

Нормативные документы в сфере деятельности
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ИЗУЧЕНИЮ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ
И УСТУПОВ КАРЬЕРОВ,
РАЗРЕЗОВ И ОТКОСОВ ОТВАЛОВ**



2022

Методические указания по изучению массива горных пород для обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов. – М.: ИПКОН РАН, 2022. – 102 с.

Настоящие методические указания разработаны в соответствии с действующими нормативными документами, содержат методы изучения инженерно-геологических, гидрогеологических условий массивов горных пород, принципы их районирования с учетом этапов и стадий геологоразведочных работ, а также сложности инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых различных геолого-промышленных типов, в том числе общераспространенных.

В методических указаниях приведены пояснения к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов», утвержденным приказом Ростехнадзора N 439 от 13.11.2020, а также приведены рекомендации по их применению.

Подготовлено под научно-методическим руководством Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук. Рекомендовано Ростехнадзором (письмо №07-00-04/245 от 03.03.2022).

В разработке методических указаний участвовали: Рыльникова М.В. (руководитель проекта, ИПКОН РАН), Алексеев А.Б., Есина Е.Н., Зотеев О.В., Котлов С.Н., Ливинский И.С., Макаров А.Б., Павлович А.А., Панжин А.А., Перепелицын А.И., Спирин В.И., Трубецкой Н.К., Харитонов А.А., Яницкий Е.Б.

ISBN 978-5-6041085-7-4

Оглавление

Введение.....	4
1. Общие положения, термины и определения.....	5
2. Изучение инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождений твердых полезных ископаемых.....	12
2.1. Виды и состав работ.....	12
2.2. Границы и объем исследований.....	17
2.3. Состав работ на различных типах месторождений.....	19
2.4. Бурение инженерно-геологических скважин и отбор проб.....	24
2.5. Геофизическое изучение массива горных пород.....	35
3. Изучение геолого-структурного строения.....	36
3.1. Картирование обнажений горных пород.....	36
3.2. Документирование керна инженерно-геологических скважин.....	40
3.3. Сбор данных для рейтинговой классификации массивов горных пород.....	47
4. Изучение физико-механических характеристик горных пород и массивов.....	65
4.1. Лабораторные методы испытаний.....	65
4.2. Полевые методы испытаний.....	67
5. Изучение гидрогеологических условий.....	71
5.1. Типизация гидрогеологических условий отработки месторождения открытым способом.....	71
5.2. Принципы схематизации условий фильтрации.....	74
5.3. Изучение гидрогеологических условий.....	76
5.4. Опытные-фильтрационные работы.....	79
5.5. Режимные наблюдения.....	81
5.6. Интерпретация данных гидрогеологических исследований.....	86
6. Инженерно-геологическое изучение условий формирования отвалов.....	87
7. Геомеханическая модель и районирование месторождения по инженерно- геологическим условиям.....	90
8. Содержание отчета.....	95
Список литературы.....	96
Приложение 1. Варианты типовых форм документации результатов инженерно- геологического изучения.....	98
Приложение 2. Таблицы для определения составляющих рейтингового показателя GSI ₂₀₁₃	101

Введение

Настоящие методические указания разработаны в соответствии с действующими нормативными документами, содержат методы изучения инженерно-геологических, гидрогеологических условий массивов горных пород, принципы их районирования с учетом этапов и стадий геологоразведочных работ, а также сложности инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых различных геолого-промышленных типов, в том числе общераспространенных.

Цель инженерно-геологического и гидрогеологического изучения массивов горных пород заключается в получении исходных данных, необходимых и достаточных для обоснования проектных параметров уступов и бортов карьеров, разрезов и откосов отвалов при разработке проекта освоения месторождений полезных ископаемых с учетом требований природоохранного законодательства и безопасности ведения открытых горных работ. Детальность изучения определяется сложностью условий, этапами и стадиями геологоразведочных работ, а также Программой инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, которая разрабатывается пользователем недр и (или) специализированной организацией.

1. Общие положения, термины и определения

1.1. Термины и определения

Азимут падения – угол между северным направлением меридиана и направлением падения прямой линии или линией падения геолого-структурного элемента. Отсчитывается по часовой стрелке и изменяется от 0° до 360° .

Азимут простирания – горизонтальный угол, между северным направлением географического меридиана по ходу часовой стрелки и линией простирания. Азимут простирания меньше азимута падения на 90° .

Вскрышные породы — горные породы, покрывающие полезные ископаемые и подлежащие выемке и перемещению в процессе ведения открытых горных работ.

Разрывные тектонические нарушения – нарушения сплошности горных пород с наличием смещения по поверхности разрыва или его отсутствием.

Геолого-структурный объект – горно-геологический элемент строения горных пород (контакт, разрывные нарушения, складка и ее элементы), документируемый в процессе инженерно-геологического изучения месторождения.

Геомеханическая расчетная модель – это физическая или математическая модель участка недр, описывающая наиболее существенные связи параметров и процессы нагружения и деформирования массива горных пород в соответствии с геомеханической информационной моделью.

Геомеханическая информационная модель – двух или трехмерная, бумажная или цифровая модель пространственно-атрибутивных данных, которые в комплексе характеризуют особенности геологического и структурно-тектонического строения месторождения, в том числе вмещающих пород, гидрогеологические условия и физико-механические свойства массива горных пород. Состав и наполнение геомеханической модели определяется специализированной организацией в зависимости от решаемых задач.

Геомеханический интервал – интервал керна, имеющий схожие свойства горных пород.

Гидрогеологические условия – совокупность факторов, определяющих гидродинамический и гидрохимический режим подземных вод.

Гидрогеологическое изучение месторождения – исследование, проводимое с целью получения гидрогеологической информации, необходимой для разработки мероприятий по управлению режимом подземных и поверхностных вод на месторождении.

Двухэтажное геологическое строение – строение участка земной коры, характеризующееся комплексом горных пород по своим свойствам (структурным, физико-механическим и т.д.) резко отличающийся от свойств горных пород его перекрывающих (подстилающих).

Домены (участки) — области, в пределах которых массив горных пород по комплексу каких-либо свойств или показателей, определяемых целями районирования, могут быть признаны однородными (см. инженерно-геологический элемент).

Иерархическая структура трещин - представление о массиве горных пород как совокупности структурных блоков различных размеров, границы которых определяются трещинами разных иерархических уровней. Прочностные и деформационные показатели массива считаются постоянными в пределах объемов, ограниченных поверхностями раздела соответствующих уровней иерархии.

Инженерно-геологические условия — совокупность характеристик компонентов геологической среды исследуемой территории (рельефа, состава и состояния горных пород, условий их залегания и свойств, включая подземные воды, геологических и инженерно-геологических процессов и явлений).

Инженерно-геологический элемент – это часть массива горных пород (слой, часть слоя), однородная по петрографическому составу, показателям состояния и физико-механических свойств (см. домен).

Инженерно-геологическое изучение месторождений полезных ископаемых – исследования, проводимые с целью получения информации, необходимой для промышленной оценки месторождений, обоснования способов вскрытия, системы разработки и параметров ее конструктивных элементов, а также прогноза их устойчивости, составления проектов организации горных работ.

Интенсивность трещиноватости (частота трещин) – число трещин одной системы, приходящихся на один линейный метр в направлении, перпендикулярном к трещинам, что также отражает показатель интенсивности данной системы трещин.

Круговая диаграмма трещиноватости – графическое представление на верхней полусфере результатов массового замера трещин, отражающее густоту точек полюсов плоскостей трещин и позволяющее оценить наиболее проявленные системы трещин на участке изучения.

Месторождение-аналог – месторождение, сходное по петрографии и генезису, которое может использоваться для прогноза горнотехнических условий неизученного месторождения.

Неразрушающий контроль – оценка прочностных свойств горных пород на основе полевых испытаний, в результате проведения которых образец не подвергается физическому разрушению.

Образец – единичная часть отобранной пробы, изготовленная и подготовленная к проведению испытания в соответствии с действующими нормативными документами.

Дренажные мероприятия – комплекс мер, направленных на снижение уровня подземных вод в прибортовом массиве.

Отвалообразование — процесс размещения вскрышных пород на специально отведенной площади — в отвале, являющийся завершающим звеном в производстве вскрышных работ на карьерах, разрезах.

Поверхность ослабления – горно-геологический элемент строения горных пород (слоистость, напластование, сланцеватость, разрывные нарушения, прослои пород со слабым сопротивлением сдвигу и т.д), являющийся потенциально возможными источником потери устойчивости уступов и бортов карьеров, разрезов.

Приконтурная зона – область массива, определяющая устойчивость борта карьера, разреза. Размер и положение границы приконтурной зоны определяется для каждого месторождения (участка недр) при разработке программы инженерно-геологического изучения массива.

Проба – некоторое количество горной породы, отобранное в пределах одной петрографической разности из керна скважин, поверхностных и подземных горных выработок, естественных откосов и обнажений для последующего изготовления образца(ов) для проведения лабораторных испытаний.

Районирование – это определение и геометризация тех или иных доменов в пределах месторождения.

Система трещин – совокупность трещин, характеризующаяся близкими по значению азимутом и углом падения.

Талик – участок незамерзающей породы среди многолетней мерзлоты, распространяющийся вглубь от дневной поверхности или от слоя сезонного промерзания.

Трехмерная цифровая модель – триангулированное облако точек изображения карьера, разреза и отвала.

Трещиноватость (блочность) горных пород – совокупность трещин в массиве горных пород, расчленяющая их на блоки различных размеров.

Угол падения – угол, образованный плоскостью измеряемого объекта с горизонтальной плоскостью. Замеряется между линией падения и её проекцией на горизонтальную плоскость, изменяется от 0° до 90°.

Уровень подземных вод – условная поверхность, на которой гидростатическое давление, созданное в порах (трещинах) горной породы, равно атмосферному.

Элементы залегания – азимут падения, простираения и угол падения геолого-структурного объекта, определяющие его положение в пространстве.

1.2. Настоящие методические указания содержат методы и объем инженерно-геологического и гидрогеологического изучения массивов горных пород для целей оценки устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов на всех стадиях освоения месторождений полезных ископаемых (участка недр).

1.3. Цель инженерно-геологического и гидрогеологического изучения участка недр заключается в получении исходных данных, необходимых и достаточных для обоснования проектных параметров бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов при разработке проекта освоения месторождений полезных ископаемых с учетом требований природоохранного законодательства и безопасности ведения открытых горных работ. Детальность изучения (объем и методика) определяется сложностью инженерно-геологических и гидрогеологических условий, этапами и стадиями геологоразведочных работ, программой работ.

1.4. Инженерно-геологическое изучение выполняется в пределах ширины призмы возможного обрушения. Основным объектом изучения является прибортовой массив горных пород, либо горные породы, являющиеся основанием отвалов.

Гидрогеологическое изучение проводится в зоне возможного влияния гидрогеологических условий на разработку месторождения. Определяется эта зона влияния по методу «большого колодца», суть которого заключается в необходимости определить приведенный радиус (R_0), соответствующий площади эффективного влияния «большого колодца».

При определении площади изучения гидрогеологических условий рекомендуется учитывать размеры области фильтрации, границы водоносных и водоупорных горизонтов, участвующих в формировании техногенного режима подземных вод.

1.5. На поисковой и оценочных стадиях геологоразведочных работ на основе результатов геолого-съемочных работ, геофизических исследований, анализа условий района исследований и характеристик аналогичных месторождений устанавливаются инженерно-геологические и гидрогеологические особенности района изучения. На данных стадиях специальных инженерно-геологических исследований не проводят.

1.6. На этапе детальной, а также предварительной, разведки месторождения инженерно-геологические и гидрогеологические скважины рекомендуется включать в общую сеть разведочных скважин. В разведочных скважинах помимо показателей качества мине-

рального сырья, описания петрографического типа пород и руд, дополнительно фиксируются интервалы изменения интенсивности трещиноватости, наличие разломов с их характеристикой (наличие заполнителя, глинки трения, смещения), также ведутся гидрогеологические наблюдения, в том числе отмечаются интервалы поглощения промывочной жидкости, замеряется положение уровня воды в скважине при остановках бурения.

1.7. На стадии эксплуатационной разведки в ходе инженерно-геологических и гидрогеологических исследований уточняются физико-механические свойства пород и руд, параметры природной трещиноватости, дополнительно изучаются отдельные участки и глубокие горизонты, неблагоприятные с точки зрения устойчивости. Необходимость работ по определению напряженно-деформированного состояния определяется Программой инженерно-геологического и гидрогеологического изучения.

1.8. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования выполняются на всех стадиях геологоразведочных работ с целью получения полной и достоверной информации для решения основных задач соответствующей стадии.

Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования проводятся с целью:

- изучения физико-механических свойств горных пород;
- изучения особенностей геолого-структурного строения месторождения;
- оценки развития неблагоприятных инженерно-геологических процессов и явлений с точки зрения устойчивости проектируемых уступов и бортов карьеров, разрезов (обрушения, оползни, камнепады, сели, лавины и др.);
- обоснования рекомендаций по повышению устойчивости горных пород;
- определения необходимости проведения дополнительных специальных работ;
- оценки гидрогеологических условия района и месторождения.

В районах развития многолетнемерзлых горных пород устанавливают температурный режим пород, границы криогенной зоны, контуры и глубину распространения таликов, характер изменения физическо-механических свойств пород при оттаивании, глубину сезонного оттаивания и промерзания.

В районах с высокой сейсмичностью учитываются требования к ведению работ в сейсмических районах на основании специальных исследований и карт.

1.9. Устойчивость уступов и бортов карьеров, разрезов определяется состоянием прибортового массива горных пород, которое складывается из совокупного взаимодействия природных и горнотехнических факторов.

1.10. Устойчивость откосов отвалов определяется физико-механическими свойствами пород основания и отвальных пород, а также режимом и технологией их формирования. При исследовании оснований отвалов изучаются физико-механические свойства пород и гидрогеологические условия площадки размещения.

1.11. В породах, свойства которых не меняются во времени (неподверженных выщелачиванию, незасоленных, некарстоопасных и т.д.) результаты инженерно-геологических изучения не имеют срока давности. Поэтому при оценке устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов могут использоваться архивные данные.

1.12. Основой районирования массива горных пород являются материалы геологического, инженерно-геологического и гидрогеологического изучения месторождения: анализ кернов инженерно-геологических и разведочных скважин, документация откосов уступов карьеров, разрезов, результаты оценки состояния естественных обнажений, анализ условий влияния поверхностных и подземных вод на устойчивость бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов, результаты опытно-фильтрационных работ, режимные наблюдения. Схема районирования уточняется по мере отработки месторождения.

1.13. В процессе районирования, в зависимости от поставленных целей и задач, выделяются участки (сектора, домены), характеризующиеся сходными свойствами или показателями. Районирование массивов горных пород также выполняется для последующей оптимизации инженерно-геологических и гидрогеологических работ, выбора и обоснования расчетных схем оценки устойчивости уступов и бортов карьеров, разрезов и откосов отвалов.

1.14. По степени сложности инженерно-геологических и гидрогеологических условий разработки месторождения подразделяются на: простые, средней сложности, сложные.

Для отнесения месторождений разных типов к той или иной категории сложности инженерно-геологических условий необходимо руководствоваться таблицей ниже (**Таблица 1-1**). При этом оценивается комплекс природных факторов, которые влияют на эти условия:

а) инженерно-геологические группы пород (связные, несвязные, полускальные, скальные);

б) тектоническая нарушенность пород, их трещиноватость, выветрелость, закарстованность;

в) величины гидростатических напоров, характера их изменчивости во времени и пространстве, коэффициенты фильтрации пород;

г) физико-механические свойства пород.

Таблица 1-1. Классификация месторождений по сложности инженерно-геологических условий

Характеристика сложности инженерно-геологических условий	Месторождения, приуроченные к различным типам пород		
	Тип 1. Преимущественно несвязные (песчаные, гравийные и др.) или связные (глинистые), или их переслаивание	Тип 2. Преимущественно полускальные	Тип 3. Скальные
а. Простые	Тип 1а. Необходимые несвязные или твердопластичные связные, залегающие на небольших глубинах (чаще выше местного базиса эрозии)	Тип 2а. Полускальные слабо дислоцированные и маловыветрелые, слабообводненные	Тип 3а. Массивные малодислоцированные и маловыветрелые, скальные
б. Средней сложности	Тип 1б. Обводненные несвязные и связные. Величины гидростатических давлений не превышают 100 м водяного столба. Несвязные породы имеют удовлетворительную водоотдачу и водопроницаемость (коэффициент фильтрации более 1,0 м/сут), что позволяет осушать их в сравнительно короткие сроки.	Тип 2б. Полускальные, дислоцированные, ослабленные трещиноватостью, выветриванием или прослоями пород с малой прочностью. Закарстованные полускальные породы. Двухэтажное строение, причем верхний этаж состоит из толщи обводненных несвязных и связных слоистых пород, а нижний из полускальных дислоцированных пород.	Тип 3б. Скальные дислоцированные, трещиноватые, с наличием зон дробления, выветривания. Сильно закарстованные. Карстовые полости содержат рыхлый заполнитель. Двухэтажное строение, причем верхний этаж состоит из толщи обводненных слоистых несвязных и связных пород, а нижний из скальных дислоцированных пород.
в. Сложные	Тип 1в. Обводненные несвязные породы большой мощности, иногда переслаивающиеся со связными. Величины гидростатических давлений превышают 100 м водяного столба. Породы обладают особо неблагоприятными инженерно-геологическими свойствами или условиями залегания (частое фацимальное изменение, наличие связных пород с текучей или мягкопластичной консистенцией и пр.). Дренажные мероприятия затруднены в связи со слабой проницаемостью пород.	Тип 2в. То же, что и 2б, но залегающие на больших глубинах. Двухэтажное строение, причем верхний этаж состоит из мощных толщ обводненных пород различного состава, а нижний из сложнодислоцированных полускальных пород.	Тип 3в. То же, что и 3б, но залегающие на больших глубинах. Двухэтажное строение, причем верхний этаж состоит из мощных толщ обводненных пород различного состава, а нижний из сложнодислоцированных скальных пород

К усложняющим факторам относятся: наличие рек, крупных водоемов, мощных водоносных аллювиальных отложений, кор выветривания, региональных разломов, высокоминерализованных и газированных подземных вод, глубокое залегание полезного ископаемого, значительное разнообразие и изменчивость состава и свойств горных пород, интенсивная тектоническая нарушенность, трещиноватость, закарстованность пород, большая изменчивость гидрогеологических параметров и высокая водообильность водоносных горизонтов.

2. Изучение инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождений твердых полезных ископаемых

2.1. Виды и состав работ

2.1.1. Виды, состав и объем исследований определяются в зависимости от стадии геологоразведочных работ и степени сложности месторождения с учетом необходимости получения исходных данных, обеспечивающих прогноз инженерно-геологических и гидрогеологических условий при освоении месторождения.

2.1.2. Цель работ на поисковой и оценочной стадиях разведки заключается в получении информации о гидрогеологических и инженерно-геологических условиях участка недр, необходимой для укрупненной проработки технологических решений при составлении проекта временных кондиций. Кроме того, определяются виды и объемы инженерно-геологического и гидрогеологического изучения месторождения на стадии его детальной разведки. На данной стадии характеристика инженерно-геологических и гидрогеологических условий выполняются на основе:

- изучения фондовых и литературных материалов;
- анализа материалов геологоразведочных работ, инженерно-геологических и гидрогеологических наблюдений, материалов комплексных съемок среднего масштаба, условий эксплуатации карьеров, разрезов в примерно сходных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях;
- замеров уровней воды водоносных горизонтов в поисково-разведочных скважинах, температуры воды и пород в районах развития многолетнемерзлых пород;
- описания пород, полученных из разведочного бурения с полевым определением физико-механических свойств горных пород;
- химических анализов подземных и поверхностных вод.

Для районов со сложными условиями проводятся дополнительные гидрогеологические, инженерно-геологические и геокриологические (в районах развития многолетней мерзлоты) съемки; пробные откачки из основных водоносных горизонтов в единичных скважинах, закладываемых в характерных участках местности; определяются физико-механические свойства по образцам основных петрографических типов горных пород.

В случае отсутствия материалов комплексной съемки проводится инженерно-геологическая рекогносцировка района месторождения, цель которой – фиксация развития неблагоприятных инженерно-геологических процессов, которые могут оказать влияния на условия строительства и эксплуатации карьера, разреза и отвала. В случае выявления таких процессов на данных участках могут быть дополнительно проведены буровые работы, отобраны образцы на испытания.

В результате инженерно-геологического и гидрогеологического изучения участка недр на стадии поисково-оценочных работ описываются основные компоненты инженерно-геологических условий, их пространственная изменчивость, дается оценка территории и выполняется ее районирование, устанавливается возможность развития неблагоприятных инженерно-геологических процессов в ходе освоения участка недр.

2.1.3. На стадии предварительной разведки месторождения исследования направлены на выявление инженерно-геологических и гидрогеологических условий участка недр. При этом дополнительно проводятся следующие виды работ:

- инженерно-геологическое и гидрогеологическое маршрутное обследование района;
- инженерно-геологическая документация геологоразведочных выработок;
- бурение инженерно-геологических и гидрогеологических скважин;
- пробные одиночные и единичные кустовые откачки (наливы) из скважин, расположенных на характерных участках месторождения;
- режимные наблюдения за подземными и поверхностными водами;
- лабораторное изучение физико-механических свойств пород по выборочным образцам из основных петрографических типов пород с анализом их по полному комплексу определений;
- изучение гидрографической сети района с описанием основных гидрогеологических параметров;
- геофизические исследования.

В сложных условиях кроме перечисленных видов работ проводится комплексная инженерно-геологическая и гидрогеологическая, а в районах развития многолетнемерзлых пород и геокриологическая, съемки в масштабе 1:10 000 – 1:25 000.

В результате этих исследований выявляются факторы, оказывающие влияние на разработку месторождения, обосновывается необходимость, объемы и методика его дальнейшего инженерно-геологического и гидрогеологического изучения.

Результаты выполненных работ содержат сведения:

- об инженерно-геологических особенностях массивов пород месторождения и их анизотропии (тектонической нарушенности, слоистости, трещиноватости и пр.);
- о физико-механических свойствах основных петрографических разновидностей горных пород и руд;
- о неблагоприятных инженерно-геологических процессах и явлениях, которые могут оказать влияние (усложнить) на разработку месторождения и необходимости осуществления защитных мероприятий (закрепление, осушение и т.д.);
- для районирования месторождения по инженерно-геологическим условиям;

- для разработки заключения о наиболее безопасном с инженерно-геологической точки зрения способе разработки месторождения (открытый, подземный или комбинированный);
- для составления программы инженерно-геологических работ на месторождении при детальной разведке.

Материалы исследований применяются при технико-экономическом обосновании (ТЭО) освоения месторождений и проектирования инженерно-геологических работ на стадии детальной разведки.

В районах развития многолетнемерзлых горных пород на данной стадии проводятся дополнительные работы, направленные на выявление и установление характера распространения таких горных пород, их температурного режима, а именно:

- инженерно-геокриологическая съемка масштаба не менее 1:25 000;
- температурные измерения в скважинах и горно-разведочных выработках, расположенных на различных участках месторождения;
- наблюдения за температурным режимом многолетнемерзлых горных пород;
- комплекс геофизических исследований.

Исследования дают сведения об основных закономерностях распространения толщи многолетнемерзлых пород и слоя сезонного протаивания на месторождении, льдистости и текстуре пород, примерных размерах и форме залежей подземного льда, годичном температурном режиме пород с предварительной оценкой состояния массивов мерзлых пород после их протаивания.

2.1.4. Инженерно-геологические материалы, полученные при детальной разведке месторождений, являются основой для составления проектной документации. Контрольно-техническое бурение и другие инженерно-геологические работы, необходимые для обоснования рабочих чертежей или решения специальных вопросов, возникающих при проектировании, выполняются по особым программам, разрабатываемым специализированной организацией.

На стадии детальной разведки, на выделенных в результате предварительной разведки участках, проводится детальное инженерно-геологическое и гидрогеологическое изучение. Проведенные на этой стадии работы дают уточненную и обоснованную необходимым фактическим материалом характеристику инженерно-геологических и гидрогеологических условий месторождения в целях его промышленного освоения.

К перечисленным выше видам работ на месторождениях с простыми условиями дополнительно проводят:

- комплексное инженерно-геологическое и гидрогеологическое обследование в масштабе не менее 1: 10 000 с применением топографической основы соответствующего масштаба;
- замеры уровней водоносных горизонтов в разведочных скважинах (не менее 25%) с проведением откачек из основных водоносных горизонтов по скважинам, расположенных на характерных участках месторождения;
- определение химического и бактериологического состава подземных и поверхностных вод;
- лабораторные исследования физико-механических свойств пород;
- бурение скважин с ориентированным керном, если это предусмотрено программой изучения.

На месторождениях с инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями средней сложности и сложных проводятся:

- инженерно-геологическая, гидрогеологическая и геокриологическая съемки в масштабе не менее 1:10 000;
- определение уровней всех водоносных горизонтов во всех разведочных скважинах, а также в специально пробуренных гидрогеологических скважинах и опытных кустах с производством из них опытных откачек для определения коэффициентов фильтрации, уровнепроводности, пьезопроводности, геокриологических наблюдений и др.;
- наблюдения за режимом подземных и поверхностных вод продолжительностью не менее одного года и температурным режимом многолетнемерзлых пород;
- лабораторные исследования физико-механических свойств горных пород. Опробуется каждый характерный слой геологического разреза (преимущественно по полному комплексу определений). Исследования песчано-глинистых и выветрелых пород проводятся на монолитах, отобранных с применением грунтоносов;
- геофизические работы;
- бурение с ориентированным керном, если это предусмотрено программой изучения.

Результаты работ на стадии детальной разведки (с использованием результатов геологических и гидрогеологических работ и применения геофизических исследований) обеспечивают получение уточненных материалов:

- по инженерно-геологической характеристике массивов горных пород, их анизотропии, интенсивности трещиноватости;
- по физико-механическим свойствам горных пород, в том числе полезного ископаемого, их изменчивости в плане и глубине;

- по прогнозной оценке изменения физико-механических свойств пород в процессе вскрытия и эксплуатации месторождения и возможности возникновения неблагоприятных инженерно-геологических явлений при горных работах;
- по инженерно-геологическим наблюдениям и работам, рекомендуемым на следующих стадиях освоения месторождения.

Инженерно-геокриологическое изучение месторождений на стадии детальной разведки дополнительно состоит в проведении следующих работ:

- температурные наблюдения по скважинам с целью уточнения температурного режима мерзлых толщ, их расположения по площади и глубине, в бортах предельного контура карьера, разреза и в основаниях отвалов;
- ступенчатое сети электрометрических профилей, вертикальное зондирование для уточнения мощности и распространения по площади многолетнемерзлой толщи, местоположения таликов;
- определение теплофизических характеристик пород в талом и мерзлом состояниях;
- определения типов криогенной текстуры, льдистости горных пород, характера затопления и количества льда в трещинах;
- изучение физико-механических свойств горных пород в талом и мерзлом состоянии.

Результаты работ дают сведения о глубине сезонного промерзания и протаивания, распространении толщи многолетнемерзлых пород, их льдистости и температуре, размерах и строении залежей подземного льда, годичном температурном режиме пород верхнего яруса месторождения и температуре пород на типичных участках по всей глубине мерзлой толщи, проявлении криогенных и инженерно-геокриологических процессов, а также использоваться для прогнозной оценки состояния массивов мерзлых горных пород после их протаивания, а талых – после промерзания;

2.1.5. На стадии эксплуатационной разведки инженерно-геологические и гидрогеологические исследования дополнительно проводятся на участках неблагоприятных с точки зрения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов, откосов отвалов, которые были установлены в процессе эксплуатации месторождения и не предусмотрены проектными решениями, а также слабоизученных участках. Изучение таких участков выполняется по специально разработанным программам.

