреков. В зоне слабоводопроницаемого Бескемпирского разлома наблюдаются разрывы сплошности подземного потока, т. е. гидроизогипсы прерываются. При снижении уровня подземных вод в шахте на 180 и 260 м влияние депрессивной воронки с востока на запад распространилось на расстояние 1600 м, с юга на север – 750-800 м. Положение кривой депрессии крутое, что указывает на слабую трещиноватость и обводненность пород месторождения. Следует предположить, что воронка депрессии в процессе проходки подземных горных выработок будет развиваться по рудным штрекам в субширотном направлении.

2.1.4 Оценка обводненности месторождения

Степень обводненности месторождений полезных ископаемых при прочих равных климатических, гидрофизических и других условиях обычно зависит от их геоморфологического положения, геологического строения и степени трещиноватости пород. [1]. Месторождение «Бескемпир» расположено относительно в горных районах и слабо обводнено. На отметках выше местного базиса эрозии, соответственно хорошо дренировано по существующей

гидрографической сетью и поэтому имеют малые статические и динамические запасы подземных вод.

Обводненность месторождения трещинными водами существенно зависит от степени трещиноватости горных пород и ее распределения по площади и на глубину. Наблюдения показывают, что с глубиной площади распространения трещинных вод сокращаются. В верхних горизонтах, до глубины, измеряемой несколькими десятками метров, или в зоне влияния местных базисов эрозии, где тектоническая трещиноватость горных пород усиливается процессами выветривания, формируются преимущественно трещинные грунтовые воды. Глубина их залегания от поверхности земли в течение года непостоянна, как и их запасы на различных участках. В целом же они достаточно ограничены.

Проф. А.Б. Байбатша [1] по результатам своих исследований описывает следующие условия: с глубиной трещинно-грунтовые воды постепенно сменяются трещинными напорными. Глубина, на которую прослежена обводненность пород по трещинам, достигает, как правило, 300-400 м, но не превышает 500-600 м. На этих глубинах как статические, так и динамические запасы трещинных вод обычно невелики. Средняя региональная (фоновая) трещиноватость горных пород здесь на отдельных участках, приуроченных к тектоническим разрывам, зонам нарушения и дробления, усиливается, возникает пространственная неоднородность распространения трещиноватости пород и их обводненности. Соответственно и притоки воды в горные выработки на этих участках резко возрастают, достигая сотен и тысяч кубических метров в час, пока происходит сработка их статических запасов. На больших глубинах эффективная трещиноватость заметно уменьшается и с глубины 500-700 м и ниже горные породы нередко безводны. Практически такая же ситуация и на месторождении «Бескемпир».

Условия формирования подземных вод [34].

Для определения величины инфильтрационного питания за счёт атмосферных осадков в 1975-79 гг. Казахским управлением по гидрометеорологии и контролю природной среды по договору с Жетысуской ГРЭ ПГО «Южказгеология» были проведены воднобалансовые исследования на Бескемпирском участке. Участок расположен в пределах двух логов: Бескемпирсай и Кашкимбайсай с общей водосборной площадью 70 км² и сложен интрузивными породами (граниты, гранодиориты), перекрытыми повсеместно дресвяно-щебенистыми отложениями с супесчано-глинистым заполнителем.

Снегозапасы на Бескемпирсайском участке определялись по данным маршрутной съёмки. Для изучения влагонасыщенности почвы производилось шнековое бурение скважин, из которых отбирались пробы на влажность в интервале глубин до 0,2; 25-50; 50-100 см.

Испарение из почвы вычислялось по результатам экспериментальных исследований с помощью стандартных испарителей ГГИ - 500-100 и ГГИ - 500-50, а с водной поверхности измерялось по испарителю ГГИ - 3000, установленному на воднобалансовой площадке участка.

Воднобалансовые экспериментальные исследования показали, что питание трещинных вод гранитов мелкосопочных и низкогорных районов происходит в основном за счёт инфильтрации влаги снеготазов в период короткого половодья. В отдельные годы влага снеготазов почти полностью расходуется на насыщение рыхлого покрова, не образуя поверхностного стока. При этом уровень подземных вод составляет от 17 до 38 % всей влаги в зависимости от мощности рыхлых отложений и их литологического состава.

Наблюдениями за режимом уровня трещинных вод по наблюдательным скважинам, пробуренным на балансовой площадке установлены величины инфильтрационного питания на участке от 8 до 18 мм, что согласуется с данными водного баланса.

2.1.5 Химический состав подземных вод

Минерализация и химический состав подземных вод формируются в условиях скудного инфильтрационного питания, относительно замедленного продвижения потока и в результате сезонного выщелачивания солей и сульфидов [83,97,98]. распространённой в западной приподнятой части месторождения, характерен сульфатно-хлоридный натриевый состав. Содержание сульфата составляет 888 мг/л, хлора - 186, гидрокарбоната - 201 мг/л. В анионном составе доминирует натрий (540 мг/л). Среднеминерализованные подземные воды с минерализацией 2-5 г/л и более развиты в восточной, более пониженной, части месторождения. По химическому составу подземные воды хлоридно-сульфатные натриевые с минерализацией до 6,2 г/л (шахта №2). Максимальное содержание хлора достигает 1826, сульфата - 1826, гидрокарбоната - 134 мг/л. Концентрация натрия составляет 1582, магния - 144, кальция - 364 мг/л. Повышенная сульфатность подземных вод обусловлена выщелачиванием пирита. Содержание его в породах составляют 2 %.

Уменьшение минерализации подземных вод определяется интенсивностью инфильтрационного питания. В паводковые периоды минерализация подземных вод снижается от 0,5-3,4 г/л (скв 23^Г, 22^Г) и увеличивается с наступлением межени соответственно до 1,1 и 4,7 г/л. При этом химический состав их остается сульфатно-хлоридным натриевым. Увеличение минерализации подземных вод происходит за счёт ионов сульфата, хлора и натрия.

Содержание в воде токсических элементов не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК) для питьевых вод. Превышение содержания компонентов, по сравнению с ПДК, наблюдается по фтору (до 3,2 мг/дм³), сульфатам (в весенне-осеннее время до 635-840 мг/м³), хлоридам (до 380 мг/дм³), общей жесткости - до 11,6 мг-экв/дм³ (химические анализы прилагаются).. На рисунке 23 представлена отсканированная копия химического состава подземных вод месторождения.

При характеристике месторождений полезных ископаемых следует уделять внимание особенностям химического состава подземных вод, его

специфичности. Так, на рудных месторождениях нередко широко распространены различные сульфиды (пирит, халькопирит, сфалерит и др.), которые в зоне выветривания под влиянием кислорода воздуха и кислородосодержащих инфильтрационных вод окисляются и обуславливают формирование кислых вод с высоким содержанием свободной серной кислоты и сульфатов тяжелых металлов. Такие воды обладают высокой коррозионной активностью по отношению к металлическим конструкциям, а также фильтрам, насосам и другим техническим средствам, изготовленным из железа, которые под их влиянием быстро разрушаются и выходят из строя. Эти воды разрушающе действуют также на бетонные и железобетонные крепи подземных выработок и другие конструкции [1].

Изучение микрокомпонентного состава подземных вод месторождения показывает, что максимальная концентрация фтора достигает 5,5 мг/л, урана – 0,12, меди – 0,075, цинка – 0,03, молибдена – 0,6, мышьяка – 0,03, ртути – 0,0002, свинца – 0,005 мг/л. В одной пробе обнаружено серебро с концентрацией 0,001 мг/л (скв.23^Г) [34].

Фактический материал, полученный по результатам гидрохимического опробования в пределах месторождения, позволил изучить: основной солевой состав подземных вод; содержание в них микрокомпонентов; изменение качества подземных вод по сезонам года; степень агрессивности их по отношению к бетону и металлу.


ДТП ГНПОПЭ «Казмеханобр»

Заказ № 26

Таблица - Результаты полного химического анализа проб воды, отобранных в I квартале 2013 г. в районе расположения АО «АК Алтыналмас»

№ п/п	№ пробы	Место отбора пробы	Содержание, мг/лм ³																			
			pH	SO ₄	Cl	F	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Fe ^{общ}	NH ₄	XПК	Mn	As	Cu	Ni	Co	Zn	Cd	Pb	Au	Взв. в-ва	Сухой остаток
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	13286	Скважина 21-н	8,10	762,1	320,1	<0,01	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	н/обн	0,20	0,002	0,01	0,01	<0,05	<0,05	0,001	0,02	<0,05	115,6	1814,0
2	13288	Скважина 25-н	7,70	78,4	78,3	0,40	н/обн	24,2	24,2	6,20	3,9	0,19	<0,001	0,05	<0,05	0,10	0,10	0,001	0,02	<0,05	96,0	1070,0
3	13289	Скважина 29-н	7,60	405,4	38,2	0,58	н/обн	205,0	205,0	0,78	н/обн	0,30	<0,001	<0,05	<0,05	0,09	0,10	0,001	0,25	0,05	140,0	1089,0
4	13267	Карьер Дуван Шук	7,81	395,0	125,2	<0,01	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	н/обн	0,26	0,08	0,01	<0,05	<0,05	<0,05	0,001	0,03	<0,05	32,6	720,0
5	13296	Шахта Бескемгир	7,20	1216,0	214,3	1,96	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	н/обн	0,06	0,14	0,04	<0,05	0,08	0,07	0,001	0,10	<0,05	33,0	2205,4
6	13290	Ручей Кошкенбайсай (г. 1)	8,30	4063,9	2616,0	2,12	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	3,20	0,96	0,08	0,22	0,36	0,55	<0,05	0,001	0,80	0,23	90,0	11662,0
7	13291	Ручей Кошкенбайсай (г. 2)	8,10	3881,3	2783,2	1,52	н/обн	н/обн	н/обн	1,96	5,36	0,10	0,05	0,15	0,09	0,10	0,06	0,001	0,14	0,10	2138,0	10208,0
8	13292	Ручей Кошкенбайсай (г. 3)	11,70	4028,6	2783,2	1,52	н/обн	н/обн	н/обн	1,96	9,22	0,10	0,05	0,01	0,10	0,11	0,10	0,001	0,09	0,10	2305,6	12090,0
9	13280	Ручей Кошкенбайсай (г. 4)	8,50	4524,0	2713,6	4,24	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	16,8	0,89	0,05	0,05	0,41	0,43	<0,05	0,06	0,65	0,29	443,8	11864,0
10	13281	Ручей Кошкенбайсай (г. 5)	8,42	3324,9	2783,2	3,00	н/обн	н/обн	н/обн	0,36	3,10	0,35	0,03	0,09	0,06	0,25	0,17	0,001	0,13	0,10	155,8	10110,0
11	13270	Хвостонамнитие ЗИФ	8,25	2280,4	1106,2	2,00	н/обн	12,0	12,0	28,9	31,20	0,17	0,22	38,0	0,88	0,15	0,12	0,001	0,20	0,10	721,0	6020,0
12	13268	Карьер Саморолное	8,01	507,8	166,9	<0,01	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	0,40	0,18	0,12	0,01	<0,05	<0,05	<0,05	0,001	0,09	<0,05	118,6	908,0
13	13295	Шахта Акбай	7,10	2030,0	1840,2	1,80	н/обн	14,8	14,8	<0,01	н/обн	0,16	0,18	0,14	0,075	0,11	0,10	0,001	0,03	<0,05	147,4	6050,0
14	13297	Шахта Аксаал	7,60	1273,0	220,4	2,10	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	н/обн	0,08	0,14	<0,05	0,06	0,05	<0,05	0,001	0,025	<0,05	28,8	2390,4
15	13279	Сарьбулакское МПВ скв. 2455	8,00	215,0	62,0	0,98	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	н/обн	<0,05	<0,001	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,001	0,25	<0,05	20,0	520,0
16	13276	Бескемгирское МПВ скв. 2	7,65	513,9	152,3	1,35	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	12,2	0,06	0,001	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,001	0,02	<0,05	7,80	1050,0
17	13293	Скважина Г-1 (Кенжам)	8,50	1036,9	375,7	1,10	н/обн	11,0	11,0	2,80	5,60	0,18	0,001	0,02	0,09	0,09	<0,05	0,001	0,43	<0,05	171,4	3232,0
18	13294	Скважина Т-5 (Кенжам)	7,40	73,4	110,2	<0,01	н/обн	24,4	24,4	<0,01	28,4	0,30	0,01	0,20	0,05	0,075	0,08	0,001	0,20	<0,05	133,0	2100,0
19	13277	Скважина 11-н	7,65	299,4	90,0	1,80	н/обн	42,0	42,0	<0,01	н/обн	0,25	0,001	0,06	<0,05	0,10	<0,05	0,001	0,25	<0,05	320,0	652,0
20	13271	Скважина 355	6,20	1625,3	202,4	0,96	н/обн	36,2	36,2	<0,01	0,86	0,25	0,001	0,08	0,06	0,012	0,05	0,001	0,11	<0,05	170,2	2580,0
21	13274	Скважина 383 («Светлякское»)	7,70	81,0	296,0	<0,01	н/обн	28,0	28,0	<0,01	0,24	0,30	<0,001	0,20	0,15	0,08	<0,05	0,001	0,02	<0,05	180,2	1805,0
22	13275	НТС Карьер «Светлякское»	8,60	311,9	139,2	<0,01	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	0,40	<0,05	0,040	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	0,001	<0,05	<0,05	48,2	780,0
23	13272	Руч. Андасай точка 1	7,65	1316,8	654,1	1,28	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	4,00	0,23	0,040	0,01	0,02	<0,05	<0,05	0,001	0,32	<0,05	83,4	3094,0
24	13273	Руч. Андасай точка 2	8,50	5115,8	6958,0	4,40	н/обн	н/обн	н/обн	1,12	3,46	0,15	0,002	0,08	0,20	0,15	0,07	0,07	0,20	0,16	156,2	19174,0
25	13278	Руч. Карашыгалы	8,25	3050,0	1350,0	3,00	н/обн	н/обн	н/обн	<0,01	н/обн	<0,05	<0,001	0,05	0,07	0,06	0,06	0,001	0,09	0,10	98,2	7230,0

Примечания: н/обн – не обнаружено.

Зав. химико-аналитической лабораторией, к.х.н. 

Г.П. Штреккер
02.04.2013 г.

Рисунок 23 – Химический состав подземных вод месторождения «Бескемгир»

По химическому составу подземные воды месторождения хлоридно-сульфатные натриевые с общей минерализацией, в восточном участке, 1,6-1,8 г/дм куб, в западном участке – 0,7-1,2 г/дм³. Превышение содержания компонентов по сравнению с ПДК наблюдается по фтору (до 2,3 мг/дм³), сульфатам (в весенне-осеннее время до 840 мг/м³), хлоридам (до 380 мг/дм³), общей жесткости – до 11,6 мг-экв/дм³ [34]. Химический состав подземных вод месторождения представлена на рис.23.

2.1.6 Оценка водопритоков в подземные горные выработки

При выполнении подготовительных работ к освоению месторождений при их вскрытии и разработке степень обводненности изменяется, так как начинают вступать в силу и затем действуют различные искусственные факторы. Для оценки обводненности горных выработок и прогноза ее изменения необходимо по возможности полнее учитывать и оценивать роль и значение каждого фактора, причем не только на данный момент, но в перспективе, с учетом возможных изменений их во времени [1].

Месторождение «Бескемпир» разрабатывается подземным способом на протяжении нескольких лет и естественный режим подземных вод в той или иной степени изменен в зависимости как от существующих природных условий, так и от действующих искусственных факторов. Новый режим подземных вод может характеризоваться определенными новыми закономерностями, поэтому требуется исследовательские работы на постоянной основе. В пределах шахтного поля не зависимо от изменения режима подземных вод не наблюдается прорывы воды в горные выработки или другие экстремальные явления. В пределах месторождения обводненность массива горных пород зависят от условия питания и разгрузки (дренирования) трещинных вод, поэтому режим обводнения месторождения и поступление воды в горные выработки всегда зависят от этих факторов. В периоды обильных атмосферных осадков и снеготаяния уровни, напоры и расходы подземных вод повышаются и увеличиваются притоки воды в горные выработки. В засушливые периоды года соответственно понижаются уровни, напоры и расходы подземных вод и уменьшаются их притоки в горные выработки.

Общий объем подземных вод в существующие горные выработки, отводимых с месторождения, равен их притоку к ним, это указывает на то, что приток воды к горным выработкам имеет более стационарный характер. Соответственно при разработке месторождения не производятся специальные осушительные меры при выполнении как подготовительных, так и эксплуатационных работ [59, 75].

Месторождение будет разрабатываться шахтой до глубины 300 м. Оценка водопритоков в подземные горные выработки производится применительно к схеме их отработки. Водопритоки определены следующими методами: аналитическим, балансовым и гидрогеологической аналогии.

Определение расчётных гидрогеологических параметров.

Наиболее обводненная часть разреза распространена до глубины 113 м. За величину мощности водоносного горизонта принята разница между глубиной зоны развития обводненной трещиноватости пород к статическим уровням подземных вод – 102 м.

Коэффициенты фильтрации (K), водопроницаемости (KH) и уровнепроницаемости (a_y). Фильтрационные свойства водовмещающих пород месторождения (коэффициенты фильтрации, водопроницаемости и уровнепроницаемости) определялись по данным одной пробной, 9-зональных откачек и водоотлива из шахты №2.

Результаты расчётов средних значений гидрогеологических параметров по данным пробных, зональных откачек и шахтного водоотлива приведено в таблице 11.

Таблица 11 – Гидрогеологические параметры

Виды откачек	Интервал опробования, м	Значение гидрогеологических параметров			Виды откачек
		K , м/сут	KH , м ² /сут	a_y , м/сут	
Пробные и зональные откачки	0-100	0,006	0,6	-	По формуле Дюпюи
	0-300	0,004	0,8	-	
Шахтный водоотлив	0-300	0,028	5,8	$5,7 \cdot 10^{-3}$	Графоаналитический

Для определения расчётных гидрогеологических параметров использованы материалы более длительного водоотлива из шахты №2, проводившегося при неустановившемся режиме фильтрации. В процессе шахтного водоотлива происходило постепенное снижение уровней подземных вод. Материалы шахтного водоотлива за период с августа 1982 г. по февраль 1983 г. (скв.533), с октября 1983 г. по май 1984 г. (скв. 21^Г) и с мая по июль 1984 г. (скв. 22^Г) обработаны способом временного прослеживания уровня подземных вод по 3 наблюдательным скважинам, расположенным в пределах шахтного поля.

Анализ графиков временного прослеживания при шахтном водоотливе показывает, что он характеризуется сложной формой с отрицательными и положительными аномалиями. Первый участок пологий в результате влияния эффекта "двойной пористости", второй - более крутой, отвечающий периоду квазистационарной фильтрации. Параметры определены по второму участку, отражающему осредненные фильтрационные свойства пород.

В расчёт принимаются средние значения параметров, подсчитанных способом временного прослеживания понижения по материалам шахтного водоотлива ($K = 0,028$ м/сут, $KH = 5,8$ м²/сут, $a_y = 5,7 \cdot 10^{-3}$ м²/сут).

2.1.7 Прогноз водопритоков в горные выработки

Согласно ТЭО постоянных кондиций разработка месторождения предусматривается подземными горными выработками. Вскрытие месторождения будет осуществляться вертикальными стволами шахт сечением 29,9 м², в лежащем боку вне зоны сдвижения пород. Высота этажа принята равной 60 и 80 м, эксплуатационные горизонты сечением 9 и 12 м² проходятся на отметках 430, 370, 310, 250 и 180 м. Срок разработки месторождения «Бескемпир» до 2029 г.

Расчёт водопритоков в систему горизонтальных подземных горных выработок аналитическим методом [34]. В результате шахтного водоотлива за период 1982-85 гг. вокруг шахтного поля образовалась линейно-вытянутая в субширотном направлении воронка депрессии, обусловленная конфигурацией горизонтальных подземных горных выработок. Над выработанным пространством с зоной обрушения произошло осушение пород. В связи с этим водоприток в систему горных выработок рассчитывается по формуле

Естественные ресурсы рассчитывались по модулю подземного стока, определенному по результатам воднобалансовых исследований, проведенных в районе месторождения отрядом КазУГКС в 1975-79 гг.

Расчётный срок отработки месторождения составляет 40 лет. Учитывая, что месторождение вскрыто разведочной шахтой с системой подземных горных выработок и осушено на глубину 260 м, из расчёта среднегодового понижения горных работ на 40 м, для проходки 15 км горных выработок потребуется 6,3 года.

Расчёт водопритоков в ствол шахты [34]. Как отмечалось в разделе выше максимальный водоприток в ствол разведочной шахты 2 глубиной 265 м составил 2,0 м³/час.

Для сравнения отметим, что водопритоки в ствол шахты месторождения «Акбакай» на глубине 260 м составил 2,5 м³/час, что указывает на надежность прогноза.

Величины общих водопритоков в систему горизонтальных подземных выработок, рассчитанными различными методами, сведены в таблицу 12.

Таблица 12– Расчеты водопритоков

Глубина выработки	Аналитический метод		Балансовый метод		Метод гидрогеологической аналогии	
	л/с	м ³ /ч	л/с	м ³ /ч	л/с	м ³ /ч
300	6,8	24,6	6,7	24	7,1	25,5

Как видно из табл. 12 водопритоки найденные различными методами совпадают. Для проектирования водоотливного хозяйства рекомендуются максимальные водопритоки, подсчитанные методом гидрогеологической аналогии – 25,5 м³/ч или 7,1 л/с.

2.1.8 Защита шахтного поля от обводнения

По результатам изучения подземных вод месторождения «Бескемпир» видны те проблемы, с которыми обычно имеет дело горная практика при добыче полезных ископаемых. Они определяются геологическим строением месторождения, водопроницаемостью и водообильностью горных пород, условиями питания подземных вод и целыми рядами техногенных факторов [99].

Воды трещинного типа. Фактический водоприток в подземные выработки при составляет от 15-20м³/час. Месторождение Бескемпир по степени обводненности относится к слабо обводненным в соответствии с классификацией М.В. Сыроватко (таблице 13).

Таблица 13 – Классификация месторождений твердых полезных ископаемых, шахтных и карьерных полей по степени обводненности (по М.В. Сыроватко)

Показатели общей обводненности месторождений	Степень обводненности месторождений			
	Весьма обводненные	Обводненные	Умеренно обводненные	Слабо обводненные
Суммарный приток воды, м ³ /ч	более 1000	1000-300	300-100	Менее 100
Удельный приток воды, л/(ч*м ²)	более 4	4-0,4	0,4-0,05	Менее 0,05
Коэффициент водообильности, м ³ /т	более 25	25-8	8-3	Менее 3
Коэффициент фильтрации горных пород, м/сут	более 100	100-5	5-0,05	Менее 0,05

С повышением сложности гидрогеологических условий, степени обводненности месторождений, как правило, повышается и сложность их инженерно-геологических условий в целом. Однако из этого правила могут быть и исключения. Часто не степень водообильности горизонтов и комплексов горных пород определяет сложность инженерно-геологических условий, а сам факт поступления воды - малые притоки, течи и капез, так как увлажнение горных пород сказывается на изменении их свойств (размокание, набухание, снижение прочности и др.) и соответственно на нарушении устойчивости горных пород и горных выработок. Возникающие при этом их деформации создают трудности и угрозу нормальному ведению горных работ и их безопасности. Следовательно, оценка обводненности месторождений, шахтных и карьерных полей должна быть всесторонне обоснованной, как качественной, так и количественной, направленной на прогноз развития неблагоприятных и опасных геологических процессов [1].

В пределах месторождений поступление воды (течи и капежи) наблюдается в зонах тектонических нарушений, именно на таких участках часто проявляются инженерно-геологические явления (вывалы, обрушение горных пород, деформация), так как свойства массива горных пород подвергается к изменению за счет взаимодействия с водой.

При определении эффективных мер защиты необходимо иметь обоснованные данные, определяющие роль каждого водоносного горизонта и комплекса в обводнении месторождения в целом и отдельных его горизонтов по глубине, в развитии геологических процессов и влияния на устойчивость горных выработок, так же как и данные о роли гидрогеологических и климатических факторов во всех этих явлениях [1].

Таблица 14 – Мероприятия по защите шахты от обводнения

№ п/п	Наименование мероприятий	Необходимые материалы, оборудование и техника	Ответственные за исполнение
1	Ревизия имеющиеся насыпи на поверхности, отводящие воду от траншеи Бескемпир блоковых восстающих (шурфов) имеющие сбойки на поверхность. При необходимости слабые участки спецтехникой обваловать.	Погрузчик Хитачи – 1ед. Автосамосвал САМС- 1ед.	Начальник участка Бескемпир
2	Вент. восст. № 122 и главного вентилятора ВО-24К №2 ГВУ и НТС-3 по участку Бескемпир произвести обваловку на поверхности и прокапать водосточную канаву.	Погрузчик Хитачи – 1ед. Автосамосвал САМС- 1ед.	Начальник участка Бескемпир
3	РЭШ-2 насосная главного водоотлива Гор 260м ревизия и ремонт насосов ЦНС-180/340 №1, №2 и №3.	Комплект слесарных ключей, паронит, солидол, сальниковая набивка.	Начальник участка подъема и водоотлива
4	РЭШ-2 насосная главного водоотлива Гор 260м ревизия запорной арматуры.	Комплект слесарных ключей, паронит, солидол, сальниковая набивка.	Начальник участка подъема и водоотлива
5	РЭШ-2 насосная главного водоотлива Гор 260м подготовка резервного насоса ЦНС-180/340 №4.	Комплект слесарных ключей, паронит, солидол, сальниковая набивка.	Начальник участка подъема и водоотлива
6	Участок Бескемпир РАМП-1,2,4 ревизия, ремонт насоса ЦНС-60/250 – 3ед., К-100 – 3ед. Флайт -2ед.	Подшипник 309. Солидол. Полумуфта. Набивка сальниковая. Обратный клапан. болты, гайки, граверные шайбы.	Начальник УО и РПО

По изучению гидрогеологических условий месторождения видно, что в обводнение шахтного поля участвуют в умеренном количестве трещинные (подземные) и атмосферные (сезонные дождевые) и талые воды. В этой связи на месторождении в каждом конкретном случае осуществляется комплекс целесообразных работ и мероприятий по защите шахтного поля.

В шахтном поле месторождения «Бескемпир» для защиты от вредного влияния подземных вод выполняется следующие виды работ:

- организация отвода стекающей воды – проходка выработок осуществляется с траншеей (в основном разведочные выработки);

- непосредственная откачка воды из подземных горных выработок в основном при проходке капитальных и подготовительных выработок. Откаченные воды собираются в специальную выработку, служащую как водосборник. Данная выработка расположена на гор.260 м у ствола «РЭШ-2» и оборудована водоотливной установкой, состоящих из двух насосных станций. (одна из них является резервной).

В таблице 14 приведены профилактические мероприятия по защите шахтного поля от обводнения, которые осуществляются на постоянной основе с указанием ответственных лиц.

Максимальные расчётные водопритоки в подземные горные выработки в количестве 25,5 м³/ч формируются за счёт инфильтрации атмосферных осадков, которые подземным стоком будут поступать в горные выработки. Фактические же водопритоки в разведочные подземные выработки не превышают 11,4 м³/ч.

Н.И. Плотников по геологическому строению месторождений, определяющему их обводненность, условия проходки и характер водозащиты предложил четыре группы вне зоны мерзлоты. Характеристика гидрогеологических условий этих четырех групп месторождений приведена в таблице 15. и освоение месторождения «Бескемпир» с учетом особенностей подземных вод относится первой группе.

3 ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ОСНОВАМИ 3D МОДЕЛИРОВАНИЯ

Успешность восполнения минерально-сырьевой базы страны требует современного и комплексного подхода к освоению месторождений полезных ископаемых. В этой связи большую роль играет безопасность, рациональность и эффективность отработки рудных тел в недрах и обеспечение охраны геологической среды [14], а они в свою очередь определяются только с оценкой ИГУ МПИ.

