

**РУКОВОДСТВО ПО ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМУ,
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ИЗУЧЕНИЮ И РАЙОНИРОВАНИЮ
МАССИВОВ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ
УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ И УСТУПОВ КАРЬЕРОВ,
РАЗРЕЗОВ И ОТКОСОВ ОТВАЛОВ**

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	20
2.4. Бурение инженерно-геологических скважин и отбор проб	24
2.5. Геофизическое изучение массива горных пород	31
3. Изучение геолого-структурного строения.....	34
3.1. Картирование обнажений горных пород	34
3.2. Документирование керна инженерно-геологических скважин	40
3.3. Сбор данных для рейтинговой классификации массивов горных пород	46
4. Изучение физико-механических характеристик горных пород и массивов.....	66
4.1. Лабораторные методы испытаний	66
4.2. Полевые методы испытаний	72
4.3. Обработка результатов испытаний	75
5. Изучение гидрогеологических условий.....	78
5.1. Типизация гидрогеологических условий отработки месторождения открытым способом	78
5.2. Принципы схематизации условий фильтрации	81
5.3. Требования к изученности гидрогеологических условий.....	83
5.4. Опытно-фильтрационные работы	86
5.5. Режимные наблюдения.....	88
5.6. Интерпретация данных гидрогеологических исследований.....	93
6. Инженерно-геологическое изучение условий формирования отвалов	94
7. Геомеханическая модель и районирование месторождения по инженерно- геологическим условиям	97
8. Особенности инженерно-геологического изучения различных видов полезных ископаемых	103
8.1. Особенности инженерно-геологического изучения угольных месторождений	103
8.2. Особенности инженерно-геологического изучения рудных месторождений.....	104
8.3. Особенности изучения рудных месторождений в районах развития карста	105
8.4. Особенности инженерно-геологического изучения рассыпных месторождений	107

8.5. Особенности геологического изучения месторождений ископаемой соли	109
9. Содержание отчета.....	111
Список литературы	114
Приложения. Типовые формы документации результатов инженерно-геологического изучения	115

Введение

Настоящее руководство разработано в соответствии с действующими нормативными документами, содержит требования и 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 может меняться от 0° до 360° . Так как любая линия простирания имеет два взаимно противоположных направления, то и азимут простирания может быть выражен двумя значениями, отличающимися на 180° .

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 модель – это физическая или математическая модель участка недр, описывающая наиболее существенные связи параметров и процессы нагружения и деформирования массива горных пород в соответствии с особенностями геологического строения, формы, структуры и физико-механических свойств массива месторождения и вмещающих пород с учетом закономерностей их изменения в процессе природно-техногенных воздействий.

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 борьбе с поверхностными и подземными водами и осушения месторождения.

Гидрогеологическое изучение месторождения – исследование, проводимое с целью получения гидрогеологической информации, необходимой для разработки мероприятий по борьбе с поверхностными и подземными водами и осушения месторождения.

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.

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), влияющих на условия проектирования и строительства, а также на эксплуатацию инженерных сооружений соответствующего назначения.

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 и горно-строительных работ.

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.

Осушительные мероприятия – комплекс мер, направленных на снижение уровня грунтовых 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 возможным 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 образцов 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 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 грунтовых вод – положение зеркала воды первого от поверхности водоносного горизонта.

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

1.2. Настоящее руководство регламентирует требования, 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. Граница инженерно-геологического-изучения должна быть удалена на расстояние не менее ширины призмы возможного обрушения. Основным объектом изучения является прибортовой массив горных пород, либо горные породы, являющиеся основанием отвалов.

1.5. При гидрогеологических исследованиях граница устанавливается с учетом области влияния на гидрогеологические условия разработки месторождения. Область гидрогеологического изучения, как правило, шире инженерно-геологической.

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

1.7. На этапе детальной разведки месторождения инженерно-геологические и гидрогеологические скважины должны быть включены в общую сеть разведочных скважин. В разведочных скважинах помимо показателей качества минерального сырья, описания петрографического типа пород и руд, дополнительно должны быть зафиксированы интервалы изменения интенсивности трещиноватости, наличие разломов с их характеристикой (наличие заполнителя, глинки трения, смещения), а также определен уровень грунтовых вод.

1.8. 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.

1.9. Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования должны выполняться на всех стадиях геологоразведочных работ, обеспечивать получение 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 с точки зрения устойчивости проектируемых уступов и бортов карьеров, разрезов инженерно-геологических процессов и явлений (оползни, 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 следует установить 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 строительству в сейсмических районах на основании специальных исследований и карт.

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

1.11. Устойчивость откосов отвалов определяется физико-механическими свойствами пород основания и отвальных пород, а также режимом и технологией их формирования. При изучении оснований отвалов должны быть изучены физико-механические свойства пород, гидрогеологические условия площадки размещения.

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 и стационарные 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 1.1.

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 напоров не превышают 100 м. 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 напоров превышают 100 м. Породы обладают особо неблагоприятными инженерно-геологическими свойствами или условиями залегания (частое фациальное изменение, наличие связных пород с текучей или мягкопластичной консистенцией и пр.). Осушительные мероприятия затруднены в связи со слабой водоотдачей 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

При этом должен оцениваться комплекс природных факторов, которые будут влиять на эти условия:

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

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

в) характер обводненности пород, величины гидростатических напоров, коэффициенты фильтрации пород;

г) физико-механические свойства 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, напряженное состояние пород, 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 строительстве и эксплуатации 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 (1:100 000 – 1:200 000), 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 дополнительно проводятся: гидрогеологические, инженерно-геологические и геокрилогические (в районах развития многолетней мерзлоты) съемки в масштабе 1:50 000 – 1:200 000; пробные откачки из основных водоносных горизонтов в единичных скважинах, закладываемых в характерных участках местности; определяются физико-механических свойств 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 должны быть охарактеризованы основные компоненты инженерно-геологических условий, их пространственная изменчивость, дана оценка территории и выполнено ее районирование, установлена возможность развития неблагоприятных инженерно-геологических процессов в ходе строительства и эксплуатации. Кроме того, результаты работ должны содержать материалы, достаточные для разработки рекомендаций о наиболее предпочтительном с инженерно-геологической и гидрогеологической точки зрения способе разработки месторождения.

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 должны быть выявлены факторы, оказывающие влияние на разработку месторождения, установлены необходимость, объемы и методика его дальнейшего инженерно-геологического и гидрогеологического изучения.

Результаты выполненных работ должны содержать сведения:

- об инженерно-геологических особенностях массивов пород месторождения и их анизотропии (тектонической нарушенности, слоистости, трещиноватости и пр.);

- о физико-механических свойствах основных петрографических разностей 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 1:50 000;
- температурные измерения в скважинах и горно-разведочных выработках, расположенных на различных участках месторождения;
- наблюдения за температурным режимом многолетнемерзлых горных пород;
- комплекс геофизических исследований.

Исследования должны дать 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.

2.1.5. На стадии детальной разведки, на выделенных в результате предварительной разведки участках, проводится детальное инженерно-геологическое и гидрогеологическое изучение. Проведенные на этой стадии работы должны дать 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 не менее 25% разведочных скважин 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 и отбор ориентированного керна, 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, в также в специально пробуренных гидрогеологических скважинах и опытных узлах с производством из них опытных откачек для определения коэффициентов фильтрации, уровнепроводности, пьезопроводности, характера формирования депрессионных воронок, 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 и отбор ориентированного керна, если это предусмотрено программой изучения.

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

- по инженерно-геологической характеристике массивов горных пород на месторождении, анизотропии трещиноватости, частоте тектонических нарушений.
- о физико-механических свойствах горных пород, в том числе полезного ископаемого, их изменчивости в плане и глубине;
- для прогнозной оценки изменения физико-механических свойств пород в процессе вскрытия и эксплуатации месторождения и возможности возникновения неблагоприятных инженерно-геологических явлений при горных работах;
- для рекомендаций по инженерно-геологическим наблюдениям и работам, необходимым при строительстве и эксплуатации горнодобывающего предприятия.

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;
- сгущение 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 должны давать детальные 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;

2.1.6. 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. Ширина призмы возможного обрушения может быть определена экспертно или на основании предварительных геомеханических расчетов. При определении ширины призмы возможного обрушения следует учитывать возможный механизм деформирования прибортового массива горных пород.

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.

2.2.5. При выборе мест заложения скважин рекомендуется руководствоваться следующими принципами [2]:

- 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 вкрест простирания основных структурных неоднородностей, за исключением скважин, ориентируемых по их падению для определения различных систем трещин. Угол встречи скважины и подсекаемых ею структурных неоднородностей должен быть не менее 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. Гидрогеологическими скважинами должны быть изучены все водоносные горизонты, влияющие на устойчивость бортов и уступов карьеров, разрезов. Их число определяется неоднородностью фильтрационных свойств пород.

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

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

2.2.7. Для определения 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, 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 геологоразведочные скважины.

2.2.10. В случае пересечения месторождений рекой необходимо проводить гидрогеологические наблюдения за уровнем и расходом воды на двух створах, расположенных перед входом и после выхода реки из границ месторождения. Допускается совмещать инженерно-геологические скважины с разведочными.

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.

2.2.12. При выборе мест заложения скважин рекомендовано руководствоваться следующими принципами:

- ориентирование скважины в борт карьера, поскольку изучается прибортовой массив;
- изучение наименее разведанных и потенциально неблагоприятных по устойчивости участков;
- скважина должна обеспечивать подсечение максимально возможного количества предполагаемых структурных неоднородностей, которые могут оказать влияние на устойчивость уступов карьеров, разрезов;
- ориентирование скважины вкрест простираения основных структурных неоднородностей, за исключением скважин, ориентируемых по их падению для определения различных систем трещин. Угол встречи скважины и подсекаемых ею структурных неоднородностей должен быть не менее 30° ;
- места заложения скважин должны обеспечивать технические условия проведения буровых работ;
- скважины должны пересекать основные структурные неоднородности ниже подошвы многолетнемерзлых пород.

2.3. Состав работ на различных типах месторождений

В таблице 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"> – инженерно-геологические маршрутные обследования района месторождения; – бурение инженерно-геологических скважин; – изучение физико-механических свойств пород как полевыми, так и лабораторными методами с выполнением сокращенных и полных анализов.
Детальная		<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 1:25 000 – 1:50 000; – содержание и объем работ устанавливается программами, разработанными после составления ТЭО.

		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; – 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.
		– 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 1:25 000 – 1:50 000; – содержание и объем работ устанавливается программами, разработанными после составления ТЭО.
Детальная		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.
		– тоже что и для 2а.	– тоже, что и для 2б	– тоже, что и для 3б
Детальная				

		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 связанных и несвязанных 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 должны быть учтены 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 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 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-A) 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-B) 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. Программа исследований должна включать бурение инженерно-геологических скважин и содержать следующие позиции:

- 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.

2.4.2. Применяемая методика бурения должна обеспечивать выход керна не менее 80%. Рекомендуемые способы и разновидности бурения в зависимости от условий их применения представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Способы бурения скважин при проведении инженерно-геологических исследований

Способ бурения	Разновидность способа бурения	Диаметр бурения, мм	Условия применения
Колонковый	С промывкой водой	73-146	Скальные неветрелые и слабоветрелые
	С промывкой глинистым раствором	73-146	Скальные слабоветрелые; ветрелые и сильноветрелые; крупнообломочные; песчаные; глинистые
	С продувкой воздухом (охлажденным при проходке многолетнемерзлых горных пород)	73-146	Скальные неветрелые и слабоветрелые; необводненные, а также в мерзлом состоянии; дисперсные, твердомерзлые и пластичномерзлые
	С промывкой соевыми охлажденными растворами	73-146	Все виды горных пород в мерзлом состоянии
	С призабойной циркуляцией промывочной жидкостью	89-146	Скальные ветрелые и сильноветрелые; обводненные; глинистые
	Всухую	89-219	Скальные ветрелые и сильноветрелые; песчаные и глинистые необводненные и слабообводненные; твердомерзлые и пластичномерзлые
Ударно-канатный кольцевым способом	Забивной	108-325	Песчаные и глинистые необводненные и слабообводненные; пластичномерзлые
	Клюющий	89-168	Глинистые слабообводненные
Ударно-канатный сплошным забоем	С применением долот и желонки	127-325	Крупнообломочные; песчаные обводненные и слабообводненные
Вибрационный	С применением вибратора или вибромолота	89-168	Песчаные и глинистые обводненные и слабообводненные
Шнековый	Рейсовое (кольцевым забоем)	146-273	Крупнообломочные; песчаные, глинистые слабообводненные и обводненные
	Поточное	108-273	Крупнообломочные, песчаные, глинистые слабообводненные и обводненные

2.4.3. 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.

2.4.4. Способ проходки скважин, углы их заложения определяется 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.

2.4.5. Бурение инженерно-геологических скважин проводится с целью определения позиции разрывных нарушений, их ориентировки (при отборе ориентированного керна), границ петрографических контактов, оценке изменения физико-механических свойств на контактах разрывных нарушений и типов пород, оценке гидрогеологических условий.

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

2.4.7. 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 может производиться специальным прибором, имеющем на своем конце карандаш и специальную насадку с гвоздиками (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**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, провести линию по всему рейсу вдоль шариков, данная линия будет являться линией дна (низа) керна. Все замеры должны производиться от этой линии.



Рисунок 0.1 – Пример ориентирования керна механическим способом

Прибор косвенного ориентирования керна (рис. 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.



Рисунок 0.2 – Ориентирование прибором Reflex

Плюсы прямой маркировки заключаются в относительной простоте способа, ремонтнопригодностью 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.

2.4.8. 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;
- уровень подземных вод на момент закрытия скважины.

2.4.9. 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.

2.4.10. 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. Под инженерно-геологическим элементом следует понимать геологические тела (слои, пачки, толщи, дайки, жилы, зоны тектонической нарушенности и дробления, расслоения, геотермических изменений, выветривания), представленные породами одной петрографической разновидности и характеризующиеся незакономерной изменчивостью инженерно-геологических свойств, которой можно пренебречь при решении практических задач. В состав инженерно-геологического элемента могут быть объединены и пространственно разобщенные, но геологически родственные тела.

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. Минимальное число образцов для каждого вида испытаний в пределах выделенного однородного слоя, зоны, подзоны должно составлять 6; для некоторых показателей – 3.

2.4.14. Детально изучаются физико-механические свойства пород в пределах приконтактных зон (например, вмещающие породы – полезное ископаемое, зона нарушенная – зона ненарушенная).

2.4.15. Пробы отбираются для лабораторных определений свойств пород и изготовления шлифов для изучения петрографического состава пород. Отбор производится из керна скважин, из поверхностных и подземных горных выработок, естественных отколов и обнажений в соответствии с действующими требованиями по отбору образцов в процессе инженерно-геологической документации.

2.4.16. 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.

2.4.17. Под керновой пробой понимается комплект кусков кернового материала, отобранный в данной скважине в пределах одного слоя породы одной петрографической разности. Минимальный диаметр керновых проб скальных пород 40 мм (рекомендуемый диаметр керна 63,5мм, что обеспечивается применением буровой колонна NQ), полускальных 55—60 мм (при глубине скважин более 800 м допускается использование проб меньшего диаметра). Рекомендуемый диаметр проб связных пород 100 мм. Кроме проб, из буровых скважин и горно-разведочных выработок отбираются отдельные образцы пород для полевых ускоренных определений их свойств.

2.4.18. Размер изготавливаемых образцов определяется требованиями к испытаниям. Как правило, для проведения испытаний на одноосное сжатие и растяжение желательно использовать одну пробу, которая в лаборатории будет разделена (распилена) на два образца. Длина образца для испытания на одноосное сжатие и растяжение должна быть не менее 2,5 диаметров керна. Следовательно, длина пробы, отбираемой для проведения испытаний на одноосное сжатие и растяжение, должна быть не менее 5 диаметров керна. Соответственно при бурении диаметром NQ длина пробы на одноосное сжатие и растяжение должна быть не менее 300 мм. При невозможности отобрать пробу длиной, необходимой для проведения двух видов испытаний, допускается отбор отдельных проб на каждый вид испытаний (2 пробы длиной не менее 2,5 диаметра керна каждая). При этом отбирать такие пробы следует в непосредственной близости друг от друга.