Инженерно-геокриологические исследования состоят в проведении следующих работ:

- проведение температурных наблюдений по скважинам с целью определения глубин промерзания-оттаивания, а также определения теплофизических характеристик;
- изучение криогенности в карьерах, разрезах и отвалах.

2.2. Границы и объем исследований

2.2.1. Общая инженерно-геологическая и гидрогеологическая характеристика участка недр на стадии предварительной разведки дается в границах лицензионного участка и прилегающих к нему территорий, природные особенности которых могут оказывать влияние на инженерно-геологические и гидрогеологические условия освоения месторождения.

Ширина приконтурной зоны, в пределах которой выполняется инженерно-геологическое изучение массива горных пород, ограничивается геометрическими размерами призмы возможного обрушения и определяется в зависимости от конструктивных параметров проектируемого карьера, разреза, а также возможного механизма деформирования при бортового массива горных пород. Ширина призмы возможного обрушения может быть определена на основании предварительных геомеханических расчетов.

Площадь гидрогеологического изучения определяется формой карьера в плане и положением гидродинамических границ.

Гидрогеологические изыскания должны проводиться в пределах предполагаемой зоны эффективного влияния карьера. В условно неограниченных пластах зона эффективного влияния определяется приведенным радиусом влияния, откладываемым от контура дренажных сооружений. Приведённый радиус влияния дренажа определяется по формуле:

$$R = \sqrt{\pi a t},$$

где a – коэффициент уровнепроводности (пьезопроводности для напорных водоносных горизонтов), м²/сутки;

t – время от начала эксплуатации дренажа, сутки.

Зона влияния карьера может оконтуриваться гидродинамическими границами (реками, зонами выклинивания водоносных горизонтов и др.).

2.2.2. Глубина инженерно-геологических скважин, из которых отбираются образцы для получения физико-механических свойств горных пород, определяется условиями залегания, структурными особенностями месторождения и изменчивостью прочностных свойств с глубиной. Все скважины должны пересекать призму возможного обрушения.

2.2.3. Число инженерно-геологических скважин в пределах границы изучения определяется изменчивостью физико-механических свойств в образце на отдельных участках месторождения.

2.2.4. Количество инженерно-геологических скважин на стадии детальной разведки должно составлять от общего количества геологоразведочных скважин 8% для простых инженерно-геологических условий, 12% – средней сложности и 15% – сложных. Из общего числа инженерно-геологических скважин 25% бурится на стадии предварительной разведки, 75 % – на стадии детальной разведки.

Допускается совмещать инженерно-геологические скважины с геологоразведочными.

2.2.5. При выборе мест заложения скважин рекомендуется руководствоваться следующими принципами:

- ориентирование скважины в борт карьера, поскольку изучается прибортовой массив;
- изучение наименее разведанных и потенциально неблагоприятных по устойчивости участков;
- изучение участков, которые характеризуются слабыми разностями пород в разрезе (например, мягкопластичные глинистые породы, переслаивающиеся с прослоями водоносных пород, пльвунов);
- скважина должна обеспечивать подсечение максимально возможного количества предполагаемых структурных неоднородностей, которые могут оказать влияние на устойчивость уступов карьеров, разрезов;
- ориентирование скважины вкrest простираия основных структурных неоднородностей, за исключением скважин, ориентируемых по их падению для определения различных систем трещин. Угол встречи скважины и подсекаемых ею предполагаемых структурных неоднородностей рекомендуется около 30°;
- места заложения скважин должны обеспечивать технические условия проведения буровых работ;
- скважины должны пересекать основные структурные неоднородности ниже подошвы многолетнемерзлых пород;
- скважины должны располагаться на участках крупных мульдообразных понижений пластов.

2.2.6. Гидрогеологические исследования проводятся для всех водоносных горизонтов, расположенных выше абсолютной отметки дна проектного карьера, разреза. Количество гидрогеологических скважин определяется неоднородностью фильтрационных свойств пород. При гидрогеологических исследованиях рекомендуется учитывать напорный водоносный горизонт, расположенный ниже отметки дна проектного карьера, разреза, и имеющий потенциально негативное влияние на отработку месторождения.

Все водоносные горизонты должны опробоваться отдельно, так, чтобы на каждый приходилось по 1-2 одиночные откачки. Таким же образом необходимо опробовать зоны фильтрационной неоднородности.

2.2.7. Для определения емкостных свойств необходимо опробовать наиболее водообильные водоносные горизонты или зоны фильтрационной неоднородности. Для опреде-

ления усредненных фильтрационных параметров, характеризующих эффективную неоднородность, проводятся кустовые откачки в пределах основных геолого-структурных элементов месторождения (2-3 на месторождение). Лучи наблюдательных скважин кустов ориентируются в направлении центральных скважин соседних кустов, а также к границам водоносного горизонта. В 3-5 скважинах проводится исследование изменения фильтрационных свойств по глубине методом поинтервальных откачек (нагнетаний) или в 10-15 разведочных скважинах с помощью пластоиспытателя. Применяется также расходометрия.

2.2.8. Граничные условия водоносных горизонтов изучаются преимущественно методом кустовых откачек. На каждый вид граничного условия, которые чаще всего располагаются за пределами собственно месторождения, задается ориентировочно по 1 кустовой откачке. Каждый куст имеет 2 луча – один в сторону граничного условия и другой на его продолжении в сторону месторождения – с 2-3 наблюдательными скважинами на каждом луче.

2.2.9. Стационарные режимные наблюдения проводятся по 10-15 скважинам. Они оборудуются на 1-2 поперечных профилях, пересекающих центральную часть и выходящих за пределы месторождения к областям питания и разгрузки водоносных горизонтов. Для получения площадной картины положения уровней воды и последующего составления схемы гидроизогипс и пьезоизогипс привлекаются все геологоразведочные скважины, в которых проводились наблюдения.

2.2.10. В случае пересечения месторождений рекой проводятся гидрологические наблюдения за уровнем и расходом воды на двух створах, расположенных перед входом и после выхода реки из границ месторождения.

2.2.11. В процессе проведения инженерно-геологических и гидрогеологических исследований необходимо систематически и своевременно обрабатывать, и анализировать получаемые данные, на основании чего корректировать программу изучения, число разведочных скважин.

2.3. Состав работ на различных типах месторождений

В таблице ниже (Таблица 2 1) представлен ориентировочный состав работ по инженерно-геологической оценке условий эксплуатации месторождений полезных ископаемых, приуроченных к различным типам пород, в зависимости от стадии изучения.

Таблица 2-1. Ориентировочный состав работ по инженерно-геологической оценке условий для различных типов месторождений и их сложности

Стадия разведки	Тип месторождения	Категория сложности и состав работ, на основе которых дается инженерно-геологическая оценка		
		Простые	Средней сложности	Сложные
		1а	1б	1в
Предварительная	Преимущественно рыхлые несвязные и связанные породы	<ul style="list-style-type: none"> – анализ материалов комплексной геологической съемки района; – анализ инженерно-геологической и гидрогеологической документации геологоразведочных скважин; – анализ опыта эксплуатации действующих карьеров-аналогов; – анализ данных геофизических методов исследований; – изучение физико-механических свойств пород – полевыми методами и по сокращенному комплексу анализов. 	<p>Дополнительно к 1а:</p> <ul style="list-style-type: none"> – инженерно-геологическое маршрутное обследование района месторождения; – бурение инженерно-геологических скважин; – изучение физико-механических свойств пород с помощью полевых методов, а также сокращенных и полных лабораторных анализов. 	<p>Дополнительно к 1а:</p> <ul style="list-style-type: none"> – при необходимости инженерно-геологические маршрутные обследования района месторождения (масштаб 1:10 000-1:25 000); – бурение инженерно-геологических скважин; – изучение физико-механических свойств пород как полевыми, так и лабораторными методами с выполнением сокращенных и полных анализов.
		<ul style="list-style-type: none"> – тоже что и при предварительной разведке, но дополненных изучением физико-механических свойств основных разновидностей пород как с помощью сокращенных, так и полных анализов. 	<ul style="list-style-type: none"> – работы, направленные на уточнение условий залегания пород и их физико-механических свойств по всему разрезу; – заложение инженерно-геологических скважин по контуру и внутри намечаемого карьера; – изучение неоднородности (анизотропии) массивов пород месторождения; – изучение физико-механических свойств пород на основе полевых, сокращенных и полных анализов, а также специальных анализов для характеристики особых свойств пород. 	<ul style="list-style-type: none"> – работы, направленные на уточнение и дополнение ранее полученных данных, особенно на участках первоочередной отработки разрезной и въездной траншеи; – при необходимости инженерно-геологическая съемка 1:10 000; – содержание и объем работ устанавливается программами, разработанными после составления ТЭО.
Детальная				

		2а	2б	2в
Предварительная	Преимущественно полускальные породы	– тоже что и для 1а.	Дополнительно к 2а: – инженерно-геологическое маршрутное обследование района месторождения; – изучение физико-механических свойств пород с применением сокращенных и полных анализов; – в карстовых районах – изучение карста; – для месторождений с двухэтажным строением массивов изучение пород верхнего этажа на основе сокращенных и полных комплексов анализов.	Дополнительно к 2б: – инженерно-геологическое маршрутное обследование района (масштаб 1:10 000-1:25 000); – бурение инженерно-геологических скважин (или использование геологоразведочных скважин специальных конструкций); – изучение физико-механических свойств пород с использованием сокращенных, полных и в необходимых случаях специальных анализов; – изучение закарстованности пород (в карстовых районах) и заполнителя карстовых полостей.
Детальная		– тоже что и при предварительной разведке, но с дополнительным изучением физико-механических свойств пород (для их основных петрографических различий) – сокращенные или полные лабораторные анализы.	– работы, направленные на дополнение и уточнение ранее полученных данных, особенно для участков неоднородности петрографического состава; – изучение физико-механических свойств пород на основе сокращенных, полных и специальных анализов с бурением инженерно-геологических скважин. – при необходимости инженерно-геологическая съемка района месторождения в масштабе 1 :25 000 –1:50 000.	– работы, направленные на дополнение и уточнение ранее полученных данных – бурение инженерно-геологических скважин; – изучение физико-механических свойств пород по данным сокращенных, полных и специальных анализов; – в карстовых районах обращается внимание на степень закарстованности пород, состав и свойства заполнителя карстовых полостей. – при необходимости инженерно-геологическая съемка района месторождения в масштабе 1:10 000 – 1:25 000; – содержание и объем работ устанавливается программами, разработанными после составления ТЭО.
		3а	3б	3в
Предварительная	Преимущественно скальные породы	– тоже что и для 1а	– дополнительно к 3а тоже, что и в 2б	– дополнительно к 3б тоже, что и в 2в.
Детальная		– тоже что и для 2а.	– тоже, что и для 2б	– тоже, что и для 3б

		1-А, 1-Б, 3-А	II-А (при слабо обводненных таликах), II-Б.	II-А (при сильно обводненных таликах), III-Б.
Предварительная	Преимущественно многолетнемерзлые породы	<ul style="list-style-type: none"> – анализ материалов комплексной геологической съемки района; – инженерно-геокриологической съемка района месторождения в масштабе 1:25 000 – 1:50 000; – геотермические наблюдения (рекомендуется годичный цикл) в отдельных разведочных скважинах (по всей глубине); – применения геофизических методов исследований. 	<ul style="list-style-type: none"> – инженерно-геокриологические наблюдения в опорных скважинах и горно-разведочных выработках; – бурение отдельных инженерно-геокриологических скважин (с массовым полевым определением льдистости песчано-галечных и глинистых пород), с организацией 1-2-годичного цикла геотермических наблюдений; – лабораторных исследований пород (мерзлых и талых). 	<ul style="list-style-type: none"> – состав работ, аналогичный месторождениям с инженерно-геологическими условиями средней сложности, но более детально, возможно, по отдельным участкам; – участки немерзлых пород изучаются подобно месторождениям типов 1в, 2в, 3в.
Детальная		<p>Дополнительно к данным предварительной разведки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – инженерно-геокриологические наблюдения по большему числу разведочных скважин, выработок (температурный режим в сухих и заполненных водой скважинах, положение ледяных пробок); – опытные исследования мерзлых связных и несвязных пород (осадки при оттаивании, прочностные, фильтрационные свойства и др.). 	<p>Дополнительно к данным предварительной разведки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – инженерно-геокриологическая съемка масштаба 1:25 000, а на участках с особой сложностью природных условий – с составлением карт более крупного масштаба; – инженерно-геокриологические наблюдения во многих разведочных скважинах, и во всех горно-разведочных выработках; – бурение инженерно-геокриологических скважин, с постановкой в них режимных геотермических наблюдений; – опытные и лабораторные исследования пород (мерзлых, талых и протаивающих); – геофизические исследования, уточняющие мощность и распространение по площади мерзлой толщи, местоположение таликов, гидрогеологические условия и пр. 	<ul style="list-style-type: none"> – содержание и объем работ устанавливается программами, разработанными после составления ТЭО.

* для многолетнемерзлых горных пород пояснения см ниже

Процессы теплообмена определяют криогенные свойства многолетнемерзлых горных пород. При этом выделяется две геокриологические зоны, особенности которых учитываются при проведении инженерно-геологических и гидрогеологических исследований.

Северная зона характеризуется преобладающим распространением и пониженными температурами пород на водоразделах. В понижениях рельефа породы приобретают повышенные температуры, распространены талики. На равнинах, в районах с максимальными геокриологическими показателями толща многолетнемерзлых пород достигает наибольшей сплошности и мощности (до 600 м), самой низкой температуры (минус 12°), высокой льдистости и часто встречаются крупные (до 50 м по мощности) залежи подземного льда.

В южной зоне, за исключением высокогорных районов, мерзлая толща преобладает в депрессиях рельефа, нередко в виде островов. Талики приурочены к возвышенностям. Зональная температура, как правило, выше -3° , нередко 0° . Мощность менее 100 м. Редкие залежи льда незначительны по мощности.

Если горные работы ведутся глубже толщи многолетнемерзлых пород, то их инженерно-геологические условия будут близки к инженерно-геологическим условиям в немерзлых породах. Основные виды и разновидности геокриологических обстановок, влияющих на инженерно-геологические условия месторождений, приведены в таблице ниже (Таблица 2-2).

Таблица 2-2. Основные виды геокриологических обстановок, влияющих на инженерно-геологические условия месторождений

Виды обстановок	Распространение и температура толщи многолетнемерзлых пород	Льдистость пород
I	I-А. Островное, мощность менее 50м, температура около 0°	I-Б. Незначительная; видимых включения льда нет
II	II-А. Прерывистое, мощность менее 150м, температура выше -3°	II-Б. Средняя; тонкие прослойки льда, содержание льда менее 30% объема
III	III-А. Сплошное, мощность более 150м, температура ниже -3°	III-Б. Значительная; содержатся прослойки, местами - залежи льда

Распространение толщи многолетнемерзлых горных пород оценивается следующим образом:

- островное – площадь разрозненных участков с многолетнемерзлыми породами составляет менее 50% площади месторождения;
- прерывистое – площадь с многолетнемерзлыми горными породами составляет более 50%;
- сплошное – толща многолетнемерзлых пород в пределах месторождения не имеет сквозных таликов.

Геокриологическая обстановка I вида (разновидности I-А и I-Б), как правило, упрощает инженерно-геологические условия всех категорий сложности инженерно-геологических условий. При разработке месторождений обязательно меняется температурный режим и распространение толщи многолетнемерзлых пород. Однако это сопровождается не резким изменением прочностных свойств пород.

Геокриологическая обстановка II вида (разновидности II-А и II-Б) преимущественно усложняет инженерно-геологические условия, поскольку при ведении открытых горных работ происходит изменение физико-механических свойств пород и гидрогеологических условий. При протаивании связные и несвязные породы оплывают, осыпаются, а трещиноватые породы обрушаются. При промерзании связные породы подвержены криогенному пучению и морозному растрескиванию. Образуются наледи. Геокриологическая обстановка

этого вида наиболее характерна для месторождений с инженерно-геологическими условиями средней сложности.

Геокриологическая обстановка III вида оказывает неоднозначное влияние на инженерно-геологические условия. Сплошное распространение, значительная мощность и низкая температура толщи многолетнемерзлых пород (разновидность III-А) упрощают инженерно-геологические условия, поскольку при незначительном изменении геокриологической обстановки горные выработки характеризуются устойчивостью. Прорывы воды и плывунов возможны лишь на участках близ нижней поверхности многолетнемерзлой толщи.

Льдистые массивы пород и крупные залежи льда (разновидность III-Б) существенно осложняют инженерно-геологические условия. Даже незначительное по времени изменение температурной обстановки вызывает вытаивание льда, сложные деформации пород и поступление талых вод в выработки.

В районе с многолетнемерзлыми породами при разведке месторождений, помимо обычного инженерно-геологического изучения в обязательном порядке ведутся дополнительные инженерно-геокриологические работы.

2.4. Бурение инженерно-геологических скважин и отбор проб

2.4.1. Бурение инженерно-геологических скважин проводится с целью определения положения разрывных нарушений, ориентировки поверхностей ослабления (при отборе ориентированного керна), границ петрографических разностей, отбора образцов для оценки физико-механических свойств пород, оценки гидрогеологических условий.

2.4.2. Программа бурения инженерно-геологических скважин должна содержать:

- объем бурения и назначение каждой скважины;
- виды исследований в стволе скважины (геофизические, видео- фотометрические и др.);
- способ ориентирования керна (в случае если выполняется бурение с отбором ориентированного керна), а также методы определения искривления ствола скважины (инклинометрия);
- методику документирования керна, которая при необходимости должна включать его фотографирование;
- количество и участки отбора проб для физико-механических испытаний;
- состав гидрогеологических исследований;
- план и геологический разрез с визуализацией ствола скважин и предполагаемых границ пересечения разрывных нарушений, геологических контактов, которые должны быть переданы буровой бригаде и специалисту, осуществляющему документацию керна, до начала буровых работ;

- мероприятия по контролю качества бурения, повышению выхода керна и его документации.

2.4.3. Формирование дел скважин включает следующий перечень документов:

- паспорт скважины;
- акт о заложении скважины;
- акты о проведении контрольных замеров;
- акт инклинометрии;
- результаты инклинометрии с контрольными замерами;
- геолого-технологический наряд с проектными и фактическими данными;
- буровой журнал, заполняемый на каждую отдельную скважину, включая описание подробностей бурения (условия и скорости бурения, провалы бурового инструмента и др.);
- журнал документации скважины, включая результаты замеров уровней подземных вод

2.4.4. Применяемая методика бурения должна обеспечивать выход керна не менее 80%. Рекомендуемые способы и разновидности бурения в зависимости от условий их применения представлены в таблице ниже (Таблица 2-3).

2.4.5. Для минимизации процесса разрушения керна при бурении и извлечении, его потерь в неустойчивых или сильнотрещиноватых породах предпочтительно использовать тройные колонковые трубы с разъемной внутренней трубой. В массивных породах не склонных к разрушению во время бурения могут быть использованы стандартные двойные колонковые трубы. Бурение в обводненных породах ведут «всухую», а в сухих и мерзлых – с продувкой воздухом. Продувка воздухом обеспечивает сохранность песчаных и глинистых пород в стенках скважин, а также рыхлого заполнителя трещин.

2.4.6. Во избежание появления трещин не природного происхождения (трещины, образовавшиеся при извлечении и укладке керна, его транспортировке) предпочтительным является гидравлический способ (под напором воды) извлечения керна.

2.4.7. Способ проходки скважин, углы их заложения определяются особенностями геологического строения месторождений и должны быть отражены в программе работ. Ориентировать скважины необходимо либо в сторону потенциального крупного разрывного нарушения (устанавливается предварительно по материалам предварительной или детальной разведки) либо петрографического контакта.

2.4.8. Режим бурения инженерно-геологических скважин должен обеспечивать максимальную сохранность естественной влажности и структуры керна. Для предотвращения набухания и размыва керна необходимо применять глинистый или полимерный раствор, подбираемый экспериментально.

Таблица 2-3. Способы бурения скважин при проведении инженерно-геологических исследований

Тип пород	Тип бурения	Типоразмер	Минимальный диаметр керна, мм	Буровой раствор	Примечание
Монолитные, малотрещиноватые скальные породы	Колонковый	HQ (NQ)	63.5 (47.6)	Бентонит, полимеры. При гидрогеологических исследованиях - чистая вода. В мерзлых условиях допустимо использовать соляной раствор	
Трещиноватые и сильнотрещиноватые скальные породы		HQ-3 (NQ-3)	61.1 (45.0)	Бентонит, полимеры. При гидрогеологических исследованиях - чистая вода. В мерзлых условиях допустимо использовать соляной раствор	Применение третьей разъемной гильзы для сохранения структуры
Сильновыветрелые скальные породы с повышенными фильтрационными свойствами для гидрогеологических исследований		PQ (HQ)	85.5 (63.5)	Чистая вода	
Глинистые необводненные и слабообводненные породы	Колонковый	PQ (HQ)	85.5 (63.5)	Бентонит. В мерзлых условиях допустимо использовать соляной раствор	
	Ударно-канатный кольцевым способом - забивной, клюющий	Тип I, II, III	146 (73)	Без промывочной жидкости	
	Шнековый - рейсовое (кольцевым забоем), поточное	ШБ-73 - ШБ-135	-	Без промывочной жидкости	Нет керна, породы сбрасываются из шнека для документирования
Глинистые обводненные породы	Вибрационный	108-168 мм	85.5 (63.5)	Без промывочной жидкости	С применением вибратора или вибромолота
	Шнековый - рейсовое (кольцевым забоем), поточное	ШБ-73 - ШБ-135	-	Без промывочной жидкости	Нет керна, породы сбрасываются из шнека для документирования

Тип пород	Тип бурения	Типоразмер	Минимальный диаметр керна, мм	Буровой раствор	Примечание
Песчаные породы	Ударно-канатный кольцевым способом - забивной	Тип I, II, III	146 (73)	Без промывочной жидкости	
	Вибрационный	108-168 мм	85.5 (63.5)	Без промывочной жидкости	С применением вибратора или вибромолота
	Шнековый - рейсовое (кольцевым забоем), поточное	ШБ-73 - ШБ-135	-	Без промывочной жидкости	Нет керна, породы сбрасываются из шнека для документирования
Крупнообломочные	Шнековый - рейсовое (кольцевым забоем), поточное	ШБ-73 - ШБ-135	-	Без промывочной жидкости	
Гидрогеологические скважины в дисперсных породах	Любой из вышеперечисленных способов	Тип I, II, III	146 (108)	Без промывочной жидкости	
	Ударно-канатный сплошным забоем		-		Без отбора керна

В скобках указано допустимое значение, применяемое в условиях осложнений горно-геологических условий в процессе бурения

Для определения ориентировки керна (при бурении с его отбором) применяются методы прямой (физической) и косвенной (цифровой) маркировки. Отметка керна на забое механическим способом (ломом, молотком и т.д.) может быть применена только в исключительных случаях и является весьма недостоверным способом ориентирования.

Ориентирование керна прямым способом рекомендуется производить специальным прибором, имеющем на своем конце карандаш и специальную насадку с гвоздиками (Рисунок 2.1). Прибор оснащен шариками в жидкости, которые при ударе о забой фиксируются, специальная насадка с гвоздиками прячется в специальный кожух. Для осуществления ориентирования керна необходимо вытащить его из керноприемника в нетронутом состоянии, сложить как он был в массиве, приложить прибор с насадкой к бывшему забою рейса и сопоставить форму гвоздиков и метку карандаша. При правильном сопоставлении проводится линия по всему рейсу вдоль шариков, которая является линией дна (низа) керна. Все замеры производятся относительно данной линии ориентирования.



Рисунок 2.1 – Пример ориентирования керна механическим способом

Прибор косвенного ориентирования керна (Рисунок 2.2) имеет 2 основные части – пульт активации и элемент закрепляющийся на колонковой и опускающийся в скважину. Прибор крепится на керноприемник и удлиняет его на размер прибора (порядка 40 см). Перед бурением рейса пультом активируется прибор и производится бурение, по окончании которого керноприемник приводится в правильное положение и происходит выдавливание керна. Линию ориентирования можно проводить как сверху, так и снизу. Важно проводить линию всегда в одном месте, которое выбирается перед выполнением работ.

Плюсы прямой маркировки заключаются в относительной простоте способа, ремонтпригодностью в полевых условиях. Минусы возникают в тех случаях, когда забой имеет

срез перпендикулярный оси керна. В этом случае гвоздики не дают четкого отпечатка и карандаш обычно смывается при бурении или вынимании керна. Кроме того, при разрушении забоя при вытаскивании керна из «стакана» могут возникнуть сложности с сопоставлением прибора и керна. Плюсами цифровой маркировки являются возможность ориентирования практически вертикальных скважин (до 88°), а также ориентирование керна до выдавливания из керноприемника. Минусы обусловлены электронной основой, ремонт которой затруднен в полевых условиях.



Рисунок 2.2 – Пример использования прибора косвенного ориентирования

2.4.9. Телеметрический каротаж (фотовидеометрические исследования) стенок скважин рекомендуется применять для непосредственного визуального инженерно-геологического изучения внутрипородного массива: определения зон дробления, интенсивности трещиноватости, глубины залегания петрографических контактов и структурных элементов, их азимутально-угловых характеристик. При этом, бурение инженерно-геологических скважин необходимо проводить только с использованием специальных промывочных жидкостей, препятствующих загрязнению стенок скважин, или воды.

Фотовидеометрические исследования сопровождаются ведением полевого журнала, в котором записываются дата проведения работ, номер скважины, ее азимут и угол наклона, азимут снаряда и оптической оси боковой камеры, фиксируются интервалы глубин, глубина и время съемки структурного объекта, его характеристика

Определение азимутально-угловых характеристик геолого-структурных элементов по данным фотовидеометрических исследований допустимо при условии отсутствия отклонений объектива фото-видеокамеры от базовой оси направления съемки, что достигается

применением спускоподъемных механизмов жесткой конструкции (например, полимерные или металлические трубы).

2.4.10. Инженерно-геологическое опробование осуществляется с целью получения физико-механических и других свойств полезных ископаемых и вмещающих пород. Опробованием должны охватываться породы, находящиеся в области взаимодействия будущих горных выработок с геологической средой.

2.4.11. Система опробования должна обеспечивать получение статистически достоверных расчетных данных для всех инженерно-геологических элементов, выделяемых на месторождении.

2.4.12. В состав работ при опробовании входят: определение необходимого числа проб для достоверной характеристики и оценки свойств пород, определение плана расположения мест отбора проб, выбор интервала, опробования и отбор проб. Определение оптимально необходимого числа проб для представительной оценки свойств пород производится после выделения в геологическом разрезе всех предназначенных для опробования инженерно-геологических элементов. Опробованием должен быть охвачен каждый участок, отличающийся инженерно-геологическими особенностями

2.4.13. Определение необходимого числа проб для каждого вида испытаний определяется программой инженерно-геологических и гидрогеологических исследований с учетом неоднородности геологического строения месторождения как в плане, так по глубине. При этом в зоне переслаивания пород рекомендуется равномерный отбор проб по глубине. При выдержанности петрографической разновидности по глубине рекомендуется оценивать возможность изменения ее прочностных характеристик с глубиной, что достигается дополнительным отбором образцов и последующим анализом результатов испытаний таких пород. Оценка изменчивости физико-механических свойств в плане достигается на основе анализа проб, отобранных в пределах одной и той же разновидности горных пород, но расположенной на различных участках (флангах) месторождения.