Полноценность и самодостаточность изучения массива горных пород для оценки ИГУ МПИ достигается в том случае, если инженерно-геологические исследования синхронизированы с геолого-эксплуатационными разведочными работами на этапах разведки и освоения месторождения. В этой связи автор параллельно с геологическим сопровождением горных работ проводил инженерно-геологические исследования в шахтном поле на разрабатываемом тонкожильном золоторудном месторождении «Бескемпир». Исследования состояли из следующих этапов:

1. Изучение важнейших характеристик горных пород;
2. Методы полевых опытных работ по определению значений инженерно-геологических параметров;
3. Создание 3D модели пространственной изменчивости ИГУ.

В рамках диссертационной работы были полностью изучены основные элементы структурно-геологического строения месторождения «Бескемпир». Из них глубже исследованы: структурно-тектонические особенности; условия залегания, состав и строение, физико-механические свойства, выветрелость и трещиноватость [13] горных пород. Эти элементы в инженерно-геологическом аспекте имеют огромную практическую значимость для определения анизотропию массива горных пород в пространстве, которая является основным показателем при оценке ИГУ МПИ. Предложенный метод объединяет методы, основанные на математической обработке количественной информации о различных инженерно-геологических процессах и явлениях, свойствах и состоянии горных пород и др., соответственно имеет огромное преимущество в отличие от традиционного подхода изучения ИГУ, благодаря интенсивному использованию инновационных компьютерных технологий для решения различных инженерно-геологических задач в режиме реального времени.

3.1 Изучение важнейших характеристик горных пород

Горные породы – среда для подземных горных работ и сооружения при разработке месторождений. Под геологической средой по Е.М. Сергееву следует понимать, что горными породами верхней литосферы и почвами, рассматриваемыми как сложные системы под воздействиями человека (включая инженерное строительство), происходят трансформации природных

геологических процессов. Это ведет к появлению новых антропогенных явлений, существенно влияющих на инженерно-геологические условия местности [22].

В горном деле породы рассматриваются главным образом как среда, в которой производятся горные работы (проведение, крепление и поддержание выработок, а также выемка полезного ископаемого) и строятся различные сооружения (шахтные стволы, подземные капитальные, подготовительные, очистные и дренажные выработки...) [22].

В данном разделе приведены инженерно-геологические особенности горных пород золоторудного месторождения «Бескемпир». В результате инженерно-геологических исследований пород, слагающих массив [16, 66] месторождения, были выделены две их группы: вмещающие породы (магматические интрузивные) и породы, слагающие полезное ископаемое (метасоматические и др.). А также результаты исследования вещественного (минерального) состава, структурно-текстурных особенностей и физико-механических свойств.

Петрографические разности месторождения «Бескемпир», слагающие массив горных пород являются одной из характеристик геологического строения, определяющих особенности физических и механических свойств, устойчивость массива в подземных горных выработках. На месторождении «Бескемпир» массив горных пород представляет собой сложную среду, характеризующуюся различными свойствами и состояниями, также является не сплошной (дискретной), неоднородной и анизотропной. Горные породы, слагающие массив месторождения представлены определенным петрографическим составом.

С целью получения нужных данных об инженерно-геологических особенностях горных пород (вмещающих и слагающих рудное тело) автором проводились работы в двух этапах: в полевых условиях; в лабораторных.

1-этап. Изучение горных пород керна скважин [89] (пробурены в 180-горизонте для изучения лежащего и висячего боков рудных жил) в кернохранилище геологической службы на поверхности рудника «Бескемпир». На этом этапе работ были более подробно изучены важнейшие характеристики горных пород на макроуровне. Так же автором отобраны образцы горных пород для детальных петрографических исследований в лабораторных условиях.

2-этап. Лабораторные исследования образцов в инновационно-научно-исследовательской лаборатории университета. Исследованы состав, структура, текстура и микротрещиноватость пород, в т. ч. проводилось детальное изучение шлифов и аншлифов (изготовленных автором в шлифовальной мастерской Satbayev University). Описание шлифов и аншлифов проводилось с помощью оптического микроскопа в проходящем и отраженном свете с фотодокументацией.

По результатам инженерно-геологических исследований диссертантом установлено, что горные породы месторождения «Бескемпир» согласно классификации Ф.П. Саваренского относятся в основном в первую группу, а в

местах ослабленных зон во вторую. Данная инженерно-геологическая классификация горных пород представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Инженерно-геологическая классификация горных пород (по Ф.П. Саваренскому, с изменениями и дополнениями В.Д. Ломтадзе)

Группа горных пород	Генетический тип		
	Магматические		
	Глубинные интрузивные	Полуглубинные и жильные	Излившиеся эффузивные
I-группа Скальные	Граниты, сиениты, гранодиориты, диориты, габбро	Гранит-порфиры, сиенит-порфиры, гранодиорит-порфиры, диорит-порфиры, габбро-порфириты	Кварцевые и бескварцевые порфиры и порфириты, диабазы, липариты, трахиты, дациты, андезиты, базальты
II-группа Полускальные	Выветрелые, сильнотрещиноватые и закарстованные породы I группы, имеющие пониженные показатели физико-механических свойств		
III-группа Рыхлые несвязные	-		
IV-группа Мягкие связные	-		
V-группа Породы особого состава, состояния и свойств	Мерзлые породы, резко изменяющие прочность, деформируемость и устойчивость при оттаивании		

3.1.1 Петрографический состав горных пород

На месторождении «Бескемпир» с использованием петрографических методов детально исследованы минеральный состав, текстура и структура горных пород.

Минеральный состав горных пород во многом определяет их свойства, плотность, влагоемкость, твердость, прочность, деформируемость, устойчивость. Свойства минералов зависят от химического состава, структуры кристаллической решетки и характера связи между атомами, молекулами и ионами. Устойчивость минералов определяется суммарной энергией и строением их кристаллической решетки. Например, наиболее устойчивый против выветривания из породообразующих минералов кварц, за ним следуют мусковит, ортоклаз, кислые плагиоклазы, амфиболы, пироксены, а к наиболее неустойчивым относятся основные плагиоклазы, биотит, гипс. Если оценивать водоустойчивость горных пород, то здесь большое значение приобретают растворимые в воде минералы (кальцит, гипс, галит), а также глинистые минералы, которые адсорбируют большое количество влаги [22].

В таблицах 17-18 приведены сведения о некоторых характеристиках свойств основных породообразующих минералов и данных по коэффициенту трения пластинок из различных минералов.

Таблица 17 – Свойства основных породообразующих минералов по Б.П. Беликову [22]

Минералы	Модуль упругости, 10^{-4} МПа	Модуль сдвига, 10^{-4} Мпа	Модуль объемного сжатия, 10^{-4} Мпа	Коэффициент Пуассона	Скорость распространения упругих волн, км/с	
					продольных	поперечных
Кварц	9,6	4,4	3,7	0,09	6,1	4,1
Ортоклаз	6,3	2,4	5,2	0,29	5,7	3,1
Микроклин	7,5	2,9	5,6	0,28	6,1	3,4
Плагиоклаз	7,8	3,2	6,6	0,28	6,3	3,5
Слюды	7,1	2,8	5,2	0,28	5,6	3,1
Нефелин	7,4	2,9	4,9	0,24	5,8	3,4
Амфиболы	12,5	5	9,9	0,25	6,9	4
Пироксены	14,4	5,8	9,5	0,24	7,3	4,3
Оливин	21,7	8,7	13,1	0,24	8,8	5
Гранат	24,3	9,6	14,5	0,27	8,7	4,3
Кальцит	8,5	3,3	7,2	0,28	6,3	3,5

Таблица 18 – Коэффициент трения пластинок из различных минералов (Х.М. Хорн) [22]

Минералы	Пластины	
	сухие	смоченные
Кварц	0,11-0,16	0,42-0,51
Микроклин	0,13	0,76
Мусковит	0,30-0,36	0,22-0,26
Биотит	0,26	0,13
Хлорит	0,35	0,22
Тальк	0,24	0,14
Кальцит	0,14-0,21	0,60-0,68

При инженерно-геологических исследованиях горных пород определенное значение имеют их текстурно-структурные особенности, которые играют неодинаковую роль в формировании и изменении свойств пород разного генезиса [18, 29].

Структура породы, как известно, определяется формой, размерами и относительным количественным содержанием отдельных ее компонентов...Текстура пород рассматривается как признак условий их формирования и показатель анизотропности свойств. Она отражает

особенностей строения пород, т. е. взаимное пространственное расположение основных компонентов [22].

В результате исследований петрографических характеристик среди пород месторождения «Бескемпир» были определены три различные по генезису группы – минералы гидротермального происхождения (кварц), магматические интрузивные (гранодиориты и лампрофировые дайки) и метасоматические (березиты) породы. Эти группы представляют горные породы, вмещающие и слагающие рудных тел. Ниже дано их подробное описание.

Рудовмещающие горные породы. На месторождении «Бескемпир» вмещающие породы – гранодиориты, являющиеся интрузивными кислыми горными породами, промежуточные по составу между гранитами и диоритами. Они состоят из калиевого полевого шпата (10-20%), преобладающего над ним плагиоклаза (30-60%), кварца (15-25%) цветных минералов (8-25%) и в незначительном количестве рудных минералов (до 1%).

Текстура пород неоднородная, массивная. Структура пород полнокристаллическая, среднезернистая иногда неравномернозернистая (мелко-среднезернистая). Порода с неравномерным распределением роговой обманки в основном среднезернистой массе, сложенной серым плагиоклазом, кварцем, полевым шпатом, и биотитом. Изученные образцы гранодиорита представлены на рис 24.

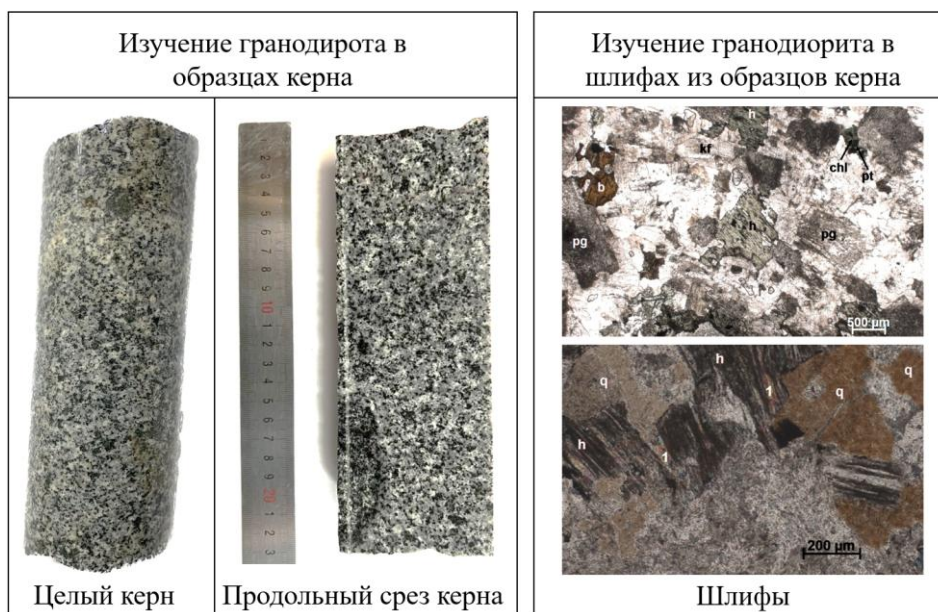


Рисунок 24 – Макро- и микростроение гранодиоритов.

Минеральный состав гранодиоритов на месторождении «Бескемпир» представлен в следующем порядке: основные породообразующие минералы плагиоклаз, кварц, биотит, роговая обманка, в отдельных образцах присутствуют калиевый полевой шпат и моноклинный пироксен; акцессорные минералы – сфен, апатит и циркон; среди вторичных минералов преобладают хлорит, эпидот, низкотемпературный мусковит (серицит), низкотемпературный амфибол, глинистые и карбонатные минералы; рудные минералы.

Первичные минералы в различной степени замещены вторичными новообразованиями. Плаггиоклазы и калиевые полевые шпаты пелитизированы, в отдельных образцах по ним развиваются серицит и карбонатные минералы. По биотиту нередко развиваются низкотемпературный мусковит, а также эпидот, хлорит и рудные минералы. Роговая обманка часто замещена низкотемпературным амфиболом. По моноклинному пироксену развиваются хлорит, карбонаты и эпидот.

Структура гипидиоморфнозернистая (рис 24.).

Горные породы, слагающие полезное ископаемое. Месторождение «Бескемпир» по формационной принадлежности относится к золото-сульфидно-кварцевой формации или к золото-кварцевой умеренно сульфидной формации (Н.В. Петровская) Соответственно рудные жилы месторождения слагают кварц, березит и лампрофировые дайки.

Лампрофировые дайки залегают в контактах рудных тел, представленных жилами кварц-березитового или существенно березитового состава. Реже сами дайки являются окварцованными и оруденелыми.

Лампрофир (от английского lamprophyre и от греч. lampros - блестящий и порфир) – группа жильных основных и ультраосновных горных пород, которые отличаются большим разнообразием. В настоящее время не существует петрохимических критериев отличия лампрофиров от пород других групп. Деление внутри семейства лампрофиров производится по минералого-петрографическим принципам.

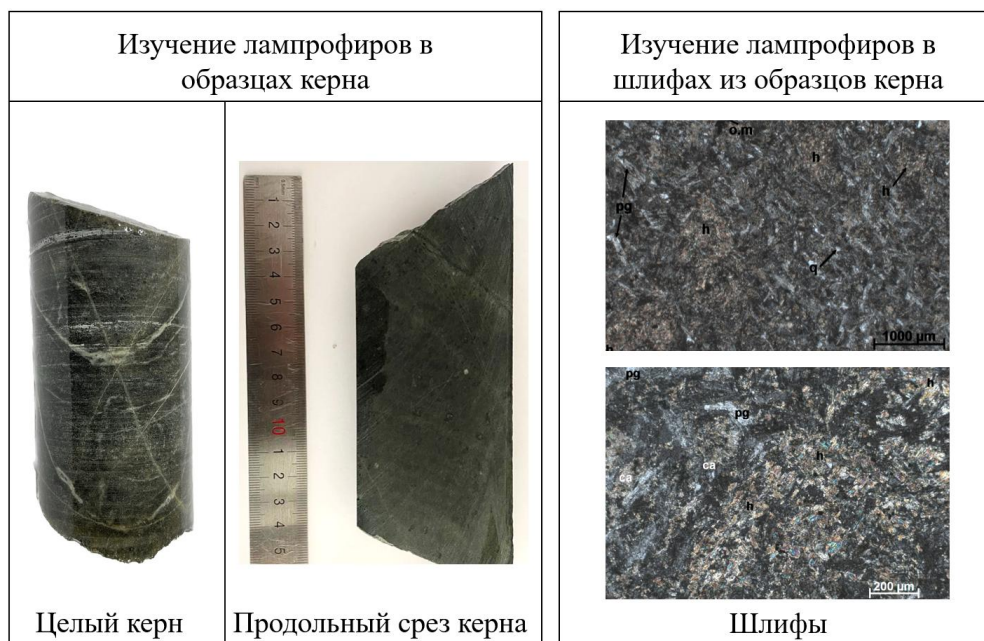


Рисунок 25 – Макро- и микростроение лампрофиров.

Образец лампрофировых даек, представленных спессартитом показан на рисунке 25.

Микрохарактеристика лампрофировых даек выглядит следующим образом: зелено-бурая роговая обманка и основной плаггиоклаз; аксессуарный

магнетит. По составу и структуре порода близка к роговообманковому габбро (рис. 25).

Березиты – метасоматические породы. Березитизация представляет собой один из самых распространенных типов околожильных преобразований и известна для месторождений золота серебра, полиметаллов и др. В частности, березиты рассматриваются как типоморфная метасоматическая формация для золотых руд. Березиты являются низко-среднетемпературными метасоматитами ($T = 200\div 400\text{ }^{\circ}\text{C}$), образующимися в результате кислотного метасоматоза (рН 4-5) по кислым и средним магматическим, терригенным породам и продуктам их метаморфизма. Основными минералами являются серицит (мусковит), кварц, карбонаты и пирит.

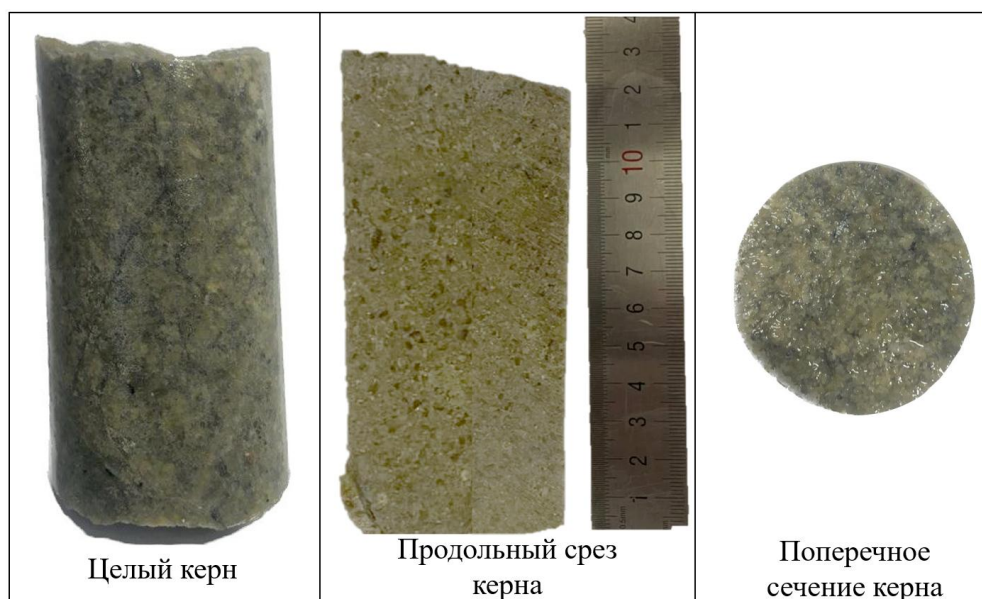


Рисунок 26 – Образец березита.

Метасоматиты месторождения «Бескемпир». Березиты образованы по гранитоидам. Первичные породообразующие минералы гранитоидов – плагиоклаз, кварц, биотит, калиево-натриевый полевой шпат, которые под воздействием гидротермальных растворов разлагаются и замещаются вторичными новообразованиями. Среди вторичных минералов преобладают серицит, мусковит и кварц, в меньшем количестве присутствуют карбонатный минерал ряда «доломит-анкерит» и хлорит. Мусковит образует крупные вкрапленники размером до 3 мм. Серицит псевдоморфно замещает первичные кристаллы в виде мелкочешуйчатых агрегатов. Метасоматический кварц развивается в виде мелкозернистых гранобластовых агрегатов, в которых встречаются крупные реликтовые кристаллы первичного кварца. Во многих образцах встречаются такие вторичные минералы как пирит, эпидот, сфен, апатит, рутил, гетит, лимонит. Содержание рудных минералов в образцах достигает 10 %. По структуре березиты являются неравномернотекстурными, тонко-мелкосреднезернистыми, порфиробластовыми; по текстуре – массивными. В березитах развиты трещины, развивающиеся в кристаллах

кварца и плагиоклаза. Эти трещины являются волосовидными и очень узкими, прямолинейными, прерывистыми. Также наблюдаются вторичные трещины тектонической природы и, возможно, трещины гидроразрыва. Они образуют три системы различных направлений по отношению к оси керна. Эти трещины прямолинейны по форме, различны по степени открытости (от волосовидных и очень узких до широких) и характеру разветвления (перистые, елочковидные), могут быть как прерывистыми, так и непрерывными. В составе заполнителя выделяются кварц, карбонатные и рудные минералы. Образец березита по гранодиориту представлен на рисунке 26.

Основную часть рудных жил на месторождении «Бескемпир» слагают кварц (рис 27), представленный в виде жил, прожилков выполнения и метасоматического кварца в березитах, серицитах, хлоритах, карбонатах. Кварц в пределах месторождения имеет несколько генерации образования: ранний кварц, слагающий основной объем жил и прожилков, для него характерно крупнозернистое сложение, дробленость, катаклаз; вторая генерация кварца развита в виде прожилков с полиметаллическими сульфидами, редко золотом; кварц третьей генерации отмечается совместно с кальцитом и антимонитом.

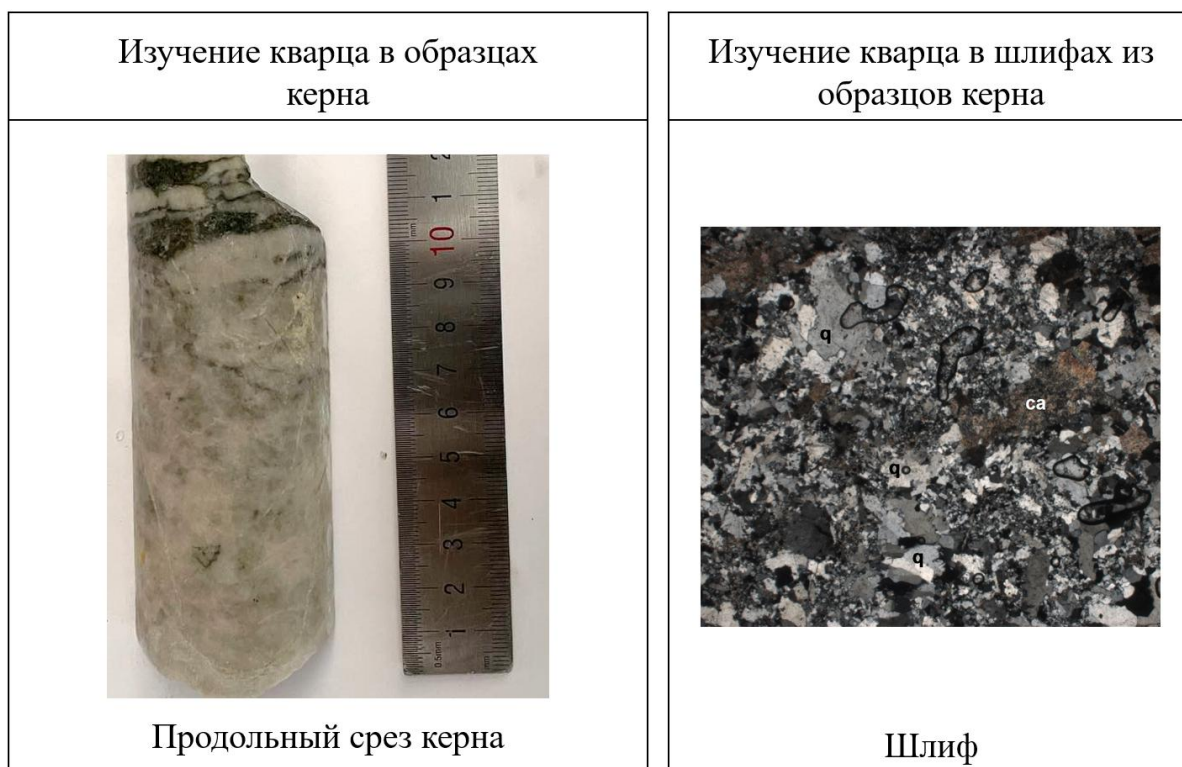


Рисунок 27 – Образец кварца.

Формирование месторождения происходило в несколько стадий, которым соответствуют следующие минеральные ассоциации:

1. Ранняя рудная стадия (гидротермально-метасоматическая, березитовая):
 - а) минеральная ассоциация кварц-арсенопирит-пиритовая с золотом;
 - б) ассоциация реликтовых акцессорных минералов.
2. Главная рудная стадия:

- а) золото-кварц-полиметаллическая ассоциация;
- б) минеральная ассоциация золото-блеклорудная (с теллуридами золота, сульфосолями висмута, серебра и продуктами их распада).

3. Позднерудная стадия:

Минеральная ассоциация кварц-кальцит-антимонитовая с золотом.

4. Гипергенная стадия:

минеральная ассоциация скородит-лимонитовая с золотом.

Каждая генерация кварца соответствует определенной стадии формирования месторождения.

По микроизучению образца (рис. 27) кварц имеет следующий характер: общий вид кварцевых зерен прозрачный, серовато полупрозрачный и темно-серовато непрозрачный. Наблюдается частичная микротрещиноватость с хаотичной ориентировкой по последним двум типам из вышеперечисленных. Местами имеются включения зерен кальцита.

Таблица 19 – Минеральный состав руд месторождения «Бескемпир»

Группы минералов	Минералы		
	главные	второстепенные	редкие
Первичные рудные	Пирит, арсенопирит, золото	Галенит, сфалерит, халькопирит, антимонит, магнетит, титаномагнетит, ильменит, рутил, лейкоксен	Пирротин, марказит, мельниковит, блеклая руда (теннантит), теллуриды золота (типа креннерита, калаверита), герсдорфит, сульфосоли висмута, серебра, висмутин, серебро самородное
Нерудные	Кварц, серицит	Кальцит, анкерит, сидерит, хлорит	Мусковит
Гипергенные	Лимонит, скородит	Халькозин, ковеллин, малахит	Борнит

Таблица 20 – Результаты фазового анализа руд месторождения «Бескемпир»

Характер нахождения золота	№№ проб по месторождению «Бескемпир»				Смесь руды Акбакай-Бескемпир № 25
	22	23	24	26	
Свободное	51,6	68,8	51,4	28,6	34,2
В сростках	24,2	20,8	31,4	44,3	36,0
В пустой породе (кварце)	4,85	1,3	2,6	1,4	0,9
В сульфидах	14,50	6,5	7,5	6,4	15,8
Покрытое пленкой	4,85	2,5	7,1	19,3	13,0

Изучение минерального состава полезного ископаемого играет ключевую роль как для оценки ИГУ МПИ, так и для оценки минеральных ресурсов, содержащихся в пределах месторождения [19, 33]. В табл. 19-20 представлены результаты исследования минерального состава руд месторождения «Бескемпир».

Результаты изучения аншлифов представлены на рис.28-37.

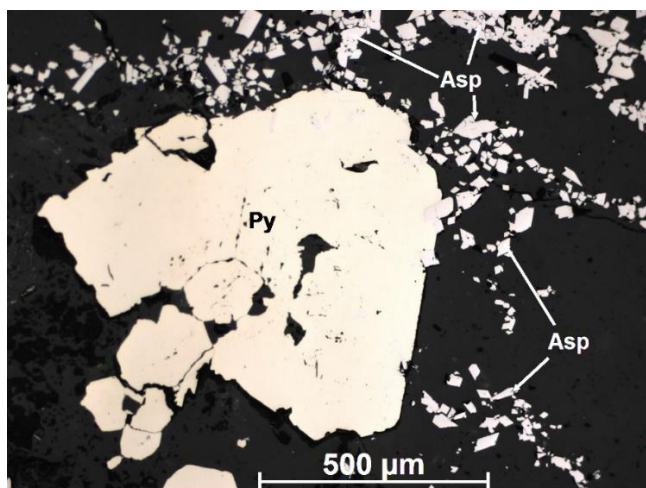


Рисунок 28 – Мелкозернистый арсенопирит (Asp) и редкий пирит (Py). Аншлиф 1.

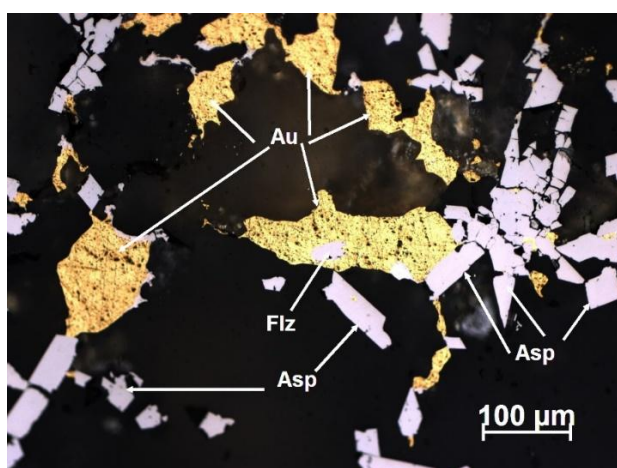


Рисунок 29 – Золото самородное (Au) в тесном срастании с арсенопиритом (Asp). Flz – блеклая руда в золотине. Аншлиф 1.