Для проведения испытаний на срез со сжатием желательно использовать пробу, которая в лаборатории будет разделена (распилена) на образцы. Длина образца для испытания на срез со сжатием должна быть не менее 1 диаметра керна. Следовательно, длина пробы, отбираемой для проведения испытаний, должна быть не менее 15 диаметров керна.

Длина образца для проведения объемного (трехосного) сжатия должна быть не менее 2,5 диаметров керна. При необходимости можно отпилить образец от большого куска керна.

Для проведения испытания на сдвиг по плоскости распила необходим образец длиной не менее 2,5 диаметров керна. Необходимо отметить, что образец должен быть монолитным, а распил производится в лаборатории.

Для проведения испытания на сдвиг по естественной трещине необходимо отбирать пробы, имеющие одну открытую трещину. Трещина не должна иметь маленький угол к оси керна ($\sim 60^\circ$).

В общем случае размеры монолитов должны составлять не менее 25x25x25 см. Если проводятся испытания по кубикам 1:1, то необходимо вводить поправку в результаты испытаний.

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 сразу после подъема керна, не допуская оттаивания пород.

2.4.21. В случае если мощность горных пород одного петрографического состава составляет более 10 м для полного комплекса исследований физико-механических свойств связных и несвязных пород пробы отбираются через каждые 4-5 м проходки скважины. В случае наличия пород с неблагоприятными инженерно-геологическими свойствами, наличия прослоев слабых пород, а также участков требующих повышенной интервал отбора уменьшается не менее, чем в два раза. Кроме проб, предназначенных для полного комплекса исследований, в интервалах между местами их отбора берутся дополнительные пробы для массовых анализов. В случае неоднородности литологического состава интервалы отбора проб сокращаются.

2.4.22. Отбор проб из скальных и полускальных пород производится по интервалам 20-30 м. Пробы отбираются по каждой петрографической разновидности пород в расчете не менее 6 проб в однородных породах, 6-8 проб – в неоднородных. Окончательное количество проб определяется непосредственно на месте бурения скважины. На одноосное сжатие и растяжение рекомендуется отбирать по 7-10 проб, на остальные виды испытаний – 3-5 проб из каждой петрографической разновидности. Следует помнить, что физико-механические

свойства пород могут меняться с глубиной, поэтому с увеличением глубины скважины, следует также проводить отбор проб и учитывать это при проведении испытаний.

2.4.23. Отобранные пробы рыхлых пород сразу после подъема из скважины должны быть герметически изолированы (два-три слоя марли), пропитаны парафином. Замораживание проб в течение всего срока их хранения и транспортировки недопустимо. Пробы скальных горных пород отбираются и транспортируются без парафинирования.

2.4.24. 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.

2.4.25. 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.

2.4.26. Соотношение полных и сокращенных анализов определяется программой исследований в зависимости от конкретных условий.

2.4.27. В однородных породах образцы отбираются через 30-40 м по глубине. Для полускальных пород длина отобранного с одной глубины керна (или размер штуфа) должны быть такими, чтобы можно было получить 6-8 образцов-цилиндров диаметром не менее 45 мм и высотой 70-60 мм.

2.4.28. В случае вечномерзлых или многолетнемерзлых дисперсных пород количество отбираемых образцов должно быть в 2 раза больше по сравнению с числом образцов, отбираемых в талых породах, что связано с необходимостью получения данных о свойствах пород как в мерзлом, так и в талом состояниях, а также после различного числа циклов периодически повторяющегося замораживания и последующего оттаивания. Для сохранения естественной влажности образцов пород, последние при отборе должны быть запарафинированы.

2.4.29. Пробы воды отбираются при каждой откачке и ежеквартально из всех режимных скважин (число проб – две). Пробы воды, полученные из одиночных откачек, направляются на сокращенный анализ, а из центральных скважин-кустов – на полный химический анализ.

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. Геофизические методы изучения инженерно-геологических и гидрогеологических условий массива горных пород могут выполняться в том числе при геологоразведочных работах. Геофизические исследования в скважинах рекомендуется проводить на всех стадиях поисково-разведочных работ с целью расчленения геологического разреза, выявления мощности различных пород, их физических свойств, зон тектонических трещин и дробления, карстовых пустот, водоносных и водоупорных горизонтов, характеристики изменения фильтрационных свойств и качества воды в разрезе, изучения толщ мерзлых пород, относительной оценки гидрогеологических параметров основных водоносных горизонтов.

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

2.5.4. Оценка интенсивности фильтрации подземных вод и определения гидрогеологических параметров проводится на основе расходомерии и резистивиметрии. Данные методы также следует применять при изучении трещинно-карстовых водоносных горизонтов. При этом если в скважине происходит вертикальный переток по стволу, то резистивиметрия не применяется, поскольку наблюдения за расслоением раствора не позволяют расчленить водоносный горизонт на водопроницаемые и водонепроницаемые участки и определить фильтрационные свойства пород.

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

2.5.6. 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 (электросопротивление, 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 разности. Величины физико-механических свойств, для которых устанавливается корреляционная зависимость, определяют отдельными работами в лабораторных или полевых условиях.

2.5.7. Для оценки строения пород в массиве, выделения участков повышенной трещиноватости и рассланцевания, тектонических нарушений с зонами дробления, а также

оценки их прочностных и деформационных характеристик с учетом обводненности рекомендуется применять сейсмические, в т.ч. и акустические методы, а также методы электрометрии. Для оценки плотности наиболее часто используют радиоизотопные методы.

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

2.5.9. Достоверное определение зон дробления, интенсивной трещиноватости при геофизических исследованиях скважин достигается при последовательном применении акустического каротажа, кавернометрии и фотовидеометрических исследований стенок скважин.

2.5.10. Телеметрический каротаж (фотовидеометрические исследования) стенок скважин рекомендуется применять для непосредственного визуального инженерно-геологического изучения внутрипородного массива: определения зон дробления, интенсивности трещиноватости, блочности, 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).

Достоверность определения азимутально-угловых характеристик структурных элементов по данным фотовидеометрических исследований стенок скважин должна быть подтверждена удовлетворительной сходимостью с характерной ориентирной круговой диаграммой трещиноватости, построенной по участку их расположения, или непосредственными натурными измерениями выделяемых систем трещин на поверхности откоса. Допустимые расхождения от полюсов систем трещин не более 10-15°.

В связи с возможностью самопроизвольного поворота оси камеры определение азимута и угла падения контактов пород, структурных элементов при применении фотовидеометрических установок на тросовой основе не рекомендуется..

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. Полученные данные о трещиноватости массива горных пород служат основой моделирования решетки трещиноватости, кинематического анализа и определения границ структурных участков (доменов) в пределах карьерного поля. Каждый такой участок характеризуется полярной диаграммой ориентировки трещин, на которой отражаются полюсы систем трещин, а также полюсы трещин, ограничивающих деформации и потенциальные призмы обрушения уступов.

3.1.3. Изучение трещиноватости должно включать в себя не только определение частоты трещин и элементов их залегания, но и детальную характеристику трещиноватости горных пород с оценкой шероховатости их плоскостей, выделением систем трещин, степени раскрытия трещин, расстояния между трещинами каждой системы.

3.1.4. В обнажениях дополнительно необходимо документировать протяженность трещин, форму и размеры элементарных блоков, которые в том числе определяют устойчивость трещиноватого массива горных пород в бортах карьера, разреза. Форма элементарного блока определяется относительным расположением трещин, а размеры – частотой трещин, т.е. числом трещин одной системы, приходящихся на один линейный метр в направлении, перпендикулярном к трещинам, что также отражает показатель интенсивности данной системы 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.

Изучение геолого-структурных условий при эксплуатации месторождений полезных ископаемых выполняется с целью установления позиции потенциальных призм обрушения с последующим расчетом их коэффициента запаса устойчивости (КЗУ). К основным характеристикам трещин относятся:

– азимут падения (простираения) и угол падения, характеризующие ориентировку трещин

в пространстве;

- протяженность трещин, определяющая масштабы возможной деформации;
- количество трещин на единицу длины (интенсивность трещиноватости);
- заполнитель трещин (наличие заполнителя может привести к тому, что именно он будет определять устойчивость прибортового массива);
- характер контактов (волнистость контактов снижает угол падения трещин, а шероховатость увеличивает трение по контакту).

К дополнительным характеристикам относятся:

- удельный вес 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.

3.1.5. Геолого-структурное картирование должно основываться на следующих принципах [1]:

- комплексность натурных исследований, ориентированных на получение разносторонней информации, необходимой для обеспечения всех видов горных работ на карьере, разрезе;
- максимальная безопасность проведения натурных исследований на эксплуатируемом месторождении, в том числе за счёт применения дистанционных методов фиксации информации;
- минимизация затрат труда и времени на исследования, достигаемая применением фото-геологической документации обнажений;
- полнота и достоверность первичной и синтезированной информации;
- ручная или компьютерная обработка исходной информации с реализацией процедур моделирования и получения необходимых картографических документов, таблиц, графиков и диаграмм;

3.1.6. Изучение трещиноватости пород включает следующие этапы:

- визуальные обследования обнажений с целью выявления основных систем трещин, определяющих структуру массива, и ориентировочная оценка их возможного влияния на устойчивость;
- инструментальная съемка элементов залегания трещин, интенсивности трещиноватости, оценка состояния контактов, форм структурных блоков и др.;
- обработка результатов съемки, построение диаграмм трещиноватости;
- построение горно-графической документации и/или 3-х мерных моделей, наглядно отображающих размещение трещиноватости по карьерному полю и степень ее влияния на устойчивость уступов и борта в целом.

3.1.7. В ходе изучения месторождения на стадии предварительной и детальной разведки должны быть установлены его геолого-структурные особенности, ориентировка основных систем трещин, выявлены типы потенциальных деформаций и условия их возникновения, отобраны образцы пород для физико-механических испытаний и петрографо-минералогических исследований.

3.1.8. 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 с детальным описанием свершившихся и потенциальных деформаций. Для критических деформаций выполняется оценка условий, при которых они произошли с составлением соответствующих паспортов. Структура и состав паспортов разрабатываются в соответствии с проектом и утверждается техническим руководителем эксплуатирующей организации. Азимутально-угловые характеристики разрывных нарушений, обусловивших формирование деформаций уступов и их групп, вносятся в базу данных и используются для обратных расчетов потенциальных призм обрушения.

3.1.9. Геолого-структурное картирование при эксплуатации месторождения основывается на съемке состояния массива бортов карьера, разреза. При описании массива горных пород указываются [1]:

- 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, опрокинутая 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. типовые формы).

3.1.10. 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 на глубину карьера, с количеством систем, не превышающим 3-4.

При сложной структуре массива, с невыдержанными элементами залегания, точечный метод изучения структуры не может быть использован для установления характера структуры в целом по месторождению, поскольку в этом случае не представляется возможным установить связь одной и той же системы по нескольким точкам замера.

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 или групп 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.

3.1.11. Для повышения точности пространственной привязки структурных элементов, геологических границ целесообразно выполнять построение фотопанорам участков естественных и искусственных обнажений (борта и уступы) с применением аэрофото-съемки (беспилотными летательными аппаратами) или лазерных сканирующих систем, с последующим их переводом в текстурированную трехмерную модель карьера. Координат-

ная привязка замеров с применением ортофотопанорам, характеризующих в целом карьерное поле, выполняется с точностью в пределах 1-1,5 м; в масштабе уступа точность привязки должна составлять не менее 20 см. Построение текстурированных трехмерных моделей выполняется с применением соответствующего программного обеспечения.

3.1.12. Определение азимутально-угловых характеристик геолого-структурных объектов (массовые замеры трещиноватости) 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 с предварительным подтверждением натурными замерами. Допустимые расхождения не должны превышать 5° для угла падения и 10° – для азимута падения.

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

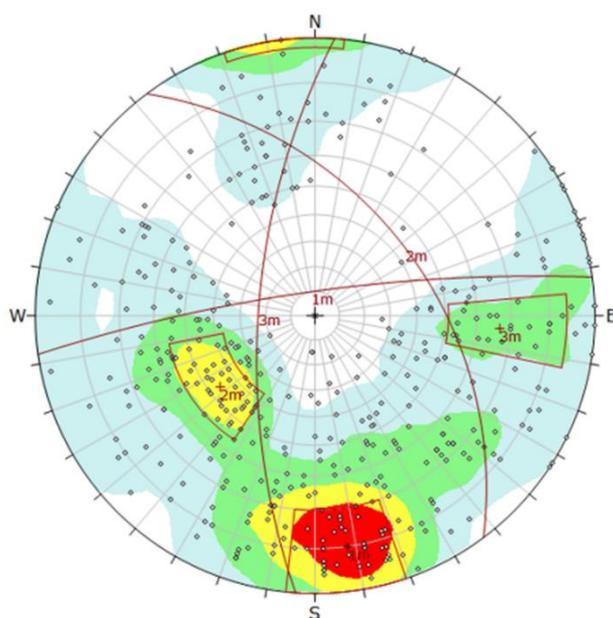


Рисунок 3.1 – Круговая диаграмма трещиноватости с 3-мя системами трещин

3.1.14. 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° и крутые – более 60°.

3.1.15. По результатам геолого-структурного картирования составляется сводный геолого-структурный план и/или объемная модель, на которых отражаются границы зоны гипергенной дезинтеграции, трассы структурных элементов и элементы их залегания, геологические границы.

3.1.16. При геолого-структурном картировании месторождений необходимо выполнять ранжирование трещиноватости, а также районирование массива горных пород по степени трещиноватости (блочности) (табл. 3.1, 3.2). Для более детального районирования допускается вводить промежуточные категории (например, 2а-2б).

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 отделиностей

Категория породы по трещиноватости	Степень трещиноватости (блочности) массива	Число трещин на 1 м линии, пересекающей наибольшее их число (модуль трещиноватости)	Средний диаметр отделиностей, 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 структурно-тектонических и петрографических особенностей пород 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 (см. приложение). В журнале фиксируются генетический тип и вещественный состав пород, их структура, текстура (слоистость, сланцеватость), характер и интенсивность вторичных изменений, зоны смятия, дробления, а также дискование керна пород с указанием мощности интервала и толщины пластин.

3.2.3. При документации керна особое внимание должно быть уделено 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.).

3.2.4. При документации керна необходимо разделять естественные трещины от механических на основе наиболее характерных их признаков [2]. Наиболее характерными признаками трещины природного происхождения являются (рис. 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).

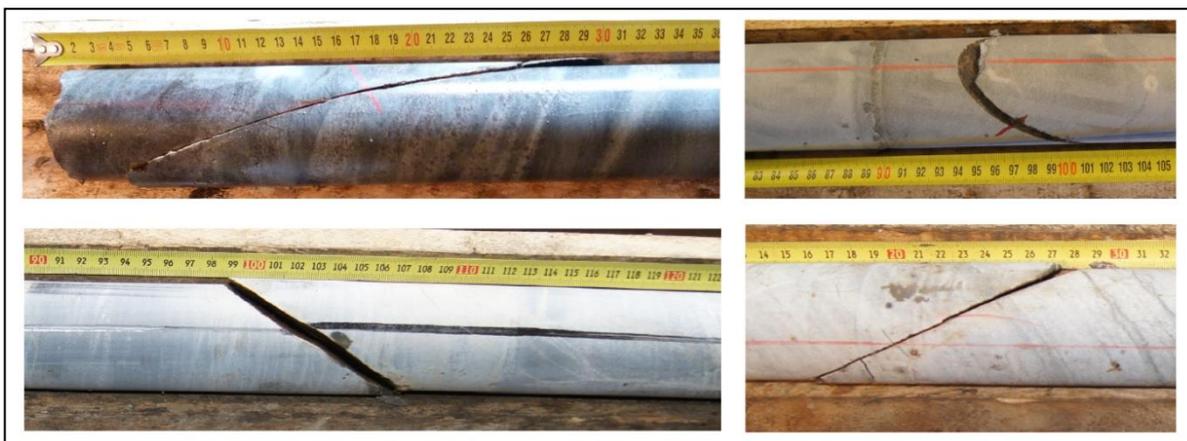


Рисунок 3.2 – Пример трещин естественного происхождения [2]

Характерными признаками механического нарушения являются (рис .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 [2]

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 на рис.3.4.