2.4.14. Пробы отбираются для лабораторных определений свойств пород. Отбор производится из керна скважин, из поверхностных и подземных горных выработок, естественных откосов и обнажений в соответствии с действующими требованиями по отбору образцов в процессе инженерно-геологической документации.

2.4.15. Пробы пород отбираются из керна скважин и в виде монолитов из горно-разведочных выработок. Отбор скальных и полускальных пород производится путем вырезания, выпиливания, обработки зубилом без нарушения их естественного сложения.

2.4.16. Размер изготавливаемых образцов определяется требованиями к испытаниям (Таблица 2-4 и Таблица 2-5). Размеры отбираемых проб должны обеспечивать возможность изготовления лабораторных образцов.

2.4.17. Для проведения испытания на сдвиг по естественной трещине необходимо отбирать пробы, имеющие одну открытую трещину. Трещина должна иметь угол к оси керна 60-90°.

2.4.18. Для размягчаемых пород на этапах проектирования, эксплуатации и технического перевооружения необходимо дополнительно определять прочностные свойства горных пород в водонасыщенном состоянии. Сравнение производится на основе проведения двух серий испытаний (при естественной влажности и водонасыщенном состоянии).

2.4.19. Отбор проб связных и слабосвязных (супеси и др.) пород производится в скважинах при помощи специальных обуривающих грунтоносов. Допускается отбор плотных глинистых пород непосредственно из керна при условии применения больших диаметров бурового инструмента (более 100 мм).

2.4.20. Пробы мерзлых пород для определения величины суммарной влажности пород, объемного веса, гранулометрического состава пород, а также величины осадки при оттаивании без нагрузки и под нагрузкой необходимо отбирать после подъема керна, не допуская оттаивания пород.

2.4.21. Упаковка, хранение и транспортировка отобранных пород осуществляется в соответствии с действующими нормативными документами. Пробы скальных горных пород допускается хранить и транспортировать без парафинирования.

2.4.22. Для сохранения естественного состояния многолетнемерзлых горных пород следует их упаковывать в термоконтейнеры. Учитывая сложность сохранения естественного состояния многолетнемерзлых пород, рекомендуется проведение полевых испытаний непосредственно после их извлечения из скважины.

2.4.23. При необходимости испытаний в двух взаимно перпендикулярных направлениях выполняется дополнительный отбор проб. Количество отбираемых образцов определяется исходя из предположения, что на прочность образцов влияет анизотропия и влажность.

2.4.24. Для многолетнемерзлых горных пород необходимость увеличения количество отбираемых образцов определяется программой исследований.

Таблица 2-4. Виды испытаний и определяемые показатели скальных и полускальных пород

Вид испытания	Определяемые показатели	Дополнительные показатели	Размеры образцов (отношение высоты к диаметру)	Примечание
Одноосное сжатие	Прочность на одноосное сжатие	Коэффициент пористости	1.0÷3.0	В соответствии с размерами вводятся поправки за размеры образцов
	Плотность грунта	Коэффициент водонасыщения		
		Полная влагоемкость		
		Естественная влажность		
		Модуль деформация/упругости (модуль Юнга)		
		Коэффициент поперечной деформации/Пуассона		
Одноосное растяжение	Прочность на одноосное растяжение	Естественная влажность	1	Для проведения испытаний на одноосное сжатие и растяжение желательно использовать одну пробу, которая в лаборатории будет разделена (распилена) на два образца, либо следует отбирать образцы на сжатие и растяжение в непосредственной близости.
	Плотность грунта	Коэффициент пористости		
		Коэффициент водонасыщения		
		Полная влагоемкость		
		Скорости прохождения продольных и поперечных волн (V_p и V_s)		
Трехосное испытание	Прочность при объемной нагрузке	Естественная влажность	2.0÷3.0	Выбираются различные значения бокового давления
	Плотность грунта	Коэффициент пористости		
		Коэффициент водонасыщения		
		Полная влагоемкость		
Срез со сжатием	Прочность при срезе	Коэффициент пористости	1	Отбирают образцы с расчетом проведения испытаний при трех углах матрицы - 25 , 35 и 45
	Плотность грунта	Коэффициент водонасыщения		
		Полная влагоемкость		
		Естественная влажность		

Вид испытания	Определяемые показатели	Дополнительные показатели	Размеры образцов (отношение высоты к диаметру)	Примечание
Сдвиг по естественной трещине	Нормальное и касательное напряжение	-	1.0÷2.0	Для испытания необходим образец керна, имеющий естественную трещину под углом 60-90 градусов к оси керна.
				Из двух частей образца готовят две цилиндрические плашки высотой 5-6 см для бетонирования в специализированной матрице.
Сдвиг по распилу (плашка по плашке)	Нормальное и касательное напряжение	-	1.0÷2.0	Для испытания необходим образец керна размером 10-15 см из которого готовят две цилиндрические плашки высотой 5-6 см для бетонирования в специализированной матрице.
				Образец распиливают на две цилиндрические плашки высотой 5-6 см для бетонирования в специализированной матрице.

Таблица 2-5. Виды испытаний и определяемые показатели дисперсных пород

Тип испытания	Определяемые показатели	Размеры образца (отношение высоты к диаметру)	Комментарии
Одноплоскостной срез	Угол внутреннего трения	1/3÷1/2	Испытания разделяют на консолидированно-дренированный (медленный) срез и неконсолидированный быстрый срез. Могут определяться остаточный угол внутреннего трения и сцепления (сдвиг плашка по плашке).
	Сцепление		
	Плотность		
Одноосное сжатие	Сжатие	1.8÷2.5	Применяется только для связанных дисперсных пород с показателем текучести менее 0.25. Максимальный размер фракции включений (агрегатов) в образце должен быть не более 0.1 диаметра образца. Характеристики сдвига определяются при разрушении образца при четкой выявленной плоской площадке скольжения
	Сцепление		
	Угол внутреннего трения		
	Плотность		
Трехосные испытания	Модуль деформации	1.85÷ 2.25	Испытания выполняются для образцов нарушенной и ненарушенного сложения и могут проводиться по трем возможным схемам: неконсолидированно-недренированное (НН) испытание, неконсолидированно-недренированное (НН) испытание с измерением порового давления, консолидированно-дренированное (КД) испытание. Диаметр не менее 35 мм.
	Коэффициент поперечной деформации		
	Угол внутреннего трения		
	Сцепление		
	Коэффициент консолидации		
	Плотность		

Тип испытания	Определяемые показатели	Размеры образца (отношение высоты к диаметру)	Комментарии
Компрессионные испытания	Модуль деформации	2.8÷3.5	Максимальный размер фракции включений (агрегатов) в образце должен быть не более 1/5 высоты образца.
	Коэффициент сжимаемости		
	Коэффициенты консолидации		
	Плотность		
Физические характеристики	Естественная влажность	1.0÷2.5	Комплекс показателей определяется как по результатам лабораторных испытаний, так и расчетным методом.
	Влажность на границе текучести		
	Число пластичности		
	Показатель текучести		
	Плотность		
	Плотность скелета		
	Плотность частиц грунта		
	Коэффициент пористости		
	Коэффициент водонасыщения		
	Полная влагоемкость		
	Относительное содержание органического вещества		
	Гранулометрический состав		

Масса образцов нарушенного сложения для определения стандартного набора показателей физико-механических свойств: 1,5-2,0 кг - для глинистых грунтов; 2,0-3,0кг - для песков; 3,0-5,0 кг - для крупнообломочных грунтов.

2.5. Геофизическое изучение массива горных пород

2.5.1. Геофизические исследования массива применяются для уточнения границ смены пород и изучения изменения физико-механических свойств массива и слагающих его пород в плане и по глубине. Объем, виды и методы геофизических исследований определяются конкретными условиями, поставленными задачами и отражаются в соответствующей Программе инженерно-геологического изучения месторождения.

2.5.2. Результаты геофизических исследований должны калиброваться по результатам бурения инженерно-геологических скважин.

2.5.3. Показатели физико-механических свойств массивов горных пород распространяются на однородные участки, установленные на основании результатов геофизических работ.

2.5.4. Непосредственная оценка физико-механических свойств отдельных инженерно-геологических элементов и изменение этих свойств в пределах элемента выполняются на основе устанавливаемых корреляционных связей между наблюдаемым показателем (электрическое сопротивление, скорость распространения упругих волн и т.д.) и изучаемыми свойствами (интенсивность трещиноватости, модуль деформации, прочность и т.д.). Такие корреляционные связи должны устанавливаться отдельно для каждой петрографической разновидности. Величины физико-механических свойств, для которых устанавливается корреляционная зависимость, определяют отдельными работами в лабораторных или полевых условиях.

2.5.5. При комплексном применении различных геофизических методов должны быть учтены их особенности: скорость, глубинность, точность, способность выделять те или иные слои, однозначность интерпретации результатов.

2.5.6. При геофизических исследованиях инженерно-геологических скважин выполняются инклинометрические наблюдения. Полный состав геофизических исследований скважин определяется геологическим строением изучаемой толщи и отражается в программе исследований.

2.5.7. Площадные геофизические исследования проводятся для уточнения положения границ петрографических разновидностей пород между инженерно-геологическими скважинами, картирования поверхности скальной части разреза, поиска карстов и т.д. Необходимость и программа площадных геофизических исследований определяется программой работ.

3. Изучение геолого-структурного строения

3.1. Картирование обнажений горных пород

3.1.1. Изучение геолого-структурного строения горных пород осуществляется на всех этапах разведки месторождения по естественным обнажениям и откосам уступов карьеров, разрезов.

3.1.2. Изучение трещиноватости пород включает следующие этапы:

- визуальные обследования обнажений с целью выявления основных систем трещин, определяющих структуру массива;
- инструментальная съемка элементов залегания трещин, интенсивности трещиноватости, оценка состояния контактов, форм структурных блоков и др.;
- обработка результатов съемки, построение диаграмм трещиноватости;
- разработка горно-графической документации.

3.1.3. В ходе изучения месторождения на стадии предварительной и детальной разведки должны быть установлены его геолого-структурные особенности, элементы залегания основных систем трещин, отобраны образцы пород для физико-механических испытаний и петрографо-минералогических исследований.

К основным характеристикам трещин относятся:

- азимут падения (простиранья) и угол падения, характеризующие ориентировку трещин в пространстве;
- протяженность трещин, определяющая масштабы возможной деформации;
- расстояние между трещинами в каждой выделенной системе;
- заполнитель трещин (наличие заполнителя может привести к тому, что именно он будет определять устойчивость прибортового массива);
- характер контактов (волнистость контактов влияет на угол падения трещин, а шероховатость увеличивает трение по контакту).

К дополнительным характеристикам относятся:

- доля каждой из систем трещин к общей массе трещин;
- генетические особенности трещин;
- изменение интенсивности трещиноватости горных пород, протяженности и раскрытия трещин на участках, граничащих с крупными геолого-структурными объектами.

В обнажениях дополнительно необходимо определять форму и размеры элементарных блоков. Форма элементарного блока определяется относительным расположением трещин, а размеры – частотой трещин.

Оценка средней интенсивности (ω , тр/м) и размера элементарного блока (l , м) трещиноватости пород по трем наиболее проявленным системам трещин рассчитывается по формуле:

$$\omega = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{L_I} + \frac{1}{L_{II}} + \frac{1}{L_{III}} \right) = \frac{1}{l},$$

где l – средний размер элементарного блока в метрах; L_I, L_{II}, L_{III} – расстояние в метрах между трещинами I, II, III систем. Расчет этого показателя проводится для каждой станции наблюдений или интервалов маршрутов с однородной решеткой трещиноватости.

3.1.4. По мере постановки уступов на предельный контур, а также при приближении к нему на расстояние 100м и менее, осуществляется геолого-структурная съемка массива скальных горных пород.

3.1.5. Геолого-структурное картирование при эксплуатации месторождения основывается на съемке массива бортов карьера, разреза. При описании массива горных пород указываются:

- литологический (минерально-петрографический) тип породы, её структурно-текстурные особенности, характер вторичных элементов, мощность единичного слоя в пачках переслаивания;
- тип зафиксированных складок по положению осевой поверхности (прямая, наклонная, опрокинута и т.п.), по форме и расположению крыльев (нормальная, изоклиная, корбчатая и т.п.), размах крыльев; особо выделяют и описывают пакеты мелких складок и участки проявления плейчатости пород, осложняющие более крупные складки (на осадочных месторождениях);
- мощность и строение зоны разрывного нарушения, характер его контактов с вмещающими породами, особенности геометрии плоскости сместителя и скульптуры её поверхности, наличие или отсутствие на ней следов скольжения, интенсивность их проявления, характер изменения блочности пород с удалением от его контактов, минеральный состав заполнителя;
- степень и характер гипергенных изменений пород, мощность и строение линейных зон коры выветривания;
- участки изменения блочности в пределах интервала документации, размеры блоков;
- геолого-структурные элементы для замера их ориентировки;
- системы трещин и разрывные нарушения, ограничивающие потенциальные и свершившиеся деформации, их частота и размер элементарного структурного блока.

Документация ведется в соответствующем журнале (см. Приложение 1).

3.1.6. Методика изучения включает две схемы: точечную (по станциям наблюдений) и сплошную съемки трещиноватости.

При съемке по станциям наблюдений на откосах выделяются границы участков с примерно одинаковыми системами трещин, на каждом участке в одном-двух интервалах проводится массовый замер элементов залегания и дается их описание. Количество замеров в каждом интервале ориентировочно можно оценить, исходя из условия, что для выявления системы трещин на диаграмме трещиноватости необходимо иметь минимум 20-25 точек.

Размер площадки обнажения, на которой производится замер, определяется из условия необходимости фиксации всех систем трещин на участке и удобством измерений.

Точечный метод массовых замеров трещиноватости может дать положительные результаты в породах, имеющих простую структуру, характеризующуюся исключительной выдержанностью элементов залегания поверхностей ослабления как по площади, так и по глубине месторождения, с количеством систем, не превышающим 3-4.

Метод сплошной структурной съемки применяется на месторождениях с невыдержанной и сложной структурой пород, при наличии тектонической нарушенности пород. Основная цель съемки – установить закономерность распределения и выдержанности основных систем трещин или других поверхностей ослабления, границ выветренных пород, дизъюнктивных нарушений и т.д. Суть сплошной съемки заключается в изучении трещиноватости по всему периметру карьерного поля. От зафиксированной на горизонте точки с помощью рулетки, тахеометра, GPS откладываются интервалы (например, по 20м). На каждом из них визуально определяются системы трещин, замеряются элементы их залегания, расстояние между трещинами в каждой системе, форма и размер структурных блоков, характер контактов, наличие заполнителя, обводненность, фиксируется протяженность трещин каждой системы.

3.1.7. Для повышения точности пространственной привязки структурных элементов, геологических границ при полевых исследованиях рекомендуется применять ортофотопанораммы, построение которых выполняется на основе трехмерных изображений, получаемых по результатам обработки данных аэрофотосъемки (беспилотными летательными аппаратами). Также структурные элементы определяются с применением лазерных сканирующих систем. Анализ трещиноватости в камеральных условиях рекомендуется выполнять по трехмерным изображениям, представляющим собой облака точек (либо треугольников), с высокой детальностью отображающие поверхность уступов и бортов карьера, разреза. Точность координатной привязки трехмерных изображений определяется размерами снимаемого объекта и задачами исследований. Построение трехмерных изображений выполняется с применением соответствующего программного обеспечения.

3.1.8. Определение азимутально-угловых характеристик геолого-структурных объектов осуществляется с помощью горного или гироскопического (в случае если скальный

массив обладает магнитными свойствами) компаса. Допускается определение азимута и угла падения поверхностей ослабления на основе обработки результатов дистанционной съёмки массива. Результаты дистанционной съёмки рекомендуется сопоставлять с ручными замерами.

3.1.9. По результатам массовых замеров трещиноватости проводится построение круговых диаграмм с выделением систем трещин, отражающих преобладающие системы трещин (Рисунок 3.1). Построение диаграмм трещиноватости рекомендуется выполнять в специализированных программных пакетах.

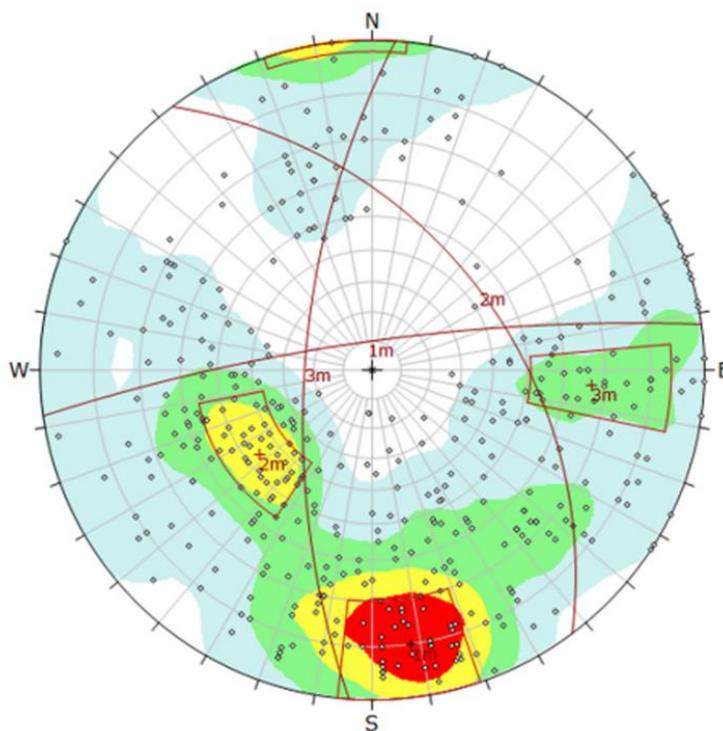


Рисунок 3.1 – Круговая диаграмма трещиноватости с 3-мя системами трещин

3.1.10. Всё выявленные трещины независимо от их генезиса делятся на продольные, диагональные и поперечные относительно откосов уступов и бортов карьеров. К продольным трещинам относятся такие, направление простирания которых отличается от направления простирания плоскости откоса не более чем на 20° . К диагональным относятся трещины, простирание которых отличается от направления простирания откоса в пределах $21-70^\circ$. Все остальные трещины поперечные. Кроме того, трещины разделяются на согласно и несогласно падающие с откосом. По углу падения трещины делятся на пологие, у которых угол наклона менее 30° , наклонные – $30-60^\circ$ и крутые – более 60° .

3.1.11. По результатам геолого-структурного картирования составляется сводный геолого-структурный план и/или объемная модель, на которых отражаются границы зоны

гипергенной дезинтеграции, трассы маршрутов и/или точки замеров и элементы залегания поверхностей ослабления, геологические границы.

3.1.12. При геолого-структурном картировании месторождений рекомендуется выполнять ранжирование трещиноватости, а также районирование массива горных пород по интенсивности трещиноватости (блочности) (Таблица 3-1 и Таблица 3-2). Для более детального районирования допускается вводить промежуточные категории.

Таблица 3-1. Иерархические уровни поверхностей структурного ослабления (разрывных нарушений)

Ранг (порядок) разломов, трещин	Мощность зоны дробления разлома или ширина трещин	Протяженность нарушения	Масштаб карты
Разломы I ранга - глубинные, как правило сейсмогенные	Сотни и тысячи метров	Сотни и тысячи километров	1:2500000 1:1000000
Разлома II ранга – глубинные, частично сейсмогенные	Десятки и сотни метров	Десятки и сотни километров	1:500000 1:200000
Разломы III ранга	Метры и десятки метров	Километры и десятки километров	1:200000 1:100000
Разломы IV ранга	Десятки и сотни сантиметров	Сотни и тысячи метров	1:50000
Крупные трещины V ранга	Свыше 20мм	Свыше 10м	1:25000 1:10000
Средние трещины VI ранга	10-20 мм	1-10 м	1:5000 1:2000
Мелкие трещины VII ранга	2-10 мм	Менее 1 м	-
Тонкие трещины VIII ранга	1-2 мм	Менее 1 м	-
Локальные трещины IX ранга – внутри пластов, слоев, породных блоков	Менее 1 мм	Менее 1 м	-

Таблица 3-2. Классификация массивов горных пород по трещиноватости и содержанию крупных отдельностей

Категория породы по трещиноватости	Степень трещиноватости (блочности) массива	Число трещин на 1 м линии, пересекающей наибольшее их число (интенсивность трещиноватости)	Средний размер отдельностей, м
I	Практически монолитные (исключительно крупноблочные)	Менее 0,65	Более 1,5
II	Малотрещиноватые (весьма крупноблочные)	1-0,65	1,0-1,5
III	Среднетрещиноватые	1-2	0,5-1,0
IV	Сильно трещиноватые (среднеблочные)	2-10	0,1-0,5
V	Чрезвычайно трещиноватые (мелкоблочные)	10	0.1

3.2. Документирование керна инженерно-геологических скважин

3.2.1. Документация керна инженерно-геологических скважин проводится для изучения строения, свойств и состояния (наличие дискования, зон дробления) массива горных пород. Документация керна осуществляется по интервалам, величина которых определяется степенью неоднородности структурных и петрографических особенностей породного массива и может колебаться от нескольких сантиметров до десятков метров. При этом не

следует существенно уменьшать (менее 10 см) или увеличивать эти интервалы (более 3-5 м). Обязательным является фотографирование керна инженерно-геологических скважин.

3.2.2. Документация керна скважин выполняется в специальном журнале, заводимом для каждой инженерно-геологической скважины. В журнале фиксируются генетический тип и вещественный состав пород, их структура, текстура (слоистость, сланцеватость), характер и интенсивность вторичных изменений, зоны смятия, дробления, а также дисконвание керна пород с указанием мощности интервала и толщины пластин.

3.2.3. Описание с последующей обработкой и анализом геомеханических данных ведется в объединенном журнале или отдельных журналах интервального и структурного документирования керна. Примеры форм таких журналов приведены в Приложении 1.

3.2.4. При документации керна особое внимание уделяется описанию зон ослабления различного генезиса (тектонические, метасоматические проработки). При этом если зона дробления обусловлена нарушениями технологии бурения, т.е. носит не природный характер, она должна быть исключена из статистической обработки (определение среднего размера блока, частоты трещиноватости и т.д.).

3.2.5. При документации керна необходимо разделять естественные трещины от механических на основе наиболее характерных их признаков. Наиболее характерными признаками трещины природного происхождения являются (Рисунок 3.2):

- окрашивание стенок трещины (сплошное, пятнами);
- выветривание поверхности шва (мягкий, разрушенный материал на поверхности, пятна оксидов железа (ржавчины));
- сглаженность разрыва (гладкий/волнистый контакт);
- плохое совпадение соседних кусков;
- повторяющиеся элементы в керне (другие похожие, субпараллельные трещины).



Рисунок 3.2 – Пример трещин естественного происхождения

Характерными признаками механического нарушения являются (Рисунок 3.3):

- свежая поверхность трещины (скола), без следов заполнителя и отсутствия окраски (и/или налета) ее плоскости;
- неровная поверхность, куски хорошо стыкуются друг с другом, не имеют следов смещения, угловатый контакт
- близкий к 90° угол к оси керна;
- механические следы повреждения (например, скрученный керн, дробление/истирание концов керна, неправильная форма кусков керна – близкая к овальной (не цилиндрическая)).



Рисунок 3.3 – Пример трещин механического происхождения

В случае трудности определения происхождения трещины, она должна быть отнесена к естественным.

Также следует маркировать залеченные трещины, которые бывают закрытые и открывшиеся во время бурения. Чаще всего залеченные трещины открываются в процессе бурения или манипуляции с керном. Если возникают трудности с определением, была ли трещина открыта в процессе бурения или она открыта в массиве, то необходимо выполнить следующее:

- найти закрытую трещину вблизи той, которая вызывает сомнения;
- открыть закрытую трещину с помощью геологического молотка;
- сравнить заполнители и поверхности;
- если свойства схожи, то считать эту трещину залеченной.

Примеры залеченных трещин представлены ниже (Рисунок 3.4).

Необходимо документировать и трещины по ослаблениям. Это трещины, проходящие по ослабленным зонам, например, по слоистости (Рисунок 3.5)

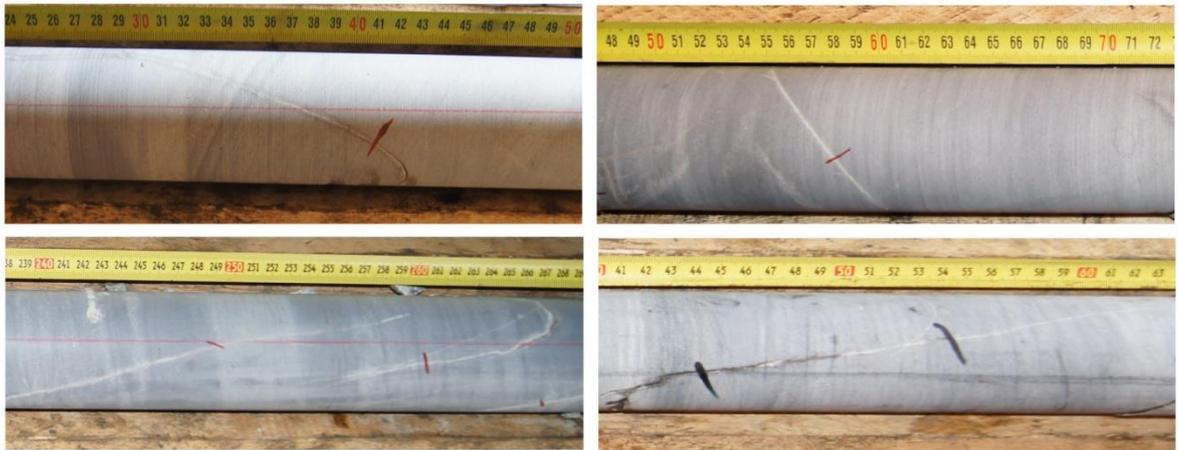


Рисунок 3.4 – Пример залеченных трещин

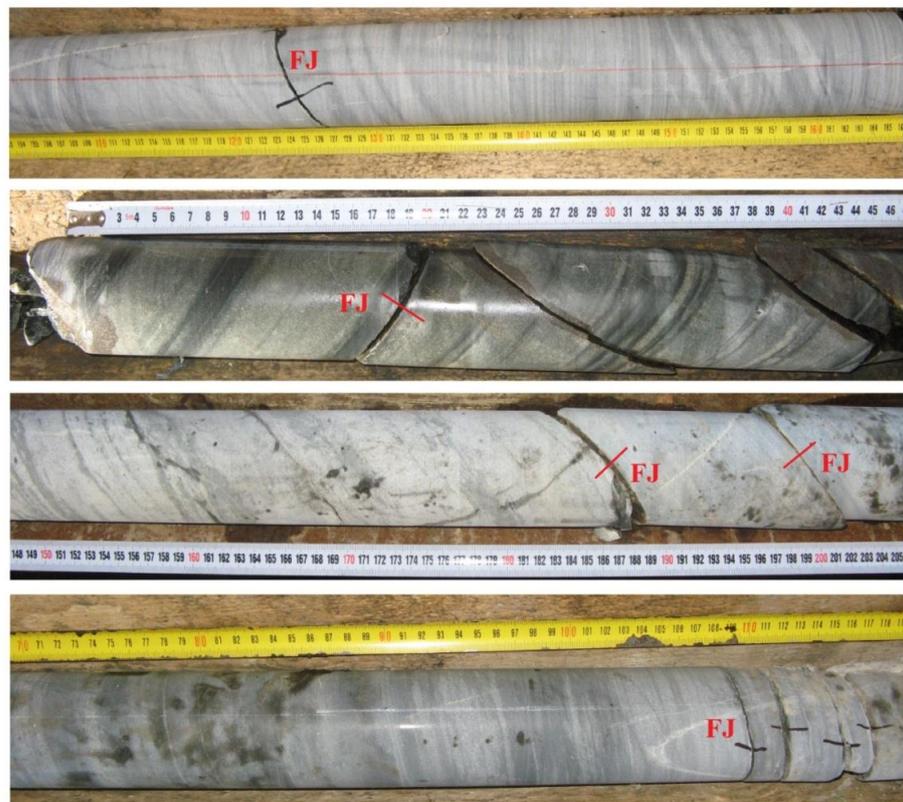


Рисунок 3.5 – Пример трещин по ослаблению

Также встречаются зоны дробления, которые необходимо документировать. Первым делом необходимо определить характер нарушений – естественные трещины складывают зону дробления или механические. В случае если зона дробления на 100% сложена из механических трещин, то есть была образована в процессе бурения, то керн такого интервала считается целым (Рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Пример разрушения керна в зоне дробления

3.2.6. В зависимости от типа пород при документации керна в общем случае рекомендуется фиксировать:

В скальных и полускальных горных породах:

- слоистость, сланцеватость, мощность пластовых отделностей и другие текстурные признаки;
- трещиноватость пород;
- кусковатость пород;
- зоны дробления;
- признаки закарстованности пород, наличие заполнителя в карстовых полостях, его состав и свойства;
- модуль трещиноватости;
- ориентировка (при ориентировании керна), а также углы падения трещин относительно оси керна или слоистости;
- морфология стенок трещин, наличие и состав заполнителя трещин и пр.,
- модуль кусковатости пород (число столбиков и обломков в 1 пог. м керна), используемый для инженерно-геологической характеристики пород и выявления зон дробления.