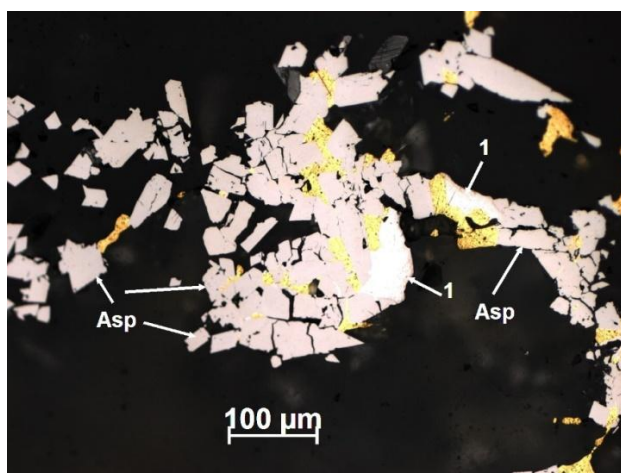


Рисунок 30 – Золото самородное (Au) цементирует зерна арсенопирита (Asp). 1 – теллурид золота. Аншлиф 1.

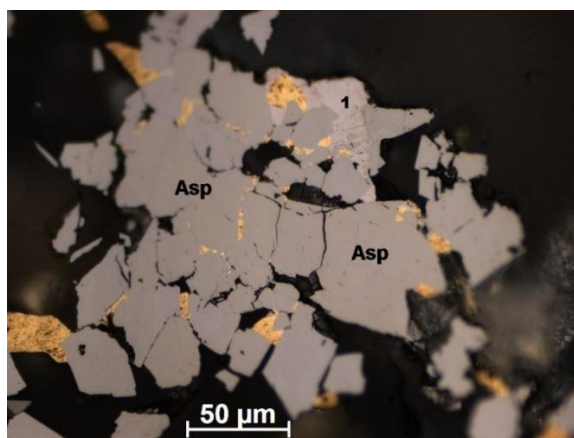


Рисунок 31 – Золото самородное (Au) цементирует зерна арсенопирита (Asp). 1 – теллурид золота. Аншлиф 1.

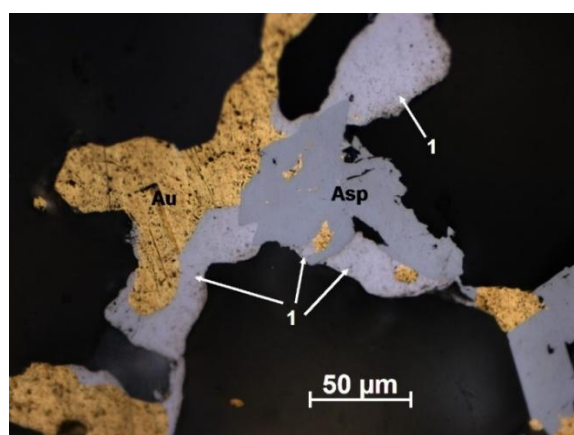


Рисунок 32 – Золото самородное (Au) в тесном срастании с арсенопиритом (Asp) и пеццитом (1). В арсенопирите (Asp) – мелкие включения золота. Аншлиф 1.

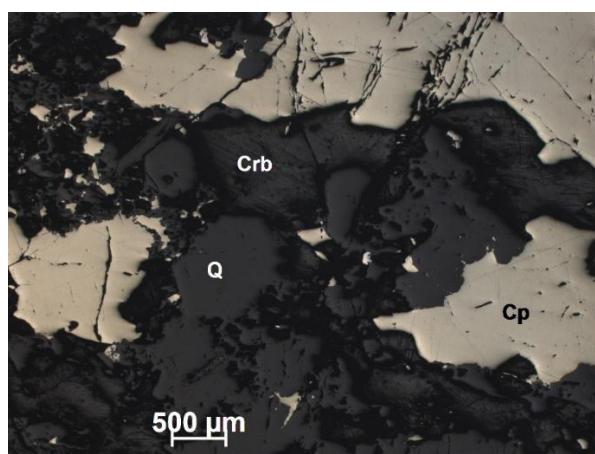


Рисунок 33 – Халькопирит (Cp) в тесном срастании с карбонатом в кварце. Crb –карбонат. Q –кварц. Аншлиф 2.

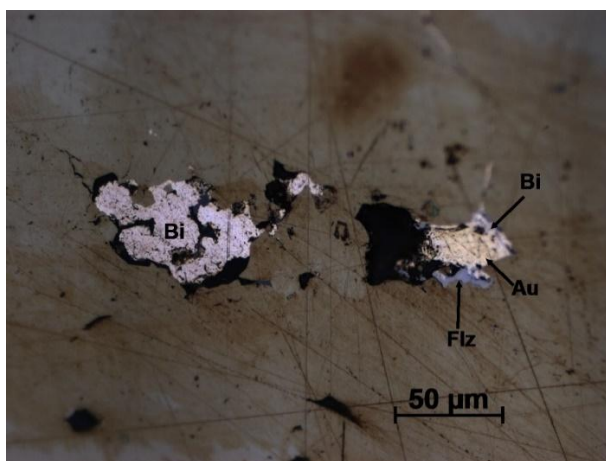


Рисунок 34 – Электрум (Au) в тесном сростании с блеклой рудой (Flz) и кюстелитом (Kt). Kt– кюстелит. Основной фон – халькопирит. Аншлиф 2.

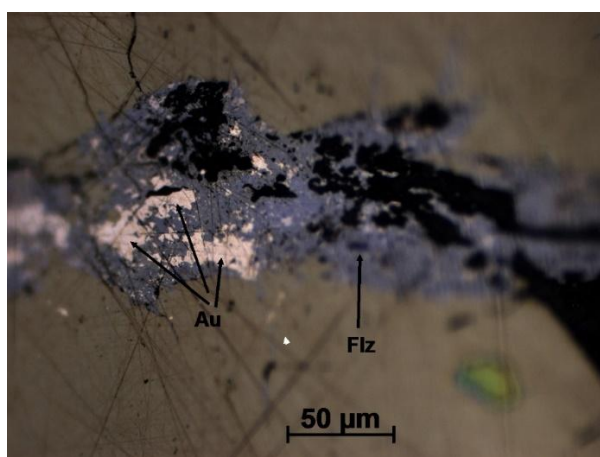


Рисунок 35 – Кюстелит (Au) – тонкая вкрапленность в прожилке блеклой руды (Flz). Основной фон – халькопирит. Аншлиф 2.

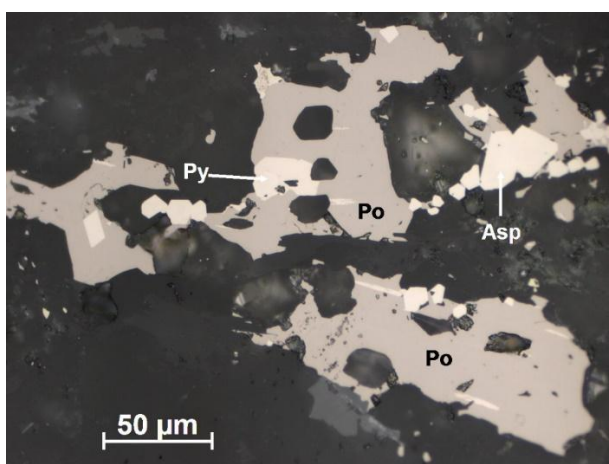


Рисунок 36 – Пирротин (Po) в сростании с пиритом (Py) и арсенопиритом (Asp) в массе метасоматита. Аншлиф 3.

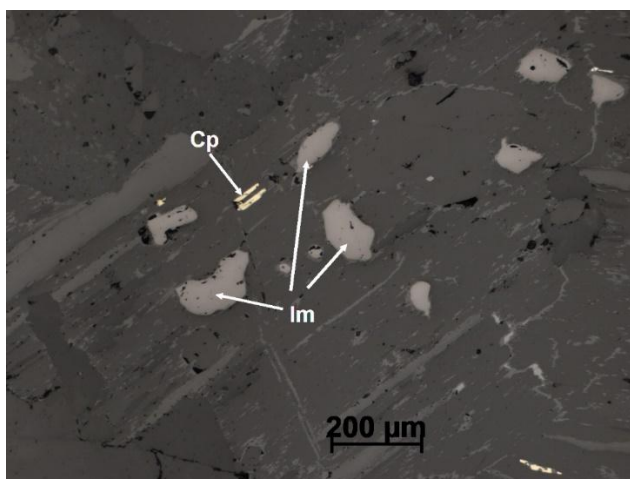


Рисунок 37 – Ильменит (Im) и халькопирит (Cp) в зерне хлоритизированной роговой обманки. Аншлиф 4.

3.1.2 Физико-механические свойства горных пород

Горные породы различного происхождения и петрографического состава, принимающие участие в геологическом строении МПИ, одновременно являются геологической средой, где осуществляются горные работы. Например, на месторождении «Бескемпир» горные породы являются геологической средой для проведения проходческих и очистных работ в подземных условиях и для горных выработок шахтного поля.

Изучение физико-механических характеристик горных пород имеет не только инженерное, но и общее геологическое значение. Эти исследования способствуют углублению геологических знаний о породах, поскольку показывают изменения, которые они пережили в ходе своего геологического развития под воздействием процессов выветривания, гравитационного и геохимического уплотнения, а также тектонических сил и других факторов. [32, 68].

В этом разделе подробно изучены физические и механические свойства пород. Их выражают и оценивают с помощью определенных показателей – характеристик, при помощи которых можно оценить наиболее важные особенности массива горных пород месторождения «Бескемпир».

Физические свойства характеризуют качественную определенность (физическое состояние) горных пород [71-74], проявляющуюся в различных параметрах в условиях естественного залегания. Породы месторождения «Бескемпир» являются представителями I и II групп горных пород. В этой связи из физических свойств были изучены наиболее важные.

Месторождение представлено двумя рудными телами: крутопадающим (65-75°) телом Сюрприз и наклонным (45°) телом Бескемпир. Они сложены кварцево-березитовыми жилами и иногда лампрофировыми дайками залегающими совместно. Вмещающие рудные тела породы – гранодиориты. Контакты жил с гранодиоритами и дайками в большинстве случаев четкие. Мощность рудных тел на разных глубинах колеблется в пределах 1.2-2.8 м, на

участке сопряжения двух жил составляет 3.8 м. В наклонной жиле Бескемпир имеются раздувы мощностью до 4-6 м.

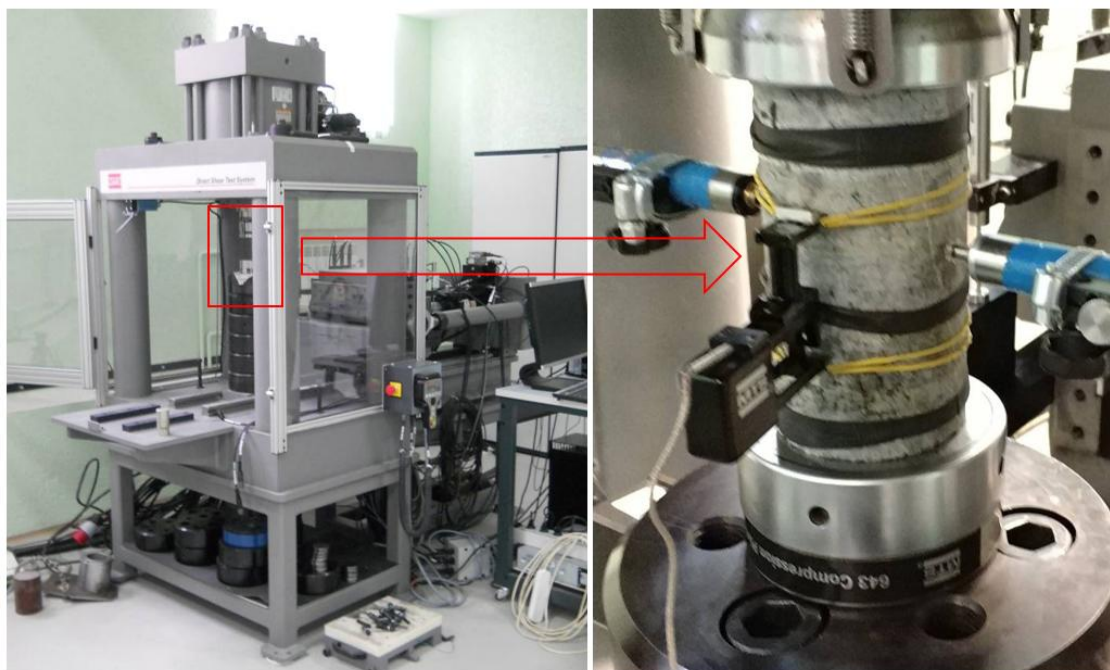


Рисунок 38 – а) Сервогидравлическая испытательная система MTS 816.
б) процесс испытания образца.

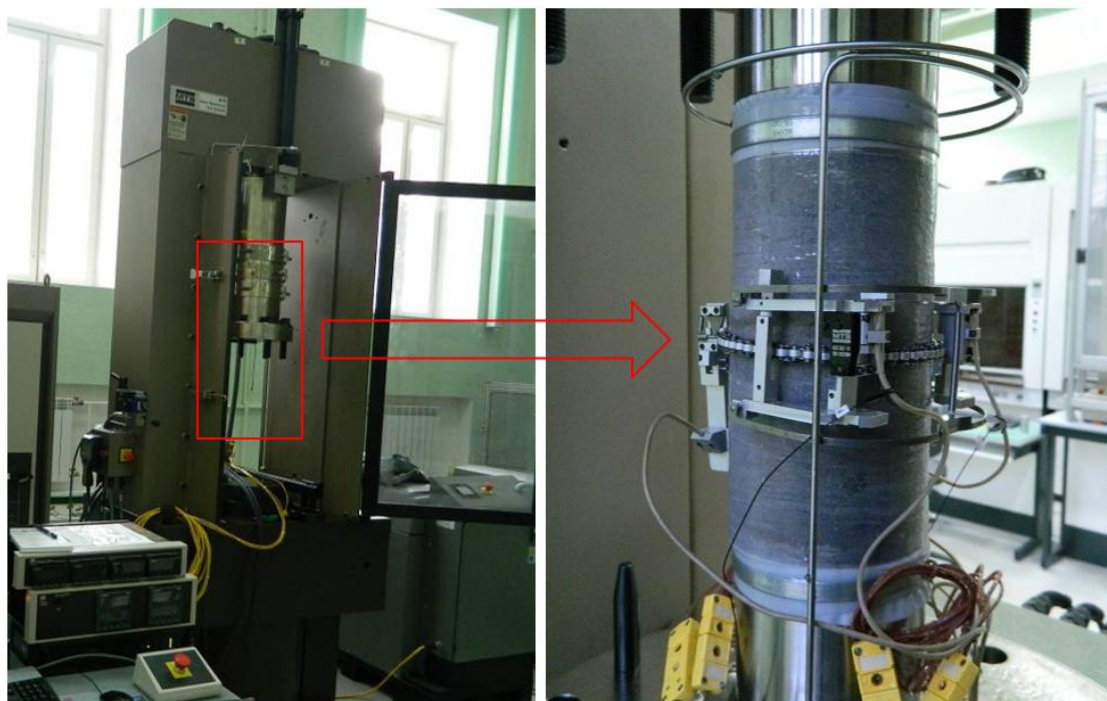


Рисунок 39 – а) Сервогидравлическая испытательная система MTS 815.
б) процесс испытания образца.

В этом разделе приведены результаты исследований физико-механических свойств горных пород и руд месторождения «Бескемпир» в лабораторных

условиях по стандартам International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering (ISRM). Исследования осуществлялись в 2020 г. компанией «Mining Research Group». Ниже на рисунках 38-39 представлены фрагменты испытаний образцов в современных приборах.

Полученные результаты испытаний представлены в табл. 21.

Таблица 21– Результаты определения предела прочности при одноосном растяжении

№ п/п	Номер образца	Интервал отбора, м	Литотип	Естественная плотность, г/см ³	Предел прочности при одноосном растяжении, МПа	
					частное	среднее
1	A_015	16,45-16,57	BER	2,648	14,41	14,46
2	A_017	6-6,08	GRD	2,650	14,46	
3	A_093	106,6-109,7	GRD	2,657	16,32	
4	A_093	106,6-109,7	GRD	2,618	14,41	
5	A_094	113,7-114	GRD	2,719	20,46	
6	A_096	122,9-123	GRD	2,706	14,43	
7	A_097	124-124,3	GRD	2,696	13,66	
8	A_099	130-130,1	GRD	2,723	13,01	
9	A_105	71,38-71,48	GRD	2,726	14,64	
10	A_106	83,12-83,41	GRD	2,696	15,21	
11	A-243	19-19,29	GRD	2,659	12,94	
12	A-246	46,18-46,37	GRD	2,729	14,81	

Результаты проведенных исследований показывают, что формирование физико-механических свойств горных пород и их изменчивость в пределах современных структур месторождения обусловлены тектоническими причинами. При инженерных расчетах устойчивых элементов горных выработок прочностные свойства рудовмещающих пород в пределах структур разрывных нарушений месторождения были обусловлены как отдельные домены при оценке ИГУ.

3.1.3 Физическое состояние горных пород

В результате последовательного воздействия различных геологических процессов горная порода определенного вещественного состава в определенной обстановке приобретает характерное природное физическое состояние, которое предопределяет ее поведение при взаимодействии с горными работами и сооружениями. Приобретенное состояние может быть изменено под влиянием техногенных факторов (иногда по специальной программе с целью улучшения условий строительства и эксплуатации или отвалообразования), и тогда можно говорить о степени и характере изменения естественного физического состояния тем или иным путем (буровзрывными работами,

отвалообразованием, осушением, уплотнением, цементацией, замораживанием, силикатизацией и другими средствами). Изучение и оценка существующего состояния и прогноз его изменения представляют большой практический интерес для характеристики поведения пород как среды для горных работ, а также как основание и материал для различных сооружений [22].

Физическое состояние скальных и полускальных пород в условиях месторождения «Бескемпир» характеризуется системой признаков, физических свойств, среди которых наиболее важными являются выветрелость и трещиноватость. Эти признаки (свойства) оцениваются количественными показателями, которые определяются в лабораторных и полевых условиях и дают возможность судить косвенно о наиболее важных особенностях пород: прочности, деформируемости, водопроницаемости, устойчивости (под воздействием воды, температуры и других агентов) и методах их исследования.

3.1.3.1 Выветривание горных пород

Рудовмещающие породы месторождения «Бескемпир» – гранодиориты. Они являются в различной степени выветрелыми. Выветрелость проявляется в первую очередь в изменении цвета породы, появлении гипергенных трещин, часто ожелезненных, и пелитизации полевых шпатов (рис. 40).

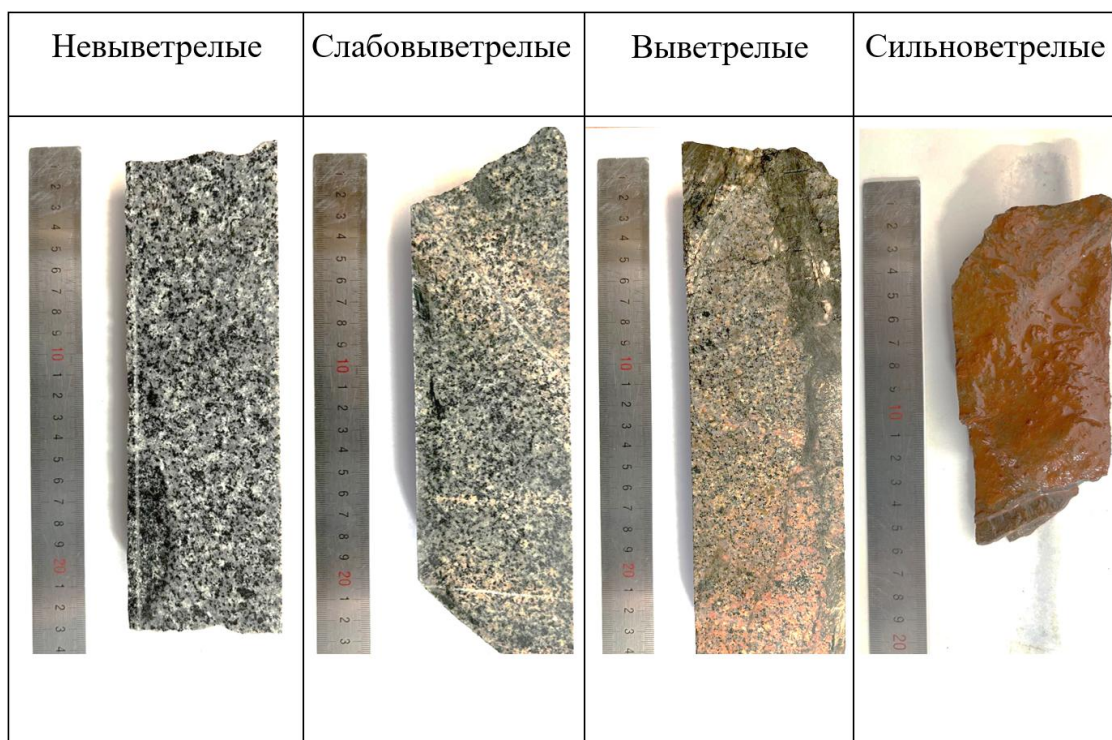


Рисунок 40 – Гранодиориты месторождения «Бескемпир» различной степени выветрелости.

Согласно классификации скальных и полускальных грунтов (по ГОСТ 25100-95) по коэффициенту выветрелости среди исследуемых гранодиоритов автором выделены следующие группы:

- невыветрелые;
- слабыветрелые;
- выветрелые;
- сильновыветрелые.

В результате изучения выветрелости горных пород месторождения и обработки инженерно-геологических параметров с использованием современных компьютерных технологий установлена связь между степенью выветрелости и прочностью горных пород, а также структурно-тектонической особенностью и устойчивостью массива. Подходы изучения выветрелости горных пород в полевых условиях приведены в разделе 2.2.

3.1.3.2 Трещиноватость массива горных пород

Горные породы обычно разбиты трещинами. Трещины нарушают сплошность массива горных пород и снижают его прочность. Изучение трещиноватости имеет большое практическое значение, так как она может играть при разработке месторождений полезных ископаемых как положительную, так и отрицательную роль. С одной стороны, трещины в горных породах значительно облегчают выемочные работы, способствуя отделению их от массива. При химическом укреплении трещины служат каналом для проникновения в нижние слои пород кровли реактивов, нагнетаемых с целью повышения их устойчивости. С другой стороны, трещины сильно снижают несущую способность поддерживающих целиков и устойчивость пород кровли, вызывая их обрушение в рабочее пространство очистных выработок. По трещинам происходит выделение газа в горные выработки, водопроявление и т. д. На рациональную и безопасную разработку месторождений влияет как интенсивность трещиноватости, так и ориентировка трещин [1] (рис. 41).

Изучение трещиноватости имеет огромное значение также при оценке инженерно-геологических условий эксплуатации МПИ, для выявления закономерности приуроченности оруденения к определенным типам трещин.

Трещины – это разрывы сплошности без перемещения. Совокупность трещин, нарушающих монолитность горных пород и тел полезных ископаемых, называется *трещиноватостью*. Трещины, имеющие одинаковую или близкую ориентировку, объединяются в одну группу и называются *системой трещин*. Трещины одной системы могут изменять ориентировку или ветвиться, но они не пересекаются. Обычно в горных породах развивается несколько систем трещин.

Отдельностью называются блоки и глыбы, на которые разделяются трещинами горные породы. Форма и размеры отдельности обуславливаются расположением трещин в пространстве. В массиве горных пород обычно

развиваются прямоугольная, параллелепipedная, призматическая, плитчатая, кубическая и глыбовая отдельности.

В горных породах выделяют две группы трещин [1]:

- природные, существовавшие в массиве до начала горных работ;
- техногенные, возникающие в результате проведения выработок.

Природные трещины делятся на петрогенетические, литогенетические, тектонические и выветривания [1].

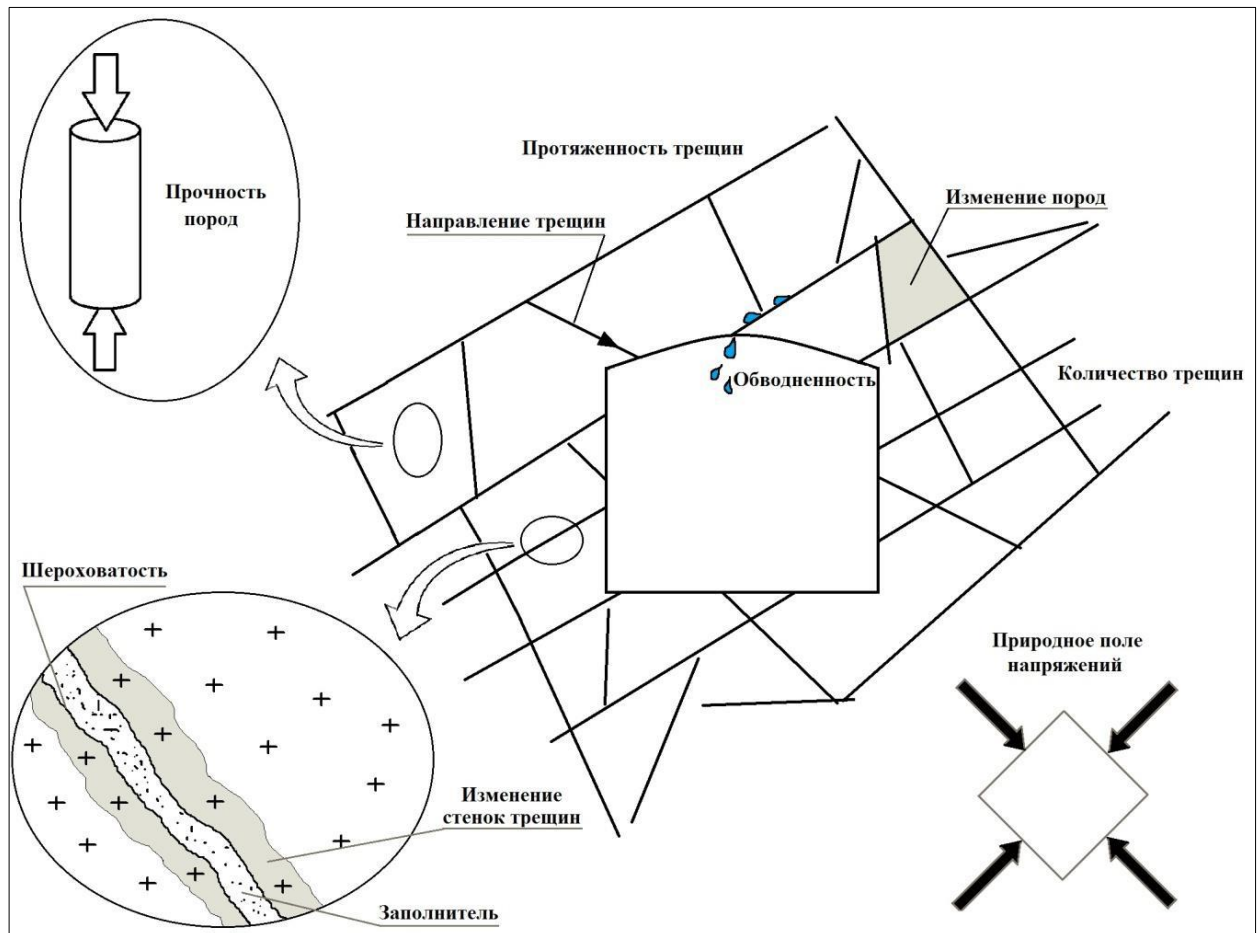


Рисунок 41 – Трещиноватость массива горных пород.

На месторождении «Бескемпир» развиты обе группы трещин. Из группы природные – тектонические трещины образуются под действием на горные породы сил сжатия и растяжения. В связи с этим они делятся на трещины скалывания и отрыва. Сколовые трещины в подземных условиях месторождения «Бескемпир» обычно гладкие с глиной трения, а трещины отрыва располагаются чаще на участках, где активно развиты тектонические нарушения.