Необходимо документировать и трещины по ослаблениям. Это трещины, проходящие по ослабленным зонам, например, по слоистости. Такие трещины достаточно легко определить (рис.3.5)

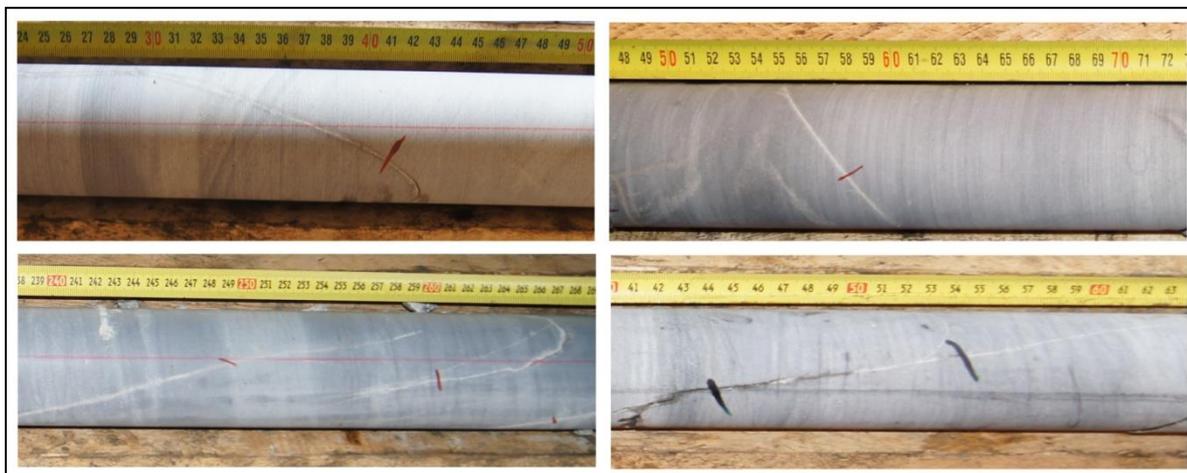


Рисунок 3.4 – Пример залеченных трещин [2]

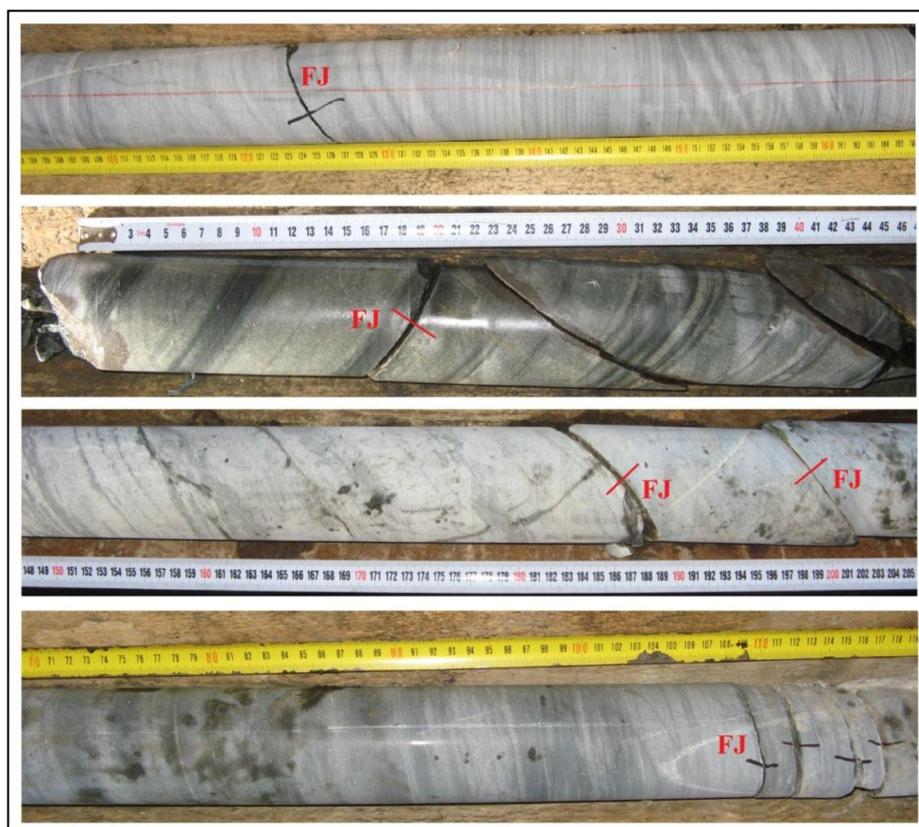


Рисунок 3.5 – Пример трещин по ослаблению [2]

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 (рис.3.5).



Рисунок 3.6 – Пример трещин по ослаблению [2]

3.2.5. В зависимости от типа пород при документации керна в общем случае должны фиксироваться:

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.

3.2.6. 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.

3.2.7. 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 [2]:

- 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 на рис. 3.7.

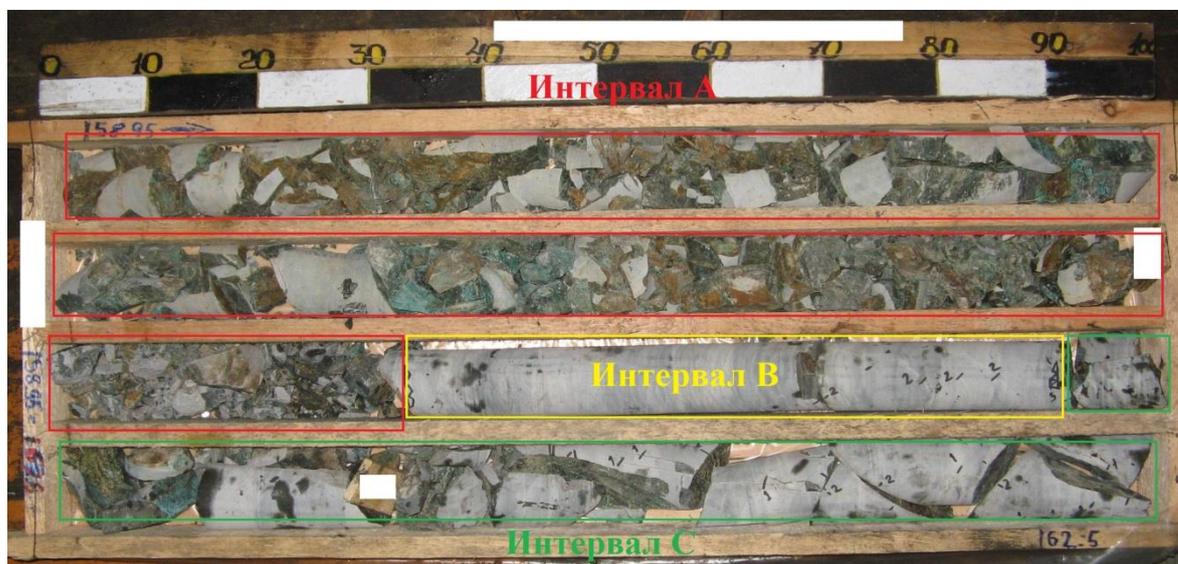


Рисунок 3.7 – Пример выделения геомеханических интервалов [2]

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

При фотографировании керна рекомендуется соблюдать следующие условия [2]:

- не фотографировать при ярком солнце, лучи которого дают блики на керне. Желательно использовать рассеянный солнечный свет;
- фотографирование производить до распила керна;
- фотографируемый керн должен быть равномерно сухим;
- должно быть обеспечено одно и то же 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, Скви5_Ящик 01_150-155м)

3.3. Сбор данных для рейтинговой классификации массивов горных пород

3.3.1. Применение рейтинговых классификаций оценки массива горных пород, как правило, значительно упрощает принятие решений при отработке месторождений, поскольку позволяют определить степень безопасности горных работ, предварительно установить предельные углы наклона борта, предельную глубину открытой разработки и дренирование месторождений.

3.3.2. Для геомеханической характеристики массива горных пород, как правило, применяют одну из перечисленных ниже международно-принятых систем классификации массивов горных пород:

- Система классификации массивов горных пород по Бенявскому (RMR Bieniawski 1989);
- Модифицированная система классификации массивов горных пород по Лабширу (MRMR Laubscher 1990);
- Измененная модифицированная классификация массивов горных пород по Лабширу и Якубеку (MRMR Laubscher and Jakubec 2001);
- Индекс прочности для трещиноватых блочных пород (Geological Strength Index – GSI).

3.3.3. Рейтинговые оценки выполняются на основе параметров (рис. 3.8):

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

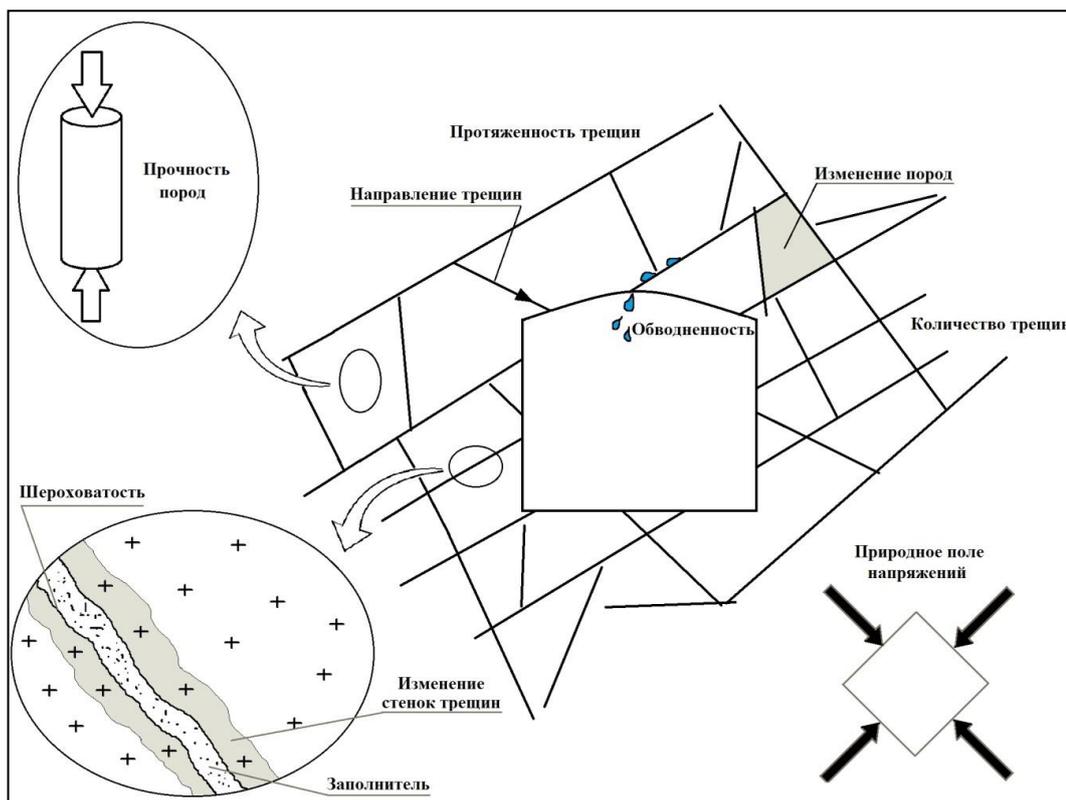


Рисунок 3.8 – Основные компоненты классификации массивов горных пород

3.3.4. 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.

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 (табл. 3.3, рис.3.9).

Таблица 3.3

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
NL	Не описано
NR	Не требуется



Рисунок 3.9 – Примеры измененных пород [2]

Определение степени размокаемости пород (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Степень размокаемости горных пород

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

Определение обводненности горных пород (наличие воды в скважине) (табл. 3.5).

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
NL	Не описано
NR	Не требуется

Определение общего выхода керна (TCR – Total Core Recovery): 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.

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

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 – Solid Core Recovery): 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.

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

Как видно на рис. 3.10, 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.

$$SCR = A + B + C + D + E + F$$



Рисунок 3.10 – Пример определения цельного выхода керна [2]

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. КERN с открытыми трещинами, параллельными оси керна, с механическими повреждениями следует принимать в качестве сплошного керна.

На рис. 3.11 показаны правильный (а) и неправильный (б) методы измерения расстояний между трещинами соответственно. Необходимо измерять расстояния по оси керна.

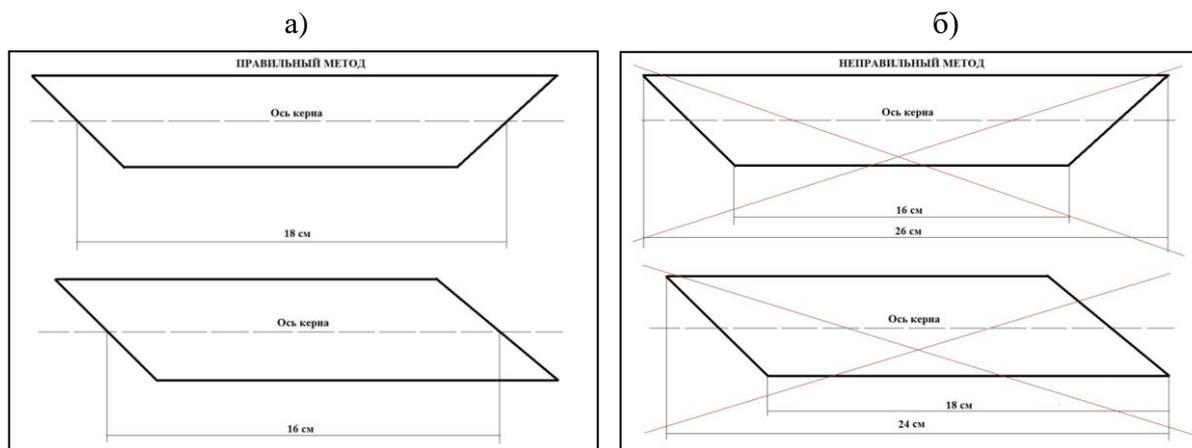


Рисунок 3.11 – Пример правильного (а) и неправильного (б) метода измерения расстояний между трещинами

На рис. 3.12 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.

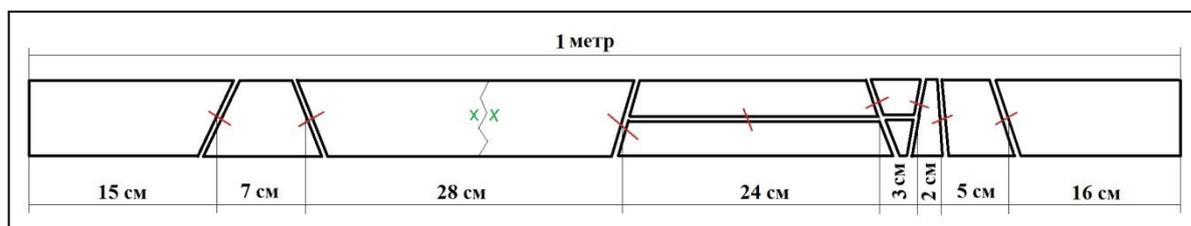


Рисунок 3.12 – Пример измерения RQD [2]

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, и позволит предварительно оценить количество систем трещин. Кроме того, определение количества трещин позволяет установить размер естественной отдельности (блочности пород), интенсивность трещиноватости (частоту трещин) (OJF/m). Параметр OJF/m представляет количество открытых трещин, приходящееся на 1 м керна.

Описание зон дробления. Как правило, документация таких зон представляет определенные сложности. Однако, отсутствие описания трещиноватости в этих зонах приводит к значительному завышению качества массивов пород. При оценке количества трещин в таких зонах необходимо руководствоваться следующим алгоритмом [2]:

- 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 сдвигения 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 120см, 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, заполнителя, изменении пород и другая. Тип нарушения необходимо выбрать из списка (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Типы основных структурных нарушений

Код	Описание
JT	Трещиноватость
BD	Слоистость, полосчатость
SH	Сдвиг
SZ	Зона сдвига
FZ	Зона разлома
TZ	Зона дробления
BX	Брекчирование
BU	Будинаж
NL	Не описано
NR	Керн не извлечен

Описание макрошероховатости. Макрошероховатость – это крупномасштабная форма трещины. В основном этот параметр определяется для пологих трещин, так как их длина значительно больше остальных. Кодировка определяется в соответствии с табл. 3.7.