В связных дисперсных породах: влажность, консистенция, текстурные признаки.

В несвязных дисперсных породах – зернистость, признаки уплотненности, наличие прослоев и включений и их примерное содержание;

В многолетнемерзлых породах – тоже, что и в скальных породах, а также дополнительно размеры, форма и положение включений льда, криогенная текстура.

3.2.7. При инженерно-геологических наблюдениях (проводимых совместно с гидрогеологическими наблюдениями) в процессе бурения скважин фиксируются:

- буримость пород и их устойчивость в стенках скважин (прихват бурового инструмента и пр.);
- провалы бурового инструмента или погружение его в рыхлые породы под действием собственного веса;
- колебания уровней подземных вод;
- изменение химического состава подземных вод;
- поведение промывочной жидкости;
- изменение степени трещиноватости пород с глубиной;
- особенности разбуривания старых скважин в мерзлых массивах – ледяные пробки – перемычки, разделенные отрезками скважины с водой или воздухом.

3.2.8. Документирование керна рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- определить выход керна и частоту трещин. Промаркировать открытые, естественные трещины (нарисовать маркером (например, зеленого цвета) линии поперек трещины) и трещины искусственного происхождения (например, маркером красного цвета), сориентировать керн (если бурится ориентированный керн). Если предусмотрено транспортирование керна, то данные операции необходимо провести сразу на месте проведения буровых работ по извлечению керна;
- сфотографировать керн;
- транспортировать керн на место документирования (если предусмотрено);
- выполнить описание пород;
- выполнить описание разрывных нарушений (и прочих нарушений однородности), определить их ориентировку (для ориентированного керна);
- оценить предел прочности при сжатии для ненарушенного керна полевыми методами (если предусмотрено программой).

Документирование необходимо выполнять в пределах предварительно установленного геомеханического интервала, выделять которые следует в следующих случаях:

- изменился тип петрографической разности пород;
- изменилась прочность пород;
- изменилась структура (то есть изменилось количество, направление, тип трещин и так далее);
- изменение характера и степени выветрелости пород.

Пример выделения геомеханических интервалов представлен ниже (Рисунок 3.7).

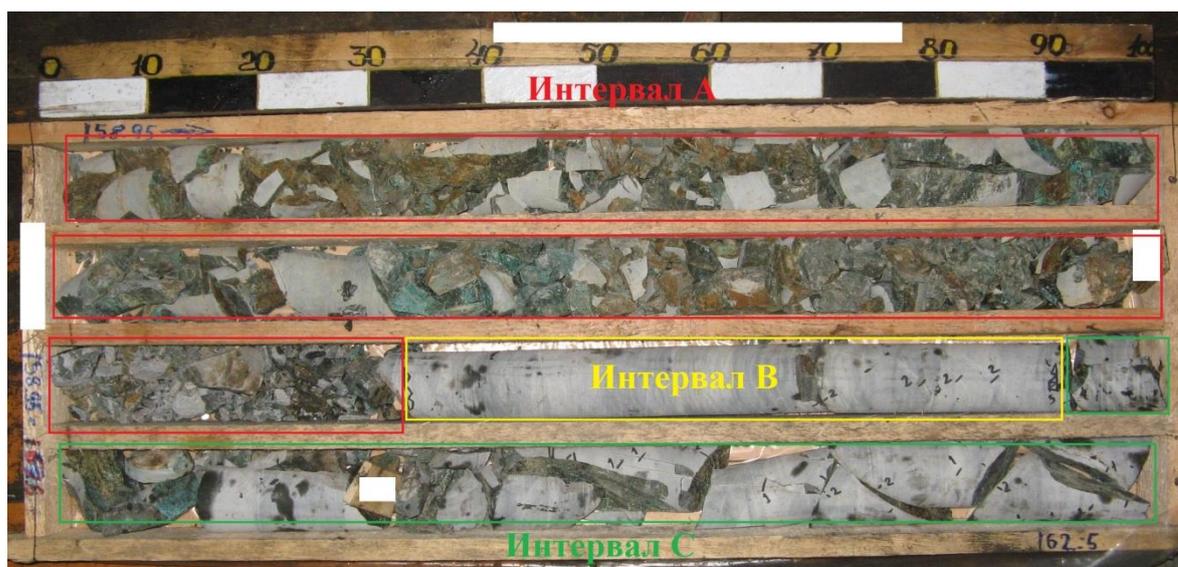


Рисунок 3.7 – Пример выделения геомеханических интервалов

3.2.9. Фотографирование керна необходимо выполнять до начала его документирования. На фотоснимке фиксируется один керновый ящик.

При фотографировании керна рекомендуется соблюдать следующие условия:

- не фотографировать при ярком солнце, лучи которого дают блики не керне. Желательно использовать рассеянный солнечный свет;
- фотографирование производить до распила керна;
- фотографируемый керн должен быть равномерно сухим;
- должно быть обеспечено одно и тоже фокусное расстояние до ящика с керном. При этом следует избегать использования широкоугольных объективов, поскольку их применение вызывает искажения изображения;
- на фотографии должны быть видны этикетка (бирка), цветовая полоса и масштаб (линейка). На бирке должна быть указана подробная информация о скважине (идентификация), дата, глубина;
- на фотографии должен быть виден номер скважины (в левом верхнем углу ящика вместе с цифрами глубины начала и номером ящика). Глубина окончания для каждого ящика должна быть показана в правом нижнем углу. Важно, чтобы направление керна было указано стрелкой. Блоки керна должны быть размещены таким образом, при котором глубина керна для каждого рейса керна легко читалась бы на фотографии.

Цифровой файл фотографии следует переименовывать таким образом, чтобы он содержал идентификационные данные скважины: номер скважины, номер ящика, интервал (например, Скв15_Ящик 01_150-155м).

3.3. Сбор данных для рейтинговой классификации массивов горных пород

3.3.1. Применение рейтинговых классификаций является альтернативным способом оценки качества массива, который базируется на комплексе показателей, собираемых в период выполнения полевых работ в соответствии с определённой методикой (см. п.3.3.4).

3.3.2. Необходимость применения рейтинговых классификаций определяется программой исследований.

3.3.3. При использовании нелинейного критерия прочности массива горных пород применяется геологический индекс прочности для трещиноватых блочных пород по Хуку (Geological Strength Index – GSI, 2013) – Рисунок 3.8.

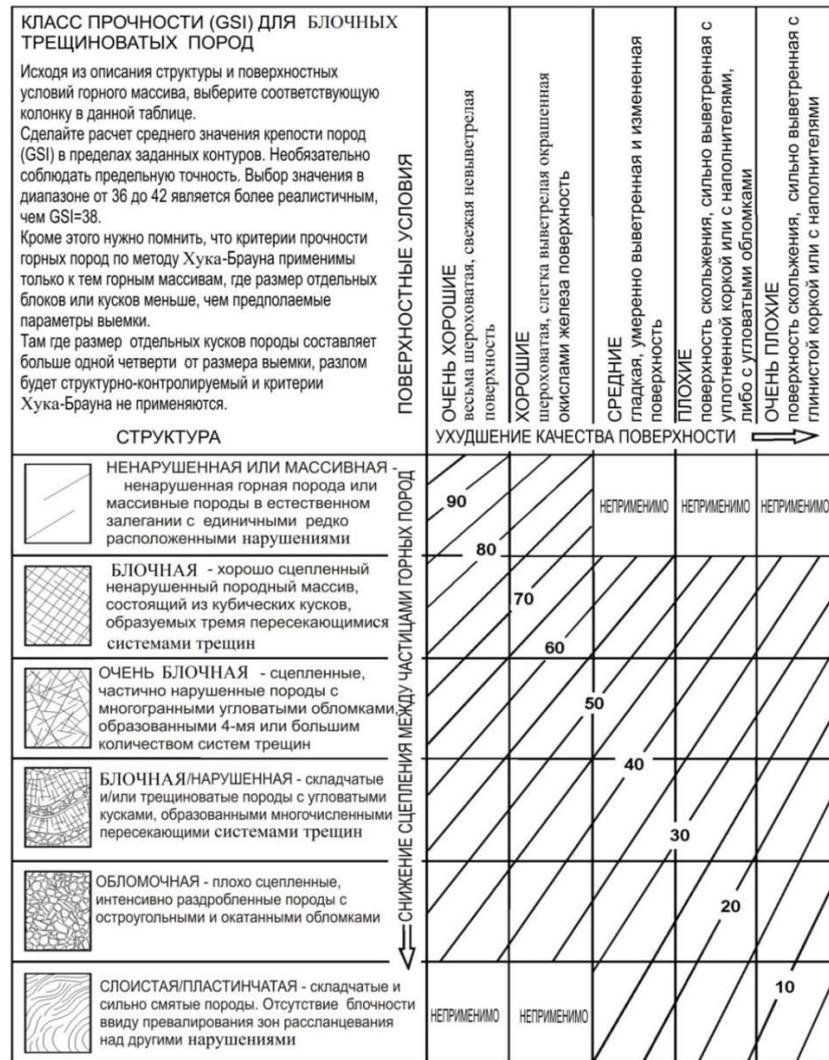


Рисунок 3.8 – Диаграмма определения параметра GSI по Хуку 2013 года

3.3.4. Для сравнительной характеристики качества массива горных пород могут применяться следующие классификации:

- система классификации массивов горных пород по Бенявскому (RMR Bieniawski 1989);
- модифицированная система классификации массивов горных пород по Лобширу (MRMR Laubscher 1990);

- измененная модифицированная классификация массивов горных пород по Лобширу и Якубеку (MRMR Laubscher and Jakubec 2001);

3.3.5. Составляющие всех представленных рейтинговых систем приведены в таблице ниже (Таблица 3-3).

3.3.6. Рейтинговая характеристика массива горных пород применяется для скальных и полускальных трещиноватых пород, так как она основана на сборе информации о состоянии ненарушенных пород и подсчёте количества трещин и их характеристики.

3.3.7. Рейтинговые оценки выполняются на основе параметров (Рисунок 3.9):

- прочность породы и оценки анизотропии (изменение пород);
- количество трещин и их протяженность;
- состояние трещин (форма и состояние поверхности, заполнитель);
- ориентировка трещин;
- обводненность.

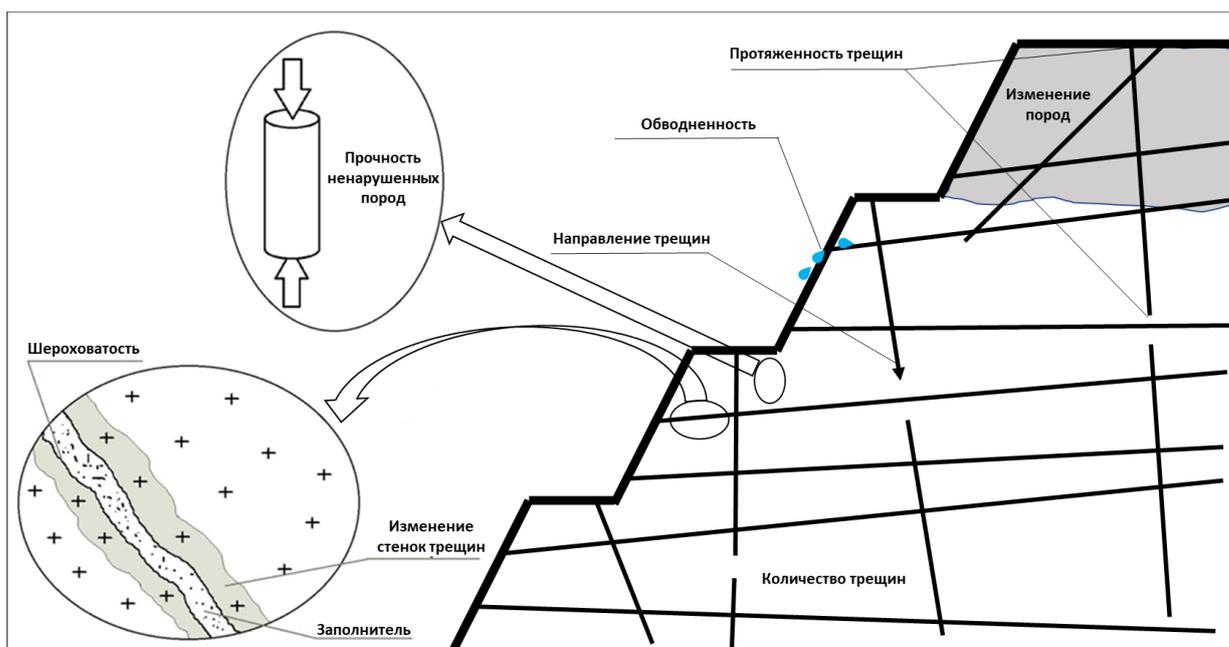


Рисунок 3.9 – Основные компоненты классификации массивов горных пород

3.3.8. Геомеханическое документирование керна для последующей рейтинговой классификации массива заключается в последовательном выполнении следующих процедур:

Выделение геомеханических интервалов (зон) документирования керна. Максимальная длина геомеханической зоны не должна превышать 3-5 м.

Таблица 3-3. Рейтинговые системы и их составляющие

Рейтинговая система	Расчетная формула	Составляющие рейтинга				Поправки к рейтингу	
		Прочность пород	Частота трещин	Свойства трещин	Влияние воды		
Индекс прочности для трещиноватых блочных пород по Хуку, 2013*	$GSI_{2013} = RQD/2 + 1.5 * J_{Cond89}$	Прочность заложена в критерии разрушения	RQD, % (0-100)	J_{cond89} (0-30)		-	
	$GSI_{2013} = 2 * J_{Cond76} + RQD/2$		RQD, % (0-100)	J_{cond76} (0-25)			
	$GSI_{2013} = (52 * J_r/J_a)/(1 + J_r/J_a) + RQD/2$		RQD, % (10-100)	J_r (0.5-4)	J_r (0.5-4)		
Система классификации массивов горных пород по Беньявскому, 1989**	$RMR_{B89Basic} = IRS + RQD + J_s + J_c + GC$	IRS (0-15)	RQD (0-20)	J_s (0-20)	J_c (0-20)	GC (0-15)	
	$RMR_{B89} = RMR_{B89Basic} + JB$						JB - взаимное расположение сооружения и систем трещин
	$RMR_{B89adj} = RMR_{B89} * A_b * A_s * S$						Ab - Взрывание (0.8-1) As - Напряженное состояние (0.6-1.2) S - Крупные разломы (0.7-1)
Модифицированная система классификации массивов горных пород по Лобширу, 1990***	$RMR_{L90(FF)} = IRS + FF + J_c$	IRS (0-20)	FF (0-40)		J_c (0-40)	-	
	$RMR_{L90(RQD)} = IRS + RQD + J_s + J_c$		IRS (0-20)	RQD (0-15)			J_s (0-25)
	$MRMR_{L90} = RMR_{L90} * A_w * A_o * A_s * A_b$	Aw - Выветривание (0.3-1) Ao - Ориентация (0.63-1) As - Напряженное состояние (0.6-1.2) Ab - Взрывание (0.8-1)					
Измененная модифицированная классификация массивов горных пород по Лобширу и Якубеку, 2001****	$iRMR_{LJ01} = RBS + J_s + J_c$	RBS (0-25)	J_s (0-35)		J_c (0-40)	-	
	$MRMR_{LJ01} = iRMR_{LJ01} * A_{weath} * A_o * A_s * A_b * A_w/i$		Aweath - Выветривание (0.3-1) Ao - Ориентация (0.7-0.95) As - Напряженное состояние (0.6-1.2) Ab - Взрывание (0.8-1) Aw/i - Наличие воды\льда (0.8-1.2)				

* - Параметр Хука 2013 года (GSI_{2013}) может рассчитываться тремя разными способами в зависимости от методики сбора исходных данных. Каждый из способов расчета является равнозначным. Определение составляющих рейтинговой классификации необходимо проводить в соответствии с Приложением 2.

** - Рейтинговый показатель Беньявского 1989 года состоит из базового рейтингового параметра массива горных пород ($RMR_{B89Basic}$), расчетного основного параметра с учетом расположения сооружения и систем трещин (RMR_{B89}) и скорректированного показателя с учетом поправочных коэффициентов (RMR_{B89adj})

*** - Параметр Лобшира 1990 года (RMR_{L90}) может рассчитываться двумя разными способами в зависимости от методики сбора исходных данных. Один способ с использованием истинного количества трещин на метр (FF) - $RMR_{L90(FF)}$, второй с использованием параметров RQD и истинного расстояния между трещинами (J_s) - $RMR_{L90(RQD)}$. Каждый из способов расчета является равнозначным. Рейтинговый показатель с учетом горных работ определяется путем введения поправок - $MRMR_{L90}$

**** - Параметр Лобшира и Якубека 2001 года (RMR_{LJ01}) рассчитывается только через истинное расстояние между трещинами. Рейтинговый показатель с учетом горных работ определяется путем введения поправок - $MRMR_{LJ01}$

Описание пород: выделение типа породы, разломы, зоны их влияния, зоны дробления (скалывания) и прочие следует выделять в качестве отдельных литологических единиц.

Описание степени выветрелости пород. Данный параметр отражает изменение (выветривание) пород под воздействием какого-либо фактора, способствующего уменьшению прочности пород (Таблица 3-4, Рисунок 3.10).

Таблица 3-4. Интенсивность изменения (выветрелости) массива горных пород

Код	Описание
UA	Неизменная
SA	Слегка измененная
MA	Умеренно измененная
HA	Сильно измененная
CA	Полностью измененная
RS	Дезинтегрированная порода



Рисунок 3.10 – Примеры измененных пород

Определение степени размокаемости пород (Таблица 3-5).

Таблица 3-5. Степень размокаемости горных пород

Код	Описание
0	Не размокает
1	Слабое размокание
2	Умеренное размокание
3	Сильное размокание

Определение обводненности горных пород (наличие воды в скважине) (Таблица 3-6).

Таблица 3-6. Обводненность горных пород

Код	Описание
D	Полностью сухая - без признаков влаги на поверхности
M	Слегка влажная - поверхность трещины влажная
W	Влажная - поверхность трещин сырая
DR	Мокрая - присутствует вода
F	Течет вода

Определение общего выхода керна (*TCR*) - рассчитывается как процентное отношение длины извлеченного керна (включая как цельный (сплошной), так и разрушенный (обломочный)) к общей длине кернового бурового рейса. Извлечение керна фиксируется для каждого кернового рейса бурения, а затем суммируется по всей геомеханической зоне.

$$\text{Общий выход керна (TCR)} = \frac{\text{Общая длина извлеченного керна, м}}{\text{Длина интервала, м}} \cdot 100\%$$

При документации керна его выход фиксируется в метрах, а затем пересчитывается при камеральной обработке. Рекомендуется убедиться, что зафиксированная длина керна во всех случаях меньше длины рейса бурения. В случае нарушения керна (разрыхлении) формируется ошибочное представление, что его длина превышает длину рейса бурения. В этом случае длина керна должна быть откорректирована. Если суммарная длина кусков породы (керна) в ящике заметно превышает длину рейса, необходимо сократить величину (длину) извлечения до реальной длины рейса. При этом, в процентном отношении извлечение не может быть больше 100%.

Определение извлечения сплошного (цельного) керна (*SCR*) – это процентное отношение суммарной длины извлеченного керна в виде сплошных (цельных) цилиндров к длине бурового рейса. В ходе документирования, как правило, быстрее и удобнее измерить длину несплошных (нецельных) кусков керна и вычесть их длину из общей длины извлеченного керна.

$$\text{Выход цельного керна (SCR)} = \frac{\text{Длина цельного керна, м}}{\text{Длина интервала, м}} \cdot 100\%$$

Как видно на рисунке ниже (Рисунок 3.11), в выбранном интервале (красные стрелки) показаны куски керна, которые входят в состав цельного выхода керна (желтые стрелки). Соответственно, значение, которое необходимо записать в журнал, это сумма длин цельных кусков.

$$\text{Выход цельного керна (SCR)} = A + B + C + D + E + F$$



Рисунок 3.11 – Пример определения цельного выхода керна

Определение показателя качества пород (RQD) – это процентное отношение суммарной длины сплошных (цельных) цилиндров извлеченного керна длиной более 10 см каждый между естественными трещинами к длине бурового рейса.

$$RQD = \frac{\text{Длина керна больше 10 см, м}}{\text{Длина интервала, м}} \cdot 100\%$$

Фиксируется суммарная длина сплошных (цельных) цилиндров извлеченного керна длиной более 10 см каждый между естественными трещинами. Керна с открытыми трещинами, параллельными оси керна, с механическими повреждениями следует принимать в качестве сплошного керна.

На рисунке ниже (Рисунок 3.12) показаны правильный (а) и неправильный (б) методы измерения расстояний между трещинами соответственно. Необходимо измерять расстояния по оси керна.

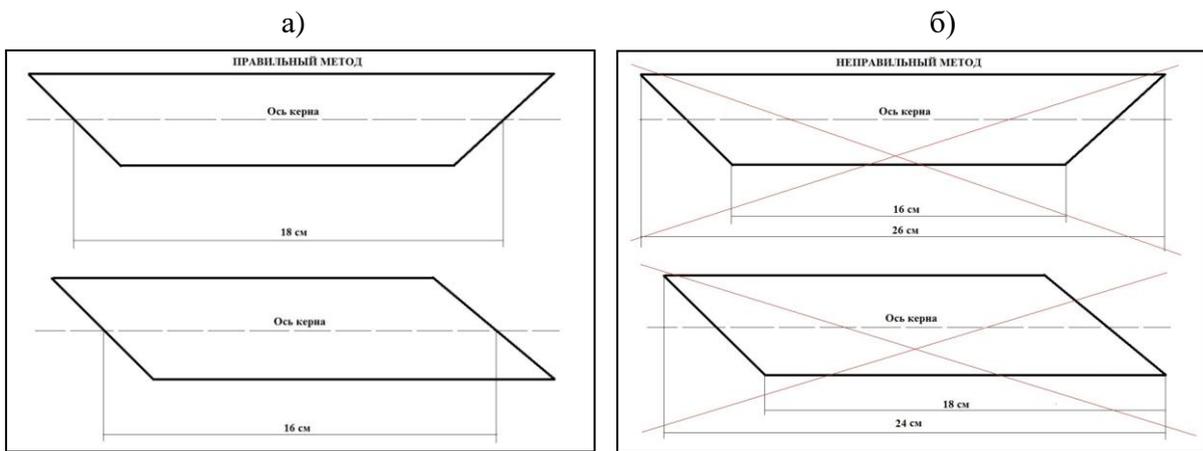


Рисунок 3.12 – Пример правильного (а) и неправильного (б) метода измерения расстояний между трещинами

На рисунке ниже (Рисунок 3.13) изображен интервал длиной 1 метр. Измерение значения RQD должно быть следующим:

$$RQD(\%) = \frac{15 + 28 + 24 + 16}{100} \cdot 100\% = \frac{83}{100} \cdot 100\% = 83\%$$

Важно помнить, что в местах механических трещин (зеленый крест) необходимо считать керн целым, а также что трещины (даже естественные), которые параллельны оси керна не влияют на значение SCR и RQD, а, следовательно, включаются в измерение суммы длин.

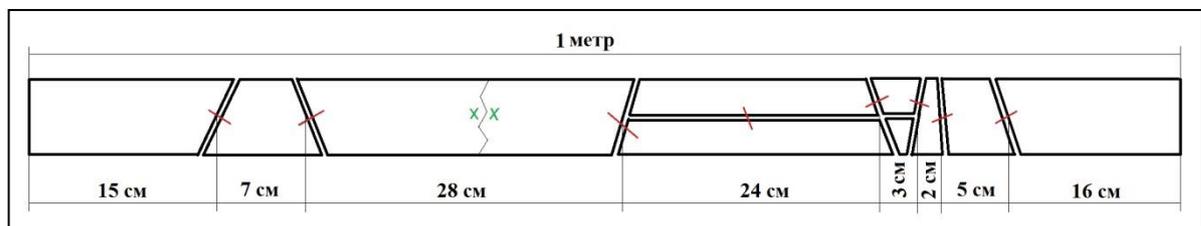


Рисунок 3.13 – Пример измерения RQD

Также, как и общий и цельный выход керна в журнале необходимо записывать значение RQD в метрах. Поэтому в журнале должно быть записано следующее:

$$RQD = 15 + 28 + 24 + 16 = 83 \text{ см} = 0,83 \text{ м}$$

или

$$RQD = 100 - 3 - 2 - 5 - 7 = 83 \text{ см} = 0,83 \text{ м}$$

Подсчитывается число естественных открытых трещин. Для каждой выделенной геомеханической зоны необходимо подсчитать число трещин относящиеся к каждой из трех групп в зависимости от их угла к оси керна: от 0 до 30° (J_1), от 31 до 60° (J_2) и от 61 до 90° (J_3), затем фиксируется суммарное количество трещин для каждой группы. Данная процедура выполняется вне зависимости от того, бурение производилось с отбором ориентированного керна или без такого. Такой подход позволяет с большей достоверностью определить истинное расстояние между трещинами. Для каждой группы рассчитать видимое

расстояние между трещинами (S), а именно разделить длину интервала на количество трещин в группе:

$$S (J_1) = \frac{\text{Длина интервала (м)}}{\text{Количество трещин } (J_1)}$$

Для определения истинного расстояния между трещинами, необходимо внести поправки в соответствии с группой. Для группы J₁ поправка составляет – 0.26, для группы J₂ поправка составляет – 0.71, для группы J₃ поправка составляет – 0.97. Истинное расстояние между трещинами (TS) в группе вычисляют по формулам:

$$TS (J_1) = S (J_1) \times 0.26$$

$$TS (J_2) = S (J_2) \times 0.71$$

$$TS (J_3) = S (J_3) \times 0.97$$

Истинное количество трещин по группе определяется как инверсия истинного расстояния между трещинами по группе:

$$\omega (J_1) = \frac{1}{TS (J_1)}$$

$$\omega (J_2) = \frac{1}{TS (J_2)}$$

$$\omega (J_3) = \frac{1}{TS (J_3)}$$

Истинное количество трещин на метр (ω) определяется как сумма истинных трещин на метр по каждой группе:

$$\omega = \omega (J_1) + \omega (J_2) + \omega (J_3)$$

Описание зон дробления. При оценке количества трещин в зонах дробления необходимо руководствоваться следующим алгоритмом:

- проверить, не связаны ли трещины с механическими повреждениями керна;
- оценить средний размер обломков пород. При этом следует считать, что каждый обломок породы связан по крайней мере с одной трещиной;
- после сдвигания частей керна вместе до его исходной длины следует измерить длину зон дробления и разделить его на среднюю длину обломка керна (из зон дробления).
- полученную величину принять за количество трещин. Например, средний размер обломка в зоне дробления, длиной приблизительно 120 см, оценен в 2 см. Таким образом, количество трещин в этой зоне будет равно 60 (длина зоны дробления делится на средний размер обломка). Рассчитанное количество трещин записывается в третью группу (61-90°).