Тектонические трещины формируются в зонах разрывных нарушений [38, 46, 109], что подчеркивает их генетическое единство. Интенсивность тектонических трещин определяется условиями залегания горных пород на конкретном участке месторождения.

Техногенные трещины на месторождении «Бескемпир» возникают в горных породах, образующих конструктивные элементы горных выработок (кровля, стенки, почва, поддерживающие целики и др.) и сильно снижают их устойчивость. Они чаще всего развиваются в очистных забоях, на сопряжениях различных выработок и называются трещинами горного давления. По своему характеру техногенные трещины [48, 55, 56, 64] (горного давления, взрывов и т. д.) являются трещинами отрыва, они обычно открытые, зияющие, поверхности их рваные, неровные и относительно свежие.

Изучение трещин в горных породах проводилось натурально-визуальным методом (рис. 42) в их естественных обнажениях и забоях горных выработок, а также по керну буровых скважин горным компасом и специальными угломерами. Наиболее распространенными техническими средствами визуального метода изучения трещиноватости являются горный компас, угломеры, измерительная лента и линейки.



Рисунок 42 – Натурально-визуальный метод изучения трещиноватости

Микротрещиноватость. По данным, полученным при макроописании трещиноватости и детальном изучении аншлифов под микроскопом, выделены две группы пород:

- с открытыми тектоническими и наложенными на них гипергенными трещинами;
- с закрытыми трещинами.

Среди закрытых трещин по генезису можно выделить тектонические и первичные петрогенетические. Тектонические трещины – волосовидные, без

заполнителя, очень узкие и узкие, заполненные кварцем, карбонатными, глинистыми и рудными минералами, прямолинейные и извилистые, ровные, прерывистые. Также во всех образцах присутствуют первичные трещины, развитые в кристаллах калиевого полевого шпата и плагиоклаза. Первичные трещины являются прямолинейными, волосовидными, прерывистыми.

3.2 Методы полевых опытных работ по определению инженерно-геологических параметров

Методы полевых опытных работ используются с целью изучения состояния и свойств горных пород и их можно оценивать количественными и качественными показателями [70, 107]. Значимость этих методов в последнее время неизмеримо возрастают, поскольку только на их основе можно оценить пространственную изменчивость инженерно-геологических параметров в пространстве, которая служит при проектировании различных сооружений горного предприятия и дает возможность принимать оптимальные и экономически наиболее выгодные инженерные решения. Изучение массива горных пород проводилось в соответствии с мировыми системами [65, 90, 108, 120].

Эти системы признаны международными сообществами [116, 118], таких как IAEG (International association for Engineering Geology) и ISSMGE (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering).

Инженерно-геологические исследования породного массива приняты выполнять и структурировать таким образом, чтобы обеспечить наличие всех данных в виде качественных и количественных показателей, необходимых для классификации породного массива указанным выше системам. В этой связи документация производилась по стенкам подземных горных выработок и керну с целью получения следующих инженерно-геологических параметров:

- интервал документации стенок подземных горных выработок и керна;
- показатель качества породы (RQD);
- состояние породы (выветрелость и изменение по сложенности и составу);
- обводненность породы;
- прочность ненарушенного материала;
- трещиноватость массива (количество систем, свойства и другие характеристики трещин);
- другие инженерно-геологические параметры.

Инженерно-геологические параметры горных пород в полевых условиях определяется в процессе изучения массива через документацию. Основной целью документирования является получение информации, которая может быть использована для определения свойств горных пород. Физико-механические свойства горных пород определяют поведение и реакцию горной массы, когда осуществляется проходка горных выработок по массиву. Данные, собранные в результате документирования представляют первостепенную важность в целях обеспечения данных для проектирования устойчивых параметров камер и целиков, оценивая обрушаемость всякого бока камеры и проектируя

крепление забоев и проходок. Поэтому крайне важно собрать информацию обо всех инженерно-геологических параметрах, которые влияют на прочность и характеристику горных пород. Данные параметры приведены на рисунке 43 и включают:

- прочность материала и оценку анизотропии;
- количество повреждений (открытые трещины, зацементированные трещины и разрывы/жилы);
- качество (прочность) повреждений;
- ориентировка и геометрия повреждений.

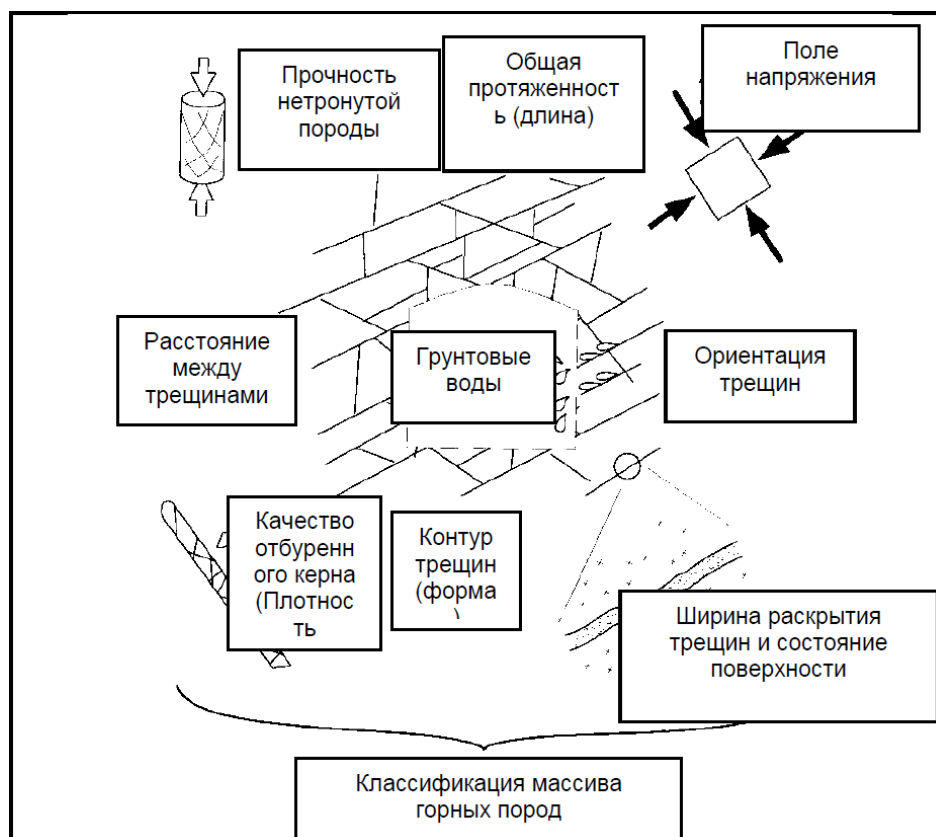


Рисунок 43 – Основные компоненты изучения горных пород.

Оценка представительных инженерных свойств горных пород (рис.43) возможно является очень сложной задачей [105]. Хотя были разработаны испытания на определение прочности, жесткости и прочих параметров лабораторных образцов, наиболее сложной задачей является оценка прочности и ожидаемое поведение горной массы в поле напряжения. К счастью, на сегодняшний день есть разработанные эмпирические методы (основанные на опыте применения) для определения прочности горной массы и следовательно оценки ИГУ МПИ для проектирования выемки в подземных условиях горных работ. При документировании в полевых условиях работ были учтены основные ниже аспекты.

3.2.1 Документация керна

В этом разделе приводятся этапы работ автора при документации керна буровых скважин, целью которых являются адекватно охарактеризовать инженерно-геологическое состояние массива под поверхностью земли. Сюда входит и оценка прочности массива, и попытка локализовать главные структурные дефекты, делящие общий массив горных пород на большие блоки, имеющие сходные инженерные свойства.

Документация керна имеет простые критерии, основанные на четких методах наблюдения и в соответствии с общепринятыми мировыми стандартами [114, 115, 117, 119], состоящих из следующих этапов:

Условия для проведения документирования.

Столы для документирования нового керна и повторного документирования старого в кернохранилище были достаточно длинными и вместительными, чтобы можно было свободно разместить 10 ящиков с керном. Стол для описания был хорошо освещен; рядом находился емкость с водой для очистки керна. На рисунке 44 показан процесс изучения автором горных пород в керне.

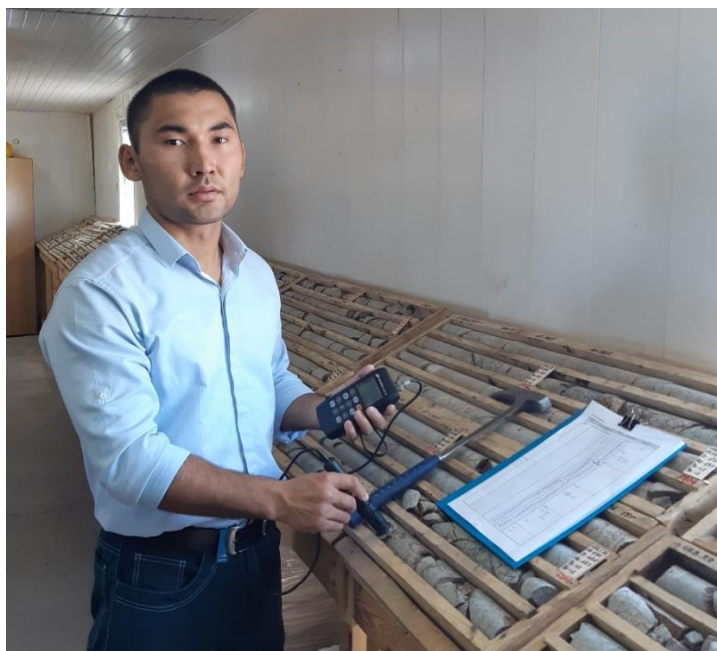


Рисунок 44 – Организация помещения для документирования керна

Промывка керна.

Керн необходимо очистить от бурового раствора. В этой связи производилась промывка керна крайне осторожно, чтобы не допустить нарушения его целостности. Особое внимание обращалось на сохранение мелких частиц в слабых или разрушенных зонах.

Маркировка всех видов трещин.

Особое внимание обращалось на то, чтобы керн был документирован как можно быстрее, чтобы зарегистрировать характер керна в естественном

залегании. Сразу же после извлечения керна осуществлялся обследование керна и маркировка всех открытых, явно естественных трещин номером в соответствии с системой трещин (1, 2 или 3). Расколы, вызванные бурением, помечены крестиком. Они обычно очень беспорядочны и легко определяемы. После того их маркировки присвоены любые дополнительные трещины к цементированным трещинам или расколам техногенного характера вследствие неправильной обработки.

Одним из основных принципов успешного документирования является отделение искусственных дефектов от естественных, которые имеются в горных породах. Примеры искусственно вызванных дефектов показаны в фотографиях ниже на Рисунке 45.

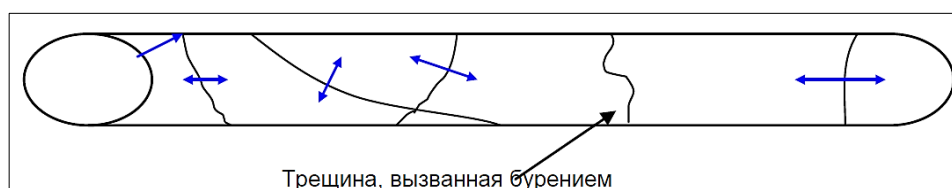


Рисунок 45 – Пример механической трещины, вызванной бурением

Различие между искусственными расколами и естественными трещинами иногда может быть очень незначительным, что даже опытные специалисты по документированию могут неправильно интерпретировать их. Поэтому все открытые, явно естественные, а также искусственные расколы были четко промаркированы для минимизации ошибок. Общее правило заключается в том, что в случае сомнений относительно трещин, они принимаются за естественные. Обломки пород, мелочь в результате перебуривания, или осыпь, извлекаемые в верхней части керна, который был не на месте, не считался извлеченным керном или крупной структурой и были отбракованы или четко промаркированы во избежание последующей неправильной классификации.

На рисунках 46-51 приведены примеры трещин, встречающихся в природе, и на основе этих данных выполняются расчеты прочностных показателей пород. Эти рисунки включают различные типы трещин и разломов, а также их характеристики.

Тип нарушения	Рисунок	Описание
Открытые естественные трещины		Разрывы сплошности горных пород, перемещения по которым либо отсутствуют, либо имеют незначительную величину. Форма трещин отличается от формы других полостей в породах (пор, каверн и др.) резким преобладанием протяженности во всех направлениях стенок трещины над расстоянием между стенками.
Трещины по ослаблениям (согласные слоистости, напластованию, сланцеватости)		Разрывные нарушения или трещины расположенные параллельно слоистости, напластованию, сланцеватости.
Зоны интенсивной трещиноватости		Зоны, в пределах которых трещины развиты более интенсивно, чем в окружающих породах. Трещины расположены под малыми углами к границам зоны; обычно они слегка изогнуты и разделяют породную массу на блоки линзовидной или клиновидной формы. Есть возможность выделить системы трещин.
Зоны дробления		Зоны, в пределах которых горные породы разбиты трещинами на небольшие блоки (до дресвы, щебня, глыб), смещенные и повернутые относительно первоначального залегания. Часто содержат заполнитель в виде дисперсных (песчаных и глинистых) грунтов.

Рисунок 46 – Примеры естественных трещин, зон ослаблений и вторичных изменений



Рисунок 47 – Открытые трещины, ориентированные параллельно оси керна

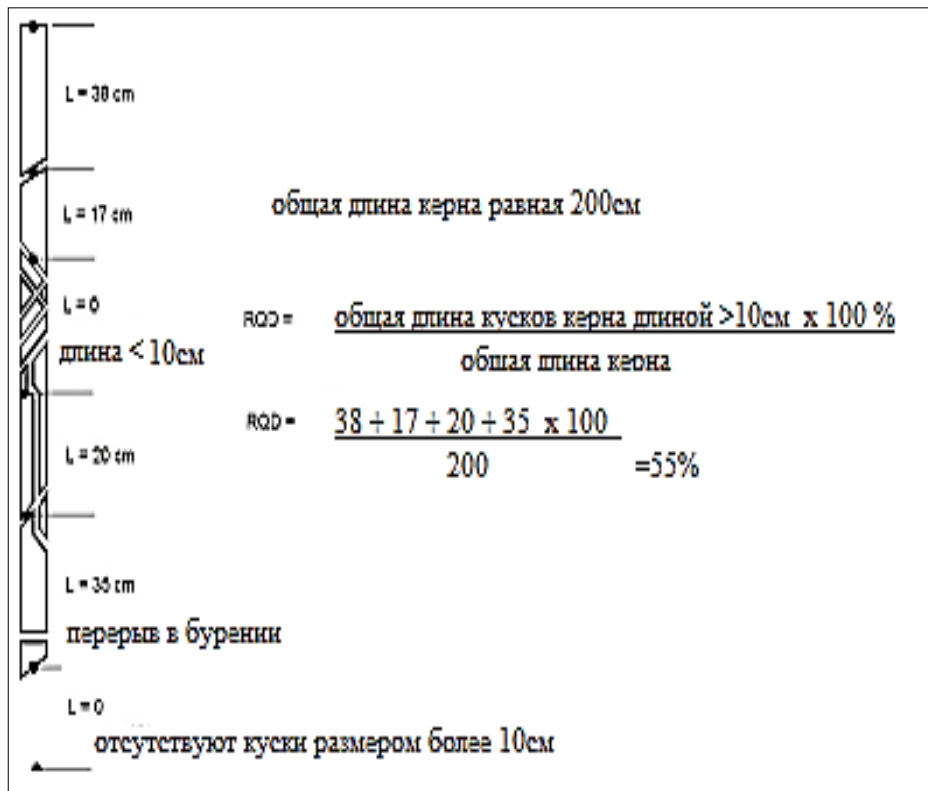


Рисунок 48 – Процедура определения ППП (RQD)

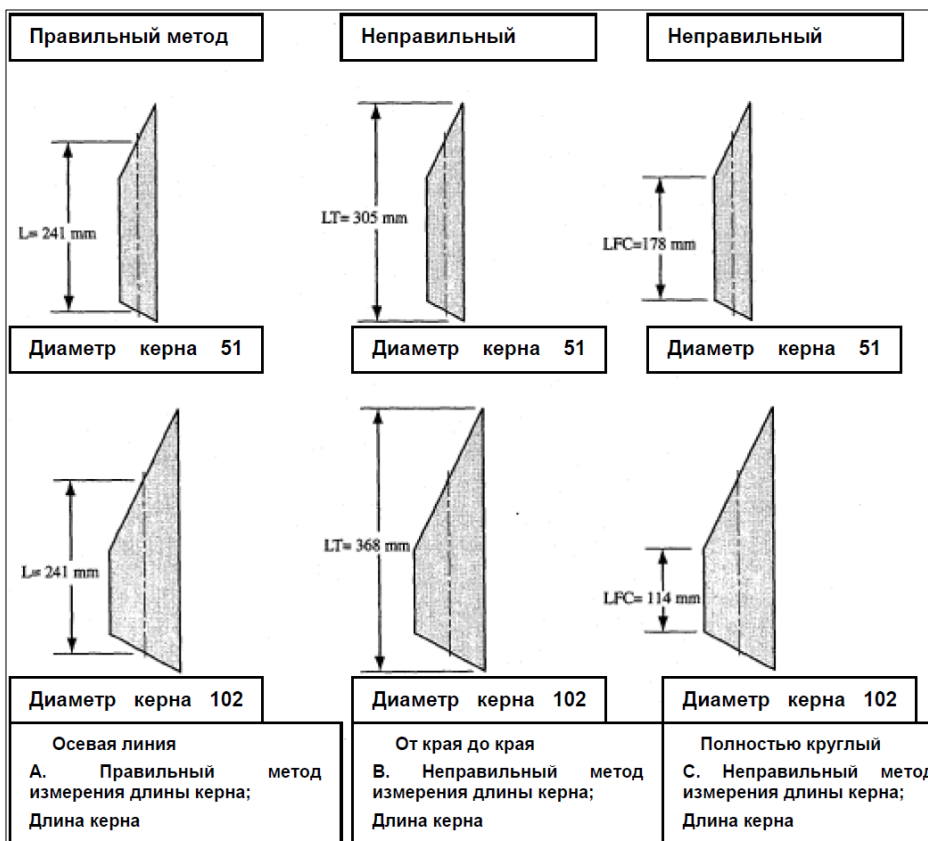


Рисунок 49 – Правильный метод измерения длины ППП (RQD)

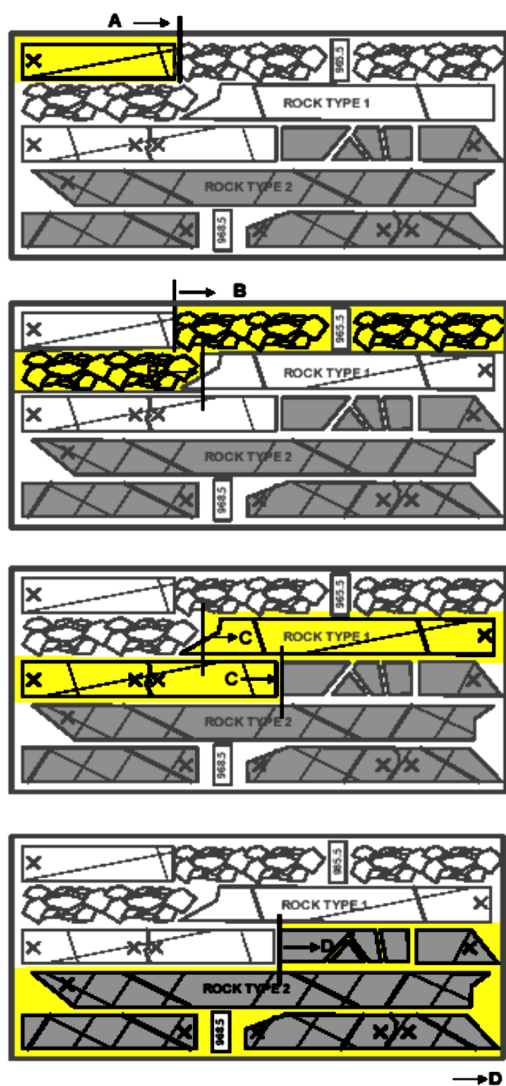


Рисунок 50 – Примеры отдельных интервалов керна (А, В, С и D – обозначены штриховкой) для подробного документирования.



Рисунок 51 – Пример определения ППП (RQD)

Прочность нетронутого горного массива (IRS) представляет собой оценку предела прочности при одноосном сжатии (UCS), полученную в полевых условиях с использованием стандартного метода, предложенного ISRM (Международным сообществом по механике горных пород). Этот показатель характеризует способность горных пород сопротивляться разрушению. Полевые испытания и коды указаны в таблице 22.

Таблица 22 – Прочность горной породы на основе описательного подхода

Код	Описание	$\sigma_{сж}$ (МПа)	Полевая оценка
SCvs	Очень мягкая глина	<0,025	Легко продавливается кулаком на несколько сантиметров
SCs	Мягкая глина	0,025-0,05	Легко продавливается большим пальцем на несколько сантиметров
SCf	Плотная глина	0,05-0,1	На несколько сантиметров продавливается пальцем при умеренном усилии
SCst	Затвердевшая глина	0,1-0,25	Зазубрины легко оставляются большим пальцем, но материал продавливается с большим усилием
SCvst	Сильно затвердевшая глина	0,25-0,5	Зазубрины легко оставляются ногтем
SCh	Твердая глина	>0,5	Зазубрины с трудом оставляются ногтем
R0	Почвовидная	0,25-1	Крошится ногтем
R1	Очень слабая	1-5	Материал крошится от крепкого удара геологическим молотком, ему можно придать форму ножом
R2	Слабая	5-25	Материал режется ножом, но слишком крепок, чтобы резать его на цилиндрические образцы
R3	Средней прочности	25-50	Крепкий удар геологического молотка оставляет отметины до 5 мм, нож царапает поверхность
R4	Прочная	50-100	Образцы, удерживаемые в руке, ломаются одним ударом геологического молотка
R5	Очень прочная	100-250	Для того, чтобы сломать образец ненарушенной породы, требуется множество ударов молотка
R6	Крайне прочная	>250	Материал только откалывается под повторяющимися ударами геологического молотка, звенит при ударах

Кодировки использованы при расчетах по результатам изучения выветрелости массива указаны в табл.23.

Таблица 23 – Описание условий выветривания породного массива

Класс	Название	Описание	Степень изменения цвета	Состояние трещин	Характеристики поверхности
W1/A1	Свежая	Безвидимых признаков выветривания породы	Нет	Закрытые или с изменением цвета	Не измененная
W2/A2	Слегка Выветрелая или Измененная	Изменение окраски свидетельствует о выветрелости пород на поверхностях трещин. Менее 5% породы изменено.	Менее 20% на поверхностях с обеих сторон трещин.	С изменением цвета, могут содержать тонкий заполнитель	Частичное изменение цвета
W3/A3	Умеренно Выветрелая или Измененная	Менее 50% породы разрушено или изменено до рыхлого состояния. Неизменная порода представлена кусками.	Более 20% на поверхностях с обеих сторон трещин.	С изменением цвета, могут содержать мощный заполнитель	Частичное или полное изменение цвета, не крошится за исключением слабосцементированной породы
W4/A4	Сильно Выветрелая или Измененная	Более 50% породы разрушено или изменено до рыхлого состояния. Неизменная порода представлена кусками.	Повсеместно	Заполнены измененными минералами	Крошащийся
W5/A5	Полностью Выветрелая или Измененная	100% породы разрушено или изменено до рыхлого состояния или 100% минералов были изменены. Структура породы все еще цельная.	Повсеместно	Заполнены измененными минералами	Похожа на рыхлый грунт или все слагающие минералы были изменены

W6	Грунт (относится только к выветрелости)	Вся порода изменена до состояния рыхлого грунта. Структура породы полностью преобразована. Значительные изменения в объеме породы.	Повсеместно	-	Похожа на рыхлый грунт
----	---	--	-------------	---	------------------------

Пример подсчета открытых трещин при документации керна показан на рис.52.



Рисунок 52 – Нарушенные зоны

Были изучены микрошероховатость (табл.24), и примеры при документации представлены на рисунках 53-54.

Таблица 24 – Микрошероховатость поверхности трещин

Форма	Описание	Код
Плоская	Плоская отполированная	0.5
	Гладкая плоская	1
	Плоская шероховатая	1.5
Волнистая	Волнистая с зеркалами скольжения	1.5
	Гладкая волнистая	2
	Волнистая шероховатая	3
Ступенчатая	Ступенчатая с зеркалами скольжения	1
	Гладкая ступенчатая	1.5
	Ступенчатая шероховатая / беспорядочная	2

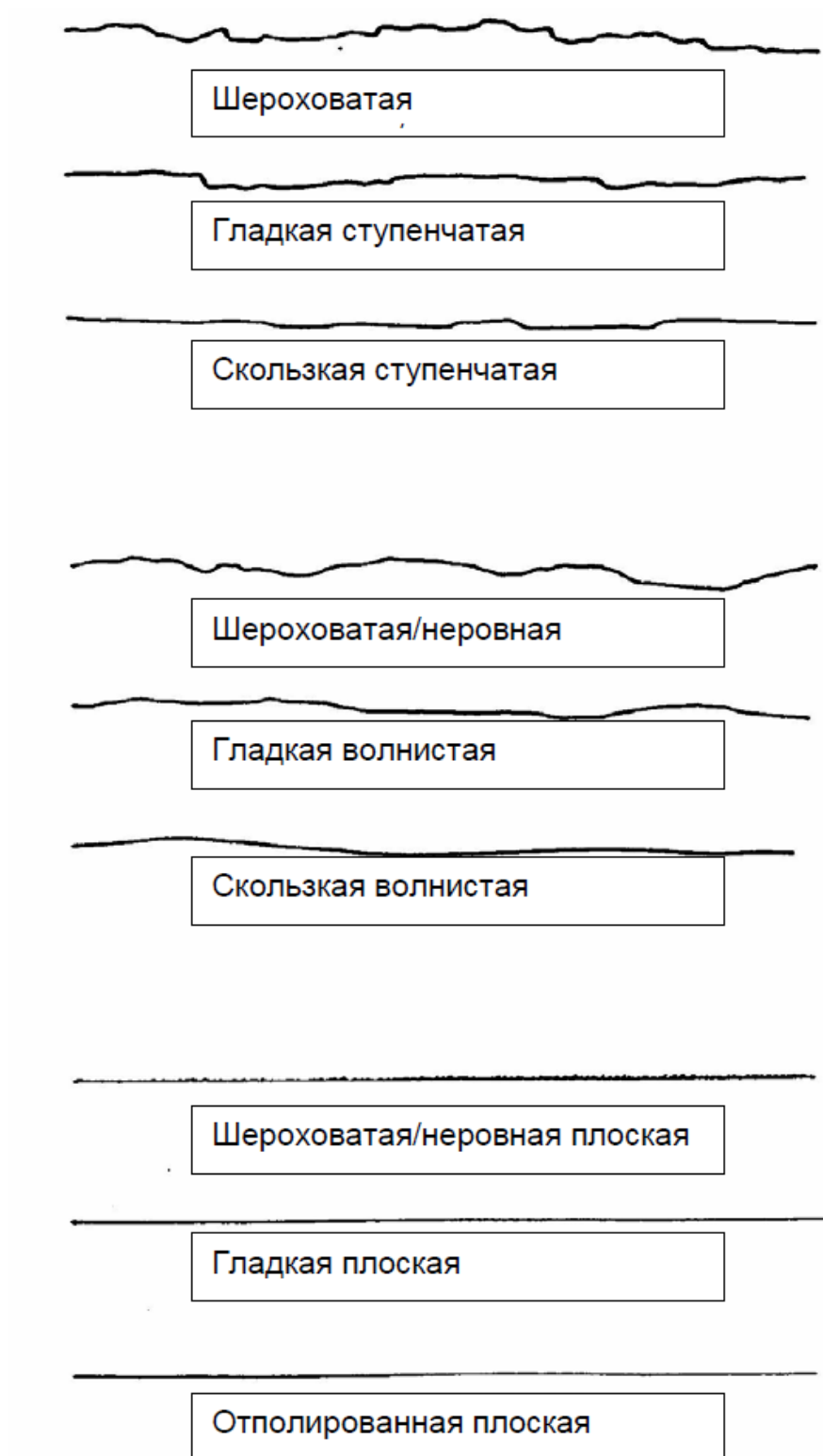


Рисунок 53 – Схема сравнения микрошероховатости при исходном размере



Ступенчатая скользкая



Ступенчатая шероховатая ступенчатая



Волнистая скользкая



Волнистая шероховатая



Плоская скользкая/полированная



Плоская шероховатая

Рисунок 54 – Примеры микрошероховатости

Также следующие параметры массива были изучены: тип заполнения трещин (табл. 25); изменение стенок трещин (табл. 26); количество систем трещин (рис.55); оценка количества трещин (табл. 27); количество измененных трещин (рис.56); свойства трещин (рис.57).