Таблица 3.7

Кодировка макрошероховатости

Код	Описание
1	Прямая
2	Слегка волнистая
3	Изогнутая
4	Волнистая однонаправленная
5	Волнистая Разнонаправленная
-1	Не описано
-2	Не требуется

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 (табл. 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 10 см (рис. 3.13). При документировании керна к ним будут относиться шероховатости, которые можно почувствовать при касании пальцами поверхности трещины. На рис. 3.14 представлены фотографии керна 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
-1	Не описано
-2	Не требуется

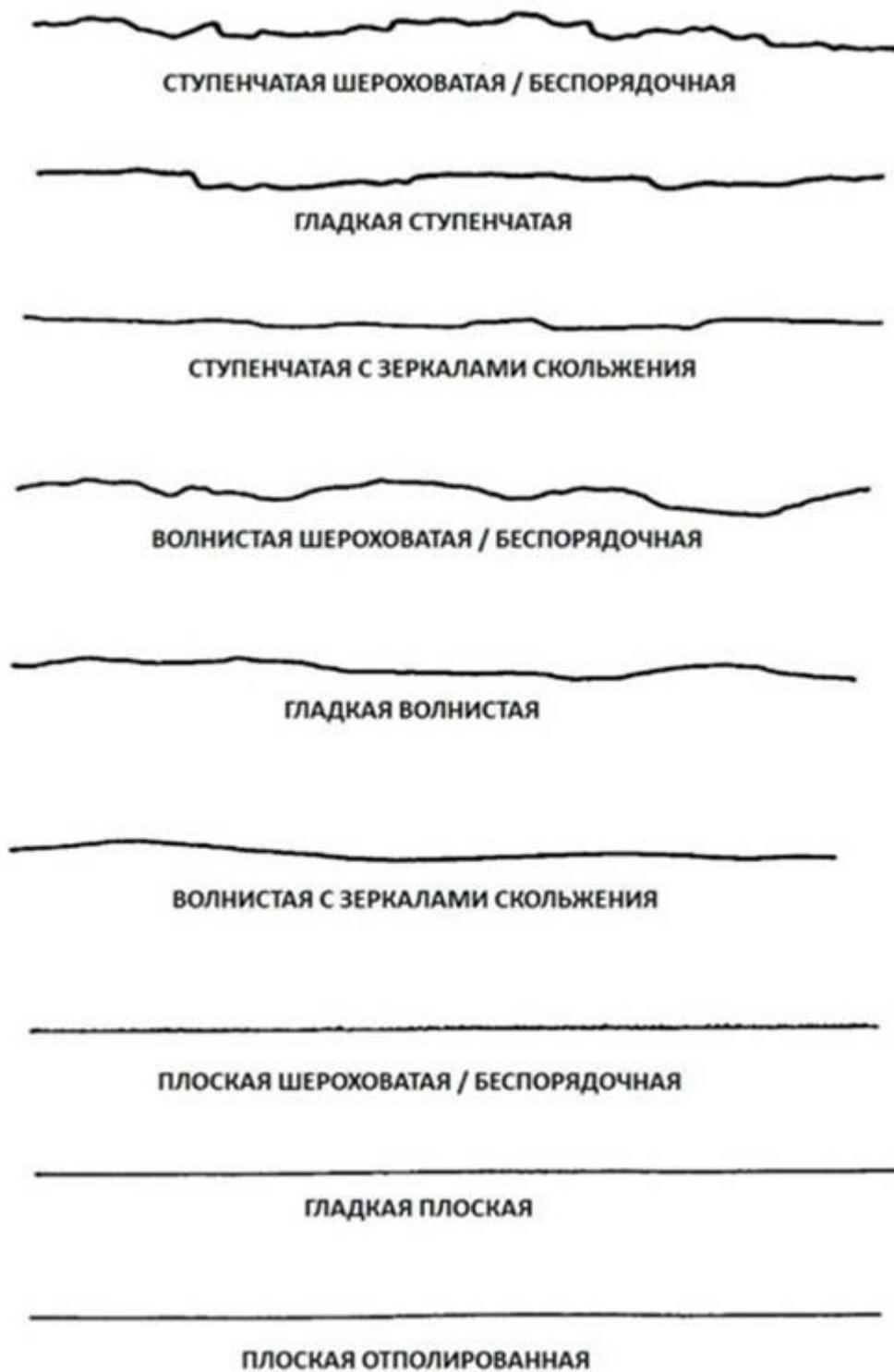


Рисунок 3.13 – Пример профилей микрошероховатости



Ступенчатая с зеркалами скольжения



Ступенчатая шероховатая



Волнистая с зеркалами скольжения



Волнистая шероховатая



Плоская с зеркалами скольжения



Плоская шероховатая

Рисунок 3.14 – Типичные формы микрошероховатости [2]

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 табл. 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
NL	Не описано
NR	Не требуется

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 (рис.3.15).

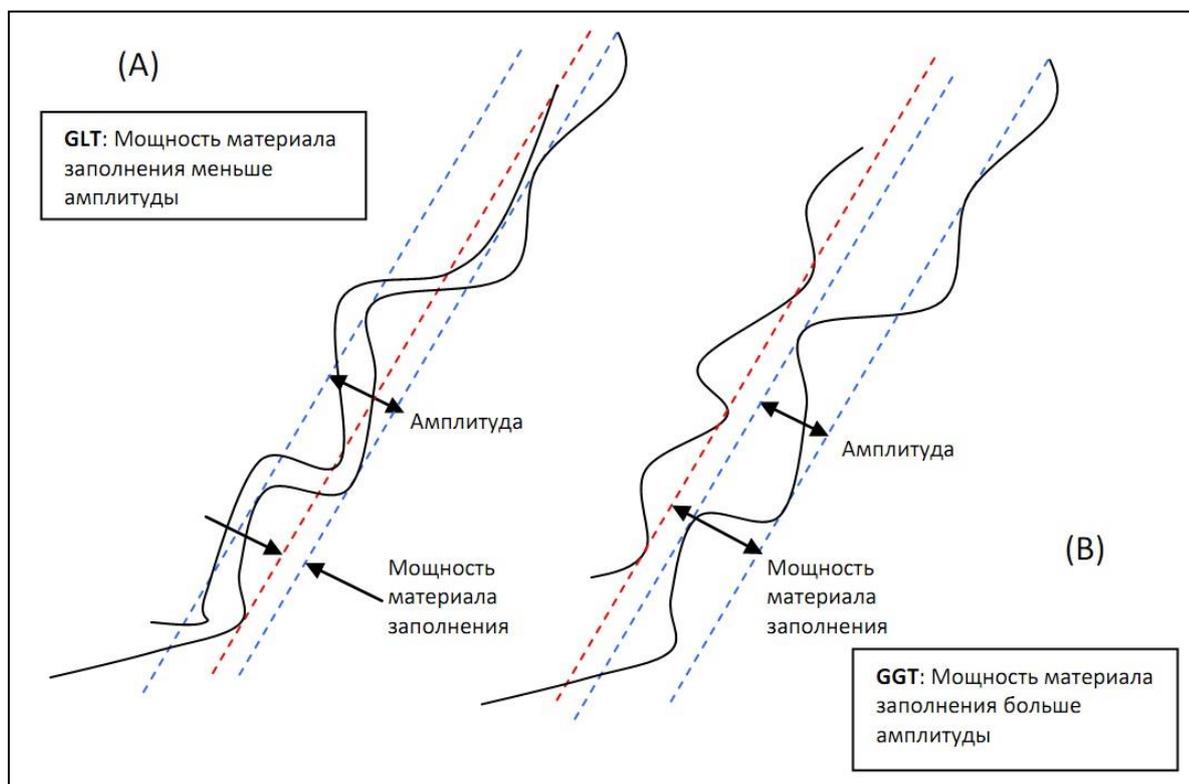


Рисунок 3.15 – Учет амплитуды трещины при определении мощности материала

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 (табл. 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 рис. 3.16).

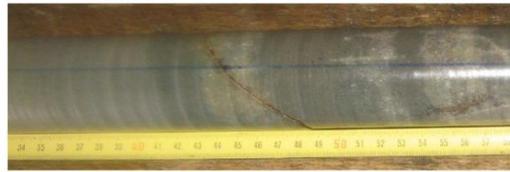
Таблица 3.10

Оценка изменения прочности стенок трещины

Код	Описание
1	Стенки не изменены
2	Слегка изменены
3	Изменены
4	Сильно изменены
5	Полностью изменены
-1	Не описано
-2	Не требуется



Стенки не изменены



Стенки слегка изменены



Стенки изменены



Стенки сильно изменены



Стенки полностью изменены

Рисунок 3.16 – Учет амплитуды трещины при определении мощности материала [2]

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 перечис-

лены в таблице 16. 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
NL	Не описано	-	-
NR	Не требуется	-	-

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 последовательность 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 (рис.3.17);
- 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 рис. 3.18 и 3.19 показаны принципы ориентирования и порядок измерения углов Альфа и Бета.

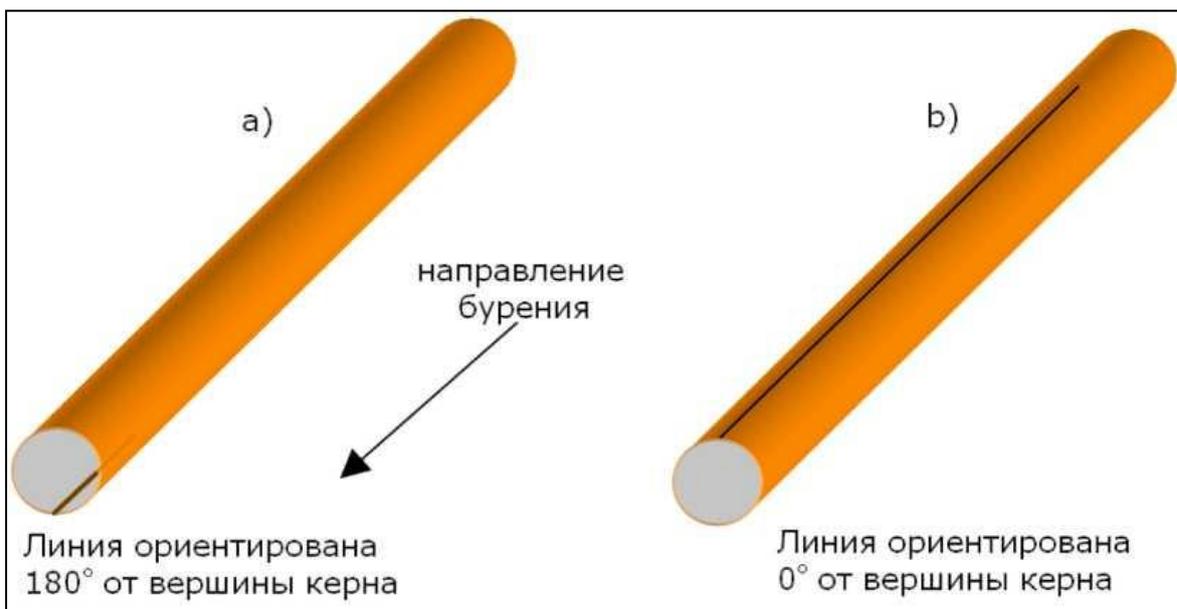


Рисунок 3.17 – Различное положение линии ориентирования [2]

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 рис. 3.20.

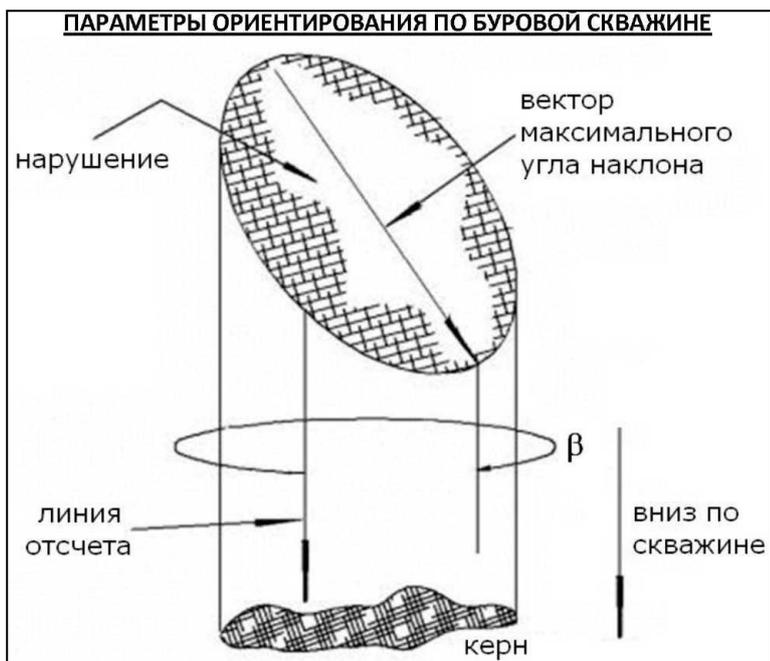


Рисунок 3.18 – Параметры ориентирования керна скважины [2]

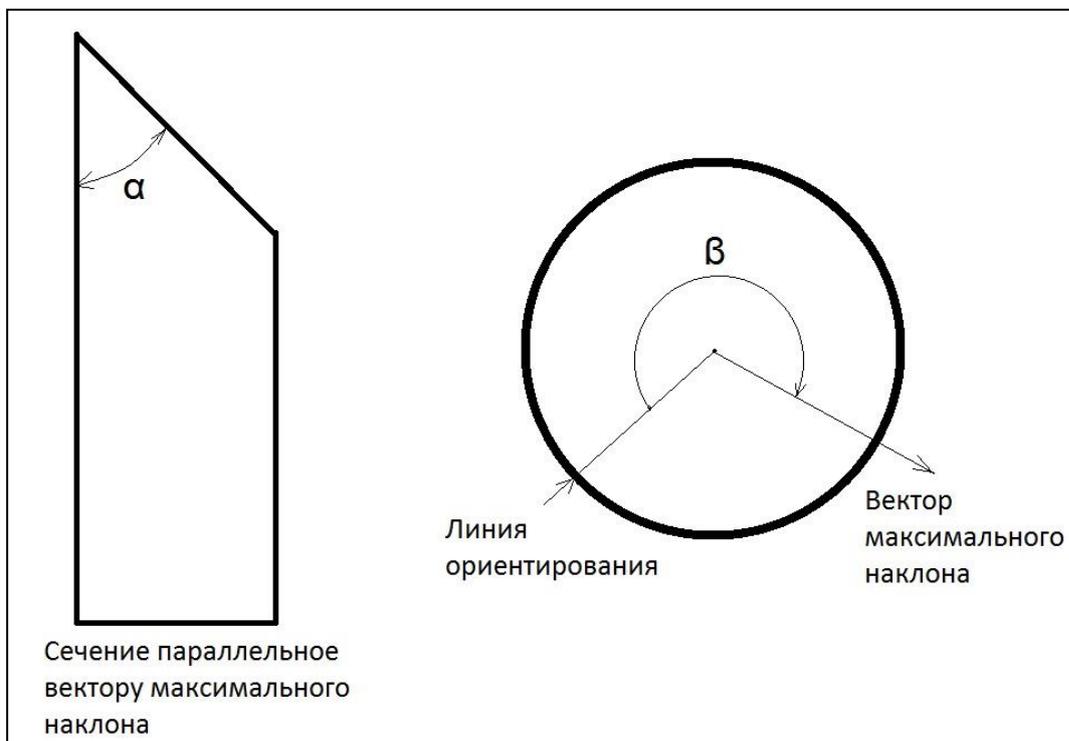


Рисунок 3.19 – Углы Альфа (α) и Бета (β) [2]

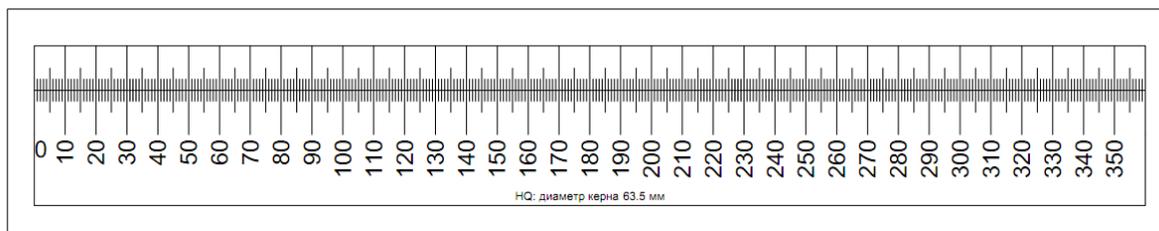


Рисунок 3.20 – Пример палетки для измерения угла Бета на кернах диаметром 63,5 мм (не в масштабе)

Углы Альфа и Бета следует определять с точностью до 1° и не следует округлять до 5-10°. 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 следует 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 3.3.