Зоны дробления могут также служить индикаторами наличия разломов, поэтому они в обязательном порядке должны быть отражены на соответствующих инженерно-геологических разрезах.

Все зоны дробления должны быть зафиксированы как основные структурные нарушения с указанием глубины начала такой зоны, ее протяженности, определением типа нарушения, количества трещин. Дополнительно необходимо отразить информацию о зеркалах, бороздах скольжения, наличие окисленного минерала, заполнители, изменении пород и другая.

Описание макрошероховатости. Макрошероховатость – это крупномасштабная форма трещины. Кодировка определяется в соответствии с таблицей ниже (Таблица 3-7).

Таблица 3-7. Кодировка макрошероховатости

Код	Описание
1	Прямая
2	Слегка волнистая
3	Изогнутая
4	Волнистая однонаправленная
5	Волнистая Разнонаправленная

Описание микрошероховатости, т.е. мелкомасштабных шероховатостей на поверхностях трещин. Этот параметр важен для определения предела прочности трещины (или структуры) и ее склонности к скольжению. Микрошероховатость фиксируется путем придания специального кода (Таблица 3-8). Не допускается присвоения нескольких кодов, поскольку это осложнит последующую обработку и интерпретацию данных. Стандартные коды для описания шероховатости, были разработаны Бартоном, а позже Лобшир присвоил им относительные значения (1990). Коды шероховатости для правильного определения этого параметра указываются на легенде к описанию. Микрошероховатости следует оценивать при масштабе 20 см (

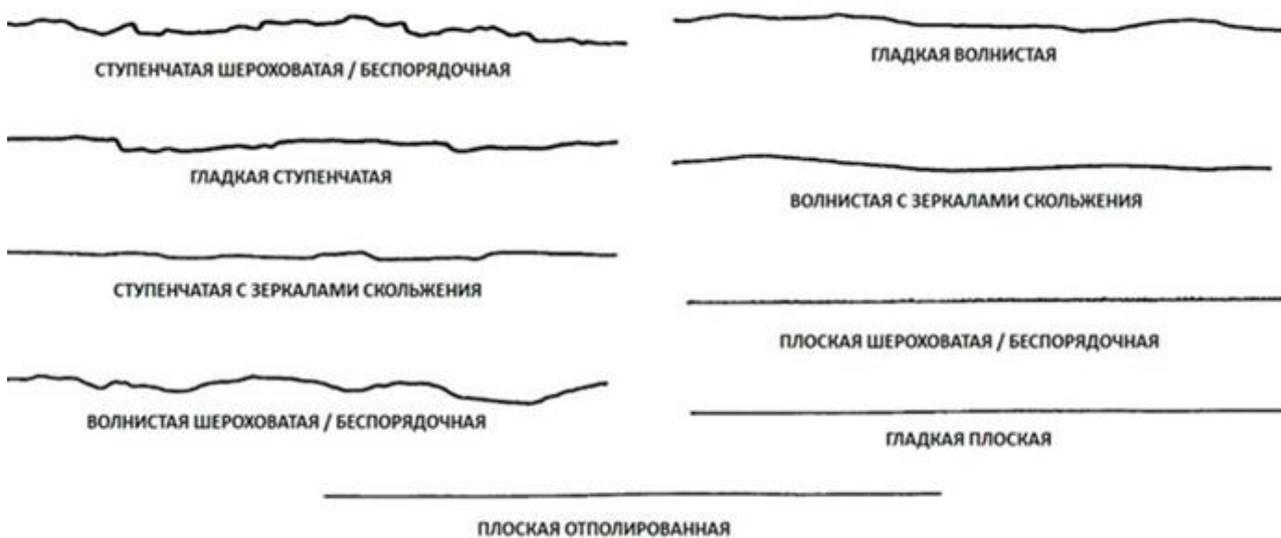


Рисунок 3.14). При документировании керн к ним будут относиться шероховатости, которые можно почувствовать при касании пальцами поверхности трещины. На рисунке ниже

(Рисунок 3.15) представлены фотографии керн с типичными формами микрошероховатости.

Таблица 3-8. Описание микрошероховатости и ее кодовое обозначение

Код	Описание
1	Плоская отполированная
2	Гладкая плоская
3	Плоская шероховатая
4	Волнистая с зеркалами скольжения
5	Гладкая волнистая
6	Волнистая шероховатая
7	Ступенчатая с зеркалами скольжения
8	Гладкая ступенчатая
9	Ступенчатая шероховатая / беспорядочная

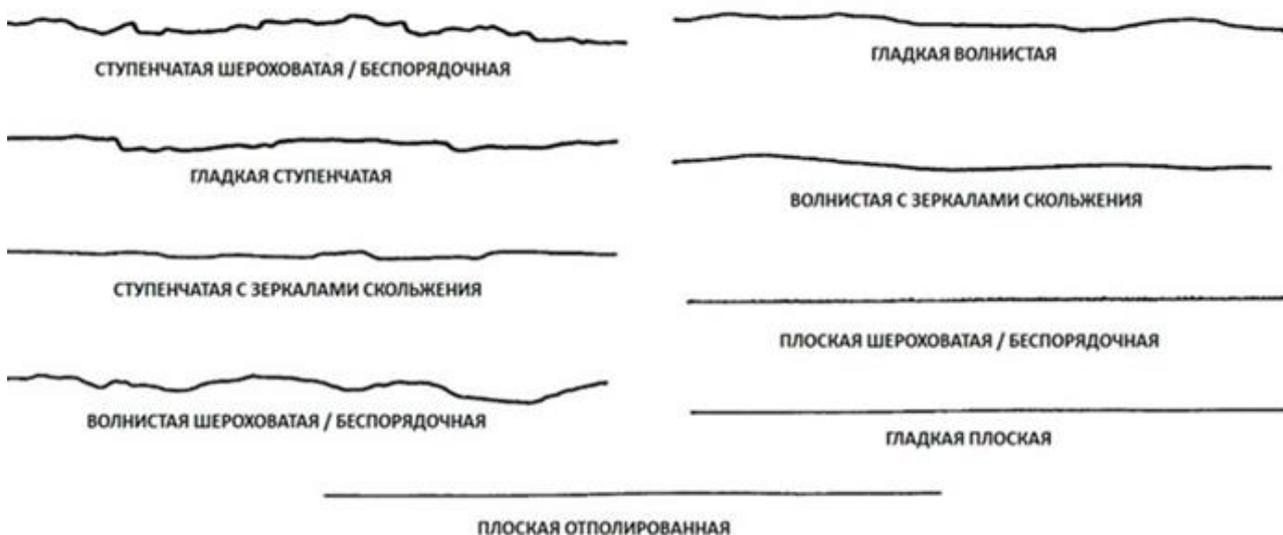


Рисунок 3.14 – Пример профилей микрошероховатости (ширина 20 см)



Ступенчатая с зеркалами скольжения



Ступенчатая шероховатая



Волнистая с зеркалами скольжения



Волнистая шероховатая



Плоская с зеркалами скольжения



Плоская шероховатая

Рисунок 3.15 – Типичные формы микрошероховатости

Описание типа заполнителя трещины и его мощности. Данный показатель оказывает влияние на предел прочности трещины на сдвиг. Предел прочности трещины на сдвиг зависит от размера зерен, прочности заполнения, состояния материала заполнителя (смятый/рассланцованный). При документировании можно присвоить только один код заполнения данной системе трещин, причем это обычно либо наиболее часто встречающийся в данной системе, либо наиболее критический (при оценке предела прочности трещины на сдвиг) код/тип. Например, если есть 6 трещин с заполнением кальцитом и 4 трещины с глинистым заполнением, именно глинистое заполнение является критическим и должно быть задокументировано. Если в пределах геомеханического интервала встречается более чем один минерал заполнения, решение, который из них следует считать наиболее представительным, принимается на основании частоты встречаемости и величины предела прочности трещины на сдвиг для каждого минерала/типа заполнения. Этот выбор часто является субъективным и основан на опыте геолога. Стандартные кодовые обозначения основных типов заполнителя трещин представлены в таблице ниже (Таблица 3-9).

Таблица 3-9. Прочность заполнителя и его кодовое обозначение

Код	Описание
NSC	Твердый материал - крупнозернистый
NSM	Твердый материал - среднезернистый
NSF	Твердый материал - мелкозернистый
SSC	Мягкий материал - крупнозернистый
SSM	Мягкий материал - среднезернистый
SSF	Мягкий материал - мелкозернистый
GLT	Толщина заполнителя < Амплитуды трещины

GGT	Толщина заполнителя > Амплитуды трещины
STN	Только окрашивание
NON	Нет заполнителя

Коды GLT и GGT относятся к смятому/рассланцованному (тектонизированному) заполнению, такому как глинистый материал. Здесь важно зафиксировать, меньше или больше мощность амплитуды (волнистость) открытой трещины по сравнению с мощностью (толщиной) материала заполнения. Материал заполнения большей мощности, чем минимальная амплитуда трещины, представляет наихудшую ситуацию, т.к. эта трещина будет иметь более низкое сопротивление трению, по сравнению с трещиной, в которой мощность материала заполнения меньше минимальной амплитуды трещины (Рисунок 3.16).

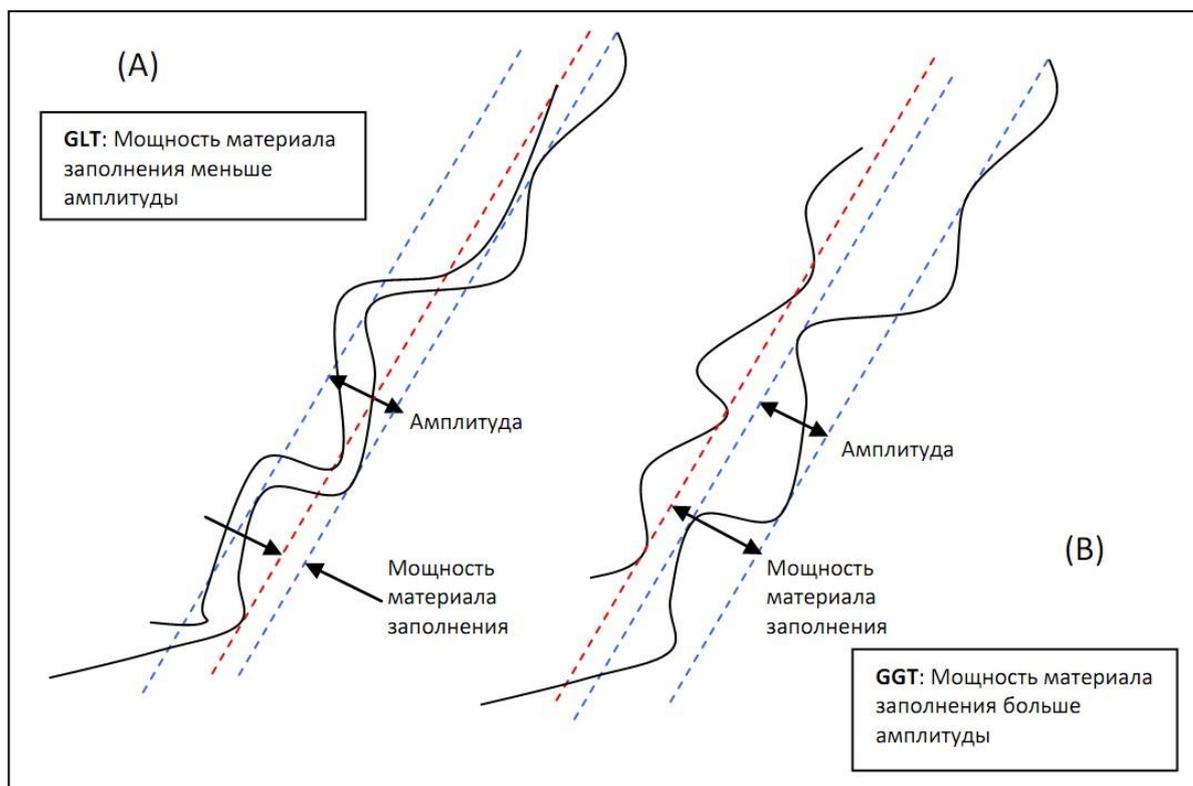


Рисунок 3.16 – Учет амплитуды трещины при определении мощности материала

Мощность материала заполнения должна быть зафиксирована в мм. Если разлом документируется в качестве самостоятельной геомеханической единицы, то его начало и конец фактически определяют мощность заполнения.

Характеристика изменения стенок трещин. Данный параметр определяет относительную прочность стенок трещины по сравнению с прочностью ненарушенной породы (Таблица 3-10). Если изменения стенок трещин не слишком распространены на месторождении, то в большинстве случаев прочность стенок трещины будет совпадать с прочностью пород. В таком случае следует использовать при описании код «1». Примеры изменения стенок трещины приведены на рисунке ниже (Рисунок 3.17).

Таблица 3-10. Оценка изменения прочности стенок трещины

Код	Описание
1	Стенки не изменены
2	Слегка изменены
3	Изменены
4	Сильно изменены
5	Полностью изменены



Стенки не изменены



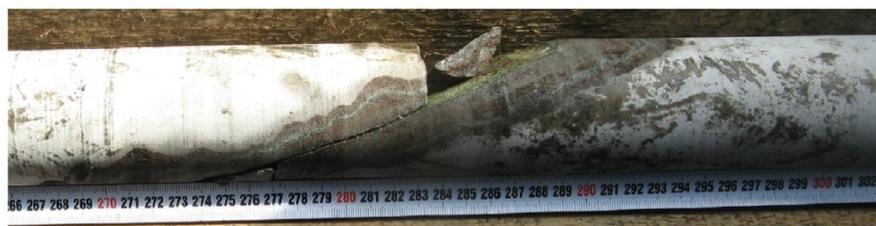
Стенки слегка изменены



Стенки изменены



Стенки сильно изменены



Стенки полностью изменены

Рисунок 3.17 – Учет амплитуды трещины при определении мощности материала

Определение прочности ненарушенной породы (IRS). Эта величина представляет собой полевую оценку предела прочности при одноосном сжатии (UCS или ППОС) с использованием полевого метода оценки прочности ненарушенной породы. Для получения данной оценки следует использовать керн без микродефектов (прожилки, залеченные трещины и

т.д.). В случае если наблюдается анизотропия породы (сланцеватость, слоистость, брекчирование и т.д.), это отмечается в соответствующем столбце для комментариев. Для оценки следует использовать перочинный нож, твердосплавный чертящий карандаш и/или геологический молоток. Полевые описания для соответствующих кодовых обозначений перечислены в таблице 3.11. Средние величины ППОС, которые при этом должны быть представительными для всей единицы документирования, должны быть зафиксированы в журнале документирования.

Таблица 3-11. Оценка прочности породы при наглядном (описательном) подходе

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 (бетон около 35 МПа)
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 геологического молотка
R6	Крайне прочная	>250	Материал только откалывается под повторяющимися ударами геологического молотка, звенит при ударах

Тест начинается с испытания породы на ударную прочность, затем продолжатся дальнейшие испытания, чтобы понять, слабее ли ненарушенная порода по прочности (то есть определить степень прочности). К более слабым относятся породы, имеющие прочность до 25 МПа. Материалы, имеющие прочность в ненарушенном состоянии выше 1 МПа, могут рассматриваться, с геомеханической точки зрения как породы, а материалы, имеющие прочность ниже 1 МПа как почвы. В случае выявления вариаций прочности породы в пределах интервала документирования следует оценить и указать процентное соотношение слабых и прочных пород. Прочность, обычного бетона составляет около 35 МПа.

В полевых условиях испытания пород на прочность проводят также склерометрами (Шора, Тархова, Шмидта). Рекомендуется проводить испытания ненарушенных пород на прочность в конце процесса документирования каждой геомеханической единицы, после определения показателя качества пород RQD и подсчета трещин, чтобы избежать путаницы

искусственных трещин, вызванных этими испытаниями, с естественными. Трещины, появившиеся после проведения испытаний, помечаются маркером красного цвета.

Заполнение комментариев. Комментарии содержат информацию, которую трудно представить в количественной форме. Это может быть информация о трудностях при бурении, вызванных массивом горных пород (потеря керна, потеря бурового раствора, высокий напор подземных вод, провал скважины). Кроме того, дается краткое геомеханическое описание пород, начиная с названия породы (заглавными буквами), затем цвет, размер зерен, структура, текстура, расстояние между трещинами, изменение, отметить значительную потерю керна, и любые структурные особенности (тонкая сланцеватость, массивная порода, блочная, дробленая, смятая/рассланцованная и т.д.).

3.3.6. В случае бурения ориентированного керна также выполняется определение азимутально-угловых характеристик геолого-структурных элементов. Общая последовательно работ следующая:

Измерение ориентировки. При этом замеры выполняются только для рейсов с надежными линиями ориентирования. Расчет истинной ориентировки трещин осуществляется на основе следующих параметров:

- угол наклона скважины – эта величина указывает отклонение оси скважины от вертикали;
- азимут скважины – эта величина указывает угол, отложенный по часовой стрелке между направлением стрелки компаса на север и горизонтальной проекцией направления скважины (вниз);
- положение линии ориентирования – эта величина указывает угол наклона ориентированной линии отсчета (вдоль керна) от верхней части керна (например, в нижней части керна он был бы 180°). Эта информация нужна, поскольку одни методы ориентирования керна дают линию ориентирования в верхней части керна, а другие – в нижней (Рисунок 3.18);

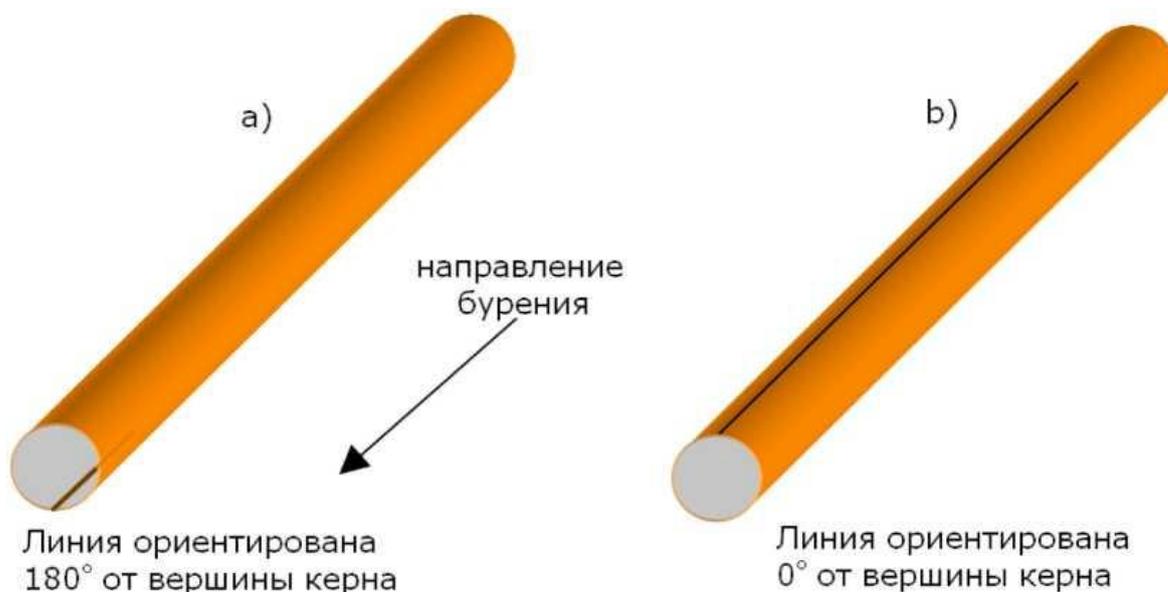


Рисунок 3.18 – Различное положение линии ориентирования

- альфа угол трещины – это минимальный угол между вектором максимального наклона плоскости трещины и осью керна. Или, другими словами, максимальный угол наклона трещины относительно оси керна.
- бета угол трещины – это угол, отложенный по часовой стрелке от линии отсчета до направления вектора максимального наклона, если смотреть вниз по оси керна в направлении бурения скважины. На рисунках ниже (Рисунок 3.19 и Рисунок 3.20) показаны принципы ориентирования и порядок измерения углов Альфа и Бета.

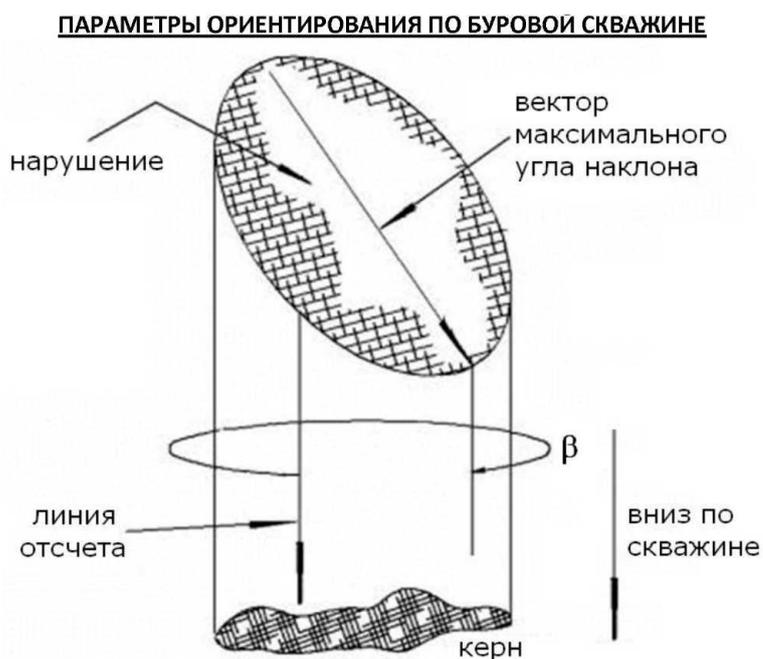


Рисунок 3.19 – Параметры ориентирования керна скважины

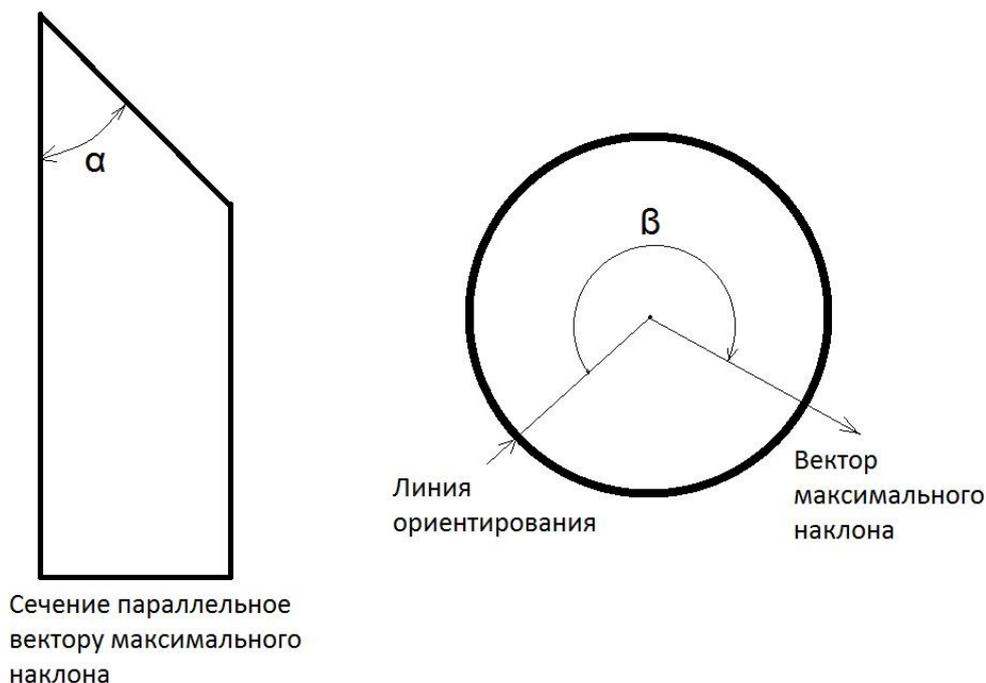


Рисунок 3.20 – Углы Альфа (α) и Бета (β)

Для определения угла Альфа (α) необходимо измерить угол между осью керна и вектором максимального наклона нарушения (то есть определить угол падения нарушения относительно оси керна).

Для определения угла Бета (β) необходимо измерить угол, отложенный по часовой стрелке от линии отсчета (линии ориентирования) до вектора максимального наклона нарушения. Для измерения угла Бета (β) можно использовать прозрачную ленту с делениями, проведенными из расчета, приведенного ниже:

$$1 \text{ деление } (1^\circ) = \frac{\text{Длина окружности}}{360} = \frac{2\pi R}{360} = \frac{\pi D}{360}$$

где: R – радиус керна;

D – диаметр керна.

Например, если имеется kern диаметром 63,5 мм, то:

$$1 \text{ деление } (1^\circ) = \frac{\text{Длина окружности}}{360} = \frac{2\pi R}{360} = \frac{\pi D}{360} = \frac{3,14 * 63,5}{360} = \frac{199,491}{360} = 0,554 \text{ мм}$$

Соответственно, длина измерительной ленты должна быть 199,491 мм, а деления, соответствующие 1° будут проведены через каждые 0,554 мм. Пример такой палетки приведен на рисунке ниже (Рисунок 3.21).

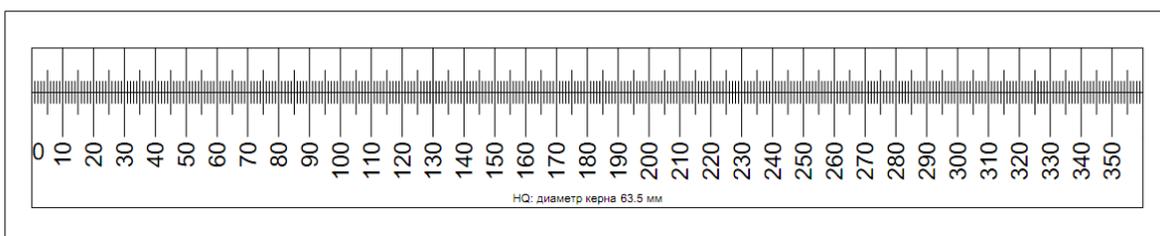


Рисунок 3.21 – Пример палетки для измерения угла Бета на керне диаметром 63,5 мм (не в масштабе)

Углы Альфа и Бета следует определять с точностью до 1° и не следует округлять до $5-10^\circ$. В случае округления полярные диаграммы трещиноватости будут иметь форму лучей.