Фотографирование зерна после документации тоже является неотъемлемой частью процедуры (рис.58-59).

Таблица 25 – Типы минералов заполнения

Минерал	Код
Кальцит	CAR
Хлорит	CHL
Тальк	TLC
Серицит	SER
Каолинит	KAO
Глинка трения (глинистая замазка) больше амплитуды трещины	GGT
Глинка трения (глинистая замазка) меньше амплитуды трещины	GLT
Глина	CLY
Суглинок, породная пыль	SLT
Песок	SA
Брекчированная порода, дробленая порода	BX
Чисто, без заполнения	CLN
Тонкая корка или прерывистое покрытие минерального заполнения	FLM

Таблица 26 – Коды прочности стенок трещины

Код	Описание
1	Нет изменений (часто)
2	Порода стенок прочнее вмещающей ненарушенной породы (редко)
3	Порода стенок изменилась и слабее вмещающей ненарушенной породы, заполнение есть (редко)

Таблица 27 – Оценка количества трещин для Q-системы качества горных пород

Описание	Код
Массивная порода, системы трещин отсутствуют, или их количество минимально	1
Одна система трещин	2
Одна система трещин плюс хаотично расположенные системы трещин	3
Две системы трещин	4
Две системы трещин плюс хаотично расположенные системы трещин	5
Три системы трещин	6
Три системы трещин плюс хаотично расположенные системы трещин	7
Четыре или более системы трещин, хаотично расположенные системы трещин	8
С большой трещиноватостью, «рафинад», и т.д.	9
Дробленая порода, землистая	10

Ja	Описание	Рисунок
0.5 – 1.0	Массив, нет или несколько трещин	
2	1 система	
3	1 система + случайные	
4	2 системы	
6	2 системы + случайные	
9	3 системы	
12	3 системы + случайные	
15	4 или более систем, интенсивно трещиноватый массив (обломки пород с четкими гранями ограниченными трещинами) и т.д.	
20	Зона дробления, породы разрушенные на куски, доведены до рыхлого состояния	

Рисунок 55 – Примеры определения количество систем трещин

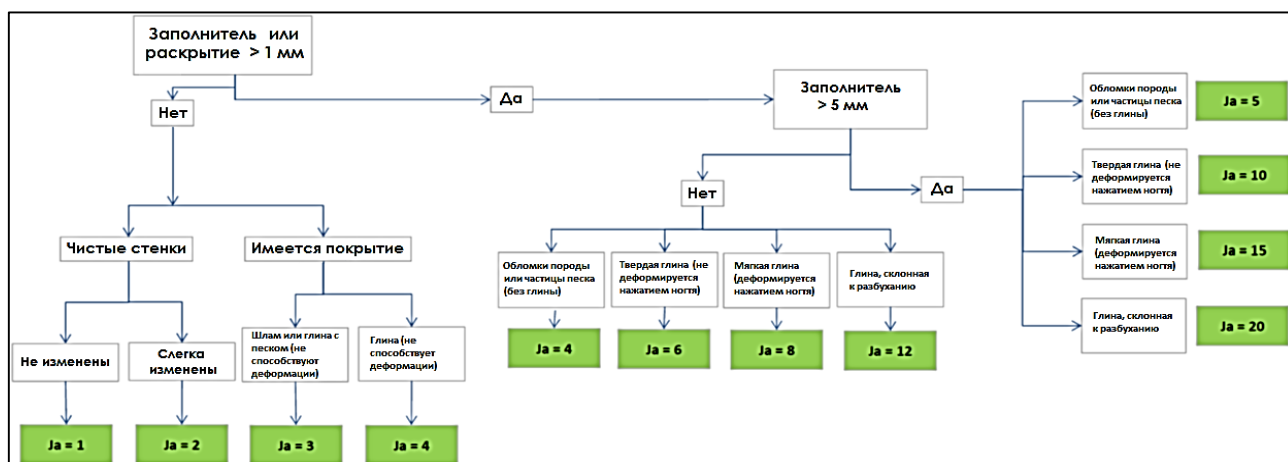


Рисунок 56– Количество измененных трещин

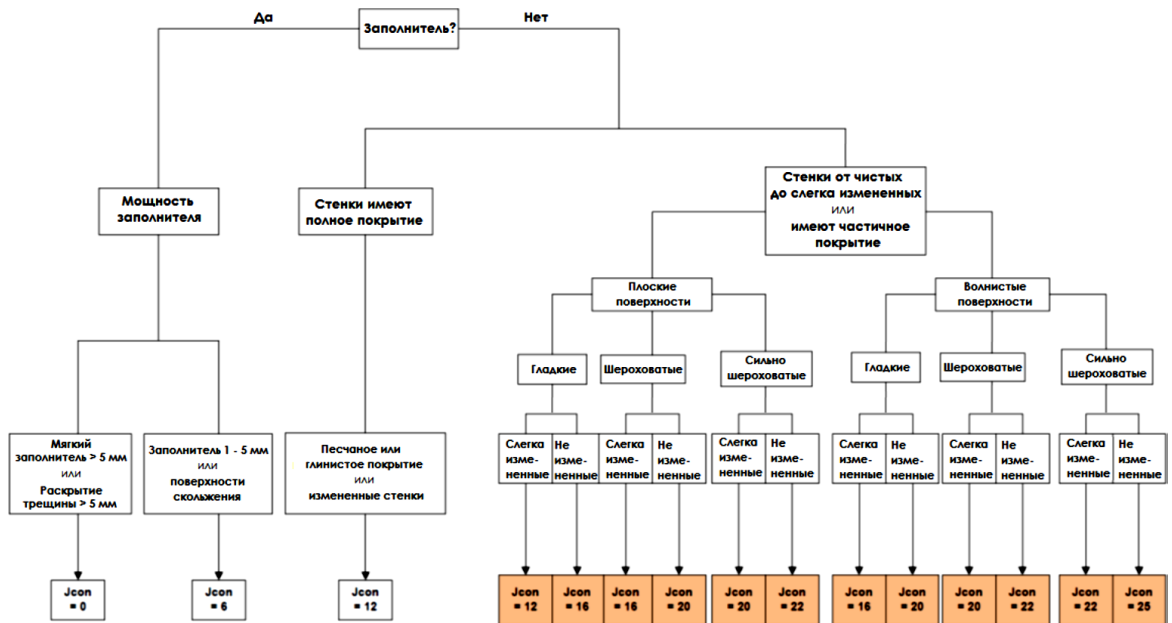


Рисунок 57– Схема определения свойства трещин



Рисунок 58 – Пример фотографирования керна.

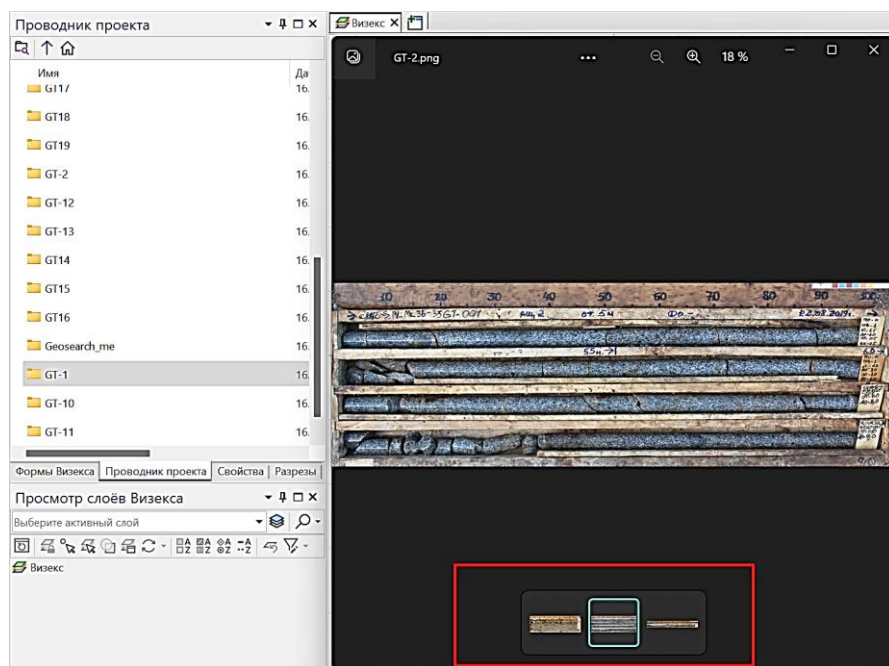


Рисунок 59 – Управление фотографиями керна

3.2.2 Документирование стенок подземных выработок

Подход изучения направлен на присвоение массивам горных пород рейтингов в естественном залегании (в условиях ранее не разрабатывавшегося участка) на основе измеряемых геологических параметров. Такая система применяется для определения характеристик горного массива и присвоения им соответствующего рейтинга (RMR). Данный рейтинг, по существу, представляет собой коэффициент относительной прочности толщи горных пород [96, 102]. Параметрами измерений и оценки являются следующие:

- Прочность нетронутого массива (IRS);
- Расстояния между трещинами и выдержанность;
- Состояние трещин и присутствие воды.

Для принятия решения относительно того, как поведет себя массив горных пород в условиях горного промысла, величину рейтинга пород корректируют. Скорректированные рейтинги называют Рейтингом горного массива (MRMR) [103, 106]. Корректировки вносятся с учетом:

- Выветривания горных пород;
- Напряжения, вызванного ведением горных работ;
- Ориентировки трещин;
- Воздействия взрывных работ.

Выбор участка.

Выбор блоков для документирования зависит от сложности геологической среды, доступа к территории участка, возможности промывки стенок выработки. Тем не менее, с большой осторожностью автор занимался сбором данных, обеспечивая их достаточные объемы для полной трехмерной (3D) оценки характеристик массива горных пород. Работы проводились между горизонтами 180 и 260 м с документированием подземных горных выработок различного предназначения. Заполнение полевого журнала состояла из следующих этапов работ по изучению массива.

Тип горных пород.

Включены любые соответствующие записи и примечания, относящиеся к типам встреченных горных пород с указанием соответствующего кода.

Выветривание горных пород.

Выветрелось изучалось таким образом, чтоб не путать с изменением пород по составу или прочностью горной породы, хотя между этими свойствами может существовать определенная связь. Степень выветривания горных пород приведена в таблице 28.

Изменение пород по составу.

Изменение пород по составу определяется как изменения химического и минералогического состава, вызванные действием гидротермальных растворов. Данное явление описывалось в соответствии с типом ассоциации изменений и интенсивностью его влияния на породообразующие минералы в плане снижения либо увеличения прочности нетронутого массива (табл.28-29).

Таблица 28 – Типы изменения горных пород по составу

Код	Термин	Описание
ARG	Глинистые	каолинит, диксит, серицит, монтмориллонит, галлуазит
PHYL	Филлитовые	серицит, кварц, +/- пирит
CHL	Хлоритовые	хлорит +/- кварц, ангидрит
SIL	Кремнистые	кварц и скрытокристаллический кремнезём
CAR	Карбонатные	доломитизация, доломит и кальцит
PRP	Пропилитовые	хлорит, эпидот, альбит, карбонатные, серицит, пирит

Таблица 29– Степень изменения горных пород по составу

Код	Термин	Описание
1	Неизмененные	Отсутствуют видимые признаки изменения; возможна незначительная потеря цвета на поврежденных поверхностях.
2	Слегка измененные	Изменение локализовано жилами и / или прожилками. Незначительно или отсутствует проникновение изменений за пределы жил и / или прожилков. Нет ярко выраженного воздействия на прочностные характеристики данного типа материнской горной породы.
3	Умеренно измененные	Изменение контролируется жилами и может проникать в боковую породу (стенки) в виде узких краевых частей жилы или карманов. Изменение также может быть проникающим в сопредельные области, но слабо развитым. Изменения самой породы не значительны.
4	Сильно измененные	Проникающие изменения породообразующих минералов и ненарушенных пород вплоть до ассоциаций, значительно изменяющих прочностные характеристики данного типа материнской горной породы.
5	Полностью измененные	Сильные, проникающие, полные изменения породообразующих минералов. Породная масса может напоминать рыхлый слой почвы. В отношении гидротермальных изменений, любая ассоциация изменений, приводящая к почти полному или полному изменению прочности горной породы относительно типа материнской горной породы.

Блочность.

Участок изучен на предмет его массивности, блочности, присутствия брекчий, разломов, слоистости или трещиноватости. Дается оценка минимального, максимального и среднего размеров блоков, которые, вероятно, образуются.

Показатель прочности горных пород (RQD).

Фиксируется показатель прочности породы (RQD) в виде процентного соотношения к объему пород по всей плоскости горной выработки.

Указываются результаты средней, пессимистичной и оптимистичной оценки показателей прочности породы. Показатель прочности породы рассчитывают по формуле:

Показатель прочности породы = Сумма расстояний между трещинами > 10 см x 100/ общая длина замера (рис. 60).

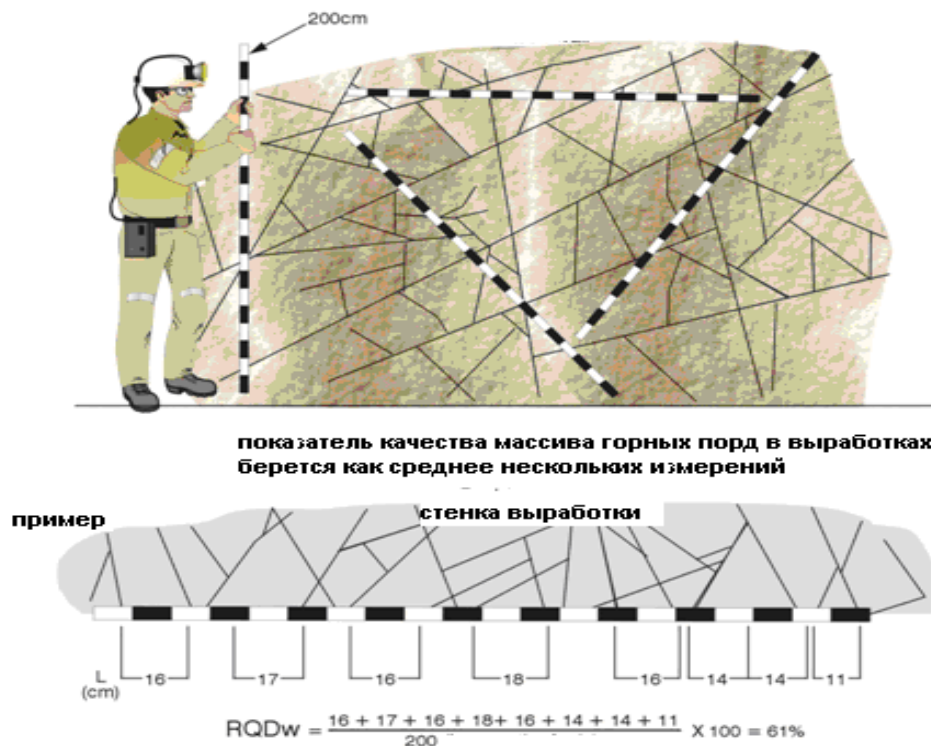


Рисунок 60 – Определение показателя качества массива горных пород в подземных выработках.

Количество систем трещин.

Изучается количество систем трещин и проводится оценка их крупности – крупные или мелкие системы. Это легко делается с помощью распределения полюсов трещин в программе Dips.

Расстояния между трещинами.

Фиксированы измеренные в метрах минимальные (пессимистические) и максимальные (оптимистические), истинные расстояния, наблюдаемые между любыми парами трещин в системе. Так же записывается среднее истинное расстояние, т. е. наиболее часто встречающееся расстояние (не средний показатель) между трещинами.

Частота трещин.

Фиксируется частота трещин (FF), выражаемая как общее количество трещин на один метр длины съемки. Записывается минимальная частота трещин на метр (оптимистичный вариант), максимальная частота трещин на метр (пессимистичный вариант) и средняя частота на метр.

Протяженность.

Протяженность рассматривалась как длина (протяженность в метрах) нарушения сплошности и измеряется или оценивается как самая длинная прослеженная протяженность нарушения сплошности либо по простираанию, либо в направлении падения рудного тела. Примечание: Измеряются нарушения сплошности протяженностью только свыше 0,5 м.

Таблица 30 – Заполняющие минералы и материалы трещин

Код	Наименование минерала
ANH	Ангидрит
GIP	Гипс
QTZ	Кварц
STN	Пятна оксида железа (мощность < 2 мм и амплитуда неровностей)
FEX	Оксид железа (лимонит, гетит, ярозит) >> 2 мм
CLN	Отсутствие заполнителя, чисто
SUL	Сульфидная корка
MIC	Слюда
GRF	Графит
BXC	Крепко сцементированные брекчии
CRU	Разрушенная выветриванием порода, раздробленная порода с некоторым объемом тонкой фракции, в основном гравий и крупнозернистый песчаный материал (>65%)
CLY	Глина или суглинок
GGT	Глинка трения больше амплитуды трещин
GLT	Глинка трения меньше амплитуды трещин
CAL	Кальцит, карбонат, доломит
TLC	Тальк
HEM	Гематит
SER	Серицит
КАО	Каолинит
MON	монтмориллонит
CHL	Хлорит
EPI	Эпидот
SCL	Суглинки (содержание глины >=30%)
CLS	Супеси (содерж. глины < 30%)

Мощность трещин.

Зафиксирована в записи истинная мощность трещины или другой открытой либо заполненной структуры в мм. Производится оценка минимальной (оптимистичный вариант), максимальной (пессимистичный вариант) и средней мощности по всей области блочного картирования.

Шероховатость.

Оцениваемый параметр шероховатости пород показывает особенности мелкой текстуры пород (ощущаемую на ощупь пальцами). Виды шероховатости представлены на рисунке 54.

Заполнение трещин.

Заполнение трещин представляет собой материал, разделяющий соседние стенки породы внутри нарушения сплошности. Заполняющий материал зачастую имеет значительное контролирующее воздействие на сопротивление нарушения сплошности сдвигу, в особенности, если его мощность превышает амплитуду шероховатости стенок породы. Сопротивление сдвигу у заполняющих минералов зависит от минералогического и гранулометрического состава (т. е. крупности зерен). В таблице 30 приведены коды минералов заполнения трещин и их классы по гранулометрическому составу. Для всех типов заполненных нарушений сплошности, наибольший интерес представляет материал самой тонкой фракции, поскольку обычно именно он контролирует долгосрочный предел прочности на сдвиг. Там, где материал имеет разный гранулометрический состав, необходимо записать процентную долю каждой фракции.

3.3 Оценка ИГУ

Расчет устойчивых несущих элементов очистных выработок рекомендуется вести с учетом установленной закономерности изменения прочности пород от современного тектонического строения МПИ.

Практика показывает, что проектные решения, принятые на основе использования средних значений прочности горных пород в пределах месторождения или горного отвода, зачастую не учитывают реальную сложность инженерно-геологических условий геологической среды. Это приводит обычно к негативным последствиям при ведении горных работ. Следовательно, для повышения качества проектирования и точности инженерных расчетов необходимо учитывать изменчивость инженерно-геологических параметров горных пород, которая может варьировать в широких пределах. Например, значения предела прочности при одноосном сжатии рудовмещающих пород (гранодиориты) месторождения «Бескемпир» в зависимости от ИГУ изменяются от 800 до 1600 МПа. Для наглядного изображения и эффективности учета пространственной изменчивости инженерно-геологических параметров горных пород при инженерных расчетах необходима оценка ИГУ месторождения на основе 3D моделирования.

Автором разработаны этапы работ для реализации оценки ИГУ МПИ на основе 3D моделирования с использованием современных компьютерных технологий. В целом все работы в цифровой среде непосредственно проводились с использованием ГГИС Micromine. Ниже приведены сведения о каждом этапе работ для решения задач инженерной геологии МПИ на современном уровне.

3.3.1 База данных

База данных (БД) инженерно-геологических параметров является фундаментальной основой 3D моделирования в геологии и инженерной

геологии МПИ. Она служат основой создания объемной трехмерной модели геологической среды и входным файлом для интерполяции при оценке ИГУ МПИ. Разработанная автором структура БД является универсальной, так как ее можно на постоянной основе пополнять новыми данными в режиме реального времени, полученных при сопровождении горных работ. Эти данные отображают фактическое состояние массива горных пород в трехмерном пространстве в виде количественных и качественных показателей.

БД инженерно-геологических параметров состоит из обязательных и интервальных таблиц.

Обязательные таблицы – collar (файл координат) и survey (файл инклинометрии). С использованием данных этих файлов осуществляется в ГГИС создание траектории, устья (начала) и забоя (конца) интервала документации в пространстве. Для заполнения этих файлов были использованы данные по привязке к маркшейдерским точкам в выработке, расчет координат из каркасов подземных горных выработок, длина каждого цикла документации.

Интервальными таблицами являются – файлы документации, которыми являются geotech_drive (стенки подземной выработки) и geotech_drillhole (керна). В ГГИС при помощи этих файлов создаются и визуализируются результаты документации инженерно-геологических параметров массива горных пород, и они являются исходными данными для осуществления интерполяции количественных и качественных параметров в блочную модель (оценка в трехмерной среде). Для формирования файлов geotech_drive и geotech_drillhole (рис.61) необходимы данные по следующим важным инженерно-геологическим параметрам.

Наименование скважины (HOLE ID)	Порядок интервала (INT_ORDER)				Ог, м	До, м	Длина, м	Сокращенная литология (ROCK)	RQD	RMR	GSI	Q'	Обводненность пород (Jw)	Обводненность пород (Jw)Kat	Категория прочности	Прочность пород (UCS), МПа	UCS(Kat)	Качество пород (RQD), м	Качество пород (RQD), %	RQD (Kat)	Количество систем трещин (Jt)	Количество трещин (Nt)	Расстояние между трещинами (SD)	Расстояние между трещинами (SD), Kat	Широкоствость стенок трещин (Jr)	Слабление стенок трещин (Ja)	Свойства трещин (JCON76)	Свойства трещин (JCON89)
bes_pe5_7	6	10	12	2	GRD	5	37.6	32.6	0.375	1	10	R3	40	4	0.100	5	3	20	3	0.02	5	3	2	12	15.6			
bes_pe5_7	7	12	14	2	GRD	20	45.6	40.6	10	1	10	R4	55	7	0.4	20	3	3	2	0.4	10	3	2	12	15.6			
bes_pe5_7	8	14	16	2	GRD	30	45.6	40.6	1.875	1	10	R4	86	7	0.6	30	8	12	4	0.02	5	1.5	2	12	15.6			
bes_pe5_7	9	16	18	2	GRD	13	40.6	35.6	3.25	1	10	R4	85	7	0.26	13	3	3	6	0.02	5	1.5	2	12	15.6			
bes_pe5_7	10	18	20	2	GRD	15	40.6	35.6	3.75	1	10	R4	84	7	0.3	15	3	3	3	0.02	5	1.5	2	12	15.6			
bes_pe5_7	11	20	22	2	GRD	14	43.6	38.6	1.167	1	10	R4	75	7	0.28	14	3	9	8	0.15	8	1.5	2	12	15.6			
bes_pe5_7	12	22	24	2	GRD	18.5	40.6	35.6	1.542	1	10	R3	38	4	0.37	18.5	3	9	8	0.15	8	1.5	2	12	15.6			
bes_pe5_7	13	24	26	2	GRD	15.5	37.6	32.6	1.163	1	10	R3	40	4	0.310	15.5	3	20	3	0.02	5	3	2	12	15.6			
bes_pe5_7	14	26	28	2	GRD	20	45.6	40.6	10	1	10	R4	55	7	0.4	20	3	3	2	0.4	10	3	2	12	15.6			
bes_pe5_7	15	28	30	2	GRD	5	40.6	35.6	0.313	1	10	R4	86	7	0.1	5	3	12	4	0.02	5	1.5	2	12	15.6			

Рисунок 61 – Пример заполненного файла geotech_drillhole

Следующим шагом после формирования БД в условиях месторождения «Бескемпир» производится ее проверка на целостность, выявляются систематические ошибки и др. Далее все возможные ошибки устранены с использованием ГГИС. В результате выполненных работ достигнуто создание достоверной БД инженерно-геологических параметров (рис. 62), которая в свою очередь была использована для 3D моделирования и интерполяции количественных и качественных данных.

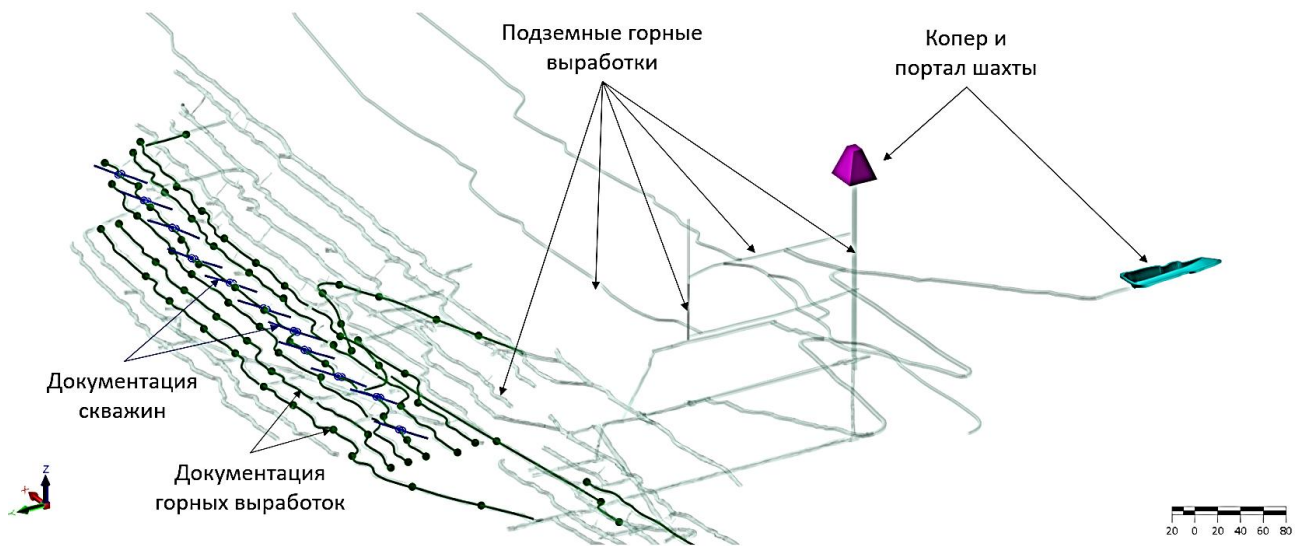


Рисунок 62 – Визуализация базы данных инженерно-геологических параметров по результатам документации керн скважин и стенок горных выработок

3D моделирование.

При трехмерном моделировании было принято во внимание особенности геолого-структурного строения месторождения, его степень изученности и методика ведения геологических работ и были использованы специфические способы и приемы 3D моделирования месторождения в ГГИС Micromine. Порядок выполнения работ состоял из нижеследующих этапов [63]:

- *Геолого-структурная модель.* Успешно реализовалось создание 3D моделей полезного ископаемого и вмещающих пород лежачего и висячего боков. Результатом данного этапа являются создание геологической модели месторождения (рис. 12-15). Далее осуществлялась визуализация результатов работ по инженерно-геологическому картированию. Построены 3D модели разрывных нарушений в трехмерном пространстве. Таким образом создана 3D модель структурно-тектонического положения месторождения «Бескемпир» (рис. 18-21);
- *Блочное моделирование.* В данном этапе производилось создание пустой блочной модели в пределах границы месторождения и кодирование ее элементарных ячеек на основании геолого-структурной модели (рудные тела, вмещающие породы, разрывные нарушения и др.). Прделанные работы являются подготовительным этапом для оценки ИГУ месторождения с основами трехмерного моделирования (рис. 63);
- *Структурный тренд.* В пределах месторождения наблюдается четкий структурный контроль как по оруденению, так и по разрывным нарушениям, соответственно разбивка на геолого-структурные домены проводилась только по геологическим критериям. Далее в ГГИС Micromine осуществлялось создание структурного тренда (рис.64-65) согласно выше доменам. В процессе интерполяции будут учтены геолого-структурные особенности месторождения.