3.3.7. Индекс геологической прочности (*GSI*) определяется на основании рисунка 3.21 с использованием двух шкал:

- Шкала А – состояние поверхностей трещин
- Шкала В - нарушенность горных пород

Для определения параметра *GSI* применяется следующее выражение:

$$GSI = 1,5 JCond_{89} + RQD/2$$

где: *RQD* (rock quality designation) – качество массива горных пород по Диру [4];

*JCond*₈₉ – состояние поверхностей трещин по Беньявскому 1989 [5].

Параметры определения состояния поверхности трещин *JCond*₈₉ приведены в таблице 3.12.



Рисунок 3.21 – Диаграмма определения параметра GSI по Хуку 2013 года [3]

Таблица 3.12

Параметры определения состояния поверхности трещин $JCond_{89}$ по Бенявскому 1989 [5]

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

Альтернативным способом определения параметра GSI является использование другой Шкалы В – состояния трещин по Бартону 1974 [6]:

$$GSI = \frac{52J_r/J_a}{(1 + J_r/J_a)} + RQD/2$$

где: J_r – показатель шероховатости трещин по Бартону [6];

J_a – показатель изменения трещин по Бартону [6].

Определение параметров J_r и J_a необходимо выполнять в соответствии с таблицей 3.13.

Таблица 3.13

Определение параметров J_r и J_a по Бартону [6]

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		

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. Различают полный и сокращенный комплексы лабораторных определений, а также специальные виды анализов, привлечение которых диктуется особенностью состава и структуры горных пород и руд.

Для скальных и полускальных пород сокращенный комплекс испытаний включает определение объемной массы, влажности, водопоглощения и водонасыщения, сопротивления на одноосное сжатие и растяжение.

Полный комплекс помимо перечисленных выше показателей включает определение пористости, модуля упругости, коэффициента Пуассона, набухаемости и размокаемости (для глинистых разностей пород), сцепления и угла внутреннего трения пород, сдвиговых характеристик по трещинам.

К специальным видам анализов относятся определение абразивности, удельной теплоемкости, теплопроводности, прочностных свойств при срезе и изгибе, а также прочности на сжатие при взаимодействии с водами различного химического состава и pH на породах с искусственной трещиноватостью.

В случае если влажность образцов существенно не отличается и характеризуется низким значением, то допускается выборочное определение влажности на основе оценки всех имеющихся образцов в лабораторных условиях.

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

4.1.5. Основные положения по отбору проб, перечень основного оборудования и общие требования к методам испытаний определяются по стандартным методикам. В табл. 4.1 приведены физико-механические свойства пород, возможные методы их определения

Физико-механические свойства пород, методы их определения

Определяемый показатель	Тип пород	Методы определения
Естественная влажность	Все разновидности	Метод высушивания до постоянной массы
Влажность на границе текучести	Рыхлые	Метод балансирного конуса
Число пластичности	Рыхлые	Расчетный метод. Определяется как разность между влажностью на границе текучести и влажностью на границе раскатывания
Показатель текучести	Рыхлые	Расчетный метод. Определяется как отношение разности естественной влажности и влажности на границе раскатывания к числу пластичности
Плотность грунта	Все разновидности	Метод режущего кольца, метод взвешивания в воде
Плотность скелета	Рыхлые	Расчетный метод
Плотность частиц грунта	Рыхлые	Пикнометрический метод, пикнометрический метод с нейтральной жидкостью
Коэффициент пористости	Все разновидности	Расчетный метод. Определяется как отношение разницы плотности частиц грунта и плотности сухого грунта к плотности сухого грунта
Коэффициент водонасыщения	Все разновидности	Расчетный метод
Полная влагоемкость	Все разновидности	Расчетный метод
Относительное содержание органического вещества	Рыхлые	Метод определения растительных остатков, метод прокаливании до постоянной массы, относительное содержание органического вещества (гумуса) в грунте в зависимости от цвета
Гранулометрический состав	Рыхлые	Ситовым методом, ареометрический метод, пипеточный метод
Одноосное сжатие при естественной влажности	Все породы за исключением дисперсных пород	Метод одноосного сжатия образцов правильной формы плоскими плитами, метод разрушения образцов-плиток плоскими соосными пуансонами
Одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии	Все породы за исключением дисперсных пород	Метод одноосного сжатия образцов правильной формы плоскими плитами, метод разрушения образцов-плиток плоскими соосными пуансонами
Одноосное растяжение при естественной влажности	Все породы за исключением дисперсных пород	Метод разрушения цилиндрических и призматических образцов прямым растяжением, метод разрушения цилиндрических образцов сжатием по образующим, метод разрушения образцов произвольной формы встречными сферическими инденторами, метод комплексного определения пределов прочности при одноосном растяжении и сжатии
Одноосное растяжение в водонасыщенном состоянии	Все породы за исключением дисперсных пород	Метод разрушения цилиндрических и призматических образцов прямым растяжением, метод разрушения цилиндрических образцов сжатием по образующим, метод разрушения образцов произвольной формы встречными сферическими инденторами, метод комплексного определения пределов прочности при одноосном растяжении и сжатии
Срез со сжатием	Скальные и полускальные породы	Метод определения предела их прочности при срезе со сжатием цилиндрических или призматических образцов. ГОСТ 21153.5-88
Трехосные испытания	Все разновидности	Проведение неконсолидированно-недренированного (НН), испытания консолидированно-недренированного (КН) испытания и консолидированно-дренированного (КД) испытания
Сдвиг по естественной трещине	Скальные и полускальные породы	
Сдвиг по распилу (плашка по плашке)	Все разновидности за исключением несвязных пород	Метод одноплоскостного среза. Для глинистых грунтов по спец заданию проводится срез образца по фиксированной плоскости
Модуль деформация/упругости	Все разновидности	Метод одноосного сжатия для полускальных грунтов по спец заданию. Расчет по результатам испытаний. Метод по результатам испытаний в приборах трехосного сжатия по 5.3 ГОСТ 12248-2010
Коэффициент поперечной деформации/Пуассона	Все разновидности	Метод одноосного сжатия по спец заданию Метод по результатам испытаний в приборах трехосного сжатия по 5.3 ГОСТ 12248-2010 Или в компрессионных приборах с измерением бокового давления. При отсутствии экспериментальных данных, значения коэффициента Пуассона можно принять по п.5.4.7.5 ГОСТ 12248-96
Специальные исследования	Все разновидности	

4.1.6. При применение специальных геомеханических моделей и уточнения 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.

4.1.7. В породах, имеющих микрослоистость, при проведении испытаний необходимо учитывать ее угол. Слоистость под углом $45^\circ \pm \varphi/2$ к оси даст минимальную прочность, нагрузка перпендикулярно слоистости – покажет максимальную прочность.

4.1.8. Механические испытания пород производятся с применением различных полевых, лабораторных и натуральных методов (и средств) испытаний. Пригодность этих методов определяется критериями должной представительности, достаточной надежности, доступности и экономичности испытаний. Представительность способов испытаний образцов скальных горных пород обеспечивается при выполнении работ в соответствии с действующими ГОСТами. В связи со сложностью имитации напряженно-деформированного состояния и режимов нагружения, имеющих место в производственных условиях, при испытаниях необходимо оценивать типичность воспроизведения в образце проявления определяемых показателей с максимальным исключением сопутствующих искажений изучаемых напряжений и деформаций, вызванных особенностями используемой методики испытаний.

4.1.9. Исходя из уровня надежности методов механических испытаний горных пород, обычно различают:

- прецизионные методы – надежность свыше 95-97%, применяются в качестве эталонных для сопоставительной поверки методов широкого применения, определения их погрешностей и установления поправок;
- методы нормальной надежности – надежность порядка 80-90%, используются при массовых производственных испытаниях;
- упрощенные методы с высокой степенью доступности – надежность порядка 75-85%, которой достаточно для приближенных инженерных решений горнотехнических задач;
- грубые методы – надежность порядка 65-75%, применяются для примерных прикидок и ориентировочных суждений о свойствах пород и горнотехнических условиях их залегания.

4.1.10. Погрешность измерений в при испытаниях образцов не должны превышать:

- 0,02 г – при измерении массы образца;
- 0,1 мм – при измерении размеров образца;
- 0,01 мм – при измерении деформаций образца;
- 5% – при измерении прикладываемой нагрузки;
- 0,1°C – при измерении температуры воздуха в помещении с отрицательной температурой.

4.1.11. При наличии на месторождениях агрессивных кислых вод определения физико-механических свойств рекомендуется проводить на образцах, насыщенных растворами, идентичными по химическому составу и рН подземным водам, вскрываемым скважинами и разведочными горными выработками.

4.1.12. При инженерно-геологическом исследовании массивов горных пород особое внимание следует уделять изучению тех физико-механических характеристик, влияние которых на устойчивость является наибольшим. К таким характеристикам для скальных пород относятся: плотность горных пород, их прочность при одноосном сжатии и при растяжении, а также сопротивление сдвигу (срезу), которое характеризуется сцеплением C и углом внутреннего трения φ .

4.1.12.1. Помимо методов прямого (непосредственного) растяжения могут быть применены косвенные методы, которые по характеру воздействия на образец внешних нагружающих сил разделяются на три группы:

- методы раскалывания сжимающими нагрузками;
- методы разрыва изнутри;
- методы изгиба.

К первой группе косвенных методов относится метод разрушения цилиндрических образцов сжатием линейно распределенными по образующим нагрузками (известен как «бразильский метод»), который в связи с доступностью получил наиболее широкое внедрение в лабораторную практику испытаний. Для получения сопоставимых результатов по различным горным породам крайне необходимо выполнять требование по размерам образцов: диаметр должен быть в пределах 40-50 мм, а длина – составлять 90-110% диаметра, т.е. испытывать образцы, у которых $d = h$.

К этой же группе относится метод испытаний образцов горных пород произвольной формы встречными сферическими инденторами («точечный» метод), получивший наиболее широкое распространение для испытаний в полевых условиях. В этом случае целесообразно использовать портативный механический прибор-пробник БУ39 или гидравлический пробник БП25, разработанные ВНИМИ.

К первой группе относится и метод раскалывания встречно-направленными клиньями породных образцов в виде пластин (в т.ч. и дисков, получаемых при поперечной резке зерна) с двумя плоскопараллельными гранями. Этот метод явился основой метода комплексного определения пределов прочности при одноосном растяжении и сжатии. Достоинства метода: высокая производительность испытаний и возможность определения прочности в любом заданном направлении. Недостатки метода: необходимы точная обработка образцов и наличие достаточно мощного силового оборудования, что ограничивает применение метода в лабораторных условиях.

Ко второй группе косвенных методов относится метод соосных пуансонов испытания образца-диска с центральным отверстием, заполненного пластичной смесью или рези-

новым вкладышем. Этот широко распространенный в лабораторной практике метод заменен относительно простыми в применении и производительными «бразильским» и «точечным» методами.

К третьей группе косвенных методов относятся методы изгиба призматических и цилиндрических балочек, круглых пластин и дисков. Широкое распространение эти методы определения прочности горных пород на разрыв не получили в связи с трудоемкостью изготовления образцов, а зачастую и невозможностью (трещиноватые, неоднородные породы).

4.1.12.2.Р Отбор и упаковка образцов, используемое оборудование, инструменты и материалы, виды, состав и способы выполнения работ по подготовке образцов к испытанию и проведению испытаний, обработка результатов испытаний выполняются в соответствии с действующими нормативными документами.

3.1.12. Перечень физико-механических свойств горных пород, необходимый для проведения оценки устойчивости бортов карьеров и уступов на различных этапах проектирования, приведен в таблице 4.2.

Таблица 4.2

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

Используемый метод	Тип пород	Этап разработки карьера						Проявление деформационных процессов
		Предпроектные работы	ТЭО		Проектирование	Эксплуатация карьера	Техническое перевооружение	
			Временных условий	Постоянных условий				
Естественная влажность	Все разновидности	–	+	+	+	+	+	+
Влажность на границе текучести	Рыхлые дисперсные	–	–	+	+	+	+	+
Число пластичности	Дисперсные	–	–	+	+	+	+	+
Показатель текучести	Дисперсные	–	–	+	+	+	+	+
Плотность грунта	Все разновидности	–	+	+	+	+	+	+
Плотность скелета	Дисперсные	–	–	+	+	+	+	+
Плотность частиц грунта	Дисперсные	–	–	+	+	+	+	+
Коэффициент пористости	Все разновидности	–	–	+	+	+	+	+
Коэффициент водонасыщения	Все разновидности	–	–	+	+	+	+	+
Полная влагоемкость	Все разновидности	–	–	+	+	+	+	+
Относительное содержание органического вещества	Дисперсные	–	–	+	+	+	+	+
Гранулометрический состав	Дисперсные	–	–	+	+	+	+	+
Одноосное сжатие при естественной влажности	Все породы за исключением дисперсных пород	–	+	+	+	+	+	+
Одноосное сжатие в водонасыщенном состоянии	Все породы за исключением дисперсных пород	–	–	+	+	+	+	+
Одноосное растяжение при естественной влажности	Все породы за исключением дисперсных пород	–	+	+	+	+	+	+
Одноосное растяжение в водонасыщенном состоянии	Все породы за исключением дисперсных пород	–	–	+	+	+	+	+
Срез со сжатием	Скальные и полускальные породы	–	–	+	+	+	+	+
Трехосные испытания	Все разновидности	–	–	–	+	+	+	+
Сдвиг по естественной трещине	Скальные и полускальные породы	–	–	–	+	+	+	+
Сдвиг по расщелину (планка по планке)	Все разновидности за исключением несвязных пород	–	–	+	+	+	+	+
Модуль деформация/упругости	Все разновидности	–	–	–	+	+	+	+
Коэффициент поперечной деформации/Пуассона	Все разновидности	–	–	–	+	+	+	+
Специальные исследования	Все разновидности	–	–	–	*	*	*	*

«+» – обязательно к применению

«» – не является обязательным, но применение данных методов позволит повысить надежность оценки устойчивости бортов карьеров

«–» – не рекомендуется использовать

4.2. Полевые методы испытаний

4.2.1. Полевые методы определения прочностных и деформационных 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:

- 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 крупномасштабного инженерно-геологического районирования рудного поля.

4.2.3. Экспресс-методы

4.2.3.1. Определение динамической твердости горных пород может быть произведено с помощью эталонного молотка. Динамическая твердость горной породы определяется по величине отношения диаметра отпечатка шарика, вдавливаемого в породу ($d_{обр}$), к диаметру отпечатка, получаемого одновременно на эталонном стержне ($d_{эт}$).

По динамической твердости горные породы разделяют на группы, характеризующиеся различной прочностью (например, породы с различной степенью и характером вторичных изменений). Метод применяется для пород различных генетических типов, обладающих широким диапазоном изменения прочностных свойств. В зависимости от твердости породообразующих минералов используется набор эталонных металлических стержней с различной твердостью.

Эталонный молоток также может быть использован при опробовании пород в кернах, в естественных обнажениях, бортах карьеров, стенках подземных горных выработок. Для пород с четко выраженной анизотропией слоистости, трещиноватости, структуры испытания проводят по взаимно перпендикулярным направлениям.

В полевых и лабораторных условиях рекомендуется использование специальных приборов (например, БУ-39) для определения прочности пород на разрыв, модуля остаточной деформации, модуля упругости. При испытаниях пород используются образцы как правильной, так и неправильной формы.

4.2.3.2. Определение предела прочности пород методом многократного раскалывания и сжатия может быть выполнено переносным гидравлическим прессом с осевым усилием 4 т. Метод позволяет определять свойства пород ослабленных зон без транспортировки и хранения проб.

4.2.3.3. Определение крепости пород методом толчения рекомендуется в полевых условиях проводить на приборе ПОК. В основе метода лежит положение о пропорциональности объемного выхода мелких фракций дробимой породы ее крепости. Метод используют для приближенной оценки прочности пород на сжатие и разрыв.