Для более простого измерения угла Бета целесообразно измерять расстояние от линии ориентирования до вектора максимального наклона мягким метром или рулеткой с точностью до миллиметров. Таким образом, зная диаметр керна можно вычислить угол Бета с достаточной точностью. Следует отметить, что для использования такого метода необходимо знать точный диаметр керна на каждом документируемом интервале.

На каждом этапе рекомендуется оценивать, насколько хорошо согласуются линии ориентирования последовательных рейсов керна. Рекомендуется проводить ориентирование каждого рейса керна. Линия ориентирования, по меньшей мере, трех ориентированных рейсов керна должны совпадать в пределах погрешности менее 10 градусов. Если при осмотре керна были выявлено, что он проворачивался и нельзя восстановить его истинное положение, то начиная с данного места до конца рейса необходимо считать керн неориентированным. Информацию о надежности ориентирования необходимо отразить в форме структурного описания.

При проведении геомеханического описания ориентированного керна помимо азимутально-угловых характеристик трещин также собирается вся информация по параметрам и методике, изложенным в разделе 3.2.

4. Изучение физико-механических характеристик горных пород и массивов

4.1. Лабораторные методы испытаний

4.1.1. Изучение физико-механических свойств горных пород лабораторными методами может проводиться на месторождении в несколько этапов, отличающихся целями и задачами.

4.1.2. Задачей испытаний горных пород является установление количественных показателей прочностных, деформационных и плотностных показателей физико-механических свойств массива пород, определяющих его поведение (реакцию) в тех или иных условиях напряженного состояния.

4.1.3. При определении физических, прочностных и деформационных свойств горных пород, отборе проб следует руководствоваться действующими на момент выполнения лабораторных или натурных испытаний нормативными документами Российской Федерации, при их отсутствии – международными стандартами.

4.1.4. При применении геомеханических моделей и уточнении особенностей поведения горных пород для конкретных условий допустимо проводить нестандартные испытания в соответствии с разработанной программой работ и быть принятыми в качестве исходных данных для расчетов.

4.1.5. В породах, имеющих микрослоистость, при проведении испытаний рекомендуется измерять угол слоистости к оси образца.

4.1.6. Для дисперсных пород с показателем текучести $I_L < 0,5$ вне зависимости от их водонасыщения выполняются испытания на консолидированно-дренированный (медленный) срез; для водонасыщенных глинистых и органо-минеральных пород, а также и просадочных пород, приведенных в водонасыщенное состояние замачиванием без приложения нагрузки с показателем текучести $I_L > 0,5$ выполняются испытания как на консолидированно-дренированный (медленный) срез, так и на неконсолидированный (быстрый) срез.

4.1.7. Перечень физико-механических свойств горных пород, необходимый для проведения оценки устойчивости бортов карьеров и уступов на различных этапах проектирования, приведен в таблице ниже (Таблица 4-1).

Таблица 4-1. Перечень физико-механических свойств горных пород, необходимый для проведения оценки устойчивости бортов карьеров и уступов на различных этапах проектирования

Свойства	Тип пород	Этап проектирования и отработки карьера, разреза		
		ТЭО		Проектирование и техническое перевооружение
		Временных кондиций	Постоянных кондиций	
Естественная влажность	Все разновидности	●	●	●
Влажность на границе текучести	Дисперсные породы	○	●	●
Число пластичности	Дисперсные породы	○	●	●
Показатель текучести	Дисперсные породы	○	●	●
Плотность	Все разновидности	●	●	●
Плотность скелета	Дисперсные породы	○	●	●
Плотность частиц грунта	Дисперсные породы	○	●	●
Коэффициент пористости	Дисперсные породы	○	●	●
Коэффициент водонасыщения	Дисперсные породы	○	●	●
Полная влагоемкость	Дисперсные породы	○	●	●
Относительное содержание органического вещества	Дисперсные породы	○	●	●
Гранулометрический состав	Дисперсные породы	○	●	●
Коэффициент размягчаемости	Для скальных и полускальных пород	○	●	○
Одноосное сжатие	Все породы за исключением дисперсных пород	●	●	●
Одноосное растяжение	Все породы за исключением дисперсных пород	●	●	●
Одноплоскостной срез	Дисперсные породы	○	●	●
Срез со сжатием	Скальные и полускальные породы	○	●	●
Трехосные испытания	Все разновидности	○	○	○
Сдвиг по естественной трещине	Скальные и полускальные породы	○	○	◆
Сдвиг по распилу	Скальные и полускальные породы	○	○	○
Модуль деформации	Все разновидности	○	○	◆
Модуль упругости	Все породы за исключением несвязных дисперсных пород	○	○	◆
Коэффициент поперечной деформации	Все разновидности	○	○	◆
Коэффициент Пуассона	Все породы за исключением несвязных дисперсных пород	○	○	◆

«●» – для всех объектов ведения горных работ; «◆» – для объектов ведения горных работ II класса опасности; «○» – дополнительный (по решению специализированной организации)

4.2. Полевые методы испытаний

4.2.1. Полевые методы определения физико-механических свойств горных пород при изучении естественных обнажений, откосов уступов, керна скважин, подземных горных выработок позволяют исследовать породы в условиях естественного залегания или максимально к ним приближенных.

4.2.2. Полевые методы позволяют определять физико-механические свойства, как образцов, так и массива горных пород.

4.2.3. Методы изучения прочностных и деформационных свойства массива горных пород, в особенности для скальных и полускальных пород, являются дополнительными, и их необходимость определяется программой изучения инженерно-геологических условий месторождения.

4.2.4. Определение прочностных свойств массива горных пород осуществляется при помощи натуральных испытаний. Испытания проводят путем оконтуривание призмы и оставляют связь с массивом лишь по тому направлению, где необходимо определить прочность на срез. Плоскость среза может располагаться как по поверхности сплошных трещин, контактов слоев, так и под углом к трещинам. Общая схема испытаний подобна схеме лабораторных испытаний на срез со сжатием – нормальные и касательные напряжения создаются одновременно одной нагрузкой, направленной под углом к плоскости среза. Возможные схемы натуральных испытаний приведены на рисунке 4.1.

Испытания также могут выполняться при одновременном независимом нагружении призмы, создавая нормальные и касательные напряжения (наподобие метода одноплоскостного среза). В этом случае имеется возможность построить паспорт прочности, по которому одновременно определяются сцепление и угол внутреннего трения.

4.2.5. Полевые методы (экспресс-методы) исследований образцов горных пород, имеют ряд преимуществ и позволяют:

–быстро производить приближенную оценку свойств пород, пользуясь несложным оборудованием, как правило, без предварительной механической обработки пород;

–осуществлять массовые определения показателей свойств пород по всему их разрезу, а затем, опираясь на полученные результаты, целенаправленно отбирать пробы для лабораторных исследований;

–выявлять особенности пространственного размещения пород, обладающих различной прочностью, с целью последующего специального инженерно-геологического районирования.

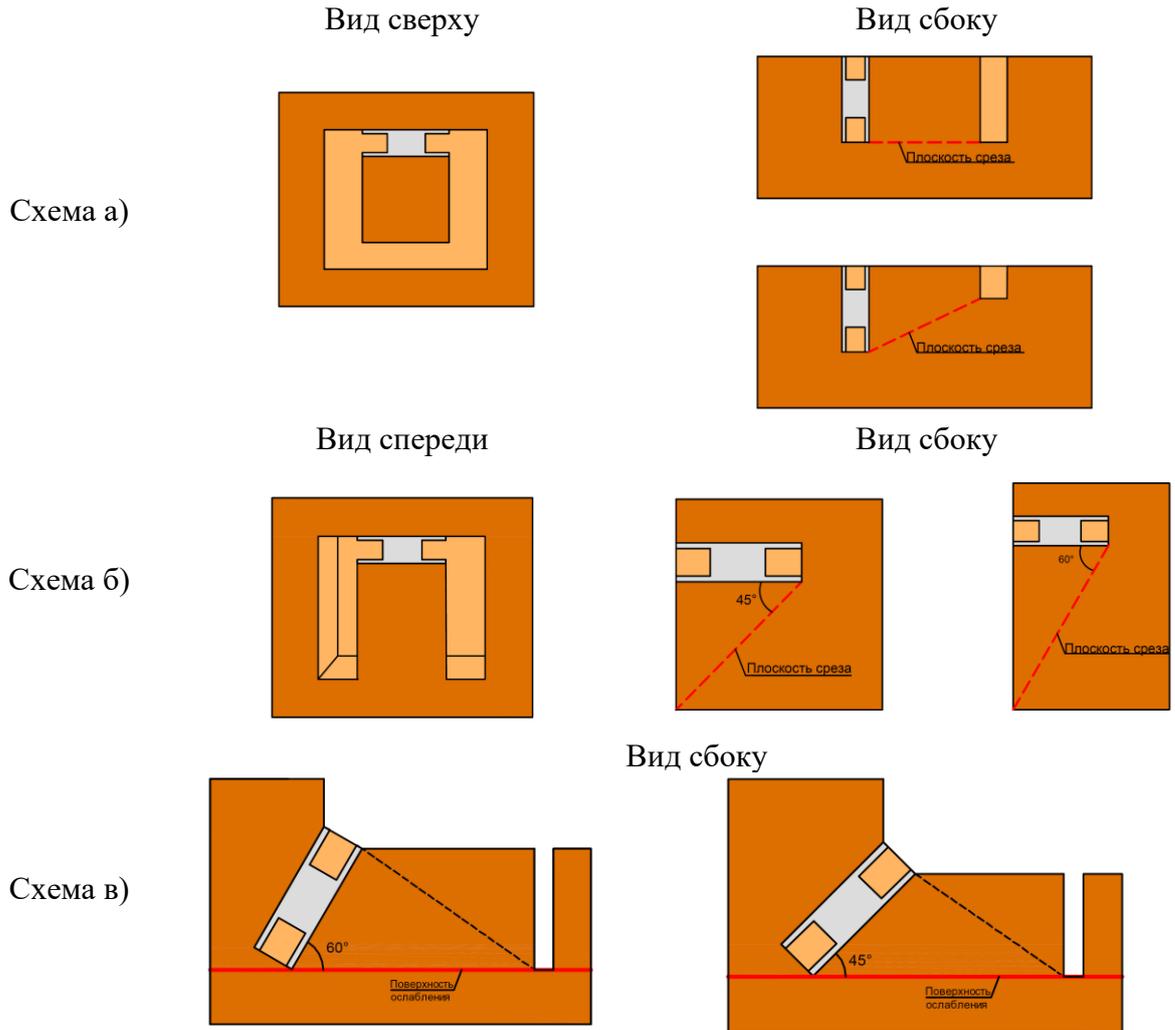


Рисунок 4.1 – Схема натуральных испытаний

4.2.6. Наиболее распространенными являются следующие экспресс-методы (Таблица 4-2):

Таблица 4-2. Полевые методы определения прочностных и деформационных свойств горных пород

Определяемый показатель	Горные породы	Описание	Область применения
Прочность на одноосное сжатие, сцепление.	Преимущественно скальные породы	Прочность определяется расчетным путем на основании измерения динамической твердости горной породы. Динамическая твердость оценивается по величине отношения диаметра отпечатка шарика или глубине вдавливания бойка, к диаметру отпечатка, получаемого одновременно на эталонном стержне.	Опробование образцов пород в кернах, в естественных обнажениях, в стенках уступов и подземных горных выработок.
		Применение склерометров или склероскопов. Определение твердости горных пород по отскоку шарика. Относительно распространенным является молоток Шмидта	
Динамический модуль упругости, динамический коэффициент Пуассона, сжатие, сцепление	Преимущественно Скальные породы	Применяются импульсные ультразвуковые переносные с осциллографической индикацией установки. Испытания регламентируются соответствующими методическими и нормативными документами. При определении в лабораторных условиях прочностных свойств тех же проб (или с одного интервала) устанавливаются корреляционные зависимости между продольными скоростями и прочностными характеристиками	Опробование образцов правильной формы
Прочность пород на растяжение, модуль остаточной деформации, модуля упругости, построение паспорта прочности, прочность на сжатие, сцепление, угол внутреннего трения	Все виды горных пород в зависимости от назначения установки	Испытание образцов на растяжение, редко на сжатие, одноплоскостной срез. Испытания регламентируются соответствующими методическими и нормативными документами	Опробование образцов любой формы
Модуль деформации	Дисперсные породы	Испытания штампом или горячим штампом. Характеристики определяют по результатам нагружения грунта вертикальной нагрузкой в забое горной выработки. Для испытаний по методу горячего штампа испытания могут также проводиться непосредственно на поверхности грунта с помощью штампа с внутренним обогревом).	Испытания проводят в шурфах и в скважинах.
		Радиальный прессиометр. Характеристики определяют по результатам нагружения горных пород горизонтальной нагрузкой в стенках скважины	Испытания проводят в скважинах.
		Лопастной прессиометр. Характеристики определяют по результатам нагружения штамповлопастей горизонтальной нагрузкой в скважине или массиве горных пород посредством специального нагрузочного устройства, расположенного на поверхности.	Испытания проводят в скважинах или с поверхности массива

Определяемый показатель	Горные породы	Описание	Область применения
		<p>Плоский дилатометр. Характеристики определяют по результатам нагружения горных пород горизонтальной нагрузкой в скважине с помощью плоского дилатометра.</p>	<p>Испытания проводят в скважинах или с поверхности массива</p>
		<p>Прессиометр с секторным приложением нагрузки. Характеристики определяют по результатам нагружения горных пород горизонтальной нагрузкой, передаваемой на грунт двумя стальными пуансонами-штампами, располагаемыми на диаметрально противоположных сторонах скважины.</p>	<p>Испытания проводят в скважинах.</p>
<p>Сопротивление горных пород срезу</p>	<p>Дисперсные породы</p>	<p>Вращательный срез. Характеристики определяют путем приложения горизонтальной касательной нагрузки и смещения горных пород по цилиндрической поверхности, образуемой вращением крыльчатки в условиях практического отсутствия дренирования</p>	<p>В скважинах или на поверхности массива</p>
<p>Угол внутреннего трения, сцепление</p>	<p>Все разновидности горных пород и техногенных пород</p>	<p>Срез целиков горных пород. Характеристики определяют по результатам среза целика по фиксированной плоскости касательной нагрузкой при одновременном нагружении целика нагрузкой, нормальной к плоскости среза.</p>	<p>Формирование целика в выработке (расчистке, котловане, шурфе, штреке и т.п.)</p>

5. Изучение гидрогеологических условий

5.1. Типизация гидрогеологических условий отработки месторождения открытым способом

5.1.1. Сложность гидрогеологических условий месторождения определяется следующими природными и техногенными условиями:

- характером залегания и строения водоносных горизонтов, а также слабопроницаемых и водоупорных отложений;
- наличием тектонических нарушений и их гидродинамической ролью;
- степенью изменчивости фильтрационных свойств водовмещающих пород;
- сложностью гидрохимических условий;
- наличием поверхностных водных объектов, характером их связи с подземными водами;
- наличием многолетнемерзлых пород;
- системой отбора подземных вод при разработке твердого полезного ископаемого.

5.1.2. С учетом указанных факторов месторождения можно условно объединить в следующие группы в соответствии с таблицей ниже (Таблица 5-1).

Таблица 5-1. Таблица гидрогеологических условий

Критерий/Группа	Простые	Сложные	Весьма сложные
Глубина, м	< 200	200-600	>600
Наличие разрывных нарушений	нет	да	да
Годовая сумма осадков, мм	< 200	200-600	> 600
Наличие крупных водотоков и водоемов.	нет	да	да
Геоморфология	водораздел	долина	Долина
Количество водоносных горизонтов	1	2-5	>5
Распространение многолетнемерзлых пород (ММП)	Отработка происходит в пределах ММП. ММП отсутствует	Отработка вскрывает ММП	Отработка вскрывает ММП, наличие таликов, межмерзлотных или подмерзлотных напорных горизонтов

Месторождения с простыми гидрогеологическими и горнотехническими условиями, для которых возможно выполнить достаточно надежное определение основных источников формирования эксплуатационных запасов дренажных вод. Группа характеризуется следующими гидрогеологическими условиями:

- спокойным залеганием выдержанных по мощности и строению водоносных горизонтов, слабопроницаемых и водоупорных отложений;
- отсутствием тектонических нарушений;
- однородными по фильтрационным свойствам водовмещающими отложениями, представленными пористыми или равномерно трещиноватыми породами;

- простыми гидрохимическими условиями – отсутствием источников возможных изменений качества дренажных вод или, при их наличии, возможностью проведения достоверных прогнозов изменения содержания нормируемых компонентов;
- отбором подземных вод при разработке полезного ископаемого, осуществляемым главным образом внешней системой водопонижающих скважин или открытым карьерным водоотливом.

Месторождения со сложными гидрогеологическими и горнотехническими условиями, для которых часть источников формирования эксплуатационных запасов дренажных вод может быть изучена надежно, а часть приближенно. Группа характеризуется следующими гидрогеологическими условиями:

- сложным строением и невыдержанностью мощностей водоносных горизонтов, слабопроницаемых и водоупорных отложений;
- неоднородными по фильтрационным свойствам водовмещающими отложениями, представленными неравномерно трещиноватыми и закарстованными породами, а в отдельных случаях гравийно-галечниковыми отложениями с неоднородным заполнителем;
- сложными гидрохимическими условиями (при наличии источника возможного изменения качества, может быть выполнен приближенный прогноз изменения содержания нормируемых компонентов расчетным путем);
- отбором подземных вод при разработке полезного ископаемого, осуществляемым как внешней системой водопонижающих скважин, так и внутренними дренажными и водоприемными сооружениями.

Месторождения с весьма сложными гидрогеологическими и горнотехническими условиями, для которых источники формирования запасов дренажных вод могут быть оценены приближенно. Группа характеризуется следующими гидрогеологическими условиями:

- высокой изменчивостью строения водоносных, слабопроницаемых и водоупорных пород, имеющими локальное распространение и (или) осложненными тектоническими нарушениями;
- весьма неоднородными по фильтрационным свойствам водовмещающими породами, содержащими трещинно-карстовые или трещинно-жильные воды;
- очень сложными гидрохимическими условиями, позволяющими дать только ориентировочный прогноз возможных изменений качества воды;
- отбором подземных вод при разработке полезного ископаемого, осуществляемым внутренней дренажной и водоприемной системой.

5.1.3. При определении группы сложности для отнесения месторождения к группе более высокой сложности достаточно, чтобы один из признаков соответствовал этой группе. При наличии на месторождении нескольких участков в различных гидрогеологических условиях их сложность может соответствовать различным группам и квалифицироваться дифференцированно.

5.1.4. По характеру гидрогеологической структуры, учитывающей как величину прогнозных водопритоков в горные выработки, так и силовое воздействие подземных вод на напряженное состояние горных пород, месторождения рекомендуется подразделять на два крупных класса (Таблица 5-2):

класс I - месторождения, которые характеризуются наличием водоносных структур (горизонтов, комплексов), залегающих в висячем боку месторождения и вскрываемых карьером;

класс II - месторождения, характеризующиеся наличием в лежащем боку напорных водоносных горизонтов (комплексов), не вскрываемых карьером и влияющих на устойчивость его бортов.

Таблица 5-2. Систематизация прогнозных гидродинамических схем и требований к фильтрационным параметрам при изучении условий эксплуатации карьеров, разрезов

Группа прогнозных схем, выделяемая с учетом разгрузки наиболее водообильного пласта	Тип расчетной схемы, задачи прогноза с учётом сложности гидрогеологических условий эксплуатации карьера	Фильтрационные параметры расчётных схем, подлежащие определению
I. Водообильный пласт залегает в основании вскрышной толщи	IA. Прогноз напоров II и III дренируемых пластов и водопритоков в карьер, эксплуатируемый без применения средств глубинного дренажа в простых гидрогеологических условиях.	Проводимость II пласта. Проводимость III пласта. Ориентировочная фильтрационная характеристика водоупора над II пластом.
	IB1. Прогноз напоров II и III дренируемых пластов и водопритоков в карьер, эксплуатируемый в сложных гидрогеологических условиях с применением средств глубинного дренажа: оценка параметров системы дренажа вскрышной толщи.	Фильтрационные параметры II и III пластов. Фильтрационная характеристика относительного водоупора над II пластом (повышенные требования к их надежности).
	IB2. Прогноз напоров I дренируемого пласта, экранированного относительным водоупором от подошвы карьера и влияющего на общую устойчивость борта: оценка эффективности систем дренажа пород лежащего бока.	Фильтрационные параметры I пласта (повышенные требования к их надежности). Фильтрационная характеристика относительного водоупора над I пластом. Проводимость II водоносного пласта.
II. Водообильный пласт залегает в верхней части вскрышной толщи	IIA. Прогноз напоров II и III дренируемых пластов и водопритоков в карьер, эксплуатируемый без применения средств глубинного дренажа в простых гидрогеологических условиях.	Проводимость II и III пластов. Фильтрационная характеристика водоупора над II пластом.
	IIВ1. Прогноз напоров II и III дренируемых пластов и водопритоков в карьер, эксплуатируемый в сложных гидрогеологических условиях с применением средств глубинного дренажа: оценка параметров системы дренажа вскрышной толщи.	Фильтрационные параметры II и III пластов (повышенные требования к их надежности). Фильтрационная характеристика относительного водоупора над II пластом.
	IIВ2. Прогноз напоров I дренируемого пласта, экранированного относительным водоупором от подошвы карьера и влияющего на общую устойчивость борта: оценка эффективности систем дренажа пород лежащего бока.	Фильтрационные параметры I пласта (повышенные требования к их надежности). Фильтрационная характеристика относительного водоупора над I и II пластами. Проводимость II и III пластов.

5.1.5. При освоении месторождений класса I основной задачей дренажных мероприятий является сокращение водопритоков в карьер и лишь в особых случаях – снижение напоров в прибортовых массивах с целью обеспечения их устойчивости. На месторождениях класса II единственной задачей дренажных мероприятий является снижение напоров в отложениях лежащего бока для обеспечения устойчивости бортов карьера или устойчивости отвалов, размещаемых на подошве карьеров.

5.1.6. Внутри классов выделяются две группы, отличающиеся литологическим составом вскрышной толщи и соответствующей возможностью развития фильтрационных деформаций, вскрытых водонасыщенных пород. По этому признаку выделяются месторождения группы А, на которых подрабатываемая толща представлена песчано-глинистыми породами (рыхлыми песчаными и мягкими глинистыми). Месторождения группы Б сложены полускальными породами (песчаниками, алевролитами, аргиллитами), не склонными к набуханию, размоканию за счет подземных и атмосферных вод. Основной задачей дренажа месторождений группы А является предотвращение или ограничение фильтрационных деформаций, а в некоторых случаях – обеспечение устойчивости бортов карьера. Для месторождений группы Б основной задачей дренажных мероприятий является сокращение водопритоков в карьер.

5.1.7. При удельном водопритоке к откосам борта менее $1 \text{ м}^2/\text{сутки}$ (тип I-A-1) длина языков оплывания мелкозернистых песков ограничивается первыми метрами, необходимость сокращения таких водопритоков отпадает, поэтому условия дренирования прибортовых массивов можно считать простыми. В этих условиях можно ограничиться открытым водоотливом. При удельных притоках к откосам в пределах $1-5 \text{ м}^2/\text{сутки}$ (тип I-A-2) возможно развитие недопустимых фильтрационных деформаций песчаных отложений, поэтому необходимо применение глубинных средств дренажа для перехвата части потока к откосам борта. В этом варианте условия дренирования прибортового массива трактуются как сложные. Водопритоки более $5 \text{ м}^2/\text{сутки}$ (тип I-A-3) являются признаками весьма сложных условий.

5.2. Принципы схематизации условий фильтрации

5.2.1. Схематизация условий фильтрации выполняется по результатам разведки и режимных наблюдений. Схематизация предполагает представление реальных условий в виде определенной гидродинамической схемы и должна учитывать:

- структуру дренируемого комплекса;
- характер техногенных контуров дренажа (горных выработок, дренажных сооружений);
- условий питания водоносных вод, естественные запасы подземных вод;

- наличием многолетнемерзлых или сезонно мёрзлых пород;
- неоднородность дренируемых пластов в плане и в разрезе;
- структуру фильтрационного потока.

5.2.2. Расчётные гидродинамические схемы могут быть подразделены на типовые и сложные. Типовые схемы предполагают:

- простейшую геометрическую конфигурацию области фильтрации;
- простейшие условия на границах области фильтрации;
- однородность водоносной толщи;
- равномерность питания водоносных пластов по площади их развития;
- линейность процесса фильтрации.

Расчёты по типовым схемам могут быть проведены с использованием аналитических зависимостей. Сложные схемы требуют привлечения численного моделирования.

5.2.3. Схематизация предусматривает полную математическую формулировку гидродинамической схемы-модели, которая включает установление фильтрационных параметров последней, краевых условий, выбор способа реализации модели и оценку её качества.

5.2.4. Двумерные плановые потоки рекомендуется приводить к типовым схемам после деления области фильтрации на ряд фрагментов, каждый из которых затем рассматривается обособленно. Границами таких фрагментов являются линии тока, природные границы рассматриваемого потока, контуры горных выработок.

5.2.5. Схематизация условий на границах дренажа, в качестве которых выступают горные выработки, выполняется с учётом пространственной ориентации выработки и структуры дренируемого водоносного пласта.

5.2.6. Контуры карьеров, вскрывающие водоносные пласты на полную мощность трактуются как совершенные границы с условием первого рода (известный напор, отвечающей подошве пласта). При рассмотрении несовершенных границ в расчёте должно быть учтено соответствующее фильтрационное сопротивление.

5.2.7. На дренажных скважинах могут быть заданы либо условия второго рода (известный расход), либо первого рода (известный напор или понижение). Сквозные фильтры и самоизливающие скважины задаются с граничным условием первого рода.

5.2.8. Условия на границах питания дренируемых пластов предварительно устанавливаются на основе геологического анализа и гидрогеологической аналогии, затем уточняются по результатам режимных наблюдений.

5.2.9. Контуры водотоков, на стадии предварительной разведки могут рассматриваться как границы первого рода. В дальнейшем должно определяться дополнительное сопротивление подрусловых отложений и характер взаимосвязи поверхностных и подземных

вод. При напорах дренируемого пласта ниже отметок экранирующего слоя водоток должен рассматриваться как граница второго рода. При отметках подземных вод выше подошвы экранирующего слоя на границе задается условие третьего рода.

5.2.10. Схематизация плановой неоднородности в общем случае сводится к выбору эффективного (осредненного) значения фильтрационных параметров. Величина эффективных параметров зависит от структуры потока вследствие этого аналитические расчёты с учетом плановой неоднородности следует производить по лентам тока.