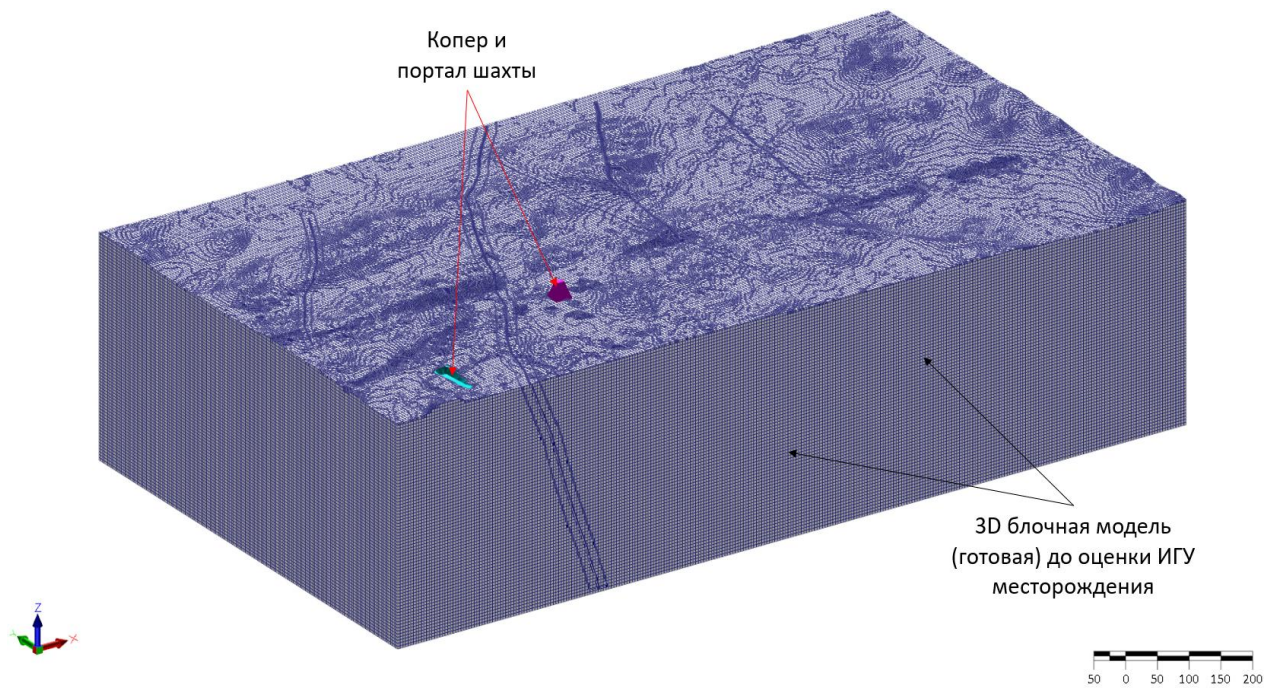


Рисунок 63 – Пустая 3D блочная модель месторождения для оценки ИГУ месторождения.

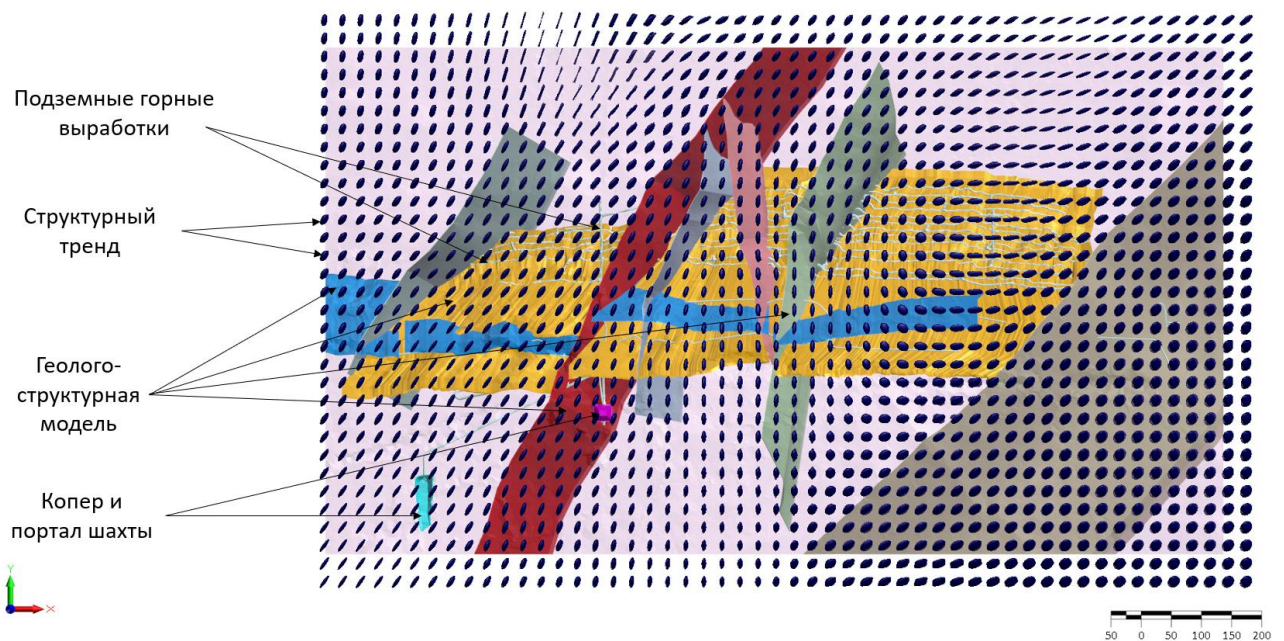


Рисунок 64 – Структурный тренд, учитывающий геолого-структурное строение. Вид в плане.

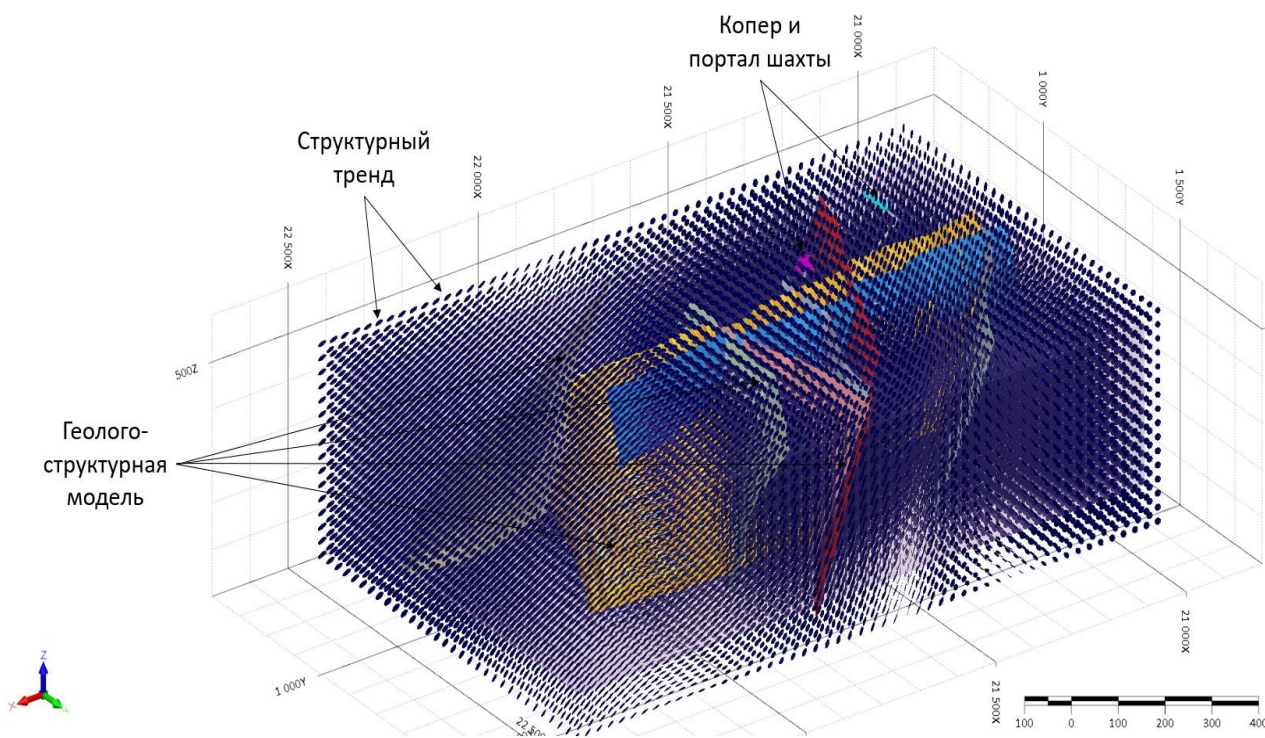


Рисунок 65 – Структурный тренд, учитывающий геолого-структурное строение месторождения. Аксонометрический вид.

Оценка ИГУ с основами 3D моделирования.

Оценка ИГУ месторождения осуществлялась методом интерполяции – обратно пропорционально степени расстояния (IDW - inverse distance weighting). Данный метод по своему содержанию наиболее подходит для оценки ИГУ месторождения «Бескемпир». В отличие от других методов, здесь коэффициент взвешивания рассчитывается не только до ближайшего показателя, но и до всех соседних показателей. При этом коэффициент взвешивания обратно пропорционален расстоянию, возведенному в степень от точки до соседнего показателя. Естественно, что близ расположенный показатель будет обладать наибольшим весом, учитывается также влияние других показателей [35].

После выбора метода интерполяции производится оценка инженерно-геологических параметров на основе 3D моделирования в пределах каждого домена с использованием ГГИС Micromine. Результаты работ показаны на рисунках 66-68. Таким образом, получена оцененная 3D блочная модель месторождения «Бескемпир», которая наглядно показывает инженерно-геологические условия месторождения в режиме реального времени в трехмерном пространстве. Показатели этих свойств позволили количественно и качественно оценить ИГУ месторождения.

По результатам оценки ИГУ месторождения «Бескемпир» полученные показатели позволили установить категорию устойчивости массива в трехмерном пространстве в соответствии с международными системами (рис. 69 и см.табл. 31) [69, 82].

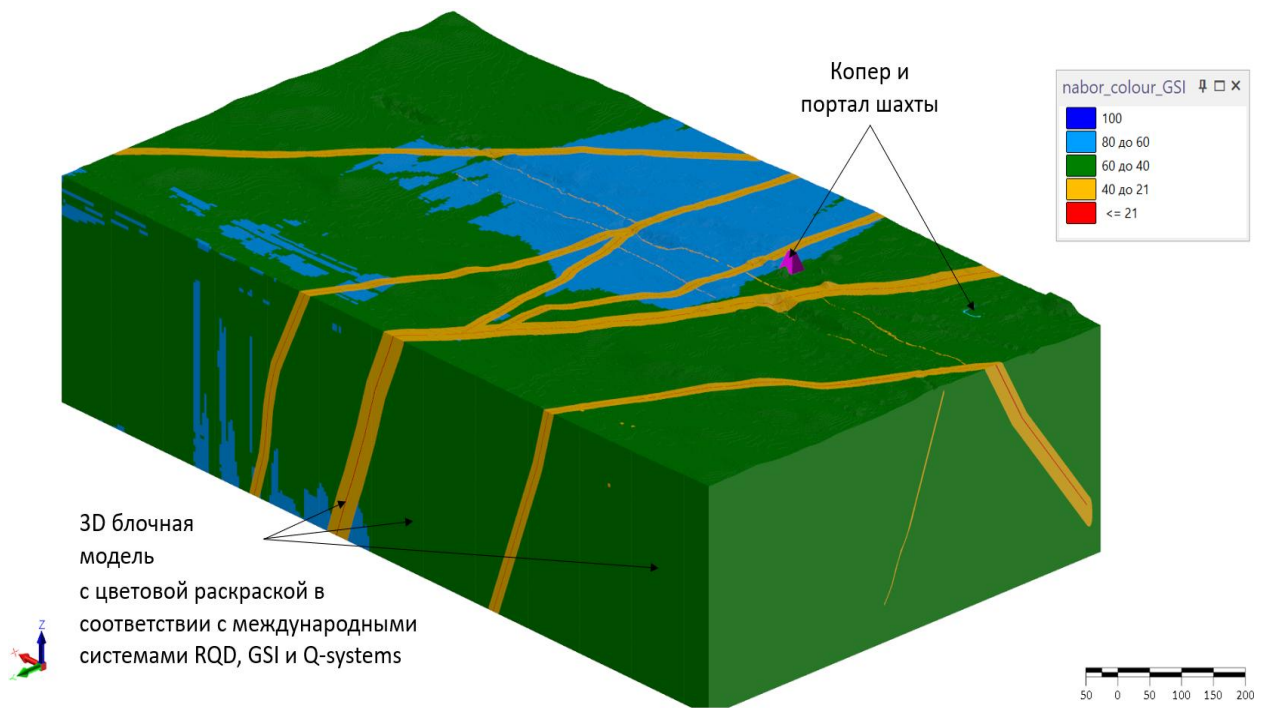


Рисунок 66 – 3D блочная модель ИГУ месторождения. Аксонометрический вид.

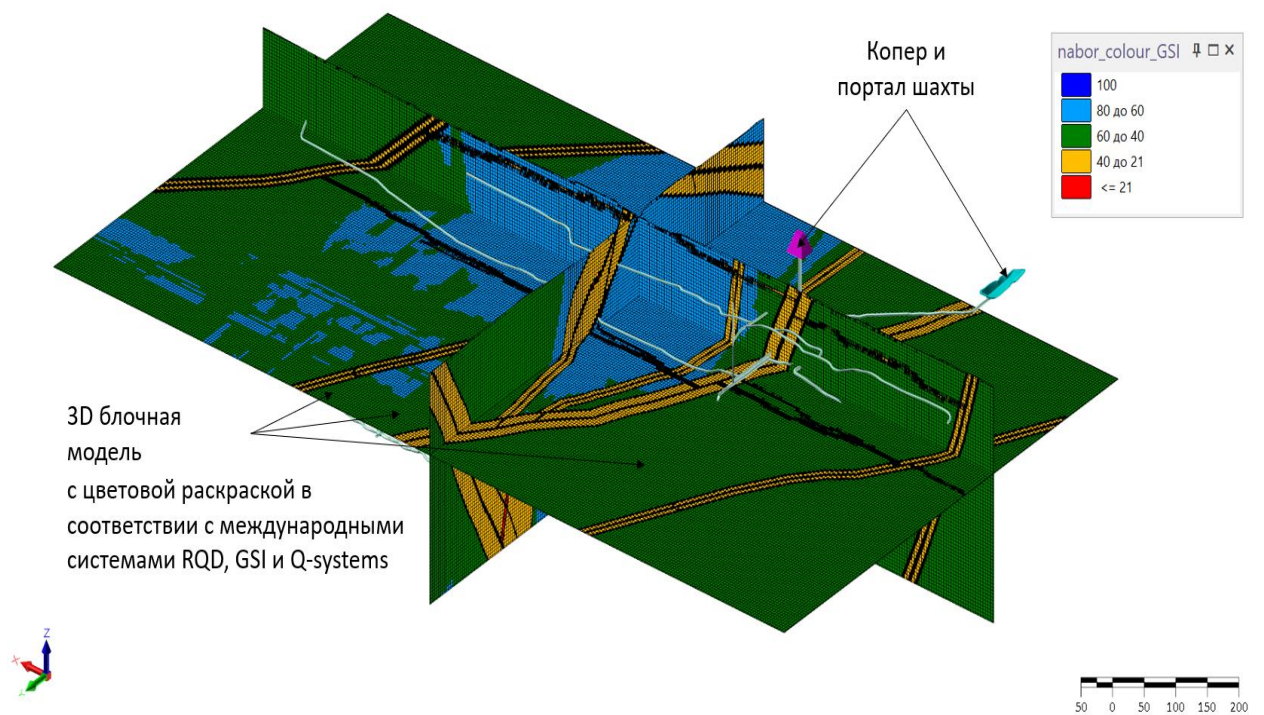


Рисунок 67 – 3D блочная модель ИГУ месторождения. Внутри блочной модели

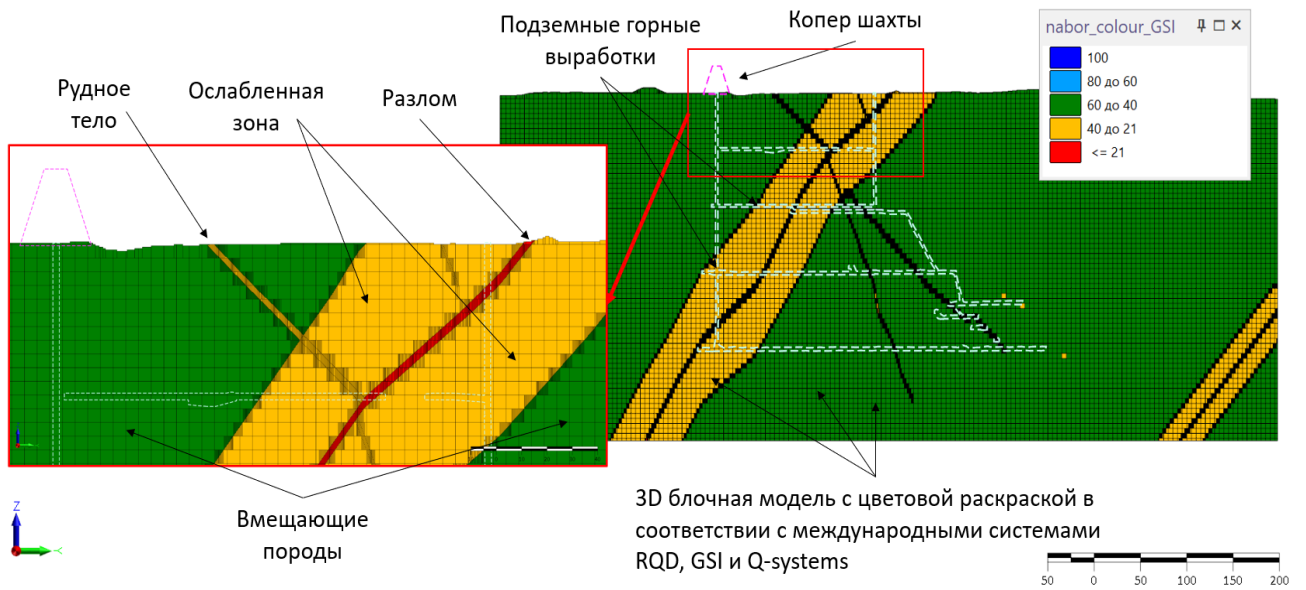


Рисунок 68 – 3D блочная модель ИГУ месторождения. Вид в разрезе.

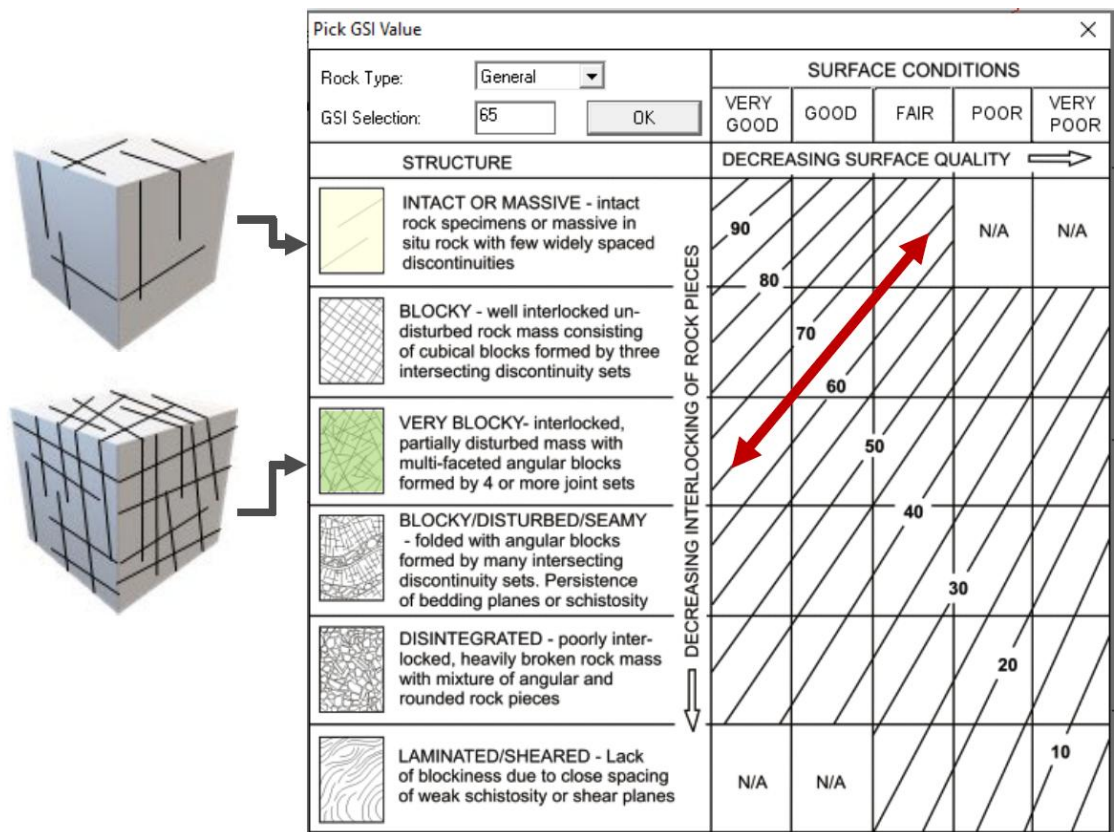


Рисунок 69 – Определение показателей по геологическому индексу прочности.

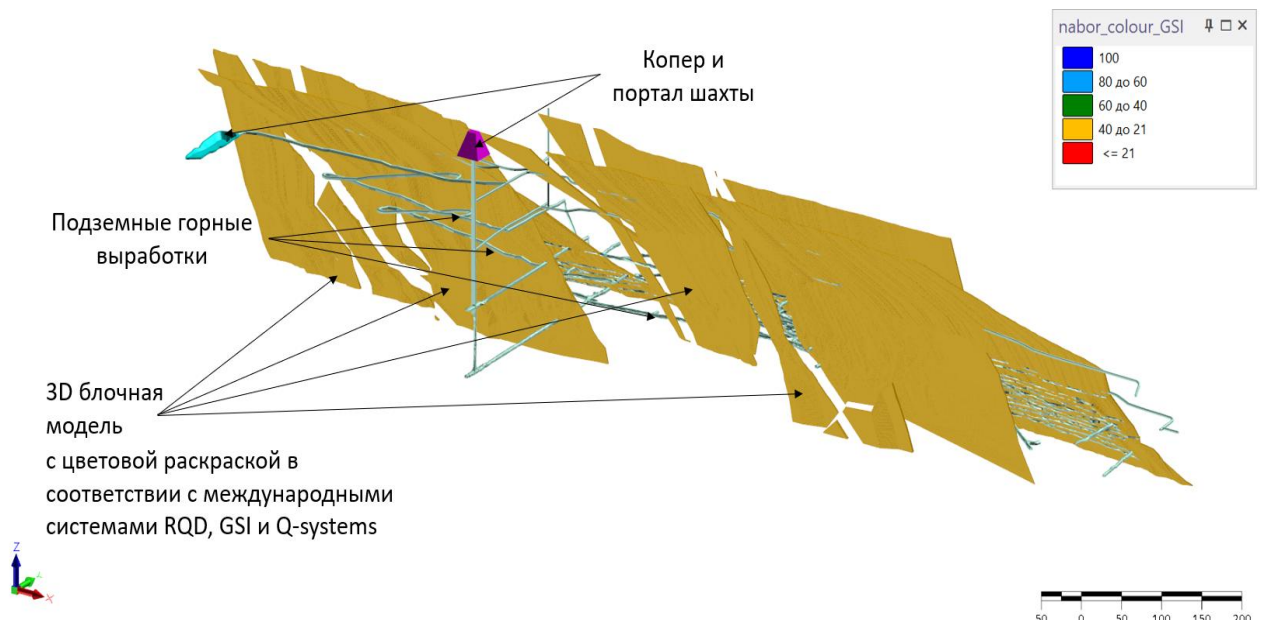


Рисунок 70 – 3D блочная модель ИГУ месторождения. Рудные тела – неустойчивые. Аксонометрический вид.

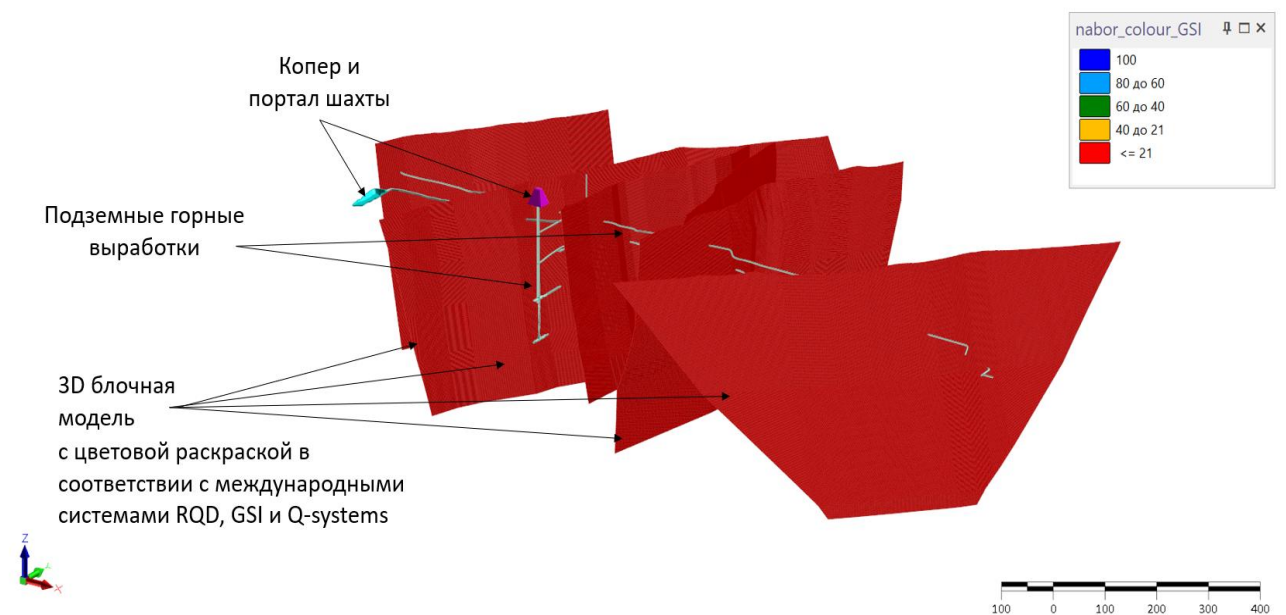


Рисунок 71 – 3D блочная модель ИГУ месторождения. Разломы – весьма неустойчивые. Аксонометрический вид.