Для различных генетических типов пород строят графики корреляционной связи значений крепости пород, полученной по данным рассматриваемого метода и по расчетной формуле М.М. Протодяконова. Графики позволяют определить показатель величины прочности пород на сжатие.

4.2.3.4. Определение хрупко-пластических свойств пород методом повторных ударов заключается в измерении величины местного контактного упрочнения и разрушения породы при повторных динамических вдавливаниях в нее бойков со сферической рабочей поверхностью. Для исследований применяют образцы пород, имеющие две параллельные друг другу отшлифованные поверхности: диски из кернавого материала, плоскопараллельные пластины любой конфигурации в плане высотой 1-2 см и более. Для испытаний используют склероскоп Шора. Боек прибора с постоянной массой, оснащенный алмазным или твердосплавным индентором со сферической рабочей поверхностью, сбрасывается с определенной высоты на поверхность испытуемого образца. Высота отскока фиксируется после первого соударения и характеризует динамическую твердость (n_1). Далее в то же самое место боек сбрасывается вторично, в третий раз и т.д. Высота отскока при этом изменяется. Количество ударов в одну точку может колебаться от 5-10 до 20-40 в зависимости от свойств породы и характера местного разрушения. Когда высота отскока бойка становится стабильной или начинает колебаться вокруг некоторой средней величины с незначительными отклонениями, опыт прекращают. Показатель хрупкости ($K_{упл}$) определяют по изменению высоты отскока (в сравнении с ее начальным значением):

$$K_{упл} = \frac{n_{пр} - n_1}{n_1} \times 100\%,$$

где, $n_{пр}$ – высота отскока после первого удара, м; n_1 – наибольшая (наименьшая) высота отскока после повторных ударов, м.

В случае $n_1 > n_{пр}$ материал характеризуете хрупкими свойствами, при $n_1 < n_{пр}$ – пластичными.

Могут применяться также прибор ИРС-1 и склероскоп Тархова. Определяемый показатель оценивается по средним арифметическим показателям величины отскока бойка.

При использовании ударного молотка Шмидта замеряется величина отскока стального шарика (или штока) от испытуемой поверхности. Шкала, по которой производится отсчет показателей, находится на корпусе прибора.

Для испытания как прочных, так и слабых разностей пород предназначен динамический пробник-твердомер (ППТ), разработанный во ВСЕГИНГЕО. Принцип его работы заключается во внедрении в породу бойка и образовании при этом лунки выкола. Глубина внедрения бойка с точностью до сотых долей миллиметра замеряется индикатором часового типа.

Внесистемный показатель динамической твердости вычисляется по формуле

$$T_v = \frac{PH}{V},$$

где P – масса груза; H – высота подъема груза, V – объем полученной лунки.

На каждом образце проводят десять единичных испытаний, по которым рассчитывается среднее значение.

4.2.3.5. К методу определения статической твердости пород относится определение контактной прочности. Методика разработана в Институте горного дела им. А.А. Скочинского. Определения производятся на приборе УМГП-3. Образцы пород испытываются путем вдавливания твердо-сплавного штампа в необработанную, с естественной шероховатостью поверхность образца. Регистрируемой величиной при испытании является усилие, необходимое для образования лунки выкола.

Показатель контактной прочности P рассчитывается по формуле:

$$P = \sum P/n,$$

где n – число замеров.

Этот метод наиболее применим для изучения пород прочностью до 30Мпа.

4.2.3.6. Для скальных и полускальных пород определение прочности на сжатие и растяжение в полевых условиях производится на усовершенствованном ВСЕГИНГЕО стандартном гидравлическом прессе с осевым усилием 4 т. Пресс снабжен приспособлением для определения предела прочности при многократном раскалывании и сжатии. Испытания могут проводиться лишь на образцах с двумя параллельными поверхностями.

4.2.3.7. Для несвязных и связных пород прочностные характеристики (сопротивление сдвигу, сцепление, угол внутреннего трения) рекомендуется определять следующими полевыми методами: опытными сдвигами на полевых приборах и установках; опытными обрушениями и выпираниями в шурфах; полевыми испытаниями на срез в скважинах и

массиве; статическим и динамическим зондированием, искиметрией; пенетрационным каротажем. Испытания должны проводиться в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

4.2.3.8. Деформационные характеристики (модуль общей деформации, модуль осадки) частично определяются теми же полевыми методами и на тех же приборах, что и прочностные (прессиометры, полевые испытания на срез в скважинах и горных выработках), частично другими – штамповые испытания в скважинах и горных выработках. Испытания и обработка полученных результатов должны проводиться в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Для получения деформационных характеристик, кроме приборов, указанных выше, рекомендуется использование свайных и распорных штамповых установок.

4.3. Обработка результатов испытаний

4.3.1. Обработка результатов испытаний горных пород заключается в их систематизации и анализе, в ходе проведения которых:

- оцениваются инженерно-геологические особенности массивов пород на месторождении: их этажность, условия залегания и тектоническая нарушенность пород, наличие зон выветривания, трещиноватость пород и ее изменение по площади и по глубине, текстурные особенности пород (слоистость, сланцеватость и др.), способность к расслоению, гидрогеологические особенности массивов и пр.;
- на основе результатов лабораторных исследований выявляются закономерности в изменении по глубине и по площади месторождения физико-механических свойств пород (с учетом геолого-структурных особенностей месторождения). При известных значениях пределов прочности на сжатие и растяжение определение значений показателей прочности горной породы на срез (удельного сцепления и угла внутреннего трения) выполняется путем построения паспорта прочности;
- породы оцениваются с точки зрения их возможного поведения в бортах проектируемых карьеров, в частности, при осуществлении осушительных мероприятий;
- устанавливаются величины расчетных показателей пород.

4.3.2. Обработку данных лабораторных исследований необходимо выполнять с учетом генетических признаков пород, их фациальной принадлежности, а также результатов полевых исследований, характеризующих инженерно-геологические особенности пород в условиях естественного залегания (трещиноватость, выветрелость и др.). При обработке данных необходимо составлять инженерно-геологические колонки скважин и инже-

нерно-геологические разрезы по участкам месторождения, различные графики, характеризующие изменение состава и свойств пород в пространстве, а также изменения свойств пород, главным образом глинистых, во времени.

По результатам испытаний составляются паспорта прочности горных пород.

4.3.3. При лабораторном испытании n образцов породы в разных точках вариация определяемого показателя наблюдается в некотором различии результатов испытаний образцов в связи с незакономерным различием сложения породы в окрестностях этих точек: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n$.

4.3.4. При обработке результатов испытаний горных пород точность определяется в соответствии с табл. 4.3.

Таблица 4.3

Точность обработки результатов испытаний

Параметр	Точность определения
Плотность	0,01 г/см ³
Влажность	
- до 30%	0,1%
- более 30%	1%
Угол внутреннего трения	1°
Удельное сцепление	1 кПа
Абсолютная вертикальная деформация образца	0,01 мм
Относительная вертикальная и относительная объемная деформация образца	0,001

4.3.5. Обработка результатов испытаний деформационных свойств и образцов производится в следующем порядке. Вычисляют средние арифметические значения по пробе для E_d, ν, E_y, μ , средние квадратические отклонения $\Delta E_d, \Delta \nu, \Delta E_y, \Delta \mu$ и коэффициенты вариации $V_{E_d}, V_\nu, V_{E_y}, V_\mu$ по формулам:

$$\begin{aligned} \bar{E}_d &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{di} ; & \bar{E}_y &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{yi} ; \\ \Delta E_d &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_{di} - \bar{E}_d)^2} ; & \Delta E_y &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E_{yi} - \bar{E}_y)^2} ; \\ V_{E_d} &= \frac{\Delta E_d}{\bar{E}_d} \cdot 100 ; & V_{E_y} &= \frac{\Delta E_y}{\bar{E}_y} \cdot 100 ; \\ \bar{\nu} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \nu_i ; & \bar{\mu} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i ; \\ \Delta \nu &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\nu_i - \bar{\nu})^2} ; & \Delta \mu &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\mu_i - \bar{\mu})^2} ; \\ V_{\nu} &= \frac{\Delta \nu}{\bar{\nu}} \cdot 100 ; & V_{\mu} &= \frac{\Delta \mu}{\bar{\mu}} \cdot 100 , \end{aligned}$$

а также фактическую надежность их определения (в соответствии с приложением 1 к ГОСТ 28985-91).

Вычисления значений E_d , ν , E_y , μ производятся до второй значащей цифры.

4.3.6. При известных значениях пределов прочности на сжатие и растяжение определение значений показателей прочности горной породы на срез (удельного сцепления и угла внутреннего трения) выполняется путем построения паспорта прочности. Сцепление и угол внутреннего трения (в том числе и для показателей по поверхностям ослабления) могут быть определены исходя из предельной огибающей паспорта прочности горных пород (или обобщенного паспорта прочности), представленной линейной или кусочно-линейной функцией:

- методом среза со сжатие или методом одноплоскостного среза;
- путем пересчета через одноосное сжатие и растяжение;
- из обобщенного паспорта прочности, основанного на результатах испытаний на одноосное сжатие и растяжение, и трехосное сжатие.

Для расчетов допускается использовать полный паспорт прочности без определения конкретных значений.

4.3.7. При одновременном наличии результатов лабораторных и полевых испытаний должен производиться совместный их анализ.

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 водотоков, 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:

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.	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 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 (табл. 5.2):

класс I - месторождения, которые характеризуются наличием водоносных структур (горизонтов, комплексов), залегающих 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 учетом сложности гидрогеологических условий эксплуатации карьера	Фильтрационные параметры расчетных схем, подлежащие определению
I. Водообильный пласт залегает в основании вскрывной 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 вскрывной 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 вскрывной 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 вскрывной 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 $1\text{ м}^3/\text{сутки}$ (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 $1\text{--}5\text{ м}^3/\text{сутки}$ (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 $5\text{ м}^3/\text{сутки}$ (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, приводящихся при строительстве и эксплуатации горнодобывающего предприятия. 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. Требования к изученности 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 основные параметры 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 дать 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 исследо-

вания 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 охватывать 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 (водопроницаемости, 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 созданию системы мониторинга;
- организация системы мониторинга. 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: опытнo-фильтрационные опробования (ОФО) и опытнo-фильтрационные наблюдения (ОФН), также объединяемые термином опытнo-фильтрационные работы (ОФР). ОФО (откачки, нагнетания, наливыв) 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 опытнo-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, расходометрия, 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 опытнo-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 опытнo-эксплуатационная);
- выбор местоположения и схемы опытнoго 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 дан-

ном 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 оцени-

ваются притоки в карьер и к дренажным сооружениям. Эти данные в сочетании со сведениями о расчётных параметрах гидрогеологических подразделений используются для прогнозов водопритоков 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.

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 водонасыщенных 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 раздельно на все водоносные пласты, залегающие в лежачем боку в пределах призмы возможного оползания прибортового массива, размеры которой примерно равны глубине карьера. 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

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 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 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. Расстояния между скважинами на профильных линиях должны составлять для 2-й и 3-й категорий сложности условий 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.

7.2. Геомеханическая модель обобщает в себе следующие модели:

- геологическая модель – включает петрографический состав, изменения, зоны минерализации, сейсмический коэффициент, напряженное состояние;
- структурная модель – основные структуры (плоскости напластования, складчатость, разломы), второстепенные структуры (второстепенные разломы, системы трещин);
- модель породного массива – прочность ненарушенных пород, прочность структур, классификация породного массива, прочность породного массива;
- гидрогеологическая модель – гидрогеологические элементы, гидравлическая проводимость, режимы перетоков, уровни грунтовых вод, распределение порового давления

Одиночные значения параметров должны быть получены для детерминированного анализа, а дискретные и/или непрерывные распределения необходимы для вероятностного анализа. На рисунке 7.1 показана принципиальная структура геомеханической модели.

Создание геомеханической модели заключается в последовательном выполнении нескольких основных этапов:

- проведение исследований для получения данных о свойствах и состоянии массива горных пород;
- создание геологической и структурной моделей месторождения;
- создание геомеханической модели месторождения на основе геологической, структурной моделей и полученных данных по измерению параметров массива, обработки результатов инженерно-геологической документации, по значениям физико-механических свойств горных пород, руды и т. д.

Таким образом, геомеханическая модель формируется путем последовательного переноса на карту (или 3-х мерную модель) параметров, характеризующих геологическое и структурное строение месторождения, в том числе вмещающих пород.

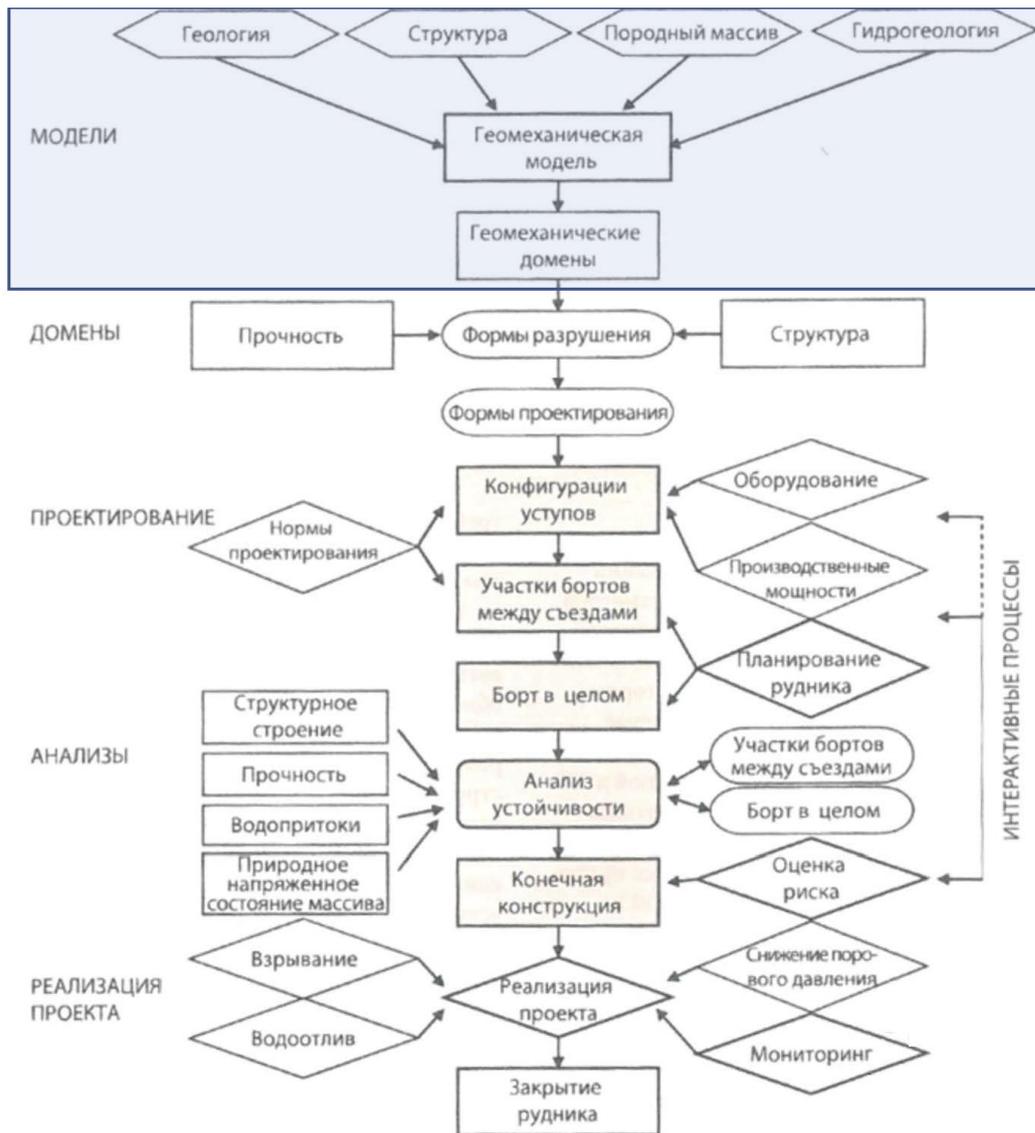


Рисунок 7.1 – Принципиальная структура геомеханической модели

7.3. Интегрированные данные рекомендуется представлять 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). Данный процесс требует осторожности, поскольку в случае, когда геомеханический параметр характеризуется большим разбросом или дисперсией данных, то при усреднении или сглаживании результатов в исследуемой области, могут быть получены данные, не отражающие реальное состояние массива. Например, усреднение данных об очень устойчивой породе, которую пересекает ряд ослабленных зон, вероятно, приведет к оценке породного массива, как устойчивого, что совсем не отражает его фактическое состояние. Основное внимание следует уделить созданию таких геомеханических участков (доменов), в пределах которых геомеханические параметры соответствовали изменчивости значений

в каждой выбранной области. Также необходимо с осторожностью применять геостатистические методы, поскольку, как уже отмечалось, многие геомеханические параметры характеризуются высокой дисперсией и получены, как правило, не по регулярной сети, что часто затрудняет применение геостатистики.