5.3. Изучение гидрогеологических условий

5.3.1. Гидрогеологические исследования в период разведки месторождения должны охарактеризовать степень его обводненности, оценить влияние подземных и поверхностных вод, дать анализ возможных методов осушения. Результаты гидрогеологических исследований должны быть достаточны для решения следующих задач:

- характеристика основных параметров водоносных подразделений;
- количество водоносных горизонтов (комплексов), их литологический состав, глубина залегания, мощность, выдержанность и распространение;
- гидростатические уровни каждого водоносного подразделения;
- фильтрационные свойства основных водоносных горизонтов;
- источники, условия и области питания водоносных горизонтов;
- степень взаимосвязи водоносных подразделений, ее активность и возможное значение при разработке месторождения;
- степень взаимосвязи поверхностных и подземных вод и ее значение для разработки месторождения;
- прогноз изменения режима основных водоносных горизонтов и поверхностных водных объектов при вскрытии и отработке месторождения;
- установлены связи основных источников и причин обводнения, а также характер водопритока в горные выработки с учетом сезонности осадков;
- выделены участки карьерного поля по степени их обводненности;
- спрогнозированы величины возможных водопритоков в период вскрытия и отработки участка для расчета производительности системы водоотлива;
- выяснены изменения водопритока для действующих шахт и карьеров по сезонам года и дан прогноз режима водопритоков по мере развития горных работ,
- дана оценка физико-механических свойств породного массива, слагающего борта карьера в отношении их устойчивости при эксплуатации с учетом динамики изменения гидрогеологических условий;

- определены целесообразность и характер мероприятий по защите горных выработок от подземных вод, а также мероприятий по борьбе с деформациями бортов карьеров;
- изучены химический состав и бактериологическое состояние вод, участвующих в обводнении месторождения, их агрессивность по отношению к бетону, металлам, полимерам, содержание в них полезных и вредных примесей;
- оценена возможность рационального использования дренажных вод, а также возможное влияние осушительных мероприятий на действующие в районе месторождения водозаборы подземных вод;
- оценены потенциальные источники хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, обеспечивающие потребности проектируемых предприятий;
- даны рекомендации по проведению, при необходимости, специальных изыскательских работ, оценить влияние водоотвода дренажных вод на окружающую среду.

5.3.2. При наличии в районе исследуемого месторождения действующих шахт или карьеров, расположенных в схожих гидрогеологических и инженерно-геологических условиях, необходимо учитывать опыт их эксплуатации, информацию о характере водопритокков на различных стадиях освоения месторождения и по сезонам года, эффективность дренажных мероприятий.

5.3.3. На стадии предварительной разведки кроме исследования общих геолого-гидрогеологических условий, необходимо выяснять особенности формирования эксплуатационных запасов дренажных подземных вод.

5.3.4. На стадии детальной разведки гидрогеологические исследования, проводятся с учетом проектных решений по способам отработки и осушения месторождения полезного ископаемого, а также вариантов использования дренажных вод. На данном этапе изучаются гидрогеологические особенности водоносных горизонтов на участках размещения основных дренажных систем (выработок, скважин).

5.3.5. На стадии эксплуатационной разведки месторождения гидрогеологические работы должны быть направлены на обеспечение деятельности предприятия и предусматривать получение данных для переоценки эксплуатационных запасов дренажных вод.

5.3.6. На месторождениях с простыми гидрогеологическими условиями изучение гидрогеологических условий может быть ограничено площадью выполнения разведочных работ на стадии детальной разведки. На месторождениях со сложными условиями исследования распространяются до границ области фильтрации, если их можно определить по данным предварительной разведки с необходимой достоверностью. В противном случае, а также при значительной удаленности границ области фильтрации изучение должно охва-

тывать область влияния горно-осушительных работ (водоотлива и систем осушения) и особенностей распространения основных водоносных горизонтов, формирующих водоприток в горные выработки.

5.3.7. Предварительную оценку фильтрационных свойств водоносных горизонтов на стадии предварительной разведки рекомендуется давать на основе пробных откачек из разведочных скважин.

5.3.8. На основе анализа результатов разведочного бурения, сопровождаемого гидрогеологическими наблюдениями, составляется общая схема гидрогеологического строения месторождения (число и мощность водоносных горизонтов, состав и свойства водоносных пород, условия их залегания в плане и разрезе, уровни выделенных водоносных горизонтов, данные по химическому составу, ориентировочные представления о степени взаимосвязи выделенных водоносных горизонтов, в также об условиях их питания, в частности их связи с поверхностными водами).

5.3.9. На стадии детальной разведки на основе схемы гидрогеологического строения месторождения составляется проект опытно-фильтрационных работ (кустовые и одиночные откачки). На данной стадии разведки должны быть определены фильтрационные параметры выделенных водоносных горизонтов (водопродимости, коэффициентов фильтрации пород, пьезопроводности, упруго или гравитационной водоотдачи), взаимосвязи между смежными водоносными горизонтами, охарактеризованы связи водоносных горизонтов с поверхностными водами.

5.3.10. Для выявления сезонных колебаний напоров и амплитуд изменения уровней подземных вод в водоносных горизонтах организуются режимные наблюдения.

5.3.11. Стадийность гидрогеологических исследований

Необходимость повышения изученности на каждой стадии отработки месторождения предполагает различные подходы к методам гидрогеологических исследований. Ключевыми стадиями проведения таких работ являются:

- предварительная разведка и рекомендации по организации сети режимных наблюдений;
- организация сети режимных наблюдений. Выявление основных гидрогеологических неопределенностей и подготовка программы доизучения для их устранения;
- гидрогеологическое доизучение и уточнение условий по результатам дополнительных работ, разработка рекомендаций по мониторингу и опытно-промышленной эксплуатации систем дренажа.
- оптимизация системы мониторинга и продолжение мониторинга. Внедрение и опытно-промышленная эксплуатация систем дренажа.

Основные полевые методы гидрогеологических исследований, рекомендуемые для изучения гидрогеологических условий описаны в следующем разделе.

5.4.Опытно-фильтрационные работы

5.4.1. Опытно-фильтрационные исследования (ОФИ) на карьерных полях можно разделить на две группы: опытно-фильтрационные опробования (ОФО) и опытно-фильтрационные наблюдения (ОФН), также объединяемые термином опытно-фильтрационные работы (ОФР). ОФО (откачки, нагнетания, наливов) проводятся преимущественно на этапе предварительной и детальной разведки и заключаются в наблюдении за реакцией пласта на специально созданное фильтрационное возмущение. ОФН приурочены к периоду эксплуатационной разведки и включают в себя наблюдения за условиями эксплуатации водозаборов, дренажей и т.д., не имеющих своей основной целью определение фильтрационных параметров.

5.4.2. Для повышения эффективности опытно-фильтрационных опробований целесообразно сочетать прямые методы определения фильтрационных параметров и косвенные геофизические методы, позволяющие оценить свойства массивов горных пород, которые корреляционно могут быть увязаны с проницаемостью. Наиболее эффективными являются гидрогеофизические методы: резистивиметрия, расходомерия, термометрия. Их применение должно обеспечивать, главным образом, уточнение и контроль расчетной гидродинамической схемы (выявление профильной и плановой неоднородности водоносного комплекса), а также оценку условий проведения опытно-фильтрационного опробования.

5.4.3. Опытные кустовые и одиночные откачки

Постановку опытов рекомендуется производить в рамках существующих типовых аналитических схем, для этого следует решить следующие задачи:

- выбор вида откачки (пробная, опытная, одиночная, кустовая, групповая или опытно-эксплуатационная);
- выбор местоположения и схемы опытного куста - количества наблюдательных скважин, системы их расположения, расстояний между ними;
- оборудование центральных и наблюдательных скважин;
- характер и степень возмущения (постоянство дебита или понижения уровня, величина дебита центральной скважины);
- продолжительность откачки, регламент замера понижений напора;
- характер расчетной гидродинамической схемы для планирования откачки и интерпретация её результатов.

На стадии детальной разведки основным видом ОФР являются опытные кустовые откачки, одиночные опробования при этом играют вспомогательную роль. Результаты последних привлекаются, в основном, для сравнительной оценки проницаемости отдельных гидрогеологических подразделений и для ориентировочной оценки проводимости пластов на основе выявления корреляционных связей с данными кустовых откачек.

5.4.4. Наливы и нагнетания

Наряду с опытными откачками в комплекс ОФО включаются нагнетания и наливы в скважины. Нагнетания воды в скважины выполняют для детализации представления о фильтрационных параметрах трещиноватых пород. Проведение поинтервальных нагнетаний с применением пакерных систем позволяет оценивать изменчивость проницаемости в разрезе. При этом, нагнетания имеют ряд недостатков, связанных с кольматацией трещин или их расширением при больших давлениях нагнетания, со сложностью изоляции опробуемого интервала от выше и ниже лежащих пород, возможным отсутствием водоснабжения. При проведении нагнетаний обязательным является: фиксация естественных уровней (напоров) подземных вод в данном интервале до начала опыта, контроль изолированности интервала нагнетания.

Опытные наливы воды в скважины позволяют охарактеризовать суммарную проницаемость опробуемой толщи, для расшифровки их результатов требуются наблюдения по пьезометрам. Наливам свойственны те же принципиальные недостатки, что и нагнетаниям. Нагнетания и наливы в одиночные скважины могут в определенных случаях заменить опытные одиночные откачки (при большой глубине залегания уровня подземных вод, при низкой проницаемости горных пород, при невозможности добиться заметного понижения при помощи имеющегося насосного оборудования). Нагнетания и наливы следует рассматривать как вспомогательные ОФО для ориентировочной оценки фильтрационных параметров, также для выявления зон повышенной или пониженной проницаемости. Эти опыты в большинстве случаев следует сочетать с гидрогеофизическими исследованиями: расходомерией, термометрией, резистивиметрией.

Информативность кустовых нагнетаний и наливов, при достаточной их продолжительности, близка по качеству к кустовым откачкам. Наблюдательные скважины должны быть мало инертны, что достигается уменьшением диаметра скважин либо использованием датчиков гидростатического давления, установленных в стволы скважин заполненные минеральным материалом. Расстояние от возмущающей скважины до наблюдательных в данном случае как правило не большое 5-7 м. Кустовой налив или нагнетание должны выполняться до стабилизации уровней во всех наблюдательных скважинах. Число наблюдательных скважин может быть от одной до нескольких в зависимости от задач опыта.

Подъем уровня при наливе должен быть как можно выше, от этого зависит достоверность оценки проницаемости. При нагнетаниях давление не должно превышать минимальное эффективное напряжение в испытываемом интервале горных пород.

5.4.5. Групповые откачки

Особое место при проведении ОФО водоносных пластов занимают групповые откачки и опытно-эксплуатационное водопонижение. Преимущество опытно-промышленного водопонижения перед другими видами ОФО состоит в том, что оно моделирует процесс осушения водоносных толщ под влиянием водоотлива или работы дренажных сооружений. Подобные крупномасштабные эксперименты целесообразно проводить на стадии эксплуатационной разведки месторождения. Однако при сложных гидрогеологических условиях они могут выполняться стадии детальной разведки.

При интерпретации результатов фильтрационных опробований водоносных горизонтов целесообразно использовать современное программное обеспечение, позволяющее наряду с традиционными аналитическими схемами учитывать сложный характер возмущения, фильтрационную неоднородность и др. Автоматизация процесса обработки фильтрационных опытов при должном внимании способствует повышению качества интерпретации. При невозможности постановки и интерпретации опытов в рамках типовой аналитической схемы, следует привлекать численное геофильтрационное моделирование для решения обратных фильтрационных задач.

5.5.Режимные наблюдения

5.5.1. Режимные гидрогеологические наблюдения при разведке месторождений, строительстве и эксплуатации горнодобывающих предприятий являются информативным видом гидрогеологических работ. По результатам наблюдений уточняются основные расчетные параметры и оценивается их изменчивость по отдельным участкам области фильтрации, определяются характеристики питания и разгрузки подземных вод, уточняются или определяются характеристики относительных водоупоров, в частности характеристики слабопроницаемых пород, слагающих ложе поверхностных водных объектов. Точность оценки фильтрационных параметров по результатам режимных наблюдений гораздо выше, чем по данным опытных опробований. Наблюдениями определяются размеры депрессии и оцениваются притоки в карьер и к дренажным сооружениям. Эти данные в сочетании со сведениями о расчётных параметрах гидрогеологических подразделений используются для прогнозов водоприток в горные выработки и уровней подземных вод.

5.5.2. Состав гидрогеологических наблюдений включает:

– гидрогеологическую съемку карьера и поверхности;

- наблюдения за режимом уровней (напоров) дренируемых водоносных горизонтов;
- наблюдения за водопритоками в карьер, контроль эффективности систем дренажа, водоснабжения;
- гидрогеологические наблюдения в процессе проходок скважин разведочного геологического бурения: фиксация интервалов водопоглощений и водопроявлений, замеры уровня подземных вод в процессе проходки скважины и по окончании бурения.

5.5.3. Гидрогеологическая съемка горных выработок должна быть направлена, прежде всего, на документацию гидрогеомеханических процессов.

На месторождениях группы, сложенных песчано-глинистыми отложениями, наблюдения за уровнем режимом подземных вод следует сочетать с фиксацией фильтрационных деформаций для установления корреляционных связей между расходами и уровнями подземного потока, длиной языков оплывания песков различного гранулометрического состава, углом наклона поверхности языков оплывания, величиной промежутка высачивания. Следует фиксировать деформации циклического оползания и выпора глинистых пород в связи с их литологическим составом, влажностью, пористостью. При развитии оползневых деформаций следует определять конфигурацию тела оползня, его размеры, скорости смещения, строение и литологический состав прибортового массива, напоры подземных вод в этом массиве.

Наряду с замерами дебитов источников подземных вод в карьере, целесообразно определять температуру воды и её химический состав, что в ряде случаев позволяет уточнить условия разгрузки подземных вод, определить их приуроченность к тем или иным водоносным пластам, сформировать представление о напряженном состоянии прибортового массива.

На месторождениях группы Б, сложенных метаморфизованными породами, наряду с наблюдениями за уровнем режимом подземных вод по сети пьезометров необходимо выполнение гидрогеологической съемки бортов карьера. Важнейшим элементом этой съёмки является фиксация отметок выхода подземных вод на откосах, поскольку высотное положение даже незначительного по дебиту высачивания позволяет судить о величине напоров в прибортовом массиве и о роли тектонических нарушений в разгрузке водоносных пластов непосредственно карьером. В зимний период целесообразно оценивать размеры наледей, образующихся за счет высачивания подземных вод на бортах и на подошве карьера. Рекомендуется проведение тепловизионной съемки, которая позволяет локализовать места разгрузки подземных вод, контрастных по температуре по сравнению с бортами карьеров и разрезов.

Съёмка поверхности полей карьеров должна быть направлена на документацию изменений рельефа, нарушений почвенного покрова, состояния водоемов и водотоков, изменения дебита родников, условий эксплуатации и состояния гидротехнических сооружений в пределах горного отвода и в зоне влияния дренажных работ. При необходимости следует выполнять гидрометрические работы на малых реках и ручьях, определяющих условия питания подземных вод.

5.5.4. Наблюдения за уровнями (напорами) подземных вод должны выполняться систематически, синхронно с замерами водопритоков в горные выработки, дебитов водозаборов, с замерами уровней поверхностных водоемов и водотоков.

Пьезометры наблюдательной сети можно условно разделить на две группы: контрольные и режимные. Контрольные пьезометры предназначены для контроля эффективности дренажных мероприятий и оценки условий разгрузки подземных вод открытыми горными выработками. Контрольные пьезометры следует располагать вблизи площади горных работ, в прибортовых массивах, вблизи дренажных контуров или отдельных дренажных узлов. Режимные пьезометры служат для оценки изменений техногенного режима подземных вод по площади поля карьера и за ее пределами – в зоне влияния открытых горных работ и дренажных мероприятий на изменения естественного режима дренируемых водоносных горизонтов. Основным принципом размещения пьезометров на карьерных полях является их расположение по створам, ориентированным вдоль потоков подземных вод от границ карьера или от дренажных контуров в направлении к внешним границам области нарушения естественного режима подземных вод. В каждом створе должно быть, как минимум по 3 пьезометра, оборудованных на один и тот же водоносный горизонт. Отдельные пьезометры целесообразно располагать вблизи водоемов или водотоков, на участках водозаборов, тектонических нарушений и других элементов, определяющих характер гидродинамического режима подземных вод. Специальные короткие створы (десятки и первые сотни метров) следует оборудовать перпендикулярно руслу рек для оценки параметров гидравлической связи поверхностных и подземных вод. Положение коротких створов следует увязывать с другими наблюдательными скважинами, выбранные створы могут содержать общие скважины. При наблюдениях за напорами многопластовых комплексов необходимо оборудовать пьезометры отдельно на каждый водоносный пласт и размещать эти пьезометры в виде кустов.

В качестве пьезометров можно использовать водопонижающие скважины, сквозные фильтры, взрывные скважины. В некоторых случаях возможен замер уровней в разведочных скважинах, однако следует с осторожностью использовать результаты этих замеров.

Количество пьезометров на карьерных полях зависит от гидрогеологической структуры месторождения и масштабов дренажных мероприятий.

На месторождениях класса I в период строительства карьеров, характеризующихся простыми условиями организации дренажных мероприятий (типа I-A-1 или I-B-1), можно ограничиться 3-4 пьезометрами, оборудованными на вскрываемый горными выработками водоносный горизонт, и 1-2 пьезометрами - на смежный водоносный пласт. С переходом к периоду эксплуатации карьера целесообразно оборудовать 1-2 створа пьезометров при общем их числе 10 - 15.

При сложных условиях организации дренажных мероприятий на карьерах (типа I-A-2 или I-B-2) на участке первоочередных горных и дренажных работ следует оборудовать порядка 10 контрольных пьезометров на дренируемые пласты и 3-5 пьезометров на смежные с дренируемым пласты. С переходом к эксплуатации карьера следует оборудовать створы из 2-5 пьезометров, часть которых являются контрольными и располагаются непосредственно на дренажных контурах. Наблюдения за напорами изолированных водоносных пластов следует проводить по створам, представленным 2-3 пьезометрами. Для оценки интенсивности инфильтрационного питания необходимо иметь в створе 3-4 пьезометра. При оценке параметров перетекания через относительные водоупоры необходимо иметь в створе 2-3 пары пьезометров, оборудованных на взаимосвязанные пласты. Расстояния между створами могут составлять 300-500 м.

Режимная сеть в пределах карьерного поля, где используются глубинные средства дренажа, может быть представлена 20-30 пьезометрами.

Количество пьезометров режимной сети на карьерных полях, характеризующихся особо сложными условиями организации дренажных мероприятий, не должно регламентироваться. Общее количество пьезометров и принцип их размещения в этом случае определяется при проектировании системы дренажа поля карьера. Проектом должна быть предусмотрена стадийность развития режимной сети в увязке с этапностью горных и дренажных работ.

5.5.5. Регламент наблюдений за уровнем режимом подземных вод на эксплуатируемых месторождениях, характеризующихся сложными условиями организации дренажа, должен предусматривать выполнение замеров уровней 2-3 раза в месяц. В паводковый период замеры могут производиться через 3-5 дней. В простых условиях частота замеров может быть сокращена до 4-6 в год. В период строительства карьеров частота замеров уровней подземных вод определяется интенсивностью их снижения на локальных участках (в частности - на участке проходки карьерной траншеи). В общем случае замеры уровней в этот период целесообразно выполнять 3-4 раза в месяц.

Наблюдения за техногенным режимом подземных вод выполняют на месторождениях II класса для обоснования дренажных мероприятий, направленных на обеспечение устойчивости бортов карьеров и внутренних отвалов. Натурные наблюдения, выполняемые для решения этой задачи, должны обеспечивать оценку напряженного состояния водоносных массивов, уточнение фильтрационных параметров и условий питания дренируемых горизонтов, оценку гидравлических характеристик дренажных устройств.

Глубина наблюдательных скважин определяется строением прибортового массива, проектной и достигнутой глубиной карьера. Скважины должны быть оборудованы отдельно на все водоносные пласты, залегающие в лежачем боку в пределах призмы возможного оползания прибортового массива. В процессе бурения наблюдательных скважин следует замерять уровни воды в них на разных глубинах через каждые 5-10 метров с остановкой бурения на 10-15 минут. Диаметры наблюдательных скважин обычно составляют около 100 мм, скважины оборудуются обсадными трубами и фильтрами. При самоизливе воды из скважин необходимо замерять давление на их устьях и дебит скважин. Такие скважины должны быть оборудованы оголовками специальной конструкции, позволяющей производить замеры давления манометром и при необходимости осуществлять выпуск воды. Затрубное пространство пьезометрической скважины должно быть надежно зацементировано для герметизации исследуемого напорного пласта или водоносного интервала. В период между замерами давления нельзя допускать излива воды из пьезометрических скважин.

Наблюдательные скважины могут быть использованы для проведения опытно-эксплуатационного водопонижения на изучаемом участке. Водопонижение осуществляется путем выпуска воды из одной скважины с замерами ее дебита и с прослеживанием изменений напоров во времени по другим пьезометрам.

Для контроля напряженного состояния и оценки условий дренирования прибортовых массивов сложной структуры целесообразно оборудовать специальные наблюдательные станции-скважины с размещенным в них на разных интервалах датчиками гидростатического давления. Гирлянды датчиков позволяют установить наличие вертикальных потоков в дренируемом прибортовом массиве, определить условия питания и взаимосвязи водоносных пластов, параметры относительных водоупоров. Система датчиков обеспечивает контроль напряженного состояния пород в различных частях прибортового массива.

Для оценки влияния метеорологических условий на режим подземных вод следует располагать информацией о количестве атмосферных осадков и их сезонном распределении, о режиме снеготаяния, испарения с земной и водной поверхности, об изменениях атмосферного давления и влажности воздуха. Обработка и интерпретация данных с ближайших метеостанций выполняется с самого начала отработки месторождения.

5.6.Интерпретация данных гидрогеологических исследований

5.6.1. Интерпретация результатов определения фильтрационных свойств и натуральных наблюдений за техногенным режимом подземных вод на карьерных полях, определение характеристик инфильтрационного питания и граничных условий должны быть направлена на:

- уточнение гидрогеологического строения месторождений;
- выявление плановой и профильной неоднородности дренируемых водоносных горизонтов и относительных водоупоров;
- выявление основных закономерностей геофильтрации.

5.6.2. Сложные и весьма сложные условия дренирования карьерных полей определяют необходимость интерпретации результатов полевых гидрогеологических исследований с использованием численных геофильтрационных моделей. Интерпретацию результатов наблюдений за гидродинамическим режимом подземных вод и анализ условий эксплуатации дренажных систем следует проводить также для оценки гидравлических характеристик, определяющих эффективность тех или иных технических средств дренажа.

6. Инженерно-геологическое изучение условий формирования отвалов

6.1. В результате инженерно-геологических и гидрогеологических исследований должны быть изучены: физические свойства складированных пород, прочность их в куске, сдвиговые характеристики отвальной массы, строение основания (наклон основания, наличие прослоев слабых пород и их мощность, наличие водоносных горизонтов, возможность образования техногенных водоносных горизонтов в нижней части отвала и в породах основания).

6.2. Изучение инженерно-геологических условий выполняется на стадии составления проекта отвала и уточняется в процессе его эксплуатации при изменении:

- параметров отвала: высоты и формы контура;
- технологии отвалообразования – схемы формирования, применяемого оборудования, интенсивности складирования;
- состава и состояния складированных пород.

6.3. Граница участка инженерно-геологических исследований основания под отвал рекомендуется устанавливать исходя из возможной схемы деформирования, а также линейных размеров отвала по нижней бровке, увеличенных на $\frac{1}{2}$ высоты проектируемого отвала в каждую сторону.

6.4. Состав, объем и методика инженерно-геологических исследований зависят от степени сложности участка отвалообразования. Степень сложности определяют по наиболее неблагоприятному фактору (Таблица 6-1).

Таблица 6-1. Категории сложности условий отвалообразования

Фактор	Категория сложности		
	1 - простые	2 - сложные	3 – особо сложные
Основание	Прочное (скальное) или многолетнемерзлое (при сохранении теплового режима)	Дисперсные несвязные породы	Дисперсные связные породы
Угол наклона основания, град.	менее 5	5 - 10	более 10
Гидрогеологические условия	Отсутствие подземных вод или наличие одного выдержанного в плане безнапорного водоносного горизонта в основании отвала	Наличие напорного водоносного горизонта в отвале или в его основании	Наличие в отвале или в его основании нескольких напорных водоносных горизонтов
Состав отвальных пород	1. Обломки скальных и полускальных пород с примесью суглинистых или моренных пород не более 20% 2. Вечномерзлые дисперсные породы 3. Дресвяно-щебенистые, породы вне зависимости от соотношения фракций	Песчано-глинистые, песчано-супесчаные и/или моренные отложения	Суглинистые
Строение основания	Однородное*	Неоднородное	Неоднородное

*Однородное основание представлено одним инженерно-геологическим элементом

При этом рекомендуется выполнять районирование территории проектного размещения отвала по сложности условий отвалообразования. В случае если основание отвала сложено прочными скальными или многолетнемерзлыми породами инженерно-геологические условия территории следует считать простыми вне зависимости от типа и состава складированных пород. В случае если основание представлено дисперсными породами сложность условий определяется наклоном основания и гидрогеологическими условиями. На основании данных особенностей определяется методика, состав и объемы инженерно-геологических исследований отдельно для выделенного участка.

6.5. Инженерно-геологические исследования проводятся постадийно.

На первой стадии исследования ведутся по двум профильным линиям с расстояниями между скважинами не более 200 м, но не менее 3 скважин на профиле. Скважины проектируются глубиной не менее 25% от предполагаемой высоты отвала. Бурение скважины прекращается после заглубления в скальные породы не менее, чем на 2 метра. Положение профильных линий определяется организацией, ведущей исследования, на основе анализа рельефа местности и предполагаемого направления отвалообразования.

По результатам исследований первой стадии оценивается категория сложности условий отвалообразования и проводятся исследования второй стадии по наиболее опасным направлениям (профильным линиям). Если по результатам первой стадии исследований установлены условия, схожие с отвалом-аналогом, то дальнейшие исследования второй стадии не требуются.

Количество профильных линий и глубина скважин на второй стадии определяется организацией, ведущей исследования и/или расчеты устойчивости откосов отвалов. Для 1-й категории сложности условий отвалообразования вторая стадия исследований не проводится. В приоткосной части отвала расстояние между скважинами на профильных линиях составляет для 2-й и 3-й категорий сложности условий основания не более 100 и 50 м, соответственно.

6.6. Вторая стадия инженерно-геологических исследований 3-й категории сложности условий отвалообразования должна содержать работы с применением методов статического зондирования. Данные виды исследований производятся по сетке с расстоянием между точками опробования не более 200 м. Замер порового давления по глубине выполняется для каждого выделенного при статическом зондировании однородного слоя или через 5 м (при отсутствии ярко выраженной слоистости).

6.7. Частота отбора проб из скважин для лабораторных исследований определяется необходимостью получения показателей физико-механических свойств. Образцы отбираются из каждого визуально выделенного однородного слоя, при мощности его более 5 м из

каждого двухметрового интервала. В зоне тонкой слоистости (менее 1 м) частота отбора должна составлять 20-25 см на 1 погонный метр скважины.

6.8. При выполнении инженерно-геологических исследований допускается использовать геофизические методы, при этом расстояние между скважинами на профильных линиях может быть увеличено не более, чем в 2 раза.

6.9. При изучении гидрогеологических условий основания отвала устанавливаются: наличие и характер водоносных горизонтов; фильтрационные и компрессионные свойства водоносных и водоупорных пород; граничные условия водоносных пластов; условия их питания и разгрузки; гидравлическая связь между пластами; влияние техногенных факторов на изменение режима водоносных пластов. Состав и объем гидрогеологических изысканий зависят от категории сложности условий отвалообразования и определяются организацией, ведущей исследования.

6.10. Определение физико-механических свойств отвальной массы выполняется по результатам лабораторных или полевых испытаний, либо с использованием справочного материала с учетом гранулометрического и петрографического состава складированных пород.

6.11. При залегании в основании отвалов песчано-глинистых пород в ходе инженерно-геологических исследований дополнительно изучаются изменения физико-механических свойств пород во времени, обусловленные возрастанием внешней нагрузки и развитием порового давления.