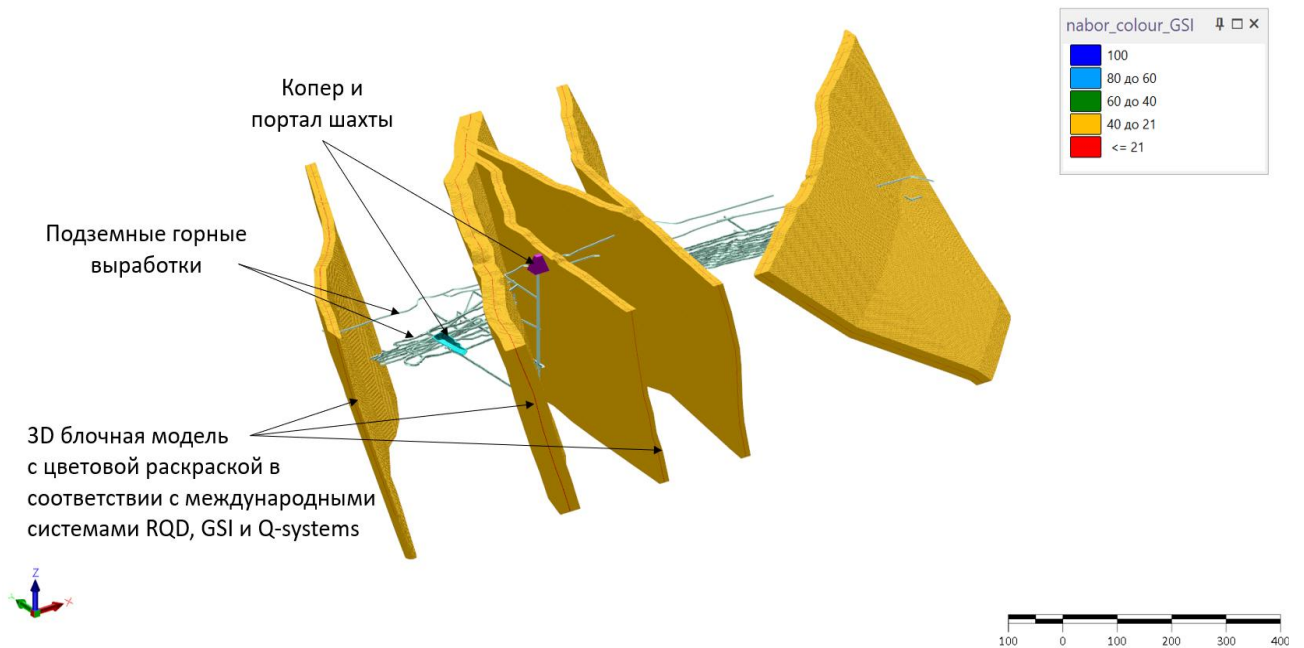


Рисунок 72 – 3D блочная модель ИГУ месторождения. Зоны дробления – неустойчивые. Аксонометрический вид.

Таблица 31 - Категория устойчивости пород по международным системам

Категория устойчивости пород	Показатель RQD	Рейтинг RMR/GSI	Показатель рейтинга Бортона (Q)	Категория	Легенда
Весьма устойчивая	90-100	81-100	40-1000	I	Blue
Устойчивая	75-90	61-80	10-40	II	Light Blue
Среднеустойчивая	50-75	41-60	4-10	III	Green
Неустойчивая	25-50	21-40	1-4	IV	Yellow
Весьма неустойчивая	<25	<21	0-1	V	Red

3.4 Оценка минеральных ресурсов

Домены минерализации на месторождении были построены на основе минерализованных жил и прожилков. Были подготовлены оценки и модели для следующих рудных жил месторождения Бескемпир: ресурсов для подземной добычи жилы Бескемпир и Сюрприз. На основании всех доменов ресурсов и методов оценки, с использованием современных трехмерных методов моделирования и геостатистической оценки, были построены блочные модели.

Статистический анализ.

Для каждого из двух рудных тел и их соответствующих доменов был проведен статистический анализ и анализ данных разведочных работ, чтобы помочь получить общее представление о значениях содержаний, изменчивости и резко выделяющихся значениях повышенных содержаний (выбросах). На основании анализа длины проб был выбран композит по геологии.

Ограничение ураганных содержаний.

Ограничение ураганных содержаний часто применяется к участкам в ресурсных моделях, чтобы ограничить влияние малого количества выбросов с высокими содержаниями на потенциальное завышение содержания металла в ресурсах.

Был проведен анализ влияния ураганных содержаний на композиты доменов для определения влияния разных уровней верхних пределов содержаний. В окончательной оценке для жил использовали верхний предел содержаний 50 г/т наряду с ограничением расстояния содержаний до 25 м для всех значений > 50 г/т Au. Для домена осадочных пород использовали верхний предел содержаний 50 г/т с ограничением расстояния поиска на уровне 10 м для всех проб > 50 г/т. Не было обнаружено никаких изолированных выбросов содержаний, которые могли бы привести к завышению оценки количества содержащегося металла по объему. Кроме того, использование ординарного кригинга наряду с ограничением поиска означало, что влияние проб с высокими содержаниями было сильно ограничено.

Вариография и количественный кригинговый анализ соседства.

Рутинный вариографический анализ проводился на композитных пробах из геологических доменов ресурсов в каждом отдельном рудном теле месторождения, с использованием как размытых, так и жестких границ между различными доменами.

Вариография для каждого ресурса использовалась в исследовании QKNA для доменов, прежде чем использовать их в оценках ординарного кригинга для каждого отдельного домена. Кроме того, QKNA использовался для выбора оптимального размера блока для оценки и оптимальных параметров оценки ординарного кригинга для каждого домена.

Блочное моделирование.

Для каждого ресурса на месторождении были построены отдельные блочные модели из-за различных требований по оптимальному размеру блока для каждого ресурса

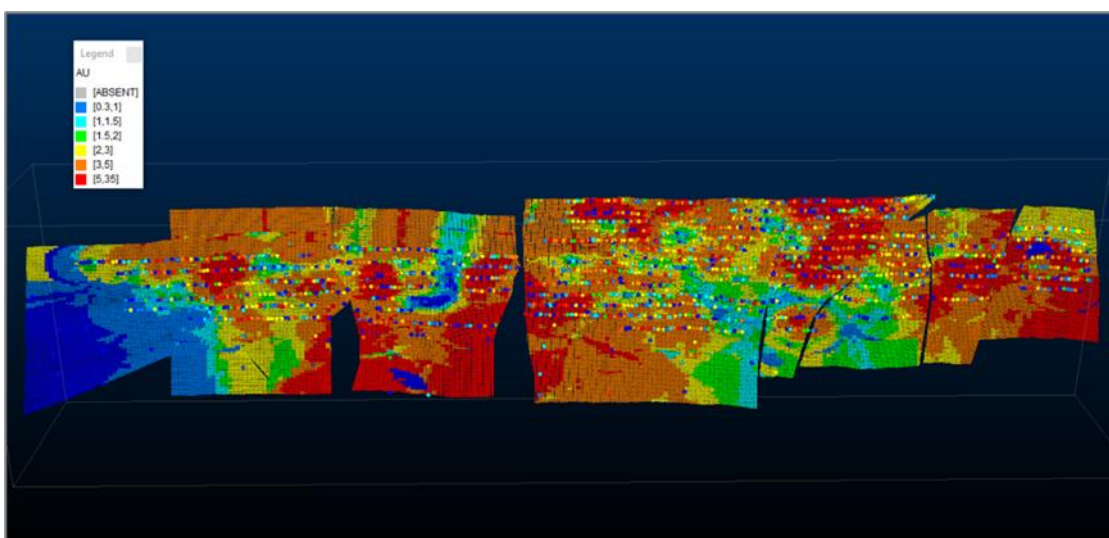
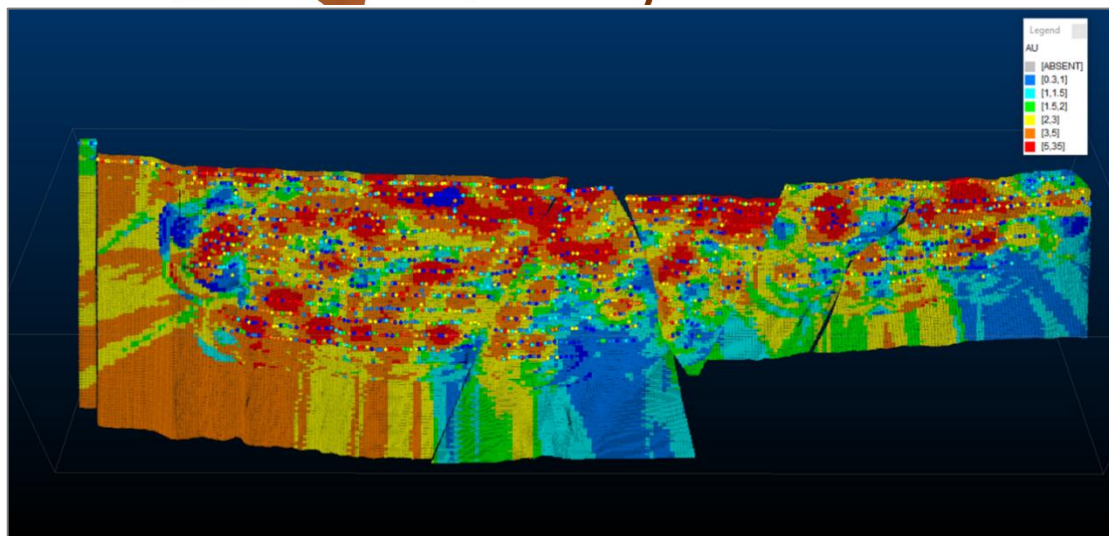
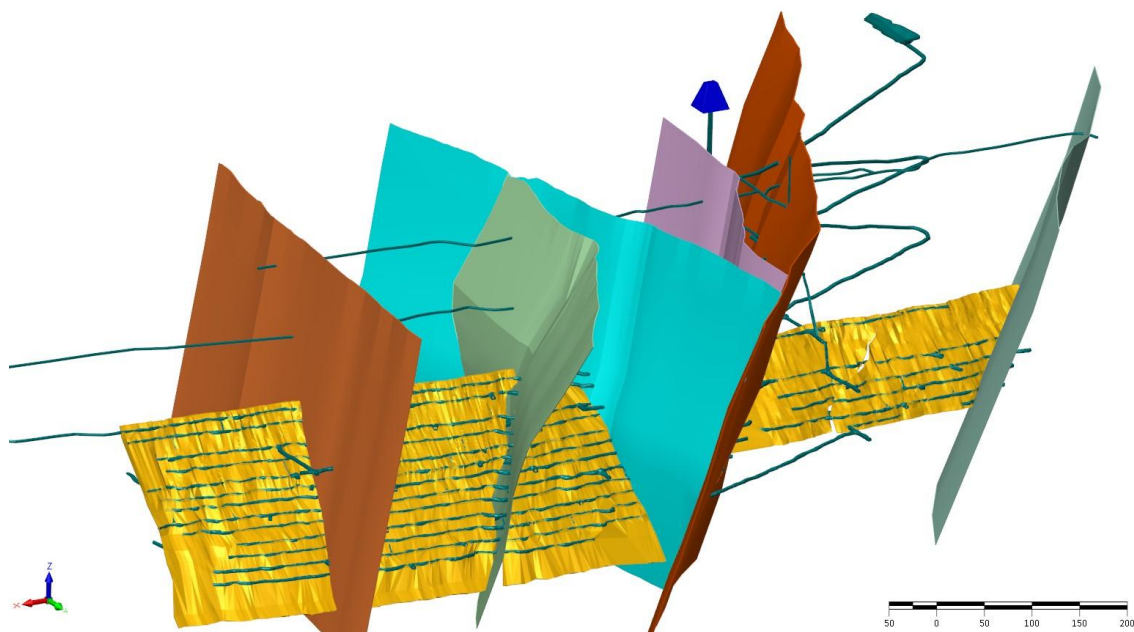


Рисунок 72 – 3D модели рудных жил и тектонических нарушений месторождения. Аксонометрический вид.

Модель с одним блоком была построена для жил подземной добычи. Выделение субблоков применено для обеспечения точного представления объемов каркасных доменов. Блочная модель была построена с учетом значений плотности, доменов оценки, типа материала (окисленный и неизменный), оцененных содержаний, результатов QKNA и последующей классификации. Все содержания оценивались в родительских блоках.

Оценка.

Оценка проводилась независимо для первичных ресурсных доменов с использованием многопроходного ординарного кригинга для обеспечения оценки всех блоков. Оценка проводилась на родительских блоках. В субблоках сохранялись значения родительского блока. Перед оценкой для каждого домена применяли соответствующие верхние пределы содержаний или ограничения расстояния. Оценка была основана на композитных пробах, отобранных в каждом домене. Оптимальные параметры оценки (поиск, минимальные и максимальные количества проб и т. д.) были получены из исследования QKNA. Оценка проводилась только для золота. На рис. 72 показаны блочная модель и оцененные содержания золота.

4 ПРОГНОЗ УСТОЙЧИВОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И НЕГАТИВНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЯВЛЕНИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Горные выработки, осуществляемые при освоении месторождений, выполняют различные функции. Выработки, которые обеспечивают доступ к полезному ископаемому с поверхности земли и производят его вскрытие, называются капитальными. Эти выработки, как правило, проходят в безрудных боковых породах. После вскрытия тела полезного ископаемого создаются выработки, подготавливающие фронт работ для его непосредственной добычи. Эти выработки именуется подготовительными и проводятся как по самому ископаемому, так и по вмещающим его породам. После завершения подготовительных выработок начинается добыча полезного ископаемого, что осуществляется с помощью очистных выработок.

Очистные выработки существенно отличаются от капитальных и подготовительных как по своим размерам, так и по зоне влияния на окружающую геологическую среду. Их большая площадь затрагивает более обширные зоны деформации, перемещений и сдвигов горных пород вокруг них. Кроме того, очистные выработки, как правило, имеют ограниченный срок эксплуатации, и в них постоянно меняется положение забоя (продвижение забоя). Это приводит к тому, что поле напряжений в горных породах вокруг выработок постоянно изменяется. Эти особенности требуют внедрения специальных инженерных мероприятий, направленных на поддержание устойчивости очистных выработок и управление горным давлением. К таким мероприятиям могут относиться мониторинг состояния горных пород, использование укрепляющих систем, а также планирование последовательности проведения работ для минимизации рисков обрушений и других крайне нежелательных событий.

При прогнозировании геологических процессов и явлений ключевое значение имеет не только установление причин их возникновения, но и выявление условий, которые способствуют их развитию. Это включает в себя анализ всей совокупности природных и антропогенных факторов, которые облегчают действие сил, вызывающих определенные геологические явления. [15, 76].

Материалы инженерно-геологических исследований играют ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективного ведения горных работ. Они должны предоставлять полную оценку состояния геологической среды и прогнозировать развитие различных геологических процессов и явлений, которые могут угрожать безопасности людей, нормальному производству, а также сохранности территорий, природных объектов и существующих сооружений. [78, 87].

при проведении инженерно-геологических исследований (ИГУ) необходимо учитывать несколько ключевых аспектов, касающихся содержания, объема, точности и достоверности данных [11, 12]. В дальнейшем полученные

данные будут использованы при строительстве и эксплуатации горнодобывающего предприятия, его подземных горных выработок.

Золоторудное месторождение «Бескемпир» разрабатывается подземным способом. Оно вскрыто разведочным стволом шахты «РЭШ-2» до горизонта 260 м и наклонно-транспортным съездом (НТС). Разведочный ствол пройден в центральной части месторождения и предназначен как для вскрытия и подготовки нижележащих горизонтов, так и для использования в качестве запасного выхода. НТС пройден вдоль рудных тел до отметки 320 м и вскрывает четыре верхних горизонта месторождения, м: 60, 120, 180 и 260. От НТС производилась проходка всех видов горизонтальных подземных горных выработок (капитальные, подготовительные и нарезные). Высота горизонта принята 60-80 м с разбивкой на подэтажи высотой 15-20 м.

Рабочая программа и календарь на работы по освоению рудного месторождения «Бескемпир» в Майминском районе Жамбылской области

№ п/п	Наименование работ	Единица измерения	Дата	Прогнозы	Период												
					2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	
1	Исследования, опыты	тыс. тенге	44 434 651	-	6 971 362	6 849 528	4 497 794	4 102 792	4 538 139	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Проектирование объектов и работ по монтажу, монтажу, строительству	кв. м	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Перевозка материалов, оборудования, инструментов, средств из централизованной структуры (своих мощностей)	тыс. тенге	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Затраты на оплату по заказам вывоза отходов (своих мощностей)	тыс. тенге	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	Средства труда	тыс. тенге	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	Расходы на оплату по договорам подряда	тыс. тенге	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	Капитальные работы	тыс. тенге	3 816 781	1 478 335	1 217 679	61 988	88 564	253 337	289 374	281 132	187 161	98 846	-	-	-	-	-
5	Капитальные затраты, всего	тыс. тенге	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	Здания, сооружения	тыс. тенге	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	Оборудование, реконструкция	тыс. тенге	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53	Машины, оборудование	тыс. тенге	1 138 216	494 270	140 994	11 988	88 564	71 646	27 683	201 132	15 959	111 931	-	-	-	-	-
54	Прогнозируемые затраты	тыс. тенге	2 688 571	983 067	1 070 382	-	-	-	-	181 691	-	50 840	-	-	-	-	-
55	Затраты на создание объектов и работ по монтажу, монтажу, строительству	тыс. тенге	41 675 863	4 430 506	4 741 709	4 507 453	4 826 741	3 996 490	3 966 001	3 961 001	3 966 296	2 611 843	1 993 376	1 847 810	1 648 000	-	-
6	Расходы на текущие работы по освоению рудного месторождения	тыс. тенге	4 800	3 013	4 600	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
61	Объекты добычи	кг	20 940	2 013	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046
62	Затраты на добычу	тыс. тенге	27 621 381	2 281 389	2 286 510	2 290 087	2 296 710	2 298 417	2 298 417	2 298 417	2 298 417	2 298 417	2 298 417	2 298 417	2 298 417	2 298 417	2 298 417
63	Затраты на ГРП	тыс. тенге	81 870	27 950	38 383	15 999	15 999	15 999	15 999	15 999	15 999	15 999	15 999	15 999	15 999	15 999	15 999
64	Объекты горно-проходочных работ	кв. м	24 467	12 063	6 412	5 992	5 992	5 992	5 992	5 992	5 992	5 992	5 992	5 992	5 992	5 992	5 992
65	Объекты ГРП, проходочных работ	кв. м	78 373	15 644	31 778	29 648	29 648	29 648	29 648	29 648	29 648	29 648	29 648	29 648	29 648	29 648	29 648
66	Затраты на оплату по договорам подряда	тыс. тенге	12 426 478	8 266 400	1 240 111	1 240 111	1 240 201	1 240 201	1 240 201	1 240 201	1 240 201	1 240 201	1 240 201	1 240 201	1 240 201	1 240 201	1 240 201
67	Затраты на оплату по договорам подряда	тыс. тенге	4 009	389	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
68	Затраты на оплату по договорам подряда	кг	20 840	2 047	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046	2 046
69	Нормативы затрат на освоение рудного месторождения	%	68%	70%	70%	70%	71%	71%	71%	71%	70%	69%	67%	66%	66%	66%	66%
7	Выполнение работ по освоению рудного месторождения	тыс. тенге	14 124	1 433	1 431	1 448	1 451	1 459	1 459	1 459	1 459	1 459	1 459	1 459	1 459	1 459	1 459
8	Возможные затраты на освоение рудного месторождения	тыс. тенге	5 423	5 443	5 754	5 979	6 096	6 039	5 961	5 914	5 816	5 718	5 620	5 522	5 424	5 326	5 228
9	Возможные затраты на освоение рудного месторождения	тыс. тенге	79 477 692	8 179 617	8 236 995	8 179 617	8 085 649	8 043 961	7 913 834	7 817 908	7 764 170	7 691 347	7 617 524	7 543 701	7 469 878	7 396 055	7 322 232
10	Возможные затраты на освоение рудного месторождения	тыс. тенге	478	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540	540
11	Возможные затраты на освоение рудного месторождения	тыс. тенге	1 340 892	1 361 353	1 361 353	1 361 353	1 361 353	1 361 353	1 361 353	1 361 353	1 361 353	1 361 353	1 361 353	1 361 353	1 361 353	1 361 353	1 361 353
12	Возможные затраты на освоение рудного месторождения	тыс. тенге	2 323 393	274 392	279 831	279 831	279 831	279 831	279 831	279 831	279 831	279 831	279 831	279 831	279 831	279 831	279 831
13	Итого	тыс. тенге	4 292 102	4 279 243	4 275 921	2 865 048	2 054 048	1 889 101	1 656 543	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Итого	тыс. тенге	2 143 737	268 730	217 257	213 835	213 296	228 951	224 379	213 211	220 221	194 171	201 014	197 939	194 863	191 787	188 711
15	Итого	тыс. тенге	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	Итого	тыс. тенге	8 654 990	822 919	849 828	843 341	853 181	912 285	897 118	854 885	880 963	844 823	812 056	779 332	745 007	710 680	676 354
17	Итого	тыс. тенге	18 251 774	344 485	641 875	1 184 431	2 419 281	2 321 958	2 272 967	2 054 645	2 096 413	1 934 739	2 001 700	1 844 214	1 709 419	1 574 624	1 439 639
18	Итого	тыс. тенге	16 377 992	1 151 426	1 151 426	1 151 426	1 151 426	1 151 426	1 151 426	1 151 426	1 151 426	1 151 426	1 151 426	1 151 426	1 151 426	1 151 426	1 151 426
19	Итого	тыс. тенге	6 545 815	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740
20	Итого	тыс. тенге	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740	130 740

Рисунок 73 – Рабочая программа срока службы месторождения.

Добычные работы на месторождении будут вестись до 2029 г. в соответствии с утвержденной рабочей программой. Календарный график разработки представлен на рис. 73.

В пределах месторождения разведаны две основные жилы – Бескемпир и Сюрприз, которые имеют промышленный интерес и по ним осуществляются добычные работы. Жилы имеют субширотное простирание и северное падение. Жила Бескемпир – пологопадающая (угол наклона 40-45°), жила Сюрприз –

крутая (65-70°). Мощность жил в среднем 1,6-1,7 м. Средняя протяженность жил 700-750 м (простираение), примерно 400 м (падение). Контакты рудных тел с вмещающими породами четкие. Рудные тела значительно нарушены дорудными, синрудными и пострудными разломами, что оказывает весьма отрицательное влияние на разработку месторождения. На глубине 70-140 м жилы Бескемпир и Сюрприз сопрягаются друг с другом, образуя единое тело повышенной мощности с углом падения порядка 55°.

Руды месторождения относятся к золотокварцевой умеренно-сульфидной формации. Основным ценным компонентом в руде является золото. Попутными компонентами являются серебро и сера сульфидная. Вредной примесью является мышьяк, среднее содержание которого 0,15-0,17 %. Содержание золота в разных частях жил варьирует от 4,9 до 16,3 г/т, среднее содержание составляет 6,3-6,6 г/т.

По сложности геологического строения месторождение «Бескемпир» отнесено ГКЗ к 3 группе. Запасы месторождения «Бескемпир» утверждены ГКЗ СССР в 1986 году протоколом № 10026 от 27.08.1986 г. Перспективы прироста запасов ограничены, так как на глубине рудные тела срезаются Бескемпирским разломом и ниже не прослеживаются, а на флангах полностью оконтурены.

На подземном руднике Бескемпир, учитывая инженерно-геологические, горнотехнические условия и морфологические особенности рудных тел, принята следующая система разработки поэтажно-камерная система с послонной отбойкой руды глубокими скважинами и доставкой силой взрыва

Подготовительные работы заключаются в проходке заезда с транспортных съездов до жил с камерой для погрузочных работ и разминки транспорта для самоходного оборудования.

Нарезные работы включают в себя разведочный штрек сечением $S=9\text{м}^2$ проходимого по контуру рудного тела. В верхней части блока с разведочного штока каждые 90м производится проходка отрезных восстающих сечением $S=3,8\text{м}^2$ до вышележащего подэтажа или горизонта, тем самым происходит подготовка камер. Между подэтажами высота составляет 10-15м. По окончании подготовительно-нарезных работ на 1 поэтажном штоке производится разбуривание массива подэтажа камеры станком РНҚ-3000 или Т1Д Бумером.

В настоящее время очистные работы ведутся на глубинах 180-260 м, а горно-строительные работы до 320-380 м. Выполнение горных работ в подземных условиях осуществляется через комплексной механизации горно-проходческих и очистных работ, то есть в шахтном поле внедрены современные высокопроизводительные, мощные, самоходные оборудования и станки. Проходка выработок и очистные работы производятся буровзрывным способом.

В шахтном поле месторождения Бескемпир для ведения подземных горных работ применяются следующие прогрессивные самоходные оборудования (рис. 74):

- Буровые работы: СБУ «Boomer 281», «Boomer 282» и их аналоги;
- Погрузочно-доставочные работы и транспортировка горной массы горной массы: ПДМ марки «ST-2D», «ST-3,5», «ST-7» и шахтными самосвалами.

- Проходка восстающего: комплекс Алимек с буровым оборудованием;
- Бурение буровзрывных скважин для отработки рудных тел: RHQ3000;
- Другие прогрессивные техники.



Рисунок 74 – Парк техники шахтного поля месторождения Бескемпир

Объемный вес руды и вмещающих пород колеблется от 2,69 до 2,83 т/м³. Коэффициент разрыхления 1,5-1,6, а крепости по шкале проф. Протодьяконова М.М. составляют: кварцевая руда – 16-18, березиты – 11- 14, дайки лампрофиров – 11-12 и гранодиориты – 14-16. Наиболее ослабленными являются участки сопряжения выработок и зоны ослабления, где ведение горных работ сильно осложняется, увеличивается разубоживающая масса.

Несмотря на высокой степени точности детальной геологической разведки, при нарезке эксплуатационных блоков повсеместно отмечаются геологические осложнения, связанные с уменьшением мощности рудных тел, с разрывом сплошности и целостности жил как по падению, так и по простиранию, а также выявлено значительное снижение балансовых содержаний золота. Эти объективно-осложняющие причины определяют проходку дополнительных выработок, применение мелко-шпуровых способов отбойки руды, что снижают темпы освоения месторождения и ведут к увеличению эксплуатационных затрат.

В связи с вышеизложенными факторами, при проходке выработок и в процессе очистных работ происходят различного характера сложности и опасности ведения горных работ. Для решения этих задач необходим прогноз изменения устойчивости массива и возможных неблагоприятных геологических явлений в подземных горных выработках.

В настоящее время разработано множество инженерных методов прогноза и управления геологическими явлениями в ослабленных горными выработками массивах, однако из-за отсутствия надежных исходных геологических данных потенциальные возможности этих методов остаются нереализованными, а сами

методы – зачастую практически малоэффективными. Следовательно, создание надежной геологической базы, а это прежде всего изучение и оценка ИГУ МПИ, обеспечивает надежный прогноз возникновения и развития неблагоприятных геологических явлений, влияющих на рациональное освоение недр, устойчивость горных выработок и безопасное производство горных работ.

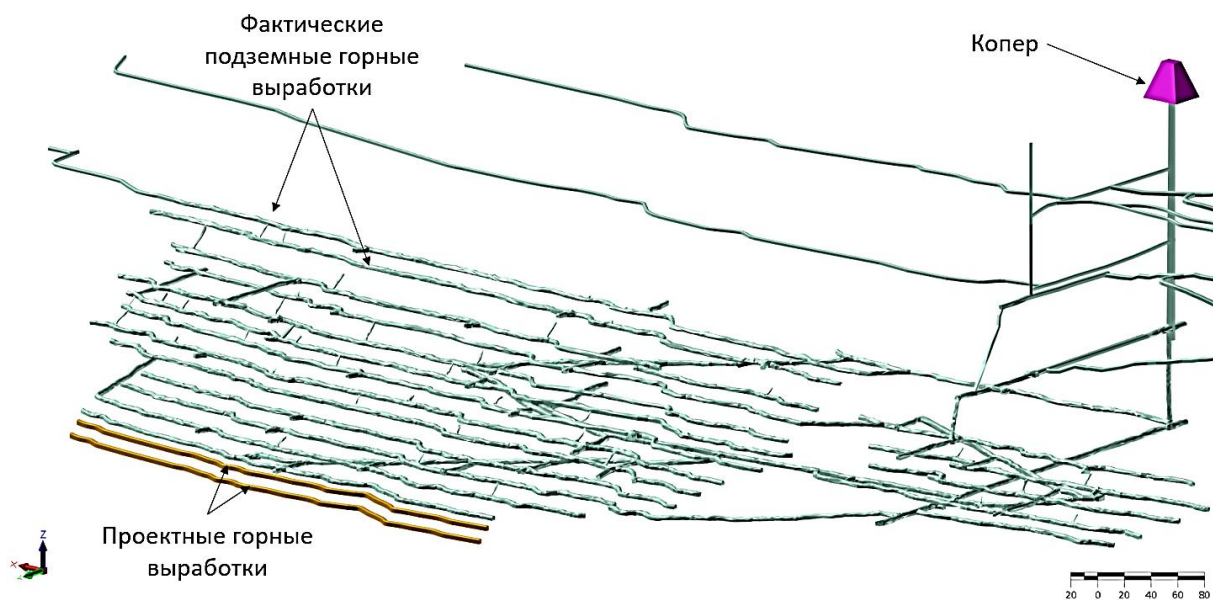


Рисунок 75 – Подземные горные выработки шахтного поля.