7.4. Одним из методов изучения и прогнозирования условий устойчивости уступов и бортов карьеров, разрезов является метод инженерно-геологического районирования, итог которого – составление прогнозных инженерно-геологических карт, отражающих изменение инженерно-геологических характеристик массива горных пород как по простиранию, так и по глубине.

7.5. Цель инженерно-геологического районирования заключается в оконтуривании (геометризации) участков (доменов) с одинаковыми геомеханическими характеристиками.

В результате такой геометризации устанавливаются границы участков (доменов) со значениями геомеханических характеристик, определяющих возможность нарушений устойчивости уступов и участков бортов карьеров, разрезов.

7.6. Орделение границ участков с неблагоприятными для устойчивости пород геомеханическими характеристиками позволяет:

- наиболее рационально выбирать участки для изучения и оценки их устойчивости;
- прогнозировать возможность возникновения деформаций, их характер и масштаб, разрабатывать мероприятия по стабилизации откосов и поддержанию устойчивости уступов и бортов с оптимальными параметрами по балансу экономических выгод (укручение уступов и бортов и как следствие снижение объема вскрыши) и требований безопасного ведения горных работ (чем круче уступы и борта – тем риски их деформаций выше).

7.7. Основными элементами районирования являются:

- выбор показателя районирования;
- выбор информативных параметров, определяющих показатель районирования;
- установление связи между выбранными параметрами и показателем районирования;
- оценка достаточного количества определения выбранных параметров;
- сбор и оценка информации об информативных параметрах;
- расчет показателя районирования, его погрешности;
- выбор критерия районирования;
- составление прогнозной горно-графической документации.

7.8. Для анализа условий отработки месторождения выполняется районирование по инженерно-геологическим условиям, а именно:

- по трещиноватости горных пород (структурное районирование);

– по инженерно-геологическим особенностям (прочностным и деформационным свойствам массива горных пород);

7.9. Районирование по трещиноватости горных пород (структурное районирование).

Одним из основных параметров, определяющих устойчивость уступов и бортов карьеров, разрезов являются поверхности ослабления (слоистость, сланцеватость, разрывные нарушения (трещины и разломы)), которые можно объединить понятием «трещиноватость». Решающее влияние на устойчивость уступов (реже бортов) карьеров, разрезов оказывают разрывные нарушения, протяженность которых сопоставима с размерами элементов борта, имеющие падение в сторону выработанного пространства, параллельные простиранию откосов либо секущие их диагонально под небольшими углами (угол встречи 30-35°). Как правило, по трещинам отдельности (элементарного блока) и протяженным трещинам сцепление и угол внутреннего трения по контактам значительно меньше, чем в массиве и тем более в образцах. Поэтому рекомендуется данные параметры определять методом обратных расчетов.

Поскольку ориентировка трещин одного и того же направления относительно откоса из-за изменения его простирания меняется в значительных пределах, в процессе районирования по трещиноватости необходимо выявить участки, на которых ориентировка трещин может оказать неблагоприятное влияние на устойчивость участков уступов и борта в целом.

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

Выделение (геометризацию) участков (доменов) рекомендуется проводить в трехмерном пространстве с применением специальных программ, основываясь на структурно-геологической модели месторождения с обязательным учетом тектонических стадий его формирования.

Результатом структурного районирования является выделение однородных, т.е. характеризующихся однородными параметрами основных систем трещин, структурно-морфологическое участков недр (рис. 7.2). При этом выделенными участками (доменами) могут быть тектонические разломы, оси складок, контакты петрографических разностей, а также их совокупности, что определяется особенностями строения месторождения.

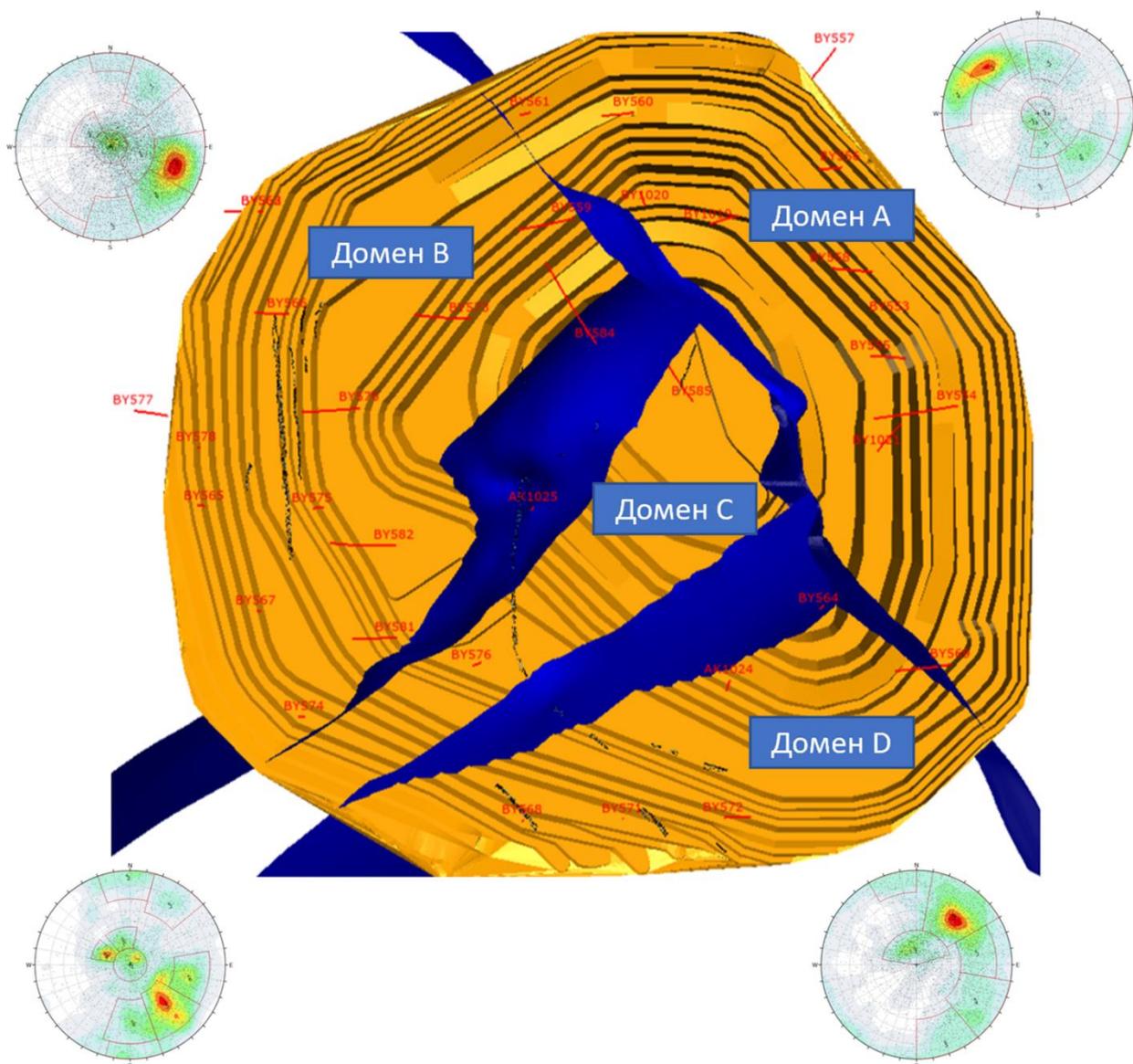


Рисунок 7.2 – Пример выделения доменов

Параметры основных систем трещин должны содержать следующее:

- количество систем трещин;
- средние (наиболее вероятные) угол падения и азимут падения каждой из систем трещин и статистические разбросы этих параметров;
- средние, минимальные и максимальные расстояния между трещинами в каждой из систем трещин;
- средние, минимальные и максимальные длины трещин в каждой из систем трещин;
- прочностные свойства трещин в выделенных системах.

7.10. Районирование по инженерно-геологическим особенностям

Результатом районирования является выделение геомеханически однородных участков недр с близкими параметрами массива горных пород. Границами выделенных участков

(доменов) могут быть как контакты петрографических разностей, так и границы перехода различных рейтинговых категорий.

Набор параметров, характеризующих геомеханические участки (домены) может различаться в зависимости от выбранного метода расчета устойчивости, но в общем случае он содержит:

- физические свойства пород;
- прочностные характеристики пород;
- деформационные свойства пород.

Дополнительно рекомендуется районировать карьерное поле по величине рейтинга в соответствии с классификацией MRMR. Данный вид районирования может быть также использован для последующей оптимизации затрат на инженерно-геологические исследования.

8. Особенности инженерно-геологического изучения различных видов полезных ископаемых

8.1. Особенности инженерно-геологического изучения угольных месторождений

Угольные месторождения являются в основном пластовыми. Пласты по мощности разделяются на весьма тонкие (до 0,5 м), тонкие (0,5—1,3 м), средней мощности (1,3—3,5 м), мощные (3,5—15 м) и весьма мощные (более 15 м). Угольные месторождения характеризуются большим разнообразием структурных форм и степени дизъюнктивной нарушенности. По геолого-структурным особенностям они разделяются на месторождения:

- а) с горизонтальным или пологим залеганием пород, с отсутствием или незначительным проявлением дизъюнктивных нарушений;
- б) приуроченные к простым складчатым структурам с четко выраженными и закономерно изменяющимися элементами залегания, с наличием немногочисленных разрывных нарушений;
- в) связанные с интенсивно складчатыми структурами и резкими изменениями элементов залегания пород или нарушенные большим количеством крупных и мелких дизъюнктивов.

Эти особенности месторождений, а также глубина их залегания в значительной мере определяют как выбор способа и систем разработки угля, так и поведения пород в бортах разрезов. Поэтому при инженерно-геологических работах при разведке особую важность приобретает инженерно-геологическая характеристика массивов пород. В этой характеристике массивов должны учитываться: характер и степень вторичных изменений состава и свойств углей и углевмещающих пород, вызванных процессами катагенеза и метаморфизма. С этими изменениями связаны как промышленно-технологические свойства углей (отображаемые обычно их марочным составом), так и физико-механические свойства углей и углевмещающих пород. Как правило, с возрастанием степени вторичных изменений (на различных стадиях катагенеза и на стадии раннего метаморфизма) изменяются прочностные свойства пород, их пористость и влажность, а также способность пород к расслоению. Выявление закономерностей, связанных со степенью вторичных изменений пород, используется при прогнозировании инженерно-геологических условий разведываемых карьерных полей, а также направлено к сокращению объемов лабораторных исследований физико-механических свойств углевмещающих пород путем распространения величин показателей этих свойств, определенных в единичных точках (скважинах), на площади, сложенные породами тех же стратиграфических толщ и со сходными вторичными изменениями;

– зависимость пространственного положения и интенсивности трещиноватости пород от геологических структур месторождения и тектонических разрывных нарушений различных порядков;

- анизотропное строение массивов пород – их слоистость, цикличность в напластовании, наличие тектонических нарушений, разбивающих массив на блоки, трещиноватость пород, фациальная изменчивость и др.;
- необходимость на месторождении осушительных или укрепительных работ и условия их проведения.

Важное значение имеет изучение следующих инженерно-геологических свойств и параметров:

- зоны выветривания пород, ее мощности, физико-механических свойств выветрелых пород на разных глубинах, интенсивности и пространственного положения трещиноватости пород, развитие экзогенной трещиноватости и пр.;
- физико-механических свойств вскрышных пород с оценкой их разрабатываемости и возможного поведения в отвалах;
- физико-механических свойств, трещиноватости, тектонической нарушенности пород, которые будут слагать рабочие и нерабочие борта разрезов.

8.2. Особенности инженерно-геологического изучения рудных месторождений

Рудные месторождения весьма разнообразны как по вещественному составу руд, так и по своему генезису, составу рудовмещающих пород, условиям залегания и формам рудопроявлений. Отмечаются следующие особенности рудных месторождений, оказывающие влияние на условия их разработки:

- связь многих рудных месторождений с процессами магматизма и метаморфизма, вследствие чего рудные тела и вмещающие породы часто являются твердыми (скальными и полускальными);
- рудные тела имеют многообразие форм и размеров. Морфологически они разделяются на пластообразные, пластовые, столбообразные, линзообразные, жильные, штокообразные, гнездообразные;
- широкий диапазон физико-механических свойств руд и рудовмещающих пород – от сыпучих и глинообразных до весьма крепких;
- часто интенсивная тектоническая нарушенность и трещиноватость руд и пород;
- неравномерность оруденения, наличие безрудных зон;
- большая ценность некоторых рудных полезных ископаемых, вызывающая стремление к максимальному извлечению их из недр;
- многообразие способов разведки и систем разработки рудных месторождений.

Все эти особенности усложняют выработку единой методики инженерно-геологического изучения рудных месторождений. Поэтому при составлении программ детальных инженерно-геологических работ на месторождениях со сложными и средней сложности инженерно-геологическими условиями необходимо учитывать природные особенности конкретных разведываемых месторождений.

При разведке для целей выявления и оконтуривания запасов полезного ископаемого проходится большое число геологоразведочных скважин, а также горно-разведочных выработок. Эти скважины и другие выработки в максимальной мере должны быть использованы для инженерно-геологической характеристики пород как в процессе проходки, так и при инженерно-геологической документации керна. При этом особое внимание должно уделяться наличию в массиве пород зон ослабления различного генезиса (трещиноватости пород, их текстуры, зон дробления и милонитизации, наличия глинки трения и пр.).

Большое внимание должно быть уделено петрографическому составу пород и его вторичных изменений, связанных с гидротермальными процессами и метаморфизмом. Вторичные изменения с различными минеральными новообразованиями ведут часто к уменьшению прочности пород в массиве, иногда же, наоборот, к ее увеличению (цементация трещин и пр.), что отражается на поведении пород в бортах карьеров. На инженерно-геологическую оценку пород оказывают также влияние процессы выветривания – современные и протекавшие в прошлые геологические эпохи.

Применение при предварительной разведке месторождений ускоренных полевых методов изучения прочностных свойств пород и руд позволяет в предварительном порядке классифицировать породы по прочностным характеристикам с целью последующего более целеустремленного отбора проб пород и детального изучения их физико-механических свойств лабораторными методами. При детальной разведке обязательной является типизация пород по петрографическим признакам, позволяющая распространять инженерно-геологические характеристики, выявленные в отдельных точках (скважинах) на площади распространения соответствующих типов пород.

8.3. Особенности изучения рудных месторождений в районах развития карста

Некоторые рудные месторождения, в частности бокситовые, могут быть приурочены к закарстованным карбонатным породам – известнякам, доломитам. Эти месторождения отличаются обычно большой обводненностью горных выработок за счет трещинно-карстовых вод, часто сообщающихся с водами поверхностными. Вопросы инженерной геологии на этих месторождениях заключаются как в инженерно-геологической оценке самих карбо-

натных пород, являющихся средой для горных выработок, так и в оценке инженерно-геологических явлений, возникающих при горных работах и связанных непосредственно с карстом. Эти явления заключаются в суффозионном выносе, выдавливании и выбросах в горные выработки заполнителя карстовых полостей. Заполнитель может иметь различный состав (песчаный, суглинистый, глинистый) и разные физико-механические свойства, которые определяют его поведение при вскрытии горными выработками. На развитие инженерно-геологических явлений влияют также напор подземных вод, проникновение в карстовые полости вод с поверхности.

Особенности инженерно-геологических работ на месторождениях в карстовых районах заключаются в следующем:

- инженерно-геологическая съемка, проводимая на территории разведываемого месторождения, должна дать материал для характеристики карста на основе изучения его проявлений на поверхности земли. Особое внимание должно быть обращено на поглощение карстовыми формами (воронками, понорами и пр.) вод поверхностного стока, на признаки вымывания и обрушения в карстовые полости песчано-глинистого и обломочного материала (аллювиальных, делювиальных и элювиальных отложений) и пр.;
- инженерно-геологические наблюдения при бурении геолого-разведочных скважин должны заключаться в фиксации провалов бурового инструмента (или его медленного погружения в рыхлый заполнитель карстовых полостей), поглощения промывочной жидкости, процента выхода керна и пр. По керну документируются трещиноватость, закарстованность и кавернозность пород, наличие заполнителя карстовых полостей, его тип (твердый, рыхлый, пластичный), состав и свойства. Фиксируется процент содержания по скважине открытых карстовых полостей («активная» скважность) и процент общей закарстованности пород (открытые полости плюс полости, имеющие заполнитель);
- обследование действующих шахт и карьеров (если они имеются в районе) с документацией тектонической нарушенности пород, их трещиноватости и закарстованности (размеры, форма и направление карстовых полостей и каналов, связь их с тектоническими нарушениями и направлением основных систем трещин, наличие заполнителя карстовых полостей, его состав и свойства), развитие инженерно-геологических явлений, связанных с карстом (признаки суффозионных явлений, выдавливание и выбросы заполнителя и пр.);
- изучение петрографического и химического состава и физико-механических свойств закарстованных карбонатных пород и заполнителя карстовых полостей;
- изучение агрессивности подземных и поверхностных вод.

Проведенные инженерно-геологические работы должны выявить те закономерности карста, которые имеются в массиве пород: связь карста с геологическими структурами, тектоническими разрывными нарушениями и трещиноватостью пород; наличие зон открытых (незаполненных) карстовых полостей и зон полостей с заполнителем, этажность расположения карстовых полостей, связанная с этапами развития карста в районе.

В результате исследований дается прогнозная оценка инженерно-геологических условий разработки разведываемого месторождения по его площади и на различных горизонтах с соображениями о возможности развития при горных работах инженерно-геологических явлений, связанных с карстом.

8.4. Особенности инженерно-геологического изучения россыпных месторождений

Россыпи – рыхлые или слабосцементированные отложения обломочного материала, содержащие в виде зерен и обломков кристаллов различные ценные минералы. Основные генетические типы россыпей: элювиальные, делювиальные, аллювиальные, морские и озерные. Россыпные месторождения большей частью имеют неглубокое залегание: до 20-40 м. Разработка ведется главным образом открытым способом, а в некоторых случаях – при глубоком залегании полезного ископаемого и его высоком содержании в россыпях – также и подземным способом.

Инженерно-геологическое изучение россыпных месторождений, расположенных вне зоны многолетней мерзлоты, должно соответствовать требованиям, предъявленным к изучению месторождений, приуроченных к несвязным породам.

Необходимо отметить некоторые особенности инженерно-геокриологического изучения россыпных месторождений, приуроченных к области распространения многолетней мерзлоты. Эти месторождения характеризуются также небольшой глубиной залегания и лишь в отдельных случаях встречаются глубокие россыпи (глубиной до 100 м). К мелким относятся россыпи глубиной менее 20 м.

Очень важно в процессе разведки выяснить последствия, которые будут вызваны протаиванием мерзлых пород при эксплуатации россыпей. Протаивание пород специально вызывается как широко распространенный технологический прием при открытой разработке россыпей.

К геокриологическим вопросам, освещение которых необходимо при разведке, относятся:

- льдистость и криогенная текстура всех литологических разностей разреза;
- распространение по площади и на глубину толщи мерзлых пород и таликов, а также их температурный режим;

- распространение по площади и на глубину слоя сезонного промерзания – протаивания, его влажность и температурный режим;
- гидрогеологические условия россыпей; значительное внимание должно быть уделено фильтрационным свойствам массивов до и после их протаивания.

Россыпные месторождения, залегающие на небольшой глубине, оказываются обычно в зоне пород с наибольшей льдистостью и, как правило, в ярусе с годовыми колебаниями температуры. Необходимо также иметь в виду, что в средней части этого яруса температурная волна может запаздывать по фазе, в связи с чем летом мерзлые породы могут иметь там сравнительно более низкую температуру, а зимой – более высокую.

Более глубокие месторождения обычно находятся среди менее льдистых пород, не подверженных колебаниям годовой температуры. Однако геокриологические особенности верхних горизонтов в этих случаях требуется изучать для целей характеристики проходки шахтных стволов и наземного строительства.

Геокриологический микрорельеф на территории месторождения и его окрестностях должен тщательно изучаться, так как именно на месторождениях этого типа он часто бывает четко выражен и представлен многими видами. Изучение особенностей микрорельефа может позволить сократить объем более дорогостоящих разведочных работ.

Мощность толщи мерзлых пород часто совпадает с мощностью четвертичных отложений. В основании их нередко находятся водоносные горизонты, водоупором для которых служат подстилающие немерзлые коренные породы. Последние часто оказываются также плотиком – основанием для наиболее богатой части россыпи.

Изучение геокриологических закономерностей следует распространять и за пределы самих месторождений, что необходимо для инженерно-геологической оценки и организации горных работ.

При прогнозировании инженерно-геокриологических условий разработки месторождений необходимо учитывать, что изменения в геокриологической обстановке будут происходить неизбежно. Однако некоторые изменения будут благоприятствовать горным работам, если они специально вызваны запланированными мероприятиями (снятие торфяно-мохового покрова и слоя сезонного протаивания, особенно на льдистых участках, затопление участков водой и пр.). Некоторые изменения в геокриологической обстановке могут оказаться вредными не только для проведения горных работ, но и для других видов деятельности. Поэтому необходима детальная оценка характера и интенсивности возможных геокриологических изменений.

8.5. Особенности геологического изучения месторождений ископаемой соли

Месторождения каменной соли и калийных солей имеют следующие морфологические типы: а) пластовые, выдержанные по мощности, имеющие большую протяженность; б) пластово-линзообразные; в) линзообразные г) куполообразные и штокообразные залежи. Разработка месторождений осуществляется большей частью шахтами, реже – открытым

При разведке месторождений соли большое значение имеет изучение их гидрогеологических условий.

По гидрогеологическим и инженерно-геологическим условиям месторождения соли подразделяются на три группы:

- I – месторождения или их части, залегающие выше местного базиса эрозии;
- II – месторождения или их части, залегающие на больших глубинах, в зоне замедленного движения подземных вод;
- III – месторождения или их части, приуроченные к верхней гидродинамической зоне, на глубинах менее 100—120 м.

Месторождения третьей группы имеют наиболее сложные условия разработки.

Инженерно-геологическое изучение месторождений должно включать следующие вопросы:

- анализ геологической структуры разведываемого месторождения и положение полезного ископаемого относительно водоупорных и водоносных слоев разреза солевмещающих пород;
- изучение карстовых процессов и явлений (соляной карст) по площади месторождения и на глубине;
- изучение зоны выветривания, ее мощности и водопроницаемости;
- изучение физико-механических свойств соли и вмещающих пород;
- прогнозная оценка устойчивости пород в зоне горных работ;
- прогнозная оценка возможности активизации карстовых процессов при вскрытии и эксплуатации месторождения.

В содержании инженерно-геологических работ при разведке месторождений соли особое значение имеют:

- инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка района месторождения, одной из задач которой является изучение развития соляного карста;
- инженерно-геологическая и гидрогеологическая документация геологоразведочных скважин и горноразведочных выработок. При этом обращается внимание на признаки за-

карстованности солей и вмещающих пород; наличие подземных вод – надсолевых, внутри-солевых, подсолевых и боковых; химический состав и степень минерализации вод; тектоническую нарушенность пород, наличие зон дробления и трещиноватости; выветрелость пород; наличие выдержанных по мощности и распространению солей водоупорных пород и пр.;

– инженерно-геологическая оценка массивов пород на месторождении с максимальным использованием геофизических методов разведки. Полости буровых скважин являются возможными потенциальными проводниками воды в залежи соли, в связи с чем необходим их тщательный тампонаж.

9. Содержание отчета

9.1. Результаты работ по инженерно-геологическому изучению месторождения приводятся в главе «Горногеологические условия месторождения» общего отчета о геологоразведочных работах. В случае большого объема инженерно-геологических работ, выполненных на месторождении со сложными природными условиями, в отдельном отчете. Также результаты изучения могут быть выпущены в виде отдельного технического отчета о результатах инженерно-геологического изучения.

9.2. Требования к содержанию отчетных материалов изложены в инструкциях ГКЗ о порядке внесения, содержания и оформления материалов по подсчету запасов полезных ископаемых.

9.3. В разделе «Методика и объемы инженерно-геологических работ» дается перечень видов и объемов инженерно-геологических (и инженерно-геокриологических) работ, выполненных при разведке месторождений, с кратким указанием применявшейся методики:

- а) инженерно-геологическая съемка – масштаб и объем работ;
- б) бурение инженерно-геологических скважин – конструкция скважин, принцип расположения скважин, обоснование глубин бурения, его метраж, применение промывочной жидкости и пр.;
- в) инженерно-геологическая документация геологоразведочных скважин и горно-разведочных выработок;
- д) методика отбора проб пород из скважин и горных выработок;
- е) использование геофизических методов исследований;
- ж) лабораторные исследования пород: принципы распределения лабораторных анализов по разрезу месторождения; исследования пород в полевой лаборатории и в стационарных лабораториях.

9.4. Указываются также виды гидрогеологических работ, использованных для инженерно-геологической оценки месторождения.

9.5. В разделе «Характеристика горно-эксплуатационных работ», если они на месторождении или в районе месторождения проводятся, должны быть приведены перечень старых и новых карьеров и шахт, их размеры, глубина и положение относительно разведываемого участка, возникающие инженерно-геологические и геокриологические явления, их влияние на горные работы; применяемые мероприятия по борьбе с подземными водами и деформациями пород, углы откосов карьеров, величины водопритоков и пр. Оценивается возможность использования действующих горных выработок как аналогов для разведываемых карьерных полей.

9.6. В разделе «Физико-механические свойства вмещающих пород и полезного ископаемого» дается характеристика физико-механических свойств пород. Особо выделяются свойства водоносных пород и основных водоупорных слоев, их выдержанность в плане и в разрезе, показатели состава, физических и прочностных свойств. Высказываются соображения о возможном изменении свойств пород при осушении и вскрытии месторождения карьером или подземными горными выработками. Даются рекомендации по величинам расчетных показателей прочностных свойств для каждого из выделенных стратиграфо-петрографических горизонтов разреза месторождения.

9.7. В разделе «Инженерно-геологический прогноз условий разработки месторождения» приводится:

- а) характеристика основных инженерно-геологических особенностей пород разреза, а также рельефа карьерного поля (в том числе и криогенного рельефа), для инженерно-геологической оценки массивов пород месторождения в отношении устойчивости бортов карьеров, разрезов;
- б) прогнозная оценка инженерно-геологических (а в области многолетнемерзлых пород – и геокриологических) процессов, которые могут возникнуть при вскрытии и эксплуатации месторождений (оползни, обвалы, прорывы воды и пльвунов, обрушение пород, изменение механической прочности пород при их увлажнении или при нарушении температурного режима и др.);
- в) инженерно-геологическое обоснование необходимости проведения осушительных мероприятий на месторождении, снижения напора различных водоносных горизонтов или осуществления других защитных мероприятий;
- г) рекомендации по выбору методов расчета устойчивости бортов карьеров, наиболее соответствующих природным условиям месторождения;
- д) соображения о возможных изменениях в природной обстановке, вызванных освоением месторождения и необходимости осуществления охранных мер;
- е) общая характеристика инженерно-геологических условий строительства на поверхности;
- ж) обоснование дополнительных исследований, если они необходимы;
- з) рекомендации по составу инженерно-геологических наблюдений в процессе строительства и эксплуатации карьеров, разрезов.

9.8. К инженерно-геологической части отчета должны быть приложены следующие графические материалы:

- а) разрезы типовых инженерно-геологических скважин, а также опорных геологоразведочных скважин, в которых проводилась инженерно-геологическая документация;

- б) инженерно-геологические разрезы (продольные и поперечные) месторождения по характерным участкам;
- в) карты изомощностей вскрышных пород;
- г) карты мощности коры выветривания;
- д) различные графики (физико-механических свойств пород, паспортов прочности пород, трещиноватости и закарстованности пород, геотермических наблюдений, геофизических работ и пр.)»
- е) карты инженерно-геологического районирования месторождения для целей его отработки открытым или подземным способом (составляется при разведке крупных месторождений);
- ж) инженерно-геологическая карта для целей наземного строительства;
- з) базы данных в электронном виде.

Список литературы

1. Дунаев, В. А. Методика геолого-структурного обеспечения открытой разработки месторождений железистых кварцитов / В. А. Дунаев, И. М. Игнатенко // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. - 2011. - №15(110), вып.16.-С. 121-131
2. Руководство по геомеханическому документированию керна // SRK Consulting (Russia) Ltd – 2020. – с. 49.
3. Quantification of the Geological Strength Index Chart, Hoek, E., Carter, T.G., Diederichs, M.S. June 2013.
4. Deere, D.U. 1963. Technical description of rock cores for engineering purposes. Felsmechanik und Ingenieurgeologie (Rock Mechanics and Engineering Geology), 1 (1), 16-22.
5. Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering rock mass classification. New York: Wiley Interscience.
6. Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mech. 6(4), 189-239.

Приложения. Типовые формы документации результатов инженерно-геологического изучения

Рекомендуемая форма журнала инженерно-геологической документации керна

Интервал документации (м), выход керна, %	Описание пород: название, цвет, состав, структура, вторичные изменения, слоистость, сланцеватость	Описание трещиноватости					Модуль кусковатости, кус/м	Интервал раздробленного керна	RQD, %	Данные об опробовании, номер пробы, интервал	Примечание
		Морфология, генезис	Заполнитель, его состав, мощность	Длина трещин по керну	Ориентировка	Модуль трещиноватости, 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	Сокращенная Литология	Альфа, °	Диаметр керна, мм	R, мм	Макрошероховатость	Микрошероховатость	Литология заполнителя	Прочность заполнителя	Ширина раскрытия, мм	Прочность стенок трещины	Надежность ориентирования	Количество трещин зоны дробления	Примечание			
1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16	17			

Таблица документирования основных структурных элементов

Основные структуры						
			Лист №:			
Документировал:						
Скважина №:		Дата начала:			Дата окончания:	
Скважина №	Глубина, м	Протяженность, м	Тип	Количество нарушений	Примечание	
1	2	3	4	5	6	

Рекомендуемая форма ведомости геомеханических проб

				Ведомость геомеханических проб					
				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

Рекомендуемые коды для данных рейтинговой классификации

Прочность породы				
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	
-1	Не описано	-	-	
-2	Не требуется	-	-	

КОДЫ СТРУКТУРНОГО ОПИСАНИЯ

Тип нарушения		Надежность ориентирования		Тип основных структур	
Код	Описание	Код	Описание	Код	Описание
JT	Открытая трещина	NON	Нет линии ориентирования (кern не ориентирован)	JT	Трещиноватость
CJ	Залеченная трещина	1	Линия базируется на одном рейсе	BD	Слоистость, полосчатость
BD	Слоистость, полосчатость	2	Линия сопоставляется с 2-мя рейсами (в пределах +/- 10°)	SH	Сдвиг
CB	Залеченная слоистость, полосчатость	3	Линия сопоставляется с 3-мя и более рейсами (в пределах +/- 10°)	SZ	Зона сдвига
CO	Контакт			TZ	Зона дробления
FA	Разлом			BX	Брекчирование
FZ	Зона разлома			BU	Будинаж
FR	Дробление			DK	Дайка
TZ	Зона дробления			-1	Не описано
SH	Сдвиг			-2	Кern не извлечен
SZ	Зона сдвига				
CZ	Зона разрушения				
VN	Жила				
BX	Брекчирование				
BU	Будинаж				
-2	Кern не извлечен				

КОДЫ ВИДОВ ИСПЫТАНИЙ

Вид испытания	
Код	Описание
UCS	Предел прочности при одноосном сжатии
UTS	Предел прочности при растяжении
UCS+UTS	Один образец на 2 вида испытаний: одноосное сжатие и растяжение
CCS	Предел прочности при срезе со сжатием
SOJ	Прочность на сдвиг по естественной трещине
SCS	Прочность на сдвиг по распилу
TXT	Испытание на трехосное сжатие