7. Геомеханическая модель и районирование месторождения по инженерно-геологическим условиям

7.1. Геомеханическая модель представляет собой двух или трехмерную, бумажную или цифровую модель пространственно-атрибутивных данных, которые в комплексе характеризуют особенности геологического и структурно-тектонического строения месторождения, в том числе вмещающих пород, гидрогеологические условия и физико-механические свойства массива горных пород. Состав и наполнение геомеханической модели определяется специализированной организацией в зависимости от решаемых задач.

7.2. Геомеханическая модель обобщает:

- геологическую модель – включает петрографический состав, изменения, зоны минерализации;
- структурную модель – основные структуры (плоскости напластования, складчатость, разломы), второстепенные структуры (второстепенные разломы, системы трещин);
- модель массива горных пород – прочность ненарушенных пород, прочность структур, классификация и прочность массива горных пород. Допускается использование геомеханической блочной модели;
- гидрогеологическую модель – гидрогеологические элементы, гидравлическая проводимость, режимы перетоков, уровни грунтовых вод, распределение порового давления.

Одиночные (усредненные) значения параметров должны быть получены для детерминированного анализа, а дискретные и/или непрерывные распределения необходимы для вероятностного анализа.

На рисунке ниже (рис. 7.1) показана принципиальная структура геомеханической модели в общей схеме геомеханического сопровождения отработки месторождения.

7.3. Создание геомеханической модели заключается в последовательном выполнении нескольких основных этапов:

- проведение исследований для получения данных о свойствах и состоянии массива горных пород;
- выделение геомеханических доменов на основе одной или нескольких петрографических разностей, объединенных по схожим физико-механическим свойствам с обобщением значений данных свойств;
- создание геологической модели на основе выделенных доменов;
- создание структурной модели месторождения, в которой графически отображаются основные структуры и приводятся обобщенные характеристики второстепенных структур в каждом структурном домене;

- геолого-структурная модель пополняется путем переноса на план (или в 3-х мерную модель) параметров, характеризующих геологическое и структурное строение месторождения;
- создание гидрогеологической модели, отображающей гидрогеологические свойства массива на планах, разрезах (или в 3-х мерной модели).

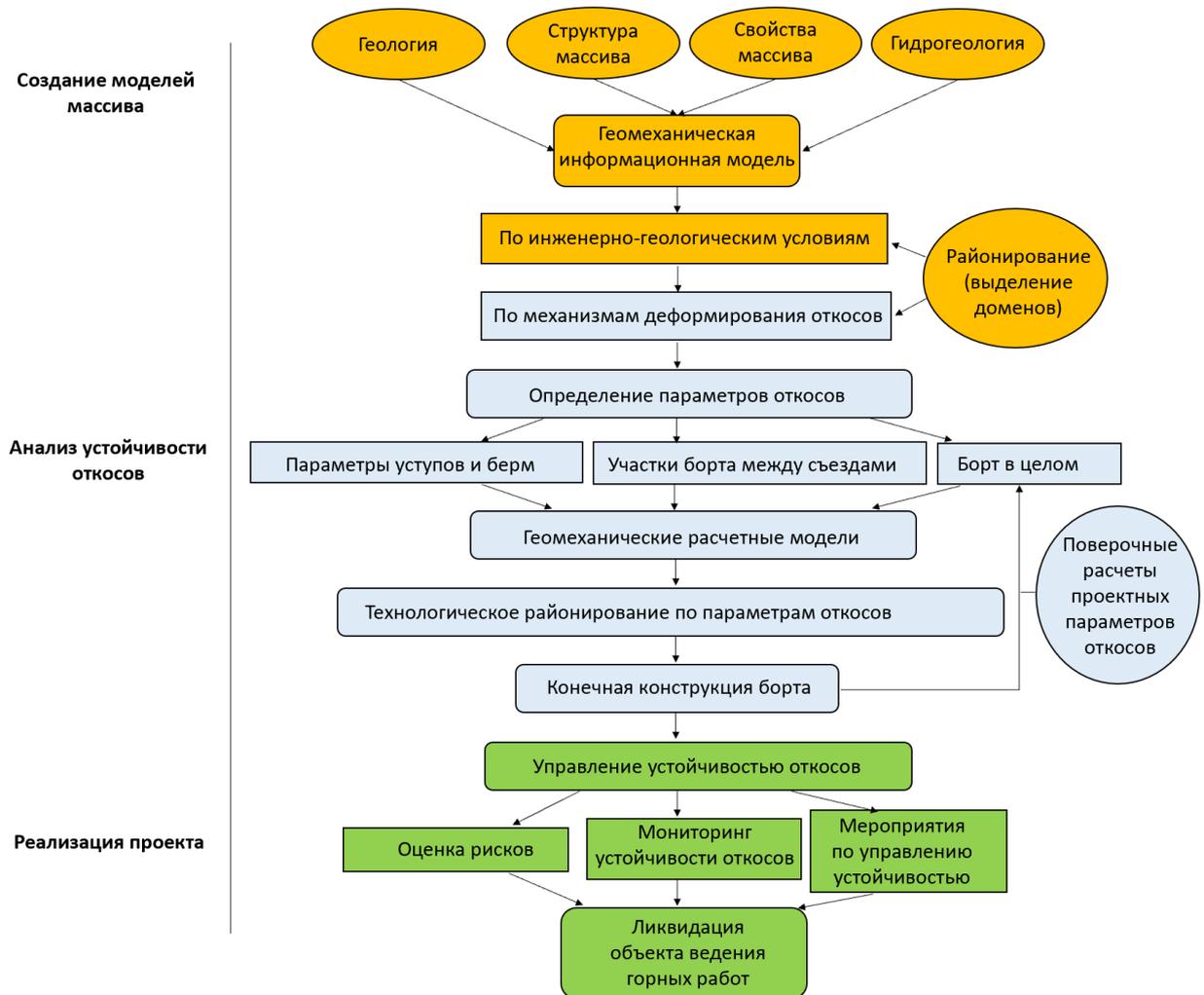


Рисунок 7.1 – Структура геомеханического обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов

7.4. Свойства породного массива, для удобства визуализации и обработки рекомендуется представлять как данные в виде ячеек блочной модели, построенной с применением специальных компьютерных программ. При этом заполнение ячеек блочной модели тем или иным значением геомеханических параметров (например, прочность при одноосном сжатии, рейтинг породного массива или показатель нарушенности RQD) необходимо выполнять в пределах выделенных геомеханических участков (доменов).

При создании блочных моделей особые требования предъявляются к интерполяции показателей. Поскольку значения геомеханических параметров получены, как правило, по нерегулярной сети и характеризуются большим разбросом, то при усреднении или сглаживании результатов в исследуемой области могут быть получены данные, не отражающие реальное состояние массива. Поэтому, сглаживание параметров проводится только в пределах каждого выделенного геологического домена.

7.5. Для создания геомеханической модели выполняется инженерно-геологическое районирование, результатом которого является оценка инженерно-геологических условий в виде графических, табличных и текстовых материалов, отражающих изменение инженерно-геологических характеристик массива горных пород как по простиранию, так и по глубине.

7.6. Цель инженерно-геологического районирования заключается в оконтуривании (геометризации) участков (доменов) с одинаковыми выбранными инженерно-геологическими показателями и составлении прогнозной горно-графической документации.

7.7. Районирование месторождения может быть выполнено (по одному или нескольким параметрам):

- по трещиноватости горных пород (структурное районирование);
- по инженерно-геологическим особенностям (петрографическим разностям, прочностным и деформационным свойствам массива горных пород, интенсивности трещиноватости, рейтинговым показателям);
- по другим выбранным параметрам (например, поровое давление, мощность четвертичных отложений, распространение многолетнемерзлых пород и прочие).

В процессе структурного районирования выделяются области с однородными качественными и количественными показателями систем трещин (элементы залегания) – структурные участки (домены) (Рисунок 7.2).

Выделение (геометризацию) участков (доменов) выполняют на основе геолого-структурной модели месторождения, которая представляет собой совмещенные геологическую и структурные модели. Геометризация может выполняться на планах и/или в трехмерном пространстве с применением программного обеспечения.

Границами выделенных участков (доменами) могут быть как тектонические разломы, оси складок, контакты петрографических разностей, так их совокупности, что определяется особенностями строения месторождения.

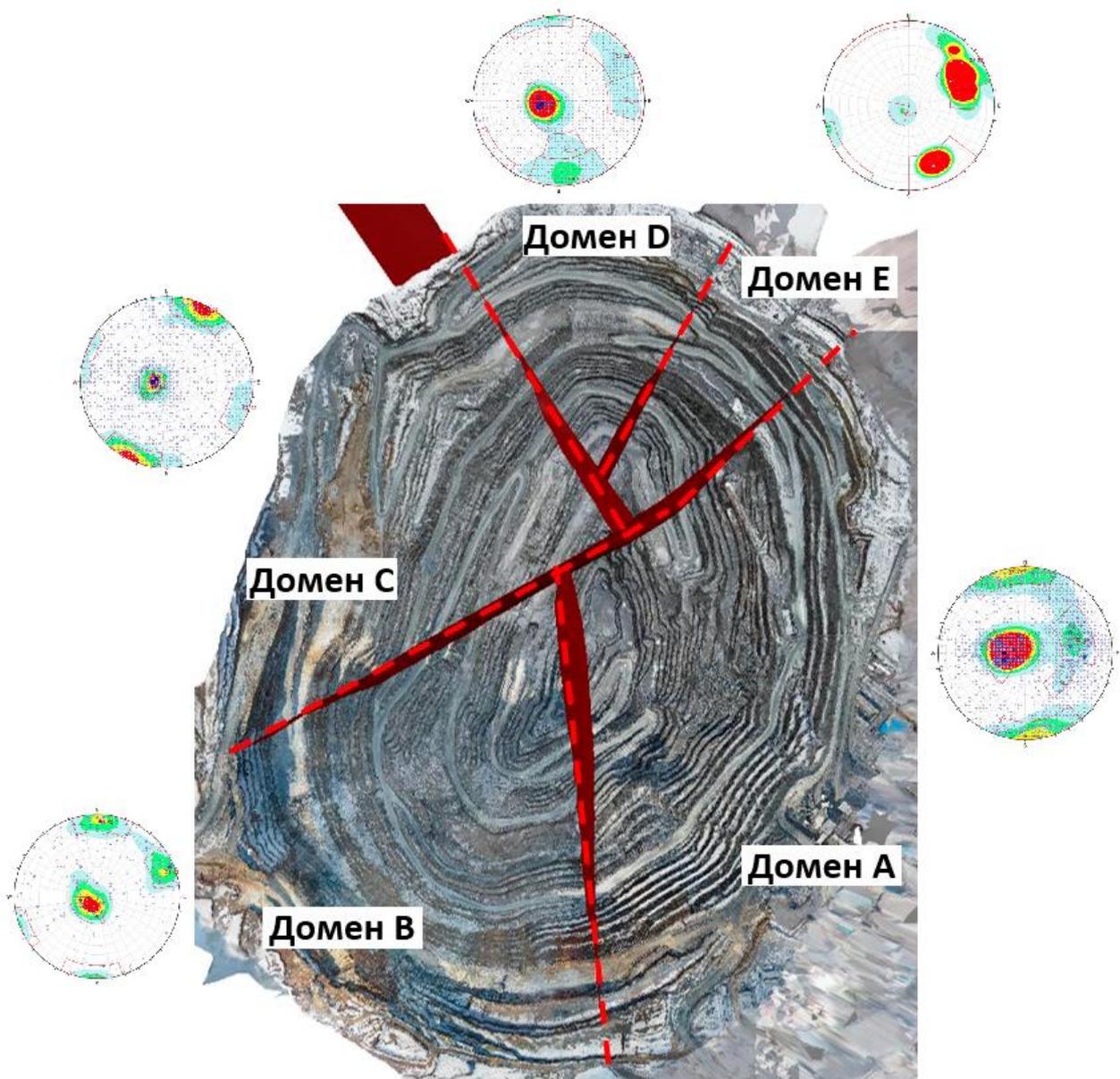


Рисунок 7.2 – Пример выделения структурных доменов

Каждый структурный участок (домен) содержит параметры основных систем трещин:

- количество систем трещин;
- элементы залегания каждой из систем трещин;
- расстояние между трещинами в каждой из систем трещин;
- длины трещин в каждой из систем трещин.

В процессе районирования по инженерно-геологическим особенностям (Рисунок 7.4), границами выделенных участков (доменов), помимо контактов петрографических разностей, дополнительно могут являться границы различных рейтинговых категорий, определяемые в том числе на основе блочной модели (Рисунок 7.4).

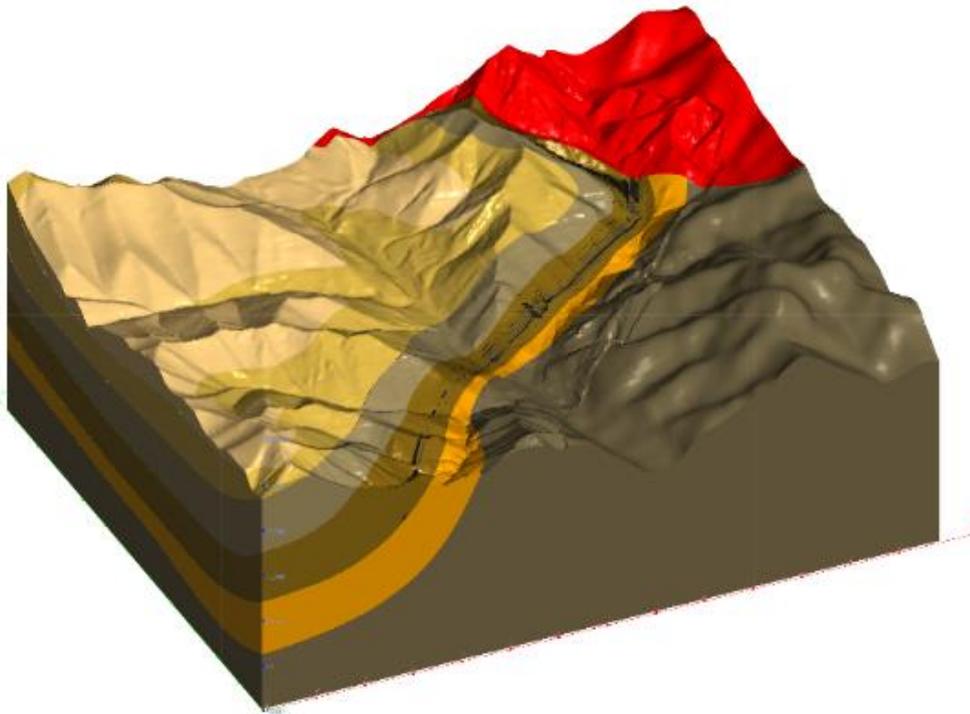


Рисунок 7.3 – Пример выделения инженерно-геологических доменов

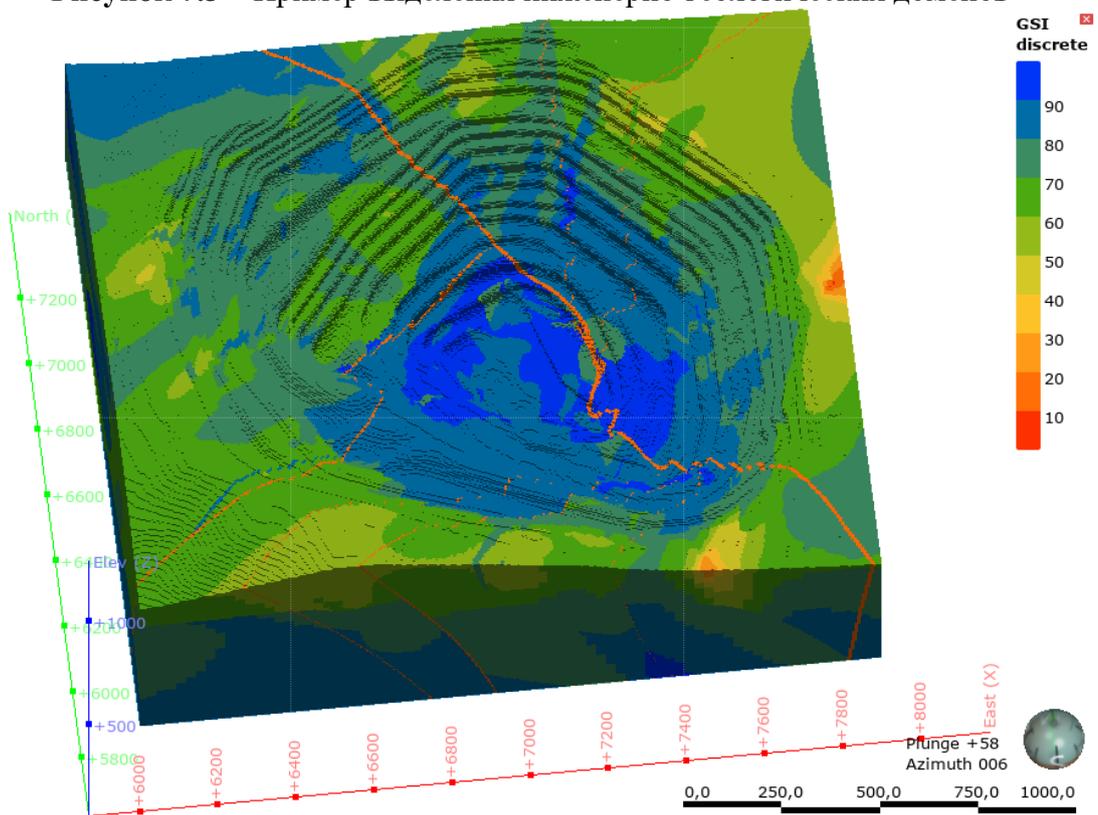


Рисунок 7.4 – Пример выделения инженерно-геологических доменов

8. Содержание отчета

8.1. Результаты работ по инженерно-геологическому изучению месторождения для обоснования устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов приводятся в виде отдельного технического отчета, в состав которого включается следующая информация:

- методика, виды и объемы инженерно-геологических исследований;
- бурение инженерно-геологических скважин – конструкция скважин, принцип расположения скважин, обоснование глубин бурения, его метраж, применение промывочной жидкости и пр.;
- методика отбора проб пород из скважин и горных выработок;
- результаты геофизических исследований, в случае если они проводились;
- результаты лабораторных и полевых исследований пород – ведомости результатов испытаний (база данных частных значений определяемых показателей), систематизация результатов лабораторных испытаний, графики деформирования горных пород, методика испытаний, оценка физико-механических свойств каждого из выделенных инженерно-геологических элементов;
- результаты гидрогеологических работ, если они были предусмотрены программой исследований;
- характеристика рельефа местности, наклона основания на территории отвалообразования;
- колонки скважин, инженерно-геологические разрезы (в электронном виде с равным соотношением вертикального и горизонтального масштабов), карты;
- иные характеристики, отражающие основные инженерно-геологические особенности изучаемого участка.

8.2. Дополнительно рекомендуется прикладывать следующие материалы:

- карты изолинии подошвы дисперсных или слабых пород;
- различные графики (физико-механических свойств пород, паспортов прочности пород, трещиноватости и закарстованности пород, геотермических наблюдений, геофизических работ и пр.);
- карты инженерно-геологического районирования месторождения;
- базы данных в электронном виде.

Список литературы

1. Рекомендации по изучению трещиноватости горных пород при инженерно-геологических изысканиях для строительства // М.: Стройиздат. 1974. 40 с. (ПНИИИС Госстроя СССР).
2. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых (методическое руководство) / В.Д. Бабушкин, Д.И. Пересуньков, С.П. Прохоров, Г.Г. Скворцов // М.: «Недра». 1969. 408с.
3. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых // М.: Недра. 1986. 172с.
4. Методическое руководство по изучению инженерно-геологических условий рудных месторождений при их разведке // Москва. 2001. 153 с.
5. Руководство по дренированию карьерных полей. Раздел I. Влияние подземных и поверхностных вод на условия открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Раздел II. Выбор и обоснование рациональных способов и схем осушения карьерных полей // Ленинград. 1968. 171 с.
6. Инструкция по изучению инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых при их разведке // М.: «Недра». 1975. 52 с.
7. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации // СПб. 1993. 147.
8. Методическое пособие по определению углов откосов уступов и углов наклона бортов карьеров, сложенных многолетнемерзлыми породами // Ленинград. 1972. 103 с.
9. Инженерно-геологические, гидрогеологические и геоэкологические исследования при разведке и эксплуатации рудных месторождений. Методические рекомендации // Москва. 2002. 119с.
10. Управление устойчивостью карьерных откосов: Учебник для ВУЗов // М.: Издательство «Горная книга». 2008. 683 с.
11. Руководство по проектированию бортов карьера [Текст] / [Питер Стейси и др.] ; под ред.: Джон Рид, Питер Стейси ; [пер. с англ.: А. С. Бентхен] // Екатеринбург: Правовед : Полиметалл, сор. 2015. 527 с.
12. Методическое пособие по изучению инженерно-геологических условий угольных месторождений, подлежащих разработке открытым способом // Л.: ВНИМИ. 1986. 113 с.
13. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости // Л.: ВНИМИ. 1987. 118с.

14. Методические указания по расчету устойчивости и несущей способности отвалов // Л.: ВНИМИ. 1987.
15. Дунаев В. А., Игнатенко И. М. Методика геолого-структурного обеспечения открытой разработки месторождений железистых кварцитов // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2011. №15(110). Вып.16. С. 121-131.
16. Руководство по геомеханическому документированию керна // SRK Consulting (Russia) Ltd. 2020. 49 с.
17. Hoek E., Carter T.G., Diederichs M.S. Quantification of the Geological Strength Index Chart // American Rock Mechanics Association, June 2013.
18. Deere D.U. Technical description of rock cores for engineering purposes. Felsmechanik und Ingenieurgeologie // Rock Mechanics and Engineering Geology. 1963. 1 (1). Pp. 16-22.
19. Bieniawski Z.T. Engineering rock mass classification // 1989. New York: Wiley Interscience.
20. Barton N.R., Lien R., Lunde J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support // Rock Mech. 1974. 6(4). Pp. 189-239.
21. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Hoek-Brown failure criterion // Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto. 2002. 1. Pp. 267-273.

Приложение 1. Варианты типовых форм документации результатов инженерно-геологического изучения

Рекомендуемая форма журнала инженерно-геологической документации керна

Интервал доку- ментации (м), вы- ход керна, %	Описание пород: название, цвет, со- став, структура, вторичные измене- ния, слоистость, сланцеватость	Описание трещиноватости					Модуль кус- коватости, кус/м	Интервал раз- дробленного керна	RQD, %	Данные об опробо- вании, номер пробы, интервал	При- меча- ние
		Морфоло- гия, гене- зис	Заполнитель, его состав, мощность	Длина тре- щин по керну	Ориен- тировка	Модуль тре- щиновато- сти, тр/м					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Рекомендуемая форма полного геомеханического описания керна

Скважина №:				Дата начала:				Дата окончания:				Лист №:										
Интервалы				Выход керна				Зона RMR?	Строение			Прочность			Нарушения		Микродефекты		Залеченные трещины			
№ п/п	От, м	До, м	Длина, м	Общий выход керна (ТСР), м	Цельный выход керна (SCR), м	Качество породы (RQD), м	Сокращенная литология		Изменение	Обводненность	Прочность (крепкие)	Процент крепких пород, %	Прочность (слабые)	Открытые трещины	Из них по ослаблению	Интенсивность	Прочность	Количество	Литология заполнителя	Прочность заполнителя	Мощность заполнителя, мм	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		

Документировал:														Лист №:								
№ п/п	Количество систем трещин	Открытые трещины																		Примечание		
		1-я группа : 0° - 30°								2-я группа : 31° - 60°						3-я группа : 61° - 90°						
		Количество трещин	Макрошероховатость	Микрошероховатость	Литология заполнителя	Прочность заполнителя	Раскрытие, мм	Прочность стенок трещины	Количество трещин	Макрошероховатость	Микрошероховатость	Литология заполнителя	Прочность заполнителя	Раскрытие, мм	Прочность стенок трещины	Количество трещин	Макрошероховатость	Микрошероховатость	Литология заполнителя		Прочность заполнителя	Раскрытие, мм
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45

Таблица структурного описания керна

Структурное описание керна																	
			Лист №		Документировал:												
Скважина №:						Дата начала:						Дата окончания:					
Скважина №	Глубина, м	Тип нарушения	Альфа, °	Диаметр керна, мм	Бета, °	Макрошероховатость	Микрошероховатость	Литология заполнения	Прочность заполнения	Ширина раскрытия, мм	Прочность стенок трещины	Надежность ориентирования	Количество трещин зоны дробления	Примечание			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			

Рекомендуемая форма ведомости геомеханических проб

Ведомость геомеханических образцов									
			Лист №:		Отобрал:				
Скважина №	Номер образца	Интервал, м		Длина, м	Литология / Описание	Номер ящика	Вид испытания	Дата	Примечание
		От	До						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Приложение 2. Таблицы для определения составляющих рейтингового показателя GSI₂₀₁₃

Таблица 1

Параметры определения состояния поверхности трещин J_{Cond89} по Бенявскому 1989

Состояние нарушений	Очень шероховатая поверхность, не протяженная, нет заполнителя, не выветрелые стенки трещины	Слегка шероховатая поверхность, заполнитель <1 мм, слегка выветрелые стенки трещин	Слегка шероховатая поверхность, заполнитель <1 мм, сильно выветрелые стенки трещин	Гладкая поверхность или заполнитель без контакта стенок <5 мм или раскрытие 1-5 мм протяженные	Мягкий заполнитель без контакта стенок > 5 мм или раскрытие >5 мм, протяженные
Рейтинг	30	25	20	10	0
Руководство по классификации состояния трещин					
Длина нарушения (протяженность)	<1 м	1-3 м	3-10 м	10-20 м	Более 20 м
Рейтинг	6	4	2	1	0
Мощность (раскрытие)	Нет	< 0,1 мм	0,1 – 1,0 мм	1-5 мм	Более 5 мм
Рейтинг	6	5	4	1	0
Шероховатость	Очень шероховатая	Шероховатая	Слегка шероховатая	Гладкая	С зеркалами скольжения
Рейтинг	6	5	3	1	0
Заполнитель	Нет	Твердый заполнитель <5 мм	Твердый заполнитель >5 мм	Мягкий заполнитель <5 мм	Мягкий заполнитель >5 мм
Рейтинг	6	4	2	2	0
Выветривание стенок	Невыветрелые	Слегка выветрелые	Средне выветрелые	Сильно выветрелые	Дезинтегрированные
Рейтинг	6	5	3	1	0

Таблица 2

Определение параметров J_r и J_a по Бартону

Показатель шероховатости трещин J_r	Рейтинг	Показатель изменения трещин J_a	Рейтинг
Прерывистые трещины	4	Плотно залеченные, твердые, не размягчающиеся заполнитель, непроницаемый наполнитель	0,75
Шероховатые и неровные, волнистые	3	Невыветрелые стенки трещин, только окрашивание стенок	1,0
Гладкие, волнистые	2	Слегка выветрелые стенки трещин, не размягчающиеся заполнитель, песчаные частицы, дезинтегрированные породы без глины и т.д.	2,0
С зеркалами скольжения, волнистые	1,5	Глинистые или песчано-глинистые заполнители, мелкая глинистая фракция (не размягчающаяся)	3,0
Шероховатые и неровные прямые	1,5	Размягчающая глина или глина с низким коэффициентом трения, минеральные покрытия, т.е. каолинит, слюда. Также хлориты, тальк, гипс, графит и т.д., также небольшие количества набухающих глин. (прерывистые покрытия толщиной 1-2 мм или менее)	4,0
Гладкие, прямые	1,0		
С зеркалами скольжения, прямые	0,5		