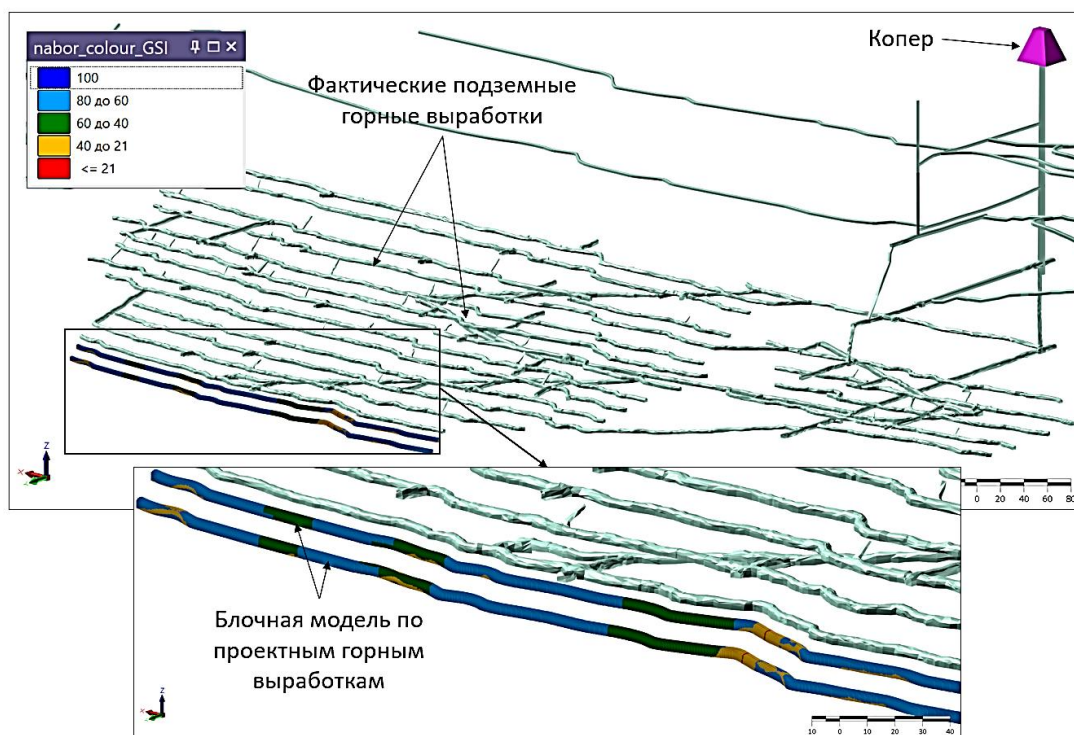


Рисунок 76 – Подземные горные выработки шахтного поля. Блочная модель по проектным выработкам.

На сегодняшний день на подземном руднике месторождения Бескемпир прогноз изменения устойчивости массива и возможных неблагоприятных геологических явлений в подземных горных выработках осуществляется с использованием 3D моделирования на основе результатов оценки ИГУ месторождения. До проходки горных выработок и очистных работ благодаря автором предложенному подходу можно получить из блочной модели полную инженерно-геологическую характеристику массива как показана на рисунках 75-76.

От инженерно-геологических параметров горных пород существенно зависят конструкции горных выработок, их устойчивость, развитие разнообразных неблагоприятных геологических явлений, обводненность горных выработок, а также выбор способа вскрытия к системе разработки месторождений и в целом условия производства строительных и горных работ. Поэтому оценка ИГУ МПИ имеет большую роль для получения качественных и количественных значений инженерно-геологических параметров в пределах месторождения. Достоверная оценка ИГУ МПИ в свою очередь является основой правильного прогноза изменения устойчивости массива и возможных неблагоприятных геологических явлений в выработках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Огромное значение имеет своевременность, точность и надежность оценки ИГУ МПИ. Из-за сложности инженерно-геологических условий месторождений и многофакторности процессов, возникающих при их взаимодействии с горными выработками, большая часть проблем, связанных с оценкой и прогнозом устойчивости массива горных пород, решается в период освоения месторождения, то есть во время строительства и эксплуатации горных выработок. Поэтому приходится проводить целенаправленные инженерно-геологические исследования не только в период разведки месторождений для утверждения их ресурсов и проектирования горного предприятия, но и непосредственно в горных выработках во время их проходки, чем и занимался автор диссертации при выполнении исследовательских работ.

Инженерная геология МПИ имеет большую практическую значимость в решении задач по рациональному использованию геологической среды и ее охране от отрицательного воздействия предприятий горного производства. Предложения и рекомендации по результатам инженерно-геологических исследований на месторождении особенно необходимы при проектировании и планировании горных работ на больших глубинах и масштабах, реконструкции действующих шахтных полей. Сейчас результаты работ диссертанта внедрены на действующее горное производство и успешно функционирует для решения выше задач.

Выбраны принципиальные методические приемы и способы исследования, совокупность которых позволил реализовать рациональный комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ по детальному изучению ИГУ МПИ. По результатам проведенных вышеперечисленных исследований и целенаправленной обработки всех полученных инженерно-геологических информации достигнуто формирование финальной базы данных инженерно-геологических параметров и создание 3D моделей, с использованием которых произведена оценка ИГУ месторождения Бескемпир. Далее на основании оценки ИГУ осуществлен прогноз изменения устойчивости массива и возможных неблагоприятных геологических явлений и процессов в подземных горных выработках в пределах месторождения.

Работоспособность исследовательских работ автора в инженерной геологии МПИ проверена на богатой практике в условиях проходки подземных горных выработок и очистных работ на разрабатываемом месторождении «Бескемпир», результаты исследований апробированы и внедрены в производство горных работ рудника.

Автором проведенные инженерно-геологические исследования в рамках программы PhD имеет большое научное содержание и практическое значение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Байбатша А.Б. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых с основами геоинформатики. Монография. Алматы: Научно-издательский центр «Гылым», 2003. – 320 с.
- 2 Байбатша А.Б. Геология месторождений полезных ископаемых: Учебник. – Алматы: КазНУТУ, 2019. – 432 с.
- 3 Байбатша А.Б. Модели месторождений благородных металлов. Алматы, 2014. – 452 с.
- 4 Байбатша А.Б., Мушински А., Шайяхмет Т.К. Учет вещественного состава руд для 3D моделирования запасов месторождений. «Фундаментальные и прикладные проблемы геологии, геофизики, петрологии и металлогении», материалы международной научной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения академика АН РУз Ибрагима Хамрабаевича Хамрабаева, 2021, стр. 59-63.
- 5 Байбатша А.Б., Шайяхмет Т.К. Геологическое сопровождение горных работ при подземной разработке золоторудного месторождения. Сборник трудов международной научно-практической конференции «Рациональное использование минерального и техногенного сырья в условиях Индустрии 4.0», 2019, стр. 62-68.
- 6 Бакенов М.М., Коробкин В.В., Кадыкова М.Б. Геология и золотоносность Акбакайского рудного поля: Монография. – Алматы: КазНУТУ, 2012.– 128 с.
- 7 Беспаяев Х.А., Глоба В.А., Абишев В.М., Гуляева Н.Я. Месторождения золота Казахстана // Справочник. – Алматы, 1996. – 183 с.
- 8 Бондарик Г.К. Методика инженерно-геологических исследований. - М.: Недра, 1986. – 333 с.
- 9 Бондарик Г.К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. - М.: Недра, 1971. – 272 с.
- 10 Васильев П.В. Гурьянова И.В., Компьютерная графика: учебное пособие. – Белгород: Издательство БелГУ, 2007. – 168 с.
- 11 Васильев П.В. Петин А.Н., Яницкий Е.Б., Геоинформатика в недропользовании: учебное пособие. – Белгород : Издательство БелГУ, 2008. – 232 с.
- 12 Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках. – М.: Недра, 1994. – 208 с.
- 13 Газиев Э.Г., Тиден Е.Н. Определение параметров систем трещин вероятностным методом. – «Инженерная геология», 1979, №4, с.99-105.
- 14 Гайдин А.М., Певзнер М.Е., Смирнов Б.В. Прогнозная оценка инженерно-геологических условий разработки месторождений твердых полезных ископаемых. - М.: Недра, 1983. – 310 с.
- 15 Глушко В.Т., Кирничанский Г.Т. Инженерно-геологическое прогнозирование устойчивости выработок глубоких угольных шахт. - М.: Недра, 1974. – 176 с.

- 16 Голодковская Г.А., Матула М., Шаумян Л.В. Инженерно-геологическая типизация и изучение скальных массивов. - М.: МГУ, 1987.
- 17 Гребенкин С.С., Павлыш В.Н., Самойлов В.Л. и др. Управление состоянием массива горных пород. – Донецк: ДонНТУ, 2010. – 194 с.
- 18 Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Издательство МГУ, 2005. – 1024 с.
- 19 Давид М., Геостатистические методы при оценке запасов руд: пер. с англ.. - Л.: Недра, 1980. – 360 с.
- 20 Дуйсенбеков Д.Д. и др. Отчет о поисково-оценочных работах на рудопроявлениях Макпал, Аксакал и др. Акбакайского рудного поля за 1981-85 гг. Фонды ТГУ «Южказнедра», 1986.
- 21 Ершов В.В. Основы горно-промышленной геологии: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1988. – 326 с.
- 22 Иванов И.П. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых: Учебное пособие для вузов. - М.: Недра, 1990. – 304 с.
- 23 Изучение напряженного состояния массивов пород в инженерно-геологических целях. - М.: МГУ, 1968. – 136 с.
- 24 Инструкция по изучению инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых при их разведке. - М.: Недра, 1975. – 52 с.
- 25 Капралов Е.Г. Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. и др., Основы геоинформатики: учебное пособие. - М. : Академия, 2004. – 832 с.
- 26 Капутин Ю.Е., Горные компьютерные технологии и геостатистика: - М.: Недра, 2002. – 424 с.
- 27 Колганов В.Ф. Бондаренко И.Ф., Давыденко А.Ю., Васильев П.В., Компьютерное моделирование при разведке и оптимизации разработки месторождений алмазов. - Новосибирск : Наука, 2008. – 262 с.
- 28 Курленя М.В., Попов С.Н. Теоретические основы определения напряжений в горных породах. – Новосибирск: Наука, 1983. – 96 с.
- 29 Лабораторные работы по грунтоведению / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. М.: Высшая школа, 2008. – 519 с.
- 30 Ломтадзе В.Д. Инженерная геология месторождений полезных ископаемых. - Учебник для вузов. - Л.: Недра, 1986. – 272 с.
- 31 Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология. - Л.: Недра, 1978. - 496 с. 68.
- 32 Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: Учебное пособие для вузов. - Л.: Недра, 1990. - 328 с.
- 33 Ляшенко В.И., Развитие методов управления запасами руд при подземной разработке месторождений сложной структуры // Горный журнал. - 2005 г.. - №6. - стр. 23-27.
- 34 Малахов В.В., Курячий С.И. и др. Отчет с подсчетом запасов руды и золота по месторождению Бескемпир по состоянию на 01.01.2017 г. – Алматы, 2017. – 189 с.
- 35 Матерон Ж., Основы прикладной геостатистики. - М. : Мир, 1968. – 408.

- 36 Невский В.А. Трещинная тектоника рудных полей и месторождений. - М.:Недра, 1979.-224 с.
- 37 Олейников М., Лопарев С.Отчет по геологическому моделированию, оценке минеральных ресурсов золотосодержащих руд месторождения Акбакай, Алматы, 2010. – 121 с.
- 38 Орынбаев О.В. К оценке трещиновато-блочного строения массива скальных пород. - "Изв. ВУЗов. Геология и разведка", 1982, № 10, с. 29-32.
- 39 Певзнер М.Е., Попов В.Н., Макаров А.Б. Механика массива горных пород. – М.: Горная книга, 2011. – 421 с.
- 40 Петин А.Н. Яницкий Е.Б., Геоинформационные технологии как инструмент создания и анализа геоэкологических данных горнодобывающих комплексов Курской Магнитной аномалии (КМА) // Вестник РУДН, Сер. Инженерные исследования. - 2007 г.. - Т. 2. - стр. 113-118.
- 41 Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород / под ред. В.С. Попова, О.А. Богатикова. М.: Логос, 2001. – 768 с.
- 42 Поротов Г.С. Математические методы моделирования в геологии. СПб: Изд-во Санкт-Петербургского горного института, 2006. – 223 с.
- 43 Поротов Г.С. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых; Учеб. пособие. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2012. – 120 с.
- 44 Передельский Л.В., Приходенко О.Е. Инженерная геология. Издание 2-е, доп. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 465с.
- 45 Пушкарев В.И. К вопросу оценки напряженно-деформированного состояния и расчета оптимальных параметров откосов в массиве с крутопадающей слоистостью. - "Физ.-техн. пробл. разр. пол. иск.", № 5, 1988, стр. 28-33.
- 46 Рац М.В. и др. Автоматизированная система обработки данных по трещиноватости горных пород для инженерно-геологических целей (АСОД). - "Инженерная геология", 1979, № 5, стр. 78-79.
- 47 Рац М.В. Структурные модели в инженерной геологии. - М.: Недра, 1973. – 216 с.
- 48 Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. - М.:Недра, 1970.
- 49 Редькин Г.М., Нестационарное анизотропное математическое моделирование неоднородностей систем минерального сырья . - М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – 500 с.
- 50 Сас И.Е., Бершов А.В. Об особенностях модели поведения скального грунта Хоека - Брауна и задании ее исходных параметров // Инженерные изыскания. – 2015. – №13. – стр. 42-47.
- 51 Скворцов А.В., Геоинформатика: учеб. пособие. - Томск : Изд-во Том. ун-та, 2006. – 336 с.
- 52 Спиридонов А.М. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: Гео, 2006. – 291 с.

- 53 Сученко В.Н., Анализ исходной информации и прогнозирование в геометрии недр. - М. : Техинформ, 2009. – 270 с.
- 54 Федоров Л.Н., Брук М.Л. От естественной кусковатости в природе к модели разрушения горных пород // Записки Горного института. – 2007. – Т. 171. – стр. 144-150.
- 55 Чернышев С.Н. Трещиноватость горных пород и ее влияние на устойчивость откосов. - М.:Недра, 1984. – 111 с.
- 56 Чернышев С.Н. Трещины горных пород. - М.:Наука, 1983. – 240 с.
- 57 Шайяхмет Т.К. Формирование базы данных при оценке инженерно-геологических условий месторождений в 3D среде. Министерство образования и науки Республики Казахстан, Вестник КазННТУ №4 (140), 2020, стр. 90-97.
- 58 Шайяхмет Т.К. 3D модельдеудің кейбір геологиялық және инженерлік-геологиялық мәселелерді шешудегі маңыздылығы. "Сатпаев оқулары - 2021", I-т, 2021, 159-163 бб.
- 59 Шайяхмет Т.К. Изучение гидрогеологических условий золоторудного месторождения Бескемпир. "Сатпаевские чтения - 2020", I-т, 2020, стр. 101-105.
- 60 Шайяхмет Т.К. Некоторые особенности геологического строения золоторудного месторождения Бескемпир. Труды Сатпаевских чтений "Инновационные технологии – ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК", I - т, Алматы, 2019, стр. 236-241.
- 61 Шайяхмет Т.К., Байбатша А.Б. О влиянии тектонических особенностей золоторудных месторождений на их инженерно-геологические условия. Министерство образования и науки Республики Казахстан, Вестник КазННТУ №1 (137), 2020, стр. 20-25.
- 62 Шайяхмет Т.К., Байбатша А.Б. Трехмерное моделирование рудных тел месторождений золотоносного акбакайского рудного поля. Министерство образования и науки Республики Казахстан, Вестник КазННТУ №3 (115), 2016, стр. 62-68.
- 63 Baibatsha A.B., Muszyński A., Shaiyakhmet T.K., Shakirova G.S. 3D modeling for estimation of engineering- geological conditions of operating mineral deposits. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. Vol.4, N°442, 2020, pp, 19-27.
- 64 Barton N. Review of a new shear-strength criterion for rock joints // Engineering Geology. – 1973. – Vol. 7, Issue 4, pp, 287-332.
- 65 Barton N. Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2002. – Vol. 39, Issue 2, pp, 185-216.
- 66 Barton N., Lien R., Lunde J. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support // Rock Mechanics and Rock Engineering. – 1974. – Vol. 6, Issue 4. – P. 189-236.

- 67 Barton N.R., Lien R., Lunde J. Engineering classification of jointed rock masses for the design of tunnel support // *Rock Mechanics*. – 1974. – Vol. 6. – P. 189-236.
- 68 Baumgärtner J., Rummel F. Experience with "Fracture Pressurization Tests" as a Stress Measuring Technique in a Jointed Rock Mass // *Int. J. of Rock Mech., Min. Sci. & Geomech. Abstr.* – 1989. – Vol. 26-6. – P. 661-671.
- 69 Bawa H.E., Yendaw J.A., Kansake B.A. et al. Rockmass characterization for open pit slope design using kinematic analysis // *Proced. 51st U.S. Rock Mechanics/Geomechanics sympos.* – San-Francisco, 2017. – P. 1-8.
- 70 Baynes, F.J., Fookes, P.G. and Kennedy, J.F. 2005. The total engineering geology approach applied to railways in the Pilbara, Western Australia. *Bulletin Engineering Geology and the Environment*, 64, 67–94.
- 71 Bell, F.G. 2007. *Engineering Geology*. 2nd Edition, An Imprint of Elsevier, Butterworth-Heinemann. 70-72, 487-496.
- 72 Bell, F.G. 2002. The geotechnical properties of some till deposits along the coastal areas of eastern England. *Engineering Geology*, 63, 49–68.
- 73 Bell, F.G. and Genske, D.D. 2000. Restoration of derelict mining sites and mineral workings. *Bulletin Engineering Geology and the Environment*, 59, 173–185.
- 74 Bell, F.G. and Jermy, C.A. 2000. The engineering character of some dolerites from Natal and surrounding areas, South Africa. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 33, 59–76.
- 75 Bell, F.G. and Jermy, C.A. 2002. Permeability and fluid flow in stressed strata and mine stability, Eastern Transvaal Coalfield, South Africa. *Quarterly Journal Engineering Geology and Hydrogeology*, 35, 391–402.
- 76 Brady H.G., Brown E.T. *Rock Mechanics: For underground mining*. – NY.: Springer Science & Business Media, 1985. – 628 p.
- 77 Bray, J.D., Sancio, R.B. and Durgunoglu, T. 2004. Subsurface characterization at ground failure sites in Adapazari, Turkey. *Proceedings American Society Civil Engineers, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130, 673–685.
- 78 Brown C., Thomas G. Experimental studies of ignition and transition to detonation induced by the reflection and diffraction of shock waves // *Shock Waves*. – 2000. – Vol. 10(1). – P. 23-32.
- 79 Brown E.T., Hoek E. Trends in relationships between measured in-situ stresses and depth // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*. – 1978. – Vol. 15, Issue 4. – P. 211-215.
- 80 Chandler, J.H. 2001. Terrain measurement using automated digital photogrammetry. In: *Land Surface Evaluation for Engineering Practice, Engineering Geology Special Publication No. 18*, Griffiths, J.S. (Ed.), Geological Society, London, 13–18.
- 81 Charles, J.A. and Skinner, H.D. 2001. Compressibility of foundation fills. *Proceedings Institution Civil Engineers, Geotechnical Engineering*, 149, 145–157.

- 82 Chen G., Jia Z., Ke J. Probabilistic analysis of underground excavation stability // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 1997. – Vol. 34, Issue 3-4. – P. 51.e1-51.e16.
- 83 Chilton, P.J., Stuart, M.E., Gooddy, D.C., Williams, R.J. and Johnson, A.C. 2005. Pesticide fate and behaviour in the UK Chalk aquifer, and implications for groundwater quality. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 38, 65–81.
- 84 Chinnasane D.R., Knutson M., Watt A. Use of cable bolts to reinforce the hanging pillars and improve the ore recovery when stopes are mined using double top sills at Vale's Copper Cliff Mine // *Deep Mining 2014: proceed. of the 7th internat. conf. on Deep and High Stress Mining*. – Perth, 2014. – P. 305-314.
- 85 Cornet F.H. Stress Determination from Hydraulic Tests on Pre-existing Fractures - the HTPF Method // *Procced. of the Int. Symp. on Rock Stress Measurements*. – Stockholm: Centek Publishers, 1986. – P. 301-312.
- 86 Culshaw, M.G. 2005. From concept towards reality: developing the attributed geological model of the shallow subsurface. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 38, 231–284.
- 87 Dalgic, S. 2002. A comparison of predicted and actual tunnel behaviour in the Istanbul Metro, Turkey. *Engineering Geology*, 63, 69–82.
- 88 De Bruyn, I.A. and Bell, F.G. 2001. The occurrence of sinkholes and subsidence depressions in the Far West Rand and Gauteng Province, South Africa. *Environmental and Engineering Geoscience*, 6, 281–295.
- 89 Deere D.U. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purpose // *Rock Mechanics and Engineering Geology*. – 1963. – Vol. 1(1). – P. 16-22.
- 90 Deere D.U., Deere D.W. The rock quality designation (RQD) index in practice // *In book: Rock classification systems for engineering purposes*. – Philadelphia, 1988. – Vol. 984. – P. 91-101.
- 91 Donnelly, L.J. 2006. A review of coal mining induced fault reactivation in Great Britain. *Quarterly Journal Engineering Geology and Hydrogeology*, 39, 5–50.
- 92 Doolin, D.M., Wells, D.I. and Williams, P.L. 2005. Assessment of fault-creep deformation at Memorial Stadium, University of California, Berkeley, California. *Environmental and Engineering Geoscience*, 11, 125–139.
- 93 Drumm, E.C. and Yang, M.Z. 2005. Preliminary screening of residual soils in karst terrain. *Environmental and Engineering Geoscience*, 11, 29–42.
- 94 Duncan J.M., State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes // *Journal of Geotechnical Engineering*. – 1996. – Vol. 122, Issue 7. – P. 577-596.
- 95 Einstein H.H., Veneziano D., Baecher G.B., O'Reilly K.J. The effect of discontinuity persistence on rock slope stability.- "Int. I. Rock Mech. Min Sci & Geomech. Abstr.", 1983, vol. 20, No. 5, pp. 227-236.
- 96 Ewert, F.K. 2005. Grouting investigations. *International Water Power and Dam Construction*, 57, 22–26.
- 97 Forth, R.A. 2004. Groundwater and geotechnical aspects of deep excavations in Hong Kong. *Engineering Geology*, 72, 253–260.

- 98 Foster, S.S.D. 2000. Assessing and controlling the impacts of agriculture on groundwater – from barley barons to beef bans. *Quarterly Journal Engineering Geology and Hydrogeology*, 33, 263–280.
- 99 French, P.W. 2001. *Coastal Defences: Processes, Problems and Solutions*. Routledge, London. Geertsema, M. and Torrance, J.K. 2005. Quick clay from the Mink Creek landslide near Terrace, British Columbia: geotechnical properties, mineralogy and geochemistry. *Canadian Geotechnical Journal*, 42, 907–918.
- 100 Griffiths D.V., Lane P.A. Slope stability analysis by finite elements // *Geotechnique*. – 1999. – Vol. 49, Issue 3. – P. 387-403.
- 101 Griffiths, J.S. 2005. Landslides. In: *Geomorphology for Engineers*, Fookes, P.G., Lee, M.E. and Milligan, G. (Eds.), Whittles Publishing, Dunbeath, Caithness, 173–217.
- 102 Hack, H.R.G.K., Price, D.G. and Rengers, N. 2003. A new approach to rock slope stability – a probability classification (SSPC). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 62, 167–184.
- 103 Hassell R., de Vries R., Player J. et al. Dugald River trial stoping, overall hanging wall behavior // *Design Methods 2015: proceed. of the internat. seminar on Design Methods in Underground Mining*. – Perth, 2015. – P. 185-198.
- 104 Hearn, G.J. 2002. Engineering geomorphology for road design in unstable mountainous areas: lessons learnt after 25 years in Nepal. *Quarterly Journal Engineering Geology and Hydrogeology*, 35, 143–154.
- 105 Hoek E. Methods for the rapid assessment of the stability of three-dimensional rock slopes. - *Quart.I. Engug. Geol.*, 1973, v. 6, № 3-4.
- 106 Hoek E. Strength of rock and rock masses // *ISRM News Journal*. – 1994. – Vol. 2(2). – P. 4-16.
- 107 Hoek E., Carranza-Torres C.T., Corkum B. Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition // *Proceed. North American Rock Mechanics Society meeting conf.* – Toronto, 2002. – P. 267-273.
- 108 Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S. Quantification of the geological strength index chart // *Proceed. of the 47th US Rock Mechanics "Geomechanics Symposium"*. – San Francisco, 2013. – P. 1-8.
- 109 Hoek E., Wood D., Shah S. A modified Hoek-Brown failure criterion for jointed rock masses // *Eurock 1992: proceed. of the internat. ISRM sympos. on Rock Characterization*. – London, 1992. – P. 209-213.
- 110 Hughes, D.B. and Clarke, B.G. 2003. Surface coal mining and the reclamation of tips, landfills and quarries – some geotechnical case studies from northern England. *International Journal Surface Mining, Reclamation and Environment*. 17, 67–97.
- 111 Hutchinson D.J., Falmagne V. Observational design of underground cable bolt support systems utilizing instrumentation // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. – 2000. – Vol. 58, №3. – P. 0227-0241.
- 112 Ingham, J.P. 2005. Predicting the frost resistance of building stone. *Quarterly Journal Engineering Geology and Hydrogeology*, 38, 387–399.

- 113 Joe B. Construction of three-dimensional delaunay triangulation using local transformation. - "Computer Aided Geometric Design", 1991, 8, pp. 123-142.
- 114 John K.W. Graphicsl stability analysis of slopes in jointed rock. - I.Joil. Mech. and Foundat. Div. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs, 1968, v. 94, № 2.
- 115 Kennedy, A. 2001. Drilling and grouting for dam construction in southern Turkey. Geodrilling International, 9, No. 3, 1–16.
- 116 Kumar, B.R. and Sharma, R.S. 2004. Effect of fly ash on engineering properties of expansive soils. Proceedings American Society Civil Engineers, Journal of Geotechnical Engineering and Geoenvironmental Engineering, 130, 764–767.
- 117 Latham, J.-P., Van Meulen, J. and Dupray, S. 2006. The specification of armourstone gradings and EN 13383 (2002). Quarterly Journal Engineering Geology and Hydrogeology, 39, 51–64.
- 118 Laubscher D.H. A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design // J. S Afr. Inst. Min. Metall. – 1990. – Vol. 90(10). – P. 257-273.
- 119 Lee, E.M. 2005. Coastal cliff recession risk: a simple judgement-based model. Quarterly Journal Engineering Geology and Hydrogeology, 38, 89–104.
- 120 Lawson A.R., Bieniawski Z.T. Critical assessment of RMR-based tunnel design practices: A practical engineer's approach // Proceed. Conf. Rapid Excavation and Tunneling. – Englewood: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2013. – P. 180-198.
- 121 Lucas J.M. A general stereographic method for getermiming the possible mode of failure of any tetrahedral rock wedge. - "Int. I. Rock Mech. Min Sci & Geomech. Abstr.", 1980, vol. 17, pp. 57-